

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

MR3002B - Diseño e implementación de sistemas mecatrónicos

**Implementación y evaluación:
Dispositivos de sensado AwAir**

Enrique Flores Medina

Luis Alejandro Butterfield Ramírez

Mateo Sebastián Balarezo Faican

Diego Gatica Murrieta

Jesús Cervantes Cisneros

Fecha de entrega:

Viernes, 09 de junio de 2023

Desarrollar y ejecutar el VPP:

- Lista donde se incluyan por cada requerimiento, cómo será evaluado en el producto
- Generar requerimientos separados de sistema, hardware y software

Requerimientos de sistema	
Requerimiento	Forma de evaluación
Mantener un rango mínimo de comunicación entre nodos de 300 metros.	Mandar datos a través de la red a través de diferentes ambientes, tomando como obstáculos, árboles, edificios.
Que el dispositivo sea capaz de resistir una caída libre de mínimo 55 cm sin presentar fallas	Dejar caer al piso (concreto) el dispositivo desde una altura de 55 cm, evaluando visualmente si el artefacto sufre alguna fractura mayor a 1 mm.
Generar una red de sensores que permita su intercomunicación con al menos tres nodos.	Posicionar 3 dispositivos con una distancia entre nodos de 300 metros, en donde uno de ellos únicamente servirá como envío de datos, mientras que el del centro funcionará como repetidor hacia el último nodo. Se evaluará si el mensaje del dispositivo configurado como "sender" llega al último dispositivo de la red.
Temperatura de -10°C a 60°C. Humedad relativa de 0% a 95%. Presión de 300 a 1100 hPa (-500 a 900 m.s.n.m.)	Se somete el dispositivo a pruebas extremas de temperatura, para evaluar la humedad se somete el dispositivo a un dispositivo humidificador. Para evaluar la presión, se hace los cálculos para transformar la presión a altura y comparamos ese dato con la altura del gps
Medición de partículas pm 1.0, 2.5 y 10, humedad relativa, temperatura, presión, hora y fecha.	Se procede a hacer una prueba de campo. Se lleva el dispositivo a un sensor meteorológico comercial y se comprueba sus medidas.
Publicación de datos recolectados de los sensores cada 15 minutos	Se comprueba el tiempo de recolección de datos con un cronómetro.
Precisión en mediciones con rango de tolerancia de humedad relativa de $\pm 2\%$. Temperatura de $\pm 0.3^\circ\text{C}$. Presión de ± 12 Pa. PM de $\pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$	<ul style="list-style-type: none">• Se testea el DHT con una fuente de calor variable.• Se utiliza un humidificador para testear el DHT y BMP280.• Se hace una comparación entre sensores comerciales.
Requerimientos de hardware	
Requerimiento	Forma de evaluación
El diseño mecánico debe de tomar en cuenta la funcionalidad de los sensores, el de humedad y calidad del aire deben de funcionar con una eficiencia de arriba de	Se realiza una comparación entre los sensores dentro y fuera del diseño mecánico.

90% comparado con el sistema no encapsulado.	
El encapsulado del sistema, tendrá una forma de cubo de tamaño no mayor 20cm por lado.	Se realizan las mediciones del prototipo impreso en 3D.
Utilizar componentes SMD para optimizar espacio y recursos.	Se evalúa el correcto funcionamiento del sistema electrónico en torno a la entrada de alimentación, verificar que el sistema de step-up haga la amplificación de voltaje.
Interfaz gráfica y pantalla OLED para la visualización de las mediciones obtenidas.	Se testean las distintas pantallas de información, se busca encontrar la configuración que brinde mayor legibilidad en torno a la visualización de datos.
Poder alimentar el sistema por medio de un sistema de alimentación celda solar.	Se realizan las pruebas de consumo y alimentación por parte de los sensores con las celdas solares.
Aislar el sistema de control a fenómenos meteorológicos que lo pudieran afectar, tales como humedad. Los sensores se encontrarán fuera de este aislamiento, para sus mediciones confiables.	Se realiza prueba de exposición a humedad y se comprueba el aislamiento.
Requerimientos de software	
Requerimiento	Forma de evaluación
Almacenamiento de información recolectada por cada sensor en una base de datos.	Se comprueba que cada dato se sube a la nube y se pueda visualizar, comparando que es el mismo dato de medición del sensor, mostrada en el display.
Interfaz gráfica y pantalla OLED para la visualización de las mediciones obtenidas.	Se revisan la calidad de las distintas pantallas (imágenes) que el dispositivo puede poseer.
Validación de funcionamiento del sistema con módulos faltantes antes o durante la operación.	Prueba de desconexión de módulos.
Implementación de funcionalidades de bajo consumo en los espacios donde sea posible realizarlo.	Realizar pruebas de consumo, que permitan conocer la duración de la batería.
Utilizar un repositorio de GitHub para realizar el control de versiones del código.	Subir actualizaciones de código utilizado y probado en los dispositivos.

7.5.2 Configuration Management V&V process: Outcomes

a) Configuration Management Strategy

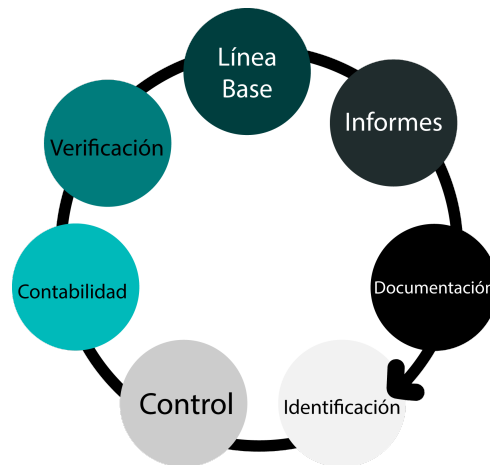


Figura 1. Configuration Management Strategy.

1. **Identificación:** Establecer una convención de nomenclatura para un sistema de control de versiones y las librerías y archivos de código fuente. Asignar identificadores para facilitar el seguimiento y trazabilidad.
2. **Control:** Gestión de cambios para rastrear y controlar modificaciones, donde se asigna un equipo de control designado a revisar, aprobar o rechazar cambios propuesto. Siempre documentando y comunicando la solicitud de cambio y respuesta.
3. **Contabilidad del estado:** Mantener un registro de cada identificación donde se incluye versión, fecha de revisión, cambio asociado y cualquier otra información relevante. Idealmente utilizar un repositorio, actualmente se realiza con GitHub.
4. **Verificación y auditoría:** Realizar periódicamente verificaciones para garantizar el funcionamiento e implementación de los cambios e identificaciones. Además, validar el cumplimiento de estándares de gestión establecidos después de notificar a Verificación y Validación.
5. **Línea base de configuración y administración de versiones:** Mantener claridad en los hitos y metas del proyecto y actualizar el estado actual del proyecto general basado en las identificaciones.
6. **Informes y comunicación:** Generar informes que permitan ofrecer a cualquier persona a quien le deba llegar información del proyecto resultados, estado, cambios e información general que permita análisis.
7. **Capacitación y documentación:** Brindar capacitación y pautas al equipo sobre los procesos, estándares y áreas conectadas del proyecto. Documentar la estrategia, los procedimientos y las pautas de administración para posible incorporación de nuevos miembros a partir de la expansión o reestructuración del proyecto.

b) Histórico de Ítems

1.0 Hardware

1.1 Sistema electrónico de potencia

AW Home EDITION

Versión 1.0

Compuesto por un sistema de alimentación externa y se hace uso de reguladores de voltaje integrados en el subsistema de control (ESP32).

Tipo de regulador **Am 1117**

AW Home Edition +

Versión 1.0

Se integra un sistema de carga lineal de batería de LIPO de 1 celda. Se integra un elevador de voltaje para cumplir con el requerimiento de los 5V de los sensores de partículas finas. Se identifica problemas de switcheo cuando la carga el sistema funciona al mismo tiempo que se realiza la carga de la batería

Aw-1

Versión 1.0

Se integra un sistema de carga lineal de batería de LIPO de 1 celda. Se integra un elevador de voltaje para cumplir con el requerimiento de los 5V de los sensores de partículas finas. Se identifica problemas de switcheo cuando la carga el sistema funciona al mismo tiempo que se realiza la carga de la batería

Versión 1.1

Se añade a la versión 1.0 un switch electrónico que permite generar un sistema de "LOAD SHARING", toda la electrónica queda igual.

1.2 Sistema de control

AW Home EDITION

Versión 1.0

Se añade un microcontrolador ESP-32 WROOM comercial

AW FLEX EDITION

Versión 1.0

Se añade un microcontrolador ESP-32 WROOM comercial

Aw-1**Versión 1.0**

Se desea incluir toda la electrónica necesaria al microprocesador para poder tener toda una placa con montaje superficial. Se presentan problemas al momento de integrar todo en la placa. No existe comunicación entre el puente de UART con la computadora. Se tiene la duda si el Bootloader viene cargado de fábrica.

Versión 1.1

Se añade un microcontrolador ESP-32 WROOM comercial

1.3 Circuito impreso**AW Home EDITION****Versión 1.0**

Placa con solder mask azul y se solicita stencil para soldar a mano los componentes. Se identifica problemas en la precisión de colocación de componentes, especialmente en el BMP280

AW FLEX EDITION**Versión 1.0**

Placa con solder mask morada y se solicita stencil para soldar a mano los componentes. Se identificaron problemas en la precisión de colocación de componentes, especialmente en el BMP280. Problema en conseguir componentes en México

Aw-1**Versión 1.0**

Placa con solder mask blanca y se solicita stencil para soldar a mano los componentes. Se identificaron problemas en la precisión de colocación de componentes, especialmente en el BMP280 y puente de UART . Problema en conseguir componentes en México. Difícil proceso de soldadura con pistola de calor. No se pensó en el footprint del sistema de comunicación por radiofrecuencia.

Versión 1.1

Se añaden vías de prueba de medición. Se implementa una sección de información visual y sonora. Se implementa el footprint de módulo LORA RA-01 con su respectiva conexión coaxial para la antena. Soldemask verde.

1.4 Sistema de comunicación por radio frecuencia

Versión 1.0 AW-1

En la versión AW-1, se integró en la PCB un transceptor LoRa, el cual trabaja a una frecuencia de 525 Mhz y que permite desarrollar una red mesh de sensores, con el objetivo de poder comunicar cualquier nodo a un gateway sin la necesidad de internet para subir los datos a la nube.

1.5 Sistema de Alimentación

Versión 1.0 AW Home EDITION

Se alimenta directamente de la red eléctrica 110 V a 60 Hz mediante el uso de un eliminador que entrega al sistema 5 V y 2 A.

Versión 1.0 AW FLEX EDITION

Se integra una batería de polímeros de litio (LIPO) de una celda con voltage de 3.7V-4.2V y a 2500mAh.

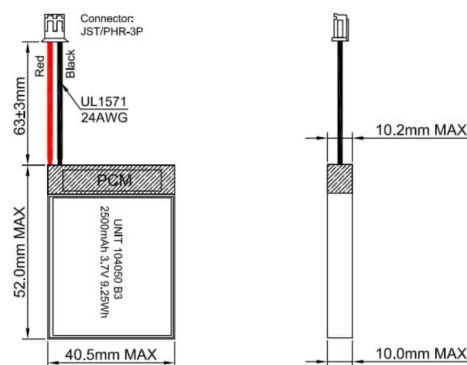


Figura 2. Batería de LIPO de 3.7V - 4.2V.

Versión 1.0 Aw-1

Se integra una batería de polímeros de litio (LIPO) de una celda con voltaje de 3.7V-4.2V y a 2500mAh como en la Versión 1.0 de AW FLEX EDITION y además se integran tres celdas solares de 5V con que generan 200mA, conectadas en paralelo. Se busca que al conectar las celdas en paralelo se pueda alimentar el funcionamiento del sistema durante el día y a la vez cargar la batería LIPO.



Figura 3. Celda solar de 5V y 200mAh.

1.6 Sensores y actuadores

Versión 1.0 AW FLEX EDITION y AW HOME EDITION

Se conectan a un microcontrolador ESP-WROOM-32 comercial un sensor PMS5003 para la medición de partículas finas, un gps NEO-6 para mediciones de ubicación y mediciones cronométricas y un sensor BMP280 para la medición de temperatura y presión.

Versión 1.1 AW FLEX EDITION y AW HOME EDITION

Se eliminó el gps como parte del sistema sensorial debido al gasto energético y poca justificación de uso. Los demás sensores se mantuvieron iguales. Se intentó implementar un sensor de partículas finas AM1002, tiene la capacidad de medir temperatura, concentración de compuestos orgánicos volátiles, humedad relativa y partículas finas de 10 y 2.5 micrómetros. Debido a la complejidad de las conexiones y la poca documentación de uso del sensor no se mantuvo para las siguientes versiones.

Versión 1.0 AW-1

Para esta versión se realizó el cambio del sensor PMS5003 por un sensor sen55, el cual tiene cambios significativos en las variables que sensa, por

ejemplo ahora con el nuevo sensor, no solo medimos partículas suspendidas en el aire, sino que ahora se podrá realizar la medición de: VOC (compuestos orgánicos volátiles), NOx (óxido nitroso, dióxido de nitrógeno), humedad y temperatura.

1.7 Caja y armazón

Para cada una de las distintas versiones que se tienen del producto, se realizaron un diseño distinto del case, de acuerdo a las necesidades de cada dispositivo, por ejemplo:

Version 1.0 AW HOME EDITION

La versión más básica del prototipo, al no contar con sistema de carga y batería, esté contará con un conector a un tomacorriente común de cualquier casa en México (AC 120 V, 50-60 Hz), que le permitirá darle la corriente necesaria para realizar el sensado de los parámetros a medir. Además este tendrá la capacidad de estar todo el tiempo conectado a una red de internet que le permita subir los datos recolectados a la nube. El case tiene la forma de un cilindro, en el cual en la parte superior tendrá una pequeña pantalla, para que el usuario pueda conocer en tiempo real la calidad del aire. A continuación se presenta el diseño CAD del prototipo:

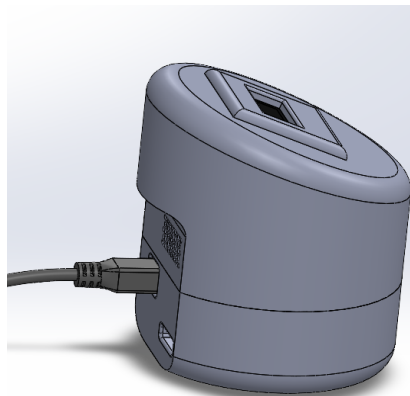


Figura 4. CAD AW HOME EDITION

2.0 Software

2.1 Sistema de comunicación

En la red de comunicación LoRa entre nodos, se integran dos diferentes sistemas, por un lado está el Gateway; que será el que reciba toda la información de los nodos que integran la red, para después subir dicha información a la nube (database, dashboard), cabe destacar que este dispositivo será el único que está conectado a internet. Por otro lado se encuentran los nodos; los cuales sensan las condiciones de calidad del aire, para después mandarlos hacia el gateway, por medio de los demás nodos. Cada nodo tendrá la capacidad de funcionar como un repetidor de los mensajes que mandas los demás nodos, pero para evitar que los mensajes se repitan en un bucle infinito, cada nodo al recibir un mensaje revisará el ID_message para evaluar si es un mensaje repetido, si esto sucede se ya no se mandará el mensaje, de lo contrario se realizará la comunicación sin problemas.

Con el objetivo de llegar al máximo rango de comunicación entre nodos, se realizó la sintonización de los parámetros de la librería de LoRa, tales como: Transmission Power, Spreading Factor, BandWidth y the Coding Rate.

2.2 Sistema de almacenamiento de datos

Versión 1.0 AW FLEX EDITION, AW HOME EDITION

Se programó comunicación mediante MQTT entre el microcontrolador y la nube de Amazon Web Services (AWS). A partir del S3 de AWS, se realizó un “bucket”, un contenedor para objetos almacenados que funcionará como la nube para almacenamiento de datos. No fue posible hacer un historial de datos extenso con S3 nada más. Para el almacenamiento a través de la metodología utilizada no fue posible subir información sin reescribir la existente, por lo que existe una limitación de memoria interna para la ESP32.

Versión 1.1 AW FLEX EDITION y AW HOME EDITION y Versión 1.0 AW-1

Se mantuvo la comunicación mediante MQTT entre el microcontrolador y la nube de AWS y se implementó un segundo protocolo para publicar datos en google firebase. AWS funciona como un almacenamiento temporal para facilitar la graficación y visualización de los datos más recientes mientras que google firebase se vuelve la base de datos del sistema. Además, se hizo la integración del sistema sensorial con la publicación de datos mediante MQTT a la nube de AWS.

2.3 Sistema de visualización de datos

Versión 1.0 AW FLEX EDITION, AW HOME EDITION

Se conectaron los datos guardados en S3 con otro servicio de AWS. QuickSight es una herramienta de AWS que permite generar gráficos y paneles interactivos a partir de bases de datos. Se hizo una conexión entre los datos publicados en AWS y la gráfica de QuickSight. La primera versión del panel gráfico cuenta con un mapa, valores promediados y una gráfica histórica variable.

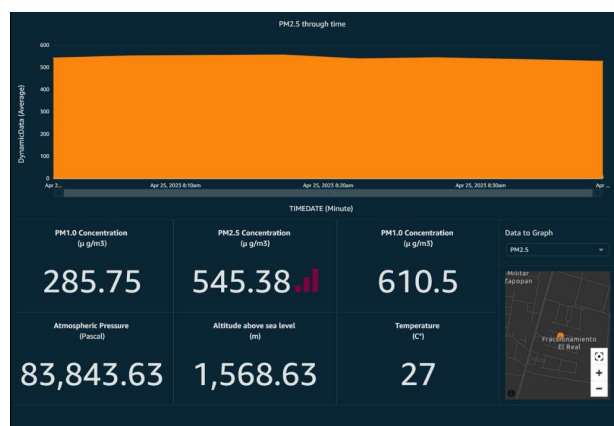


Figura 5. Dashboard.

2.4 Sistema de sensores y actuadores

Versión 1.0 AW FLEX EDITION, AW HOME EDITION

Se realizó un código utilizando micropython para la integración de sensores. Se hicieron códigos separados para cada sistema sensorial: PMS5003, BMP280 y el GPS. Cada uno con su respectiva biblioteca.

Versión 1.1 AW FLEX EDITION, AW HOME EDITION

Se integraron los códigos de cada sistema sensorial y se programaron para un funcionamiento adecuado y sincronizado. En esta misma versión se integró la medición de los datos con la publicación en la base de datos de AWS.

c) The status of items under configuration management is made available throughout the life cycle. Provisions should be included to assure that the v and v effort receives the current status for all configuration items

En la figura XX, se observa el Bill Of Material (BOM) correspondiente a las versiones del dispositivo.

BOM - Home Edition, Home Edition +, AW1									
ID	Name	Quantity	Price	Importe	Link	Versión	Descripción	Status	
1	IPEX-4	1	\$0.02	\$0.02	https://atta.szlcsc.com/upload/public/pdf/source/20220330/D1F8CE2CB9E78FF3BB2C4079325448CF.pdf	AW-1	Conector coaxial	Uso	
2	B6B-XH-A(LF)(SN)	2	\$0.01	\$0.03	https://lscsc.com/product-detail/Wire-To-Board-Wire-To-Wire-Connector_JST-Sales-America-B6B-XH-A-LF-SN_JST-Sales-America-B6B-XH-A-LF-SN_C144397.html	Todas	Conector JST	Uso	
3	SS12D10G4 071	1	\$0.03	\$0.03	https://atta.szlcsc.com/upload/public/pdf/source/20210820/80D17048BF3FCEE0435FCAAS4C61E0A3.pdf	Aw-1	Switch	Uso	
4	10uF	2	\$0.01	\$0.01	https://item.szlcsc.com/362304.html	Aw-1, Home +	Capacitores ceramicos	Uso	
5	100nF	2	\$0.01	\$0.01	https://item.szlcsc.com/362304.html	Aw-1, Home +	Capacitores ceramicos	Uso	
6	22uF	2	\$0.01	\$0.01	https://item.szlcsc.com/362304.html	Aw-1, Home +	Capacitores ceramicos	Uso	
7	10nF	1	\$0.01	\$0.01	https://item.szlcsc.com/362304.html	Aw-1, Home +	Capacitores ceramicos	Uso	
8	HYC77-TF09-200	1	\$0.02	\$0.02	https://item.szlcsc.com/316320.html	Aw-1, Home +	Capacitores ceramicos	Uso	
9	B2B-XH-A (LF)(SN)	2	\$0.01	\$0.01	https://atta.szlcsc.com/upload/public/pdf/source/20180319/9D0AC2122F92891443E3C996983D6D0E.pdf		Conector JST	Uso	
10	SS34_C83961	1	\$0.01	\$0.01	https://so.szlcsc.com/global.html?c=&k=C50840	AW-1	Diodo Zenner	Uso	
12	22uH	1	\$0.02	\$0.02	https://item.szlcsc.com/209175.html	Aw-1, Home +	Capacitores ceramicos	Uso	
13	LED-0805_R	1	\$0.00	\$0.00		Aw-1, Home +	Led indicadores	Uso	
14	LED-0805_G	1	\$0.00	\$0.00		Aw-1, Home +	Led indicadores	Uso	
15	FS8205A	1	\$0.04	\$0.04	https://item.szlcsc.com/109288.html	Aw-1, Home +	Proceso de carga bateria	uso	
16	AUIRF4905S	1	\$0.50	\$0.50	https://item.szlcsc.com/235776.html	AW-1	Mosfet switch panbel solar	Uso	
17	1k	4	\$0.01	\$0.02	https://www.mouser.in/datasheet/2/447/PYu_RT_1_to_0_01_RoHS_L_11-1669912.pdf	Todos	Resistencias varias	Uso	
18	2k	1	\$0.01	\$0.01	https://www.mouser.in/datasheet/2/447/PYu_RT_1_to_0_01_RoHS_L_11-1669912.pdf	Todos	Resistencias varias	Uso	
19	100	1	\$0.01	\$0.01	https://www.mouser.in/datasheet/2/447/PYu_RT_1_to_0_01_RoHS_L_11-1669912.pdf	Todos	Resistencias varias	Uso	
20	10k	5	\$0.01	\$0.03	https://www.mouser.in/datasheet/2/447/PYu_RT_1_to_0_01_RoHS_L_11-1669912.pdf	Todos	Resistencias varias	Uso	
21	7.5k	1	\$0.01	\$0.01	https://www.mouser.in/datasheet/2/447/PYu_RT_1_to_0_01_RoHS_L_11-1669912.pdf	Todos	Resistencias varias	Uso	
22	TP4056_C5311018	1	\$0.01	\$0.01	https://atta.szlcsc.com/	Aw-1, Home +	Integrado carga	Uso	
23	DW01A_C351410	1	\$0.01	\$0.01	https://item.szlcsc.com/169042.html	Aw-1, Home +	Integrado carga	Uso	
24	MT3608	1	\$0.01	\$0.01	https://item.szlcsc.com/169042.html	Aw-1, Home +	Integrado carga	Uso	
25	1N5819_C3039965	1	\$0.00	\$0.00	https://atta.szlcsc.com/	Diodo	proteccion corriente	Uso	
26	RA-01	1	\$0.84	\$0.84	https://so.szlcsc.com/global.html?c=&k=C90040	Aw-1	modulo Lora	Uso	
27	MICROXNJ	1	\$0.01	\$0.01	https://item.szlcsc.com/392534.html	todos	Socket micro sd	Uso	
28	NODEMCU-32SLUA	1	\$0.01	\$0.01	https://atta.szlcsc.com/upload/public/pdf/source/20200715/C111436_7E615125D57381075B07FD618FD5F595.pdf	todos	Microcontrolador Esp32	Uso	
30	BP280	1	\$2.45	\$2.45	https://uelectronics.com/producto/bmp280-ic-sm-d-sensor-presion/	Todos	Sensor de presion	Uso	
32	PMS5003	1	\$23.00	\$23.00	https://uelectronics.com/producto/pms5003-sensor-de-calidad-de-aire-pm2-5/	Home, Aw-1	Sensor Pm	Uso	
33	SEN55	1	25	25	https://www.digikkey.com.mx/es/products/detail/sensiron-aq/SEN55-SDN-T/16342756	Home +	Sensor Pm	Uso	
34	Bateria	1	3.5	3.5	https://uelectronics.com/producto/bateria-lipo-3-7v-1200mah-103040/	Home +	Bateria 1200 mA - 4.2V	Uso	
35	Bateria	1	6	6	https://uelectronics.com/wp-content/uploads/2020/08/AR1596-Bateria-LiPo-3.7V-2500mA-104050-UNIT-V.jpg	AW-1	Bateria 2500mA - 4.2V	Uso	

Figura 6. BOM correspondiente a versiones AwAir.

En el anexo [1], se puede consultar el los proveedores utilizados específicamente para cada campo

- **Outcomes sección 8.2.2. Incisos b, d, e.**

b: Definir todas las restricciones del sistema de solución:

d: Las restricciones son completas, no son ambiguas y precisas

e: Pueden ser validadas a través de análisis medibles o pruebas.

No.	Restricción	Explicación
1.	Requisito de variables a medir	Parámetros a medir PM, VOC, temperatura, humedad, presión y altitud. así como los criterios de precisión y exactitud requeridos. Tolerancia de humedad relativa de $\pm 2\%$. Temperatura de $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$. Presión de $\pm 12 \text{ Pa}$. PM de $\pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
2.	Fuente de alimentación	Contar con una fuente de alimentación ya sea de 3.3V - 5V, ya sea proveniente de una batería LiPo y paneles solares para garantizar un suministro de energía confiable. Para esto se utiliza un MOSFET tipo p, para hacer el switch entre la fuente de alimentación, cuando la batería fue cargada.
3.	Pantallas indicadoras	Incluir pantallas OLED legibles, intuitivas que brinden claridad en torno a las mediciones que está detectando en tiempo real el sensor.
4.	Comunicación inalámbrica	Se establece la integración del módulo de comunicación LoRa- Ra01 para transmitir los datos medidos de forma inalámbrica a otros dispositivos o sistemas. Sin necesidad de internet.
5.	Almacenamiento en la nube	Se utiliza la plataforma de database, para subir los

		datos a la nube y visualizarlos en el dashboard.
6.	Precisión y confiabilidad	Se comparan mediciones de tres sensores comerciales y además que las mediciones sean iguales entre el sensor dentro del case y el que está expuesto al aire libre.
7.	Durabilidad y resistencia	El diseño del case fue manufacturado en impresión 3D con filamento PLA. Lo que brinda resistencia al impacto, dureza, rigidez y elasticidad. De igual forma soporta una temperatura de hasta 227°C.
8.	Mantenimiento y calibración	El sensor cuenta con una rutina de calibración que los primeros 40 segundos activa el sensor SEN55 ó PMS5003 y espera que este genere un caudal de viento suficiente para empezar a tomar mediciones.
10.	Interoperabilidad	Todas las versiones de AwAir subirán datos firebase, en el caso de la red de LoRa el nodo encargado de subir los datos será el Gateway.
13.	Tiempo de desarrollo y entrega	El sensor de aire se realizará en una duración de 10 semanas y su entrega final será el sábado 10 de junio.
14.	Disponibilidad de recursos	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo de 5 personas para desarrollo del proyecto. • Capital de trabajo Xignux. • Componentes electrónicos. • Impresora 3D para prototipado.

15.	Condiciones ambientales	<ul style="list-style-type: none"> • Funcionamiento del sensor en condiciones de operación de -10°C a 60°C. • Funcionamiento de operación de 40-60% de humedad. • Exposición a rayos UV.
17.	Rendimiento energético	Autonomía de la batería de 14 horas de operación.
20.	Facilidad de uso y accesibilidad	Sistema de interfaz intuitivo, que brinda la capacidad de consultar datos al usuario con facilidad, ver a qué red está conectada y si se están subiendo datos.
23.	Condiciones de garantía y soporte técnico	Establece las condiciones y términos relacionados con la garantía del sistema, así como el soporte técnico proporcionado para resolver problemas y brindar asistencia al usuario.
25.	Adaptabilidad y flexibilidad	La línea de productos de AwAir, permite tener acceso al modelo perfecto para cada aplicación, si se cuenta con red WiFi o incluso acceso a la red eléctrica.
28.	Límites de tamaño y peso	El dispositivo no excederá 25 cm por cada lado ni tendrá un peso mayor a 800g.

Análisis medibles o pruebas

1. Requisitos de medición: Verificar la precisión y exactitud de las mediciones realizadas por el sistema en comparación con un estándar de referencia.

2. Fuente de alimentación: Medir y monitorear el consumo de energía del sistema en diferentes condiciones de funcionamiento críticas para evaluar la eficiencia energética. Dichas condiciones serían cuando está transmitiendo a través de LoRa y cuando está la batería por debajo de los 3.8V debido a que el sistema consume mayor corriente para hacer el step up de 3.3V a 5V.

3. Facilidad de uso y accesibilidad: Realizar pruebas de usabilidad con usuarios para evaluar la facilidad de uso, la claridad de las instrucciones y la accesibilidad para diferentes perfiles de usuarios. Lo anterior con la finalidad de validar que el usuario es amigable.

4. Experiencia del usuario y ergonomía: Recopilar comentarios y realizar encuestas con usuarios para evaluar su satisfacción con la experiencia de uso y la comodidad del sistema. Se busca lograr que el usuario pueda usar el dispositivo de forma intuitiva con mínimas instrucciones de funcionamiento.

- **Outcomes sección 8.3.2.**

- a) Specify all required characteristics, attributes, functional and performance requirements, interface requirements, and requirements for qualification, safety and security, human factors engineering, and user documentation for the system.
- b) Specify all constraints that will affect the architecture of the system and the means to realize the system.
- c) Are unique, complete, unambiguous, consistent with all other requirements, implementable, and verifiable.
- d) Are traceable to the stakeholder requirements.
- e) Provide a basis (through analysis or test planning) for verifying that each system requirement can be satisfied.

a) Características y atributos requeridos:

1. Precisión de las mediciones: El sistema debe proporcionar mediciones precisas y confiables de los parámetros de calidad del aire, como PM, VOC, temperatura, humedad, presión, NOx y altitud. Las mediciones serán comparadas con sensores comerciales y sitios web de información climática.

2. Duración de la batería: Las baterías de LiPo deben tener una duración de 12 horas para alimentar el sistema durante un período de tiempo determinado sin interrupciones, mientras que las 12 horas restantes el sistema y la batería estarán alimentadas por paneles solares, en el caso de los dispositivos con integración LoRa.

3. Eficiencia energética: El sistema debe optimizar el consumo de energía para maximizar la vida útil de las baterías y minimizar la carga ambiental. Es por ello que se estarán mandando mediciones cada 15 minutos y por mintras en ese lapso el dispositivo entrará en un modo de reposo.

4. Legibilidad de las pantallas indicadoras OLED: Las pantallas deben ser claras, legibles y mostrar la información de manera comprensible para los usuarios.

5. Conectividad LORA: El módulo de comunicación LORA debe ser capaz de establecer y mantener una conexión confiable con la red de comunicación.

6. Interfaz de usuario intuitiva: La interfaz de usuario del sistema debe ser fácil de usar, con una navegación clara y comprensible para los usuarios finales.

7. Resistencia a condiciones ambientales: El sistema debe ser resistente y capaz de funcionar correctamente en diferentes condiciones ambientales, incluyendo temperaturas extremas, humedad y vibraciones.

8. Cumplimiento de estándares de calidad: El sistema debe cumplir con los estándares y regulaciones aplicables en cuanto a la calidad de las mediciones y los equipos de medición.

9. Cumplimiento de estándares medioambientales: El diseño, la fabricación y los materiales utilizados en el sistema deben cumplir con los estándares medioambientales y promover prácticas sostenibles.

10. Cumplimiento de normativas de seguridad: El sistema debe cumplir con los requisitos de seguridad establecidos para garantizar la protección del usuario y prevenir riesgos.

Requisitos de interfaz:

1. Integración con sistemas existentes: El sistema debe ser compatible e integrable con otros modelos de Awair para facilitar la transferencia de datos y la interoperabilidad.

2. Transmisión de datos a la nube: El sistema debe ser capaz de subir los datos recopilados a la nube de manera segura y confiable.

Requisitos de cualificación, seguridad e ingeniería de factores humanos:

1. Documentación de calificación: Se debe proporcionar documentación que demuestre la cualificación del sistema de acuerdo con los estándares y requisitos aplicables.

2. Cumplimiento de normas de seguridad: El sistema debe cumplir con los estándares y regulaciones de seguridad relevantes para garantizar la protección del usuario y minimizar los riesgos.

3. Ergonomía y facilidad de uso: El diseño del sistema debe tener en cuenta la ergonomía y la facilidad de uso para garantizar una experiencia satisfactoria para los usuarios finales.

4. Documentación del usuario: Se debe proporcionar documentación clara y completa para guiar a los usuarios en la instalación, operación y mantenimiento del sistema.

Planificación de pruebas

1. Alimentación del sistema a través de celdas solares. La prueba consistirá en medir con un multímetro la entrada de voltaje y corriente al sistema proporcionada por los paneles solares. []
2. Comparación de mediciones entre Home Edition & AW1. La prueba consistirá en situar ambos dispositivos en una misma locación y para evaluar si dan los mismos resultados independientemente de su integración electrónica y acoplamiento en el case.
3. Comparación de medición entre home edition y dispositivo comercial. Ir a la localización de un sensor comercial de partículas PM encontrado WAQI para comparar las mediciones.
4. Consumo crítico de sensor AW1. Se mide la corriente del sensor cuando ha bajado el voltaje ya que el inductor requiere de mayor corriente para hacer el step-up.
5. Consumo crítico de la home edition. Se mide la corriente del sistema cuando están activos todos los sensores incluyendo el display OLED.
6. Picos de consumo al transmitir un mensaje a través de LoRa. Se mide el pico de corriente al transmitir un mensaje a través de LoRa, utilizando osciloscopio.
7. Prueba de sensor DHT contra humidificador en términos de temperatura sensada.
8. Prueba de sensor DHT contra humidificador en términos de humedad sensada.
9. Lectura de partículas PM 1.0, PM 2.5 y PM 10.0 en taller de maderas.
10. Funcionamiento de step-up con voltaje mínimo de funcionamiento.
11. Prueba de temperatura de DHT con pistola de calor.

- **Outcomes sección 8.4.2 Incisos a, b, d, e**

- a) The system architecture (i.e., hardware, software, interfaces, and communication) satisfies the system requirements.
- b) The system architecture is realizable.
- c) The system architecture is based on specified selection criteria.
- d) The basis for verifying the system elements is defined.
- e) The basis for integration of the system elements is established.

Requerimientos de sistema	
Requerimiento	Forma de satisfacción
Mantener un rango mínimo de comunicación entre nodos de 300 metros.	Implementación del módulo LORA RA-01, con un alcance en condiciones ideales de 1 km
Que el dispositivo sea capaz de resistir una caída libre de mínimo 55 cm sin presentar fallas	Impresión de prototipos de 4mm de espesor de pared con un porcentaje de infill de 25%
Generar una red de sensores que permita	Implementación del módulo LORA RA-01,

su intercomunicación con al menos tres nodos.	con un alcance en condiciones ideales de 1 km, incluir una topología de red epidémica
Temperatura de -5°C a 55°C. Humedad relativa de 0% a 95%. Presión de 300 a 1100 hPa (-500 a 900 m.s.n.m.)	Implementación de un sensor DHT22 y un bmp280
Medición de partículas suspendidas con diámetros entre 10 μm 0.3 μm , humedad relativa, temperatura, elevación, hora y fecha.	Implementación del sensor PMS5003 y SEN55
Publicación de datos recolectados de los sensores cada 15 minutos	Generación de interrupciones temporales
Precisión en mediciones con rango de tolerancia de humedad relativa de $\pm 2\%$. Temperatura de $\pm 0.3^\circ\text{C}$. Presión de ± 12 Pa. PM de $\pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Implementación de un sensor DHT22 y un bmp280
Requerimientos de hardware	
Requerimiento	Forma de satisfacción
El diseño mecánico debe de tomar en cuenta la funcionalidad de los sensores, el de humedad y calidad del aire deben de funcionar con una eficiencia de arriba de 90% comparado con el sistema no encapsulado.	Se realiza un diseño encapsulado, que previene flujos parásitos y aísla el sistema de medición de polvo y humedad.
El encapsulado del sistema, tendrá una forma de cubo de tamaño no mayor 20 cm por lado.	Se optimiza el espacio al máximo, utilizando componentes SMD, tolerancias óptimas y diseños funcionales para la integración de sensores.
Utilizar componentes SMD para optimizar espacio y recursos.	Diseño y ensamble de pcbs con footprints para componentes SMD
Interfaz gráfica y pantalla OLED para la visualización de las mediciones obtenidas.	Se incluyen pantallas Gc9a01
Poder alimentar el sistema por medio de una celda solar.	Implementación de un arreglo de 3 paneles solares de 5V, colocados en paralelo
Aislar el sistema de control a fenómenos meteorológicos que lo pudieran afectar, tales como humedad. Los sensores se encontrarán fuera de este aislamiento, para sus mediciones confiables.	División de sensores y área de control, aislados térmicamente y de otros fenómenos meteorológicos
Requerimientos de software	

Requerimiento	Forma de satisfacción
Almacenamiento de información recolectada por cada sensor en una base de datos.	Programación de base de datos Fire Base
Interfaz gráfica y pantalla OLED para la visualización de las mediciones obtenidas.	Programación de las distintas pantallas de información
Validación de funcionamiento del sistema con módulos faltantes antes o durante la operación.	Interrupciones por software sin dependencia de el hardware
Generación de módulos que faciliten la integración de sensores.	Programación de clases y librerías de fácil implementación
Implementación de funcionalidades de bajo consumo en los espacios donde sea posible realizarlo.	Implementación de interrupciones sincronicas que despierten y duerman los dispositivos
Utilizar un repositorio de GitHub para realizar el control de versiones del código.	Se generó un repositorio de GitHub, para llevar la integración de todos los modulos por software.

● **Outcomes sección 8.5.2 Incisos a, c, d, e**

- The design characteristics of each system element are defined.
- The design enablers necessary for design definition are selected or defined.
- The interfaces between system elements composing the system are defined or consolidated.
- The system design is established.
- Inputs for requirements of any enabling systems or system elements that serve the design definition activities are identified.
- Any enabling systems or services needed for design definition are available.
- Traceability of the design characteristics to the architectural elements of the system architecture is established.

Índice	Elementos del sistema	Características de Diseño	Interfaces	Entradas para requisitos
1	PMS50003	5V -10°C - 60°C	UART I2C	Concentración de paticulas PM en $\mu g/m^3$. El sistema debe estar aislado de su entrada y salida de particulas. Debe

				deser colocado de forma vertical para utilizar la gravedad a favor y evitar que se almacene polvo, partículas y residuos.
2	Sensor de VOC - SEN55	4.5 V -10°C - 50°C	I2C	Concentración de partículas PM en $\mu g/m^3$. El sistema debe estar aislado de su entrada y salida de partículas. Debe deser colocado de forma vertical para utilizar la gravedad a favor y evitar que se almacene polvo, partículas y residuos.
3	Sensor de temperatura DHT	0 a 50 °C con precisión de ± 2.0 °C. Los ciclos de lectura debe ser como mínimo 1 o 2 segundos.	One Wire Timing Protocol	Integración en pared del case para mayor confiabilidad de lecturas.
4	Sensor de humedad	Rango de humedad de 20% a 90% RH con precisión de 4% RH	One Wire Timing Protocol	Integración en pared del case para mayor confiabilidad de lecturas.
5	Sensor de presión	300-1100 hPa -40°C - 85°C	SPI I2C	Precisión $\pm 1hPa$
7	Baterías de LiPo	4.2 V 2400 mA	-	Descarga a 3.7V Integrado TP5046 para curvas de carga a corriente constante y voltaje constante.

8	Paneles solares	200 mA en el punto máximo de sol	Conexión de paneles en paralelo.	Conexó en paralelo para 5V y 600mA.
9	Pantallas indicadoras OLED	64x128 pixeles 0.96 in	I2C	Legibilidad de iconos y números.
10	Módulo de LORA	Alcance de transmisión, velocidad de transferencia de datos, seguridad	Interfaz de comunicación con otros dispositivos LORA	Requisitos de alcance de transmisión establecidos, velocidad de transferencia de datos requerida, requisitos de seguridad
11	Sistema de almacenamiento en la nube	Capacidad de almacenamiento, seguridad, disponibilidad	Interfaz de conexión y transferencia de datos con el servicio en la nube	Requisitos de capacidad de almacenamiento o establecidos, requisitos de seguridad y privacidad, requisitos de disponibilidad
12	Carcasa y protección	Resistencia al agua, durabilidad, protección contra impactos	Interfaz física de protección y seguridad del sistema	Requisitos de resistencia al agua especificados, requisitos de durabilidad, requisitos de protección contra impactos
13	Interfaz de usuario	Facilidad de uso, navegación intuitiva, retroalimentación visual	Interfaz de interacción entre el usuario y el sistema	Requisitos de facilidad de uso establecidos, requisitos de navegación intuitiva, requisitos de retroalimentación visual
14	Software de control	Funcionalidad, estabilidad, capacidad de actualización	Interfaz de comunicación con los diferentes elementos del sistema	Requisitos de funcionalidad establecidos, requisitos de estabilidad, requisitos de capacidad de actualización

15	Sistema de comunicación	Protocolos de comunicación, compatibilidad con otros sistemas	Interfaces de comunicación con otros dispositivos o sistemas externos	Requisitos de protocolos de comunicación establecidos, requisitos de compatibilidad con otros sistemas
16	Sistema de gestión de energía	Eficiencia energética, gestión de carga, supervisión de baterías	Interfaz de conexión y control de las baterías y paneles solares	Requisitos de eficiencia energética establecidos, requisitos de gestión de carga, requisitos de supervisión de baterías
17	Sistema de carga de batería de LiPo (TP4056)	Corriente de carga, voltaje de carga, protección contra sobrecarga	Interfaz de conexión y carga de las baterías LiPo	Carga 4.2 V de una batería lipo de 1 celda.
18	Sistema de seguridad	Protección de datos, autenticación, control de acceso	Interfaces de comunicación y control de seguridad con otros componentes	Requisitos de protección de datos, requisitos de autenticación, requisitos de control de acceso
19	Sistema de calibración	Procedimientos de calibración, precisión de calibración, frecuencia de calibración	Interfaz de calibración y ajuste con los sensores y otros elementos del sistema	Requisitos de procedimientos de calibración, requisitos de precisión de calibración, requisitos de frecuencia de calibración

-
- **Outcomes sección 8.8.2 Incisos b, c, d, f, g**

- a) The system elements as described by the architecture definition, design definition and implementation are integrated correctly.
- b) The integrated system meets the system requirements.
- c) The system integration strategy is consistent with the system architecture.
- d) The integration test plan and procedures are traceable to the system architecture.
- e) The unavoidable constraints of integration that influence requirements are addressed correctly.
- f) The integration of human performance into systems and their operation is correct.
- g) Nonconformances due to integration actions are recorded and addressed.

Requisito del sistema	Descripción	Cómo satisface	Estrategia de Integración consistente con la Arquitectura del Sistema
Medición de PM2.5, PM1.0 y PM10	El sistema debe ser capaz de medir las concentraciones de partículas PM2.5, PM1.0 y PM10 en el aire.	El sistema utiliza sensores específicos de partículas, como el PMS5003 o el SEN55, que se basan en tecnología de detección láser para medir las concentraciones de partículas suspendidas en el aire. Estos sensores tienen una precisión de $\pm 10\%$ y están calibrados según los estándares establecidos por organismos reconocidos, como la EPA y la OMS. La comunicación con los sensores se realiza a través de protocolos de comunicación serial, como UART o I2C, y se utilizan bibliotecas y controladores específicos para la adquisición de datos. Además, se implementan algoritmos de compensación de temperatura y humedad para mejorar la precisión de las mediciones.	La arquitectura del sistema se basa en un enfoque modular, donde los sensores de partículas están conectados directamente a la PCB principal a través de interfaces estándar. Los datos de los sensores se adquieren y procesan en la PCB principal antes de ser transmitidos al módulo de comunicación inalámbrica. Esta estrategia de integración asegura una comunicación eficiente y confiable entre los sensores y el sistema central.
Medición de presión atmosférica	El sistema debe ser capaz de medir la presión atmosférica.	El sistema utiliza un sensor BMP280 o para medir la presión atmosférica. Estos sensores están calibrados y ofrecen una precisión de ± 1 hPa en la medición de la	La arquitectura del sistema incluye una interfaz dedicada en la PCB principal para conectar el sensor de presión atmosférica. El diseño de la PCB se realiza de manera

		<p>presión. La comunicación con el sensor se realiza a través de protocolos de comunicación serial, como I2C o SPI, y se utilizan bibliotecas y controladores específicos para la adquisición de datos. Además, se implementan algoritmos de filtrado y compensación de temperatura para mejorar la precisión de las mediciones. Se realizan pruebas de verificación utilizando una referencia externa para validar la exactitud de las mediciones.</p>	<p>que el sensor se conecte directamente a través de interfaces estándar y se integre en el flujo de datos del sistema. Esto asegura una adquisición precisa y confiable de los datos de presión atmosférica y una comunicación eficiente con el sistema central.</p>
Medición de humedad y temperatura	El sistema debe ser capaz de medir la humedad y temperatura ambiente.	<p>El sistema utiliza un sensor DHT22 para medir la humedad y temperatura ambiente. Estos sensores utilizan un termistor y un sensor capacitivo de humedad para realizar las mediciones. La comunicación con el sensor se realiza a través de protocolos de comunicación, como OneWire o I2C, y se utilizan bibliotecas y controladores específicos para la adquisición de datos. Se implementan algoritmos de calibración y compensación de temperatura para garantizar mediciones precisas y estables. Se realizan pruebas de verificación utilizando una referencia externa para validar la exactitud de las mediciones.</p>	<p>El sensor de humedad y temperatura se integra en la PCB principal a través de interfaces estándar, lo que permite una conexión directa y una adquisición de datos eficiente. La arquitectura del sistema garantiza una comunicación continua y confiable entre el sensor y el sistema central, lo que permite una monitorización precisa de la humedad y temperatura ambiente en tiempo real.</p>
Comunicación inalámbrica	El sistema debe ser capaz de enviar los datos recopilados de forma inalámbrica a una plataforma de almacenamiento en la nube.	<p>El sistema se basa en un módulo de comunicación inalámbrica, como LoRa o Wi-Fi, para transmitir los datos recopilados de manera inalámbrica. Se utiliza un protocolo de comunicación seguro y eficiente para garantizar una transmisión</p>	<p>La arquitectura del sistema incluye una sección dedicada para la integración del módulo de comunicación inalámbrica. Se establece una conexión directa entre la PCB principal y el módulo, lo que permite una transmisión de datos eficiente</p>

		<p>confiable de los datos a una plataforma de almacenamiento en la nube. Se establece una conexión segura utilizando mecanismos de autenticación y encriptación para proteger la confidencialidad e integridad de los datos transmitidos. Se realizan pruebas de verificación para garantizar una conexión estable y una transmisión de datos sin errores.</p>	<p>y confiable. La arquitectura del sistema también garantiza la compatibilidad y la coherencia entre los protocolos de comunicación utilizados en el módulo y en la plataforma de almacenamiento en la nube, asegurando una integración sin problemas en el sistema.</p>
Alimentación sostenible	<p>El sistema debe ser alimentado mediante una batería de LiPo cargada con paneles solares y/o cables micro USB.</p>	<p>El sistema incorpora un circuito de carga y gestión de energía que permite la carga de una batería de LiPo mediante paneles solares y/o cables micro USB. Se utilizan paneles solares de alta eficiencia para capturar y almacenar energía solar. El circuito de gestión de energía garantiza una carga segura y eficiente de la batería, protegiéndola contra sobrecargas, descargas excesivas y cortocircuitos. Se implementan algoritmos de gestión de energía para optimizar el consumo y prolongar la vida útil de la batería. Se realizan pruebas de verificación para garantizar un funcionamiento adecuado del sistema de alimentación sostenible.</p>	<p>La arquitectura del sistema se diseña teniendo en cuenta los componentes de alimentación sostenible, como la batería de LiPo y los paneles solares. Se integran de manera eficiente en el diseño de la PCB principal y se establecen conexiones directas para garantizar un suministro de energía confiable y estable. La estrategia de integración del sistema asegura una distribución adecuada de la energía y una gestión eficiente del consumo, asegurando un funcionamiento continuo y sostenible del sistema.</p>
Almacenamiento de datos en tiempo real	<p>El sistema debe almacenar los datos recopilados en una base de datos en tiempo real.</p>	<p>El sistema utiliza una plataforma de almacenamiento en la nube, como Firebase o AWS IoT, para almacenar los datos recopilados en tiempo real. Se establece una conexión segura con la plataforma de almacenamiento utilizando protocolos de comunicación seguros, como HTTPS o MQTT, para garantizar la confidencialidad y la integridad de los datos</p>	<p>La arquitectura del sistema se adapta a la plataforma de almacenamiento en la nube seleccionada, asegurando una integración coherente y eficiente. Se establecen conexiones directas y seguras entre la PCB principal y la plataforma de almacenamiento en la nube, lo que garantiza una transferencia de datos confiable y una sincronización en tiempo</p>

		transmitidos. Se utilizan bibliotecas y controladores específicos para la integración con la plataforma de almacenamiento en la nube. Se realizan pruebas de verificación para garantizar una conexión estable y una transmisión de datos sin errores.	real. La estrategia de integración del sistema asegura que los datos recopilados se almacenen de manera efectiva y segura en la base de datos en tiempo real, permitiendo un acceso y análisis oportunos de los datos.
Visualización de datos en un dashboard	El sistema debe proporcionar un dashboard que permita visualizar y analizar los datos recopilados.	El sistema utiliza tecnologías web, como HTML, CSS y JavaScript, para desarrollar un dashboard interactivo y personalizable. Se emplean frameworks y librerías modernas, como React o Angular, para facilitar el desarrollo y mejorar la experiencia de usuario. El dashboard muestra gráficos, tablas y estadísticas relevantes para el monitoreo de la calidad del aire, utilizando técnicas de visualización de datos para proporcionar una representación clara y comprensible de la información. Se implementa una interfaz de usuario intuitiva y amigable que permite la navegación fácil y la personalización de la visualización de los datos. Se realizan pruebas de verificación para garantizar un funcionamiento adecuado y una respuesta rápida del dashboard.	La arquitectura del sistema se diseña teniendo en cuenta la necesidad de un dashboard interactivo y personalizable. Se establece una conexión entre la PCB principal y el dashboard, lo que permite una transmisión eficiente de los datos y una visualización en tiempo real. La estrategia de integración del sistema garantiza la coherencia entre las tecnologías web utilizadas en el dashboard y los protocolos de comunicación del sistema, asegurando una representación precisa y actualizada de los datos en el dashboard.
Pantalla OLED	El sistema debe contar con una pantalla OLED para mostrar información relevante.	El sistema incorpora una pantalla OLED de alta resolución y calidad para mostrar información en tiempo real. Se utiliza un controlador y bibliotecas específicas para la comunicación y control de la pantalla OLED. Se implementan algoritmos de actualización eficiente para mostrar los datos de manera	La arquitectura del sistema incluye una conexión directa entre la PCB principal y la pantalla OLED. Se establece una comunicación eficiente y confiable entre ambos componentes, lo que permite la actualización y visualización de los datos en tiempo real. La estrategia de integración del sistema asegura una presentación

		<p>rápida y precisa en la pantalla. La interfaz de usuario permite la configuración y personalización de la información mostrada en la pantalla OLED. Se realizan pruebas de verificación para garantizar un funcionamiento adecuado de la pantalla OLED.</p>	<p>clara y legible de la información en la pantalla OLED, mejorando la usabilidad y la experiencia del usuario.</p>
--	--	---	---

Aspecto de Integración	Descripción	Procedimiento	Resultados esperados
Integración de la Capacidad Humana	Garantizar que la capacidad y el rendimiento humanos se integren adecuadamente en el sistema y su operación.	<p>1. Realizar análisis de tareas para identificar las habilidades y conocimientos requeridos por los operadores del sistema. 2. Diseñar interfaces y controles que sean intuitivos y fáciles de usar, teniendo en cuenta las capacidades y limitaciones humanas. 3. Realizar pruebas de usabilidad para evaluar la facilidad de uso y la eficiencia de las interfaces y controles. 4. Realizar entrenamiento y capacitación adecuados para los operadores del sistema.</p>	<p>Los operadores pueden utilizar el sistema de manera efectiva y eficiente, sin dificultades ni errores significativos. Las interfaces y controles son intuitivos y se adaptan a las capacidades y limitaciones humanas. Los operadores reciben el entrenamiento y la capacitación necesarios para utilizar el sistema de manera segura y eficaz.</p>
Integración de la Seguridad Humana	Asegurar que la seguridad humana esté integrada en el sistema y su operación.	<p>1. Identificar y evaluar los posibles riesgos y peligros asociados con la operación del sistema. 2. Diseñar salvaguardias y mecanismos de seguridad para prevenir accidentes y minimizar los riesgos para los</p>	<p>Los riesgos y peligros asociados con la operación del sistema se minimizan y se manejan de manera efectiva. Las salvaguardias y los mecanismos de seguridad son efectivos para prevenir accidentes</p>

		operadores y otras personas involucradas. 3. Realizar pruebas de seguridad para evaluar la efectividad de las salvaguardias y los mecanismos de seguridad. 4. Implementar procedimientos de seguridad y protocolos de respuesta a emergencias.	y proteger la seguridad de los operadores y otras personas involucradas. Los procedimientos de seguridad y los protocolos de respuesta a emergencias se implementan correctamente.
Integración de la Ergonomía	Asegurar que los aspectos ergonómicos se tengan en cuenta en el diseño y operación del sistema.	1. Realizar evaluaciones ergonómicas para identificar los factores ergonómicos relevantes, como posturas, movimientos, fuerzas y cargas físicas. 2. Diseñar estaciones de trabajo y equipos que sean cómodos y seguros para los operadores. 3. Realizar pruebas de ergonomía para evaluar la comodidad y eficiencia de las estaciones de trabajo y los equipos. 4. Implementar medidas correctivas para abordar cualquier problema ergonómico identificado.	Los operadores pueden realizar sus tareas de manera cómoda y segura, sin riesgo de lesiones o fatiga excesiva. Las estaciones de trabajo y los equipos están diseñados teniendo en cuenta los principios ergonómicos y son cómodos de usar. Se implementan medidas correctivas para abordar cualquier problema ergonómico identificado.

Aspecto de integración	No conformidad	Descripción	Acción Correctiva
Integración de Sensores	Fallo de calibración	Los sensores de calidad de aire no están correctamente calibrados, lo que puede	Realizar una calibración adecuada de los sensores de acuerdo con los estándares y protocolos

		resultar en mediciones inexactas y poco confiables.	establecidos. Verificar y ajustar los valores de calibración regularmente para garantizar mediciones precisas.
Integración de Comunicación	Pérdida de datos	La comunicación inalámbrica a través del módulo LoRa presenta problemas de pérdida de datos, lo que resulta en datos incompletos o erróneos transmitidos al servidor.	Realizar pruebas exhaustivas de transmisión de datos utilizando diferentes condiciones de señal y distancia. Identificar y solucionar las causas subyacentes de la pérdida de datos, como interferencias o configuraciones incorrectas. Implementar mecanismos de verificación de integridad de datos para detectar y corregir errores de transmisión.
Integración de Alimentación	Ineficiencia en la carga de la batería	El sistema de carga de la batería de LiPo a través de paneles solares o cables micro USB no está proporcionando una carga eficiente, lo que resulta en una vida útil reducida de la batería.	Realizar pruebas de carga de la batería bajo diferentes condiciones de luz solar y corriente de entrada. Optimizar la configuración y la eficiencia del sistema de carga para garantizar una carga óptima de la

			batería. Revisar y mejorar la gestión de energía para reducir el consumo de energía y prolongar la duración de la batería.
Integración de Plataforma de Datos	Falla en la transmisión de datos a Firebase y el Dashboard	Los datos recolectados por los sensores no se están enviando correctamente a Firebase y al Dashboard, lo que impide el monitoreo y análisis adecuados.	Verificar la configuración y la conectividad del módulo de comunicación con Firebase y el Dashboard. Realizar pruebas exhaustivas de transmisión de datos y asegurar que los datos se envíen correctamente y estén disponibles en tiempo real. Identificar y solucionar cualquier problema de compatibilidad o configuración que esté afectando la transmisión de datos.
Integración de la Pantalla OLED	Fallo en la visualización de datos	La pantalla OLED no muestra los datos correctamente o presenta problemas de legibilidad, lo que dificulta la interpretación	Verificar la conexión y la configuración de la pantalla OLED con la PCB principal. Realizar pruebas de visualización de datos en diferentes condiciones de

		de los resultados.	iluminación y temperatura. Asegurarse de que los datos se muestren claramente y sean legibles en la pantalla OLED. Realizar ajustes de diseño o hardware si es necesario para mejorar la visualización.
--	--	--------------------	---

- **Outcomes sección 8.9.2 Incisos c y d**

- c) The system and each of its components are evaluated for requirements satisfaction based on assigned integrity levels.
- d) Objective evidence is developed to determine whether the system and each of its components conform to requirements and satisfy all the criteria for each successive life cycle activity.

Nivel 0: Nula, cuando cada funcionalidad actúa por su cuenta independiente de lo que esté sucediendo en el resto del sistema.

Nivel 1: Combinación, cuando las funcionalidades coexisten y se relacionan pero no existe ninguna dependencia entre ellas.

Nivel 2: Parcial, cuando las funcionalidades coexisten y son variables con respecto al ambiente definido por algún otro integrante del sistema.

Nivel 3: Completa, cuando la funcionalidad de un integrante del sistema depende en su totalidad de la funcionalidad de algún otro integrante o cuando no es necesario evaluar cada componente por separado.

Requerimientos de sistema		
Requerimiento	Nivel de integración del requisito al momento de evaluar	Forma de evaluación
Mantener un rango mínimo de comunicación entre nodos de 300 metros.	Nivel 0: Se evalúa la comunicación aislada del resto del sistema.	Lograr comunicación de dos bytes entre dos dispositivos en diferentes ambientes, tomando como obstáculos, árboles, edificios, etc.

	Nivel 1: Se evalúa la comunicación integrada con los demás sensores.	Lograr comunicación de dos bytes entre dos dispositivos en diferentes ambientes, tomando como obstáculos, árboles, edificios, etc. Mientras senza los factores meteorológicos de forma exitosa.
	Nivel 2: Se evalúa la comunicación integrada con la importación de datos en la nube.	Lograr comunicación de dos bytes entre dos dispositivos en diferentes ambientes, tomando como obstáculos, árboles, edificios, etc. Mientras senza los factores meteorológicos de forma exitosa y sube la información comunicada a la nube de Firebase.
Que el dispositivo sea capaz de resistir una caída libre de mínimo 55 cm sin presentar fallas	Nivel 0: Se evalúa el encapsulado como sistema aislado.	Dejar caer al piso (concreto) el dispositivo desde una altura de 55 cm, evaluando visualmente si el artefacto sufre alguna fractura mayor a 1 mm.
	Nivel 1: Se evalúa el encapsulado con los componentes integrados.	Dejar caer al piso (concreto) el dispositivo desde una altura de 55 cm, evaluando basado en testeo que la funcionalidad de los sensores y el sistema embebido no cambie
Generar una red de sensores que permita su intercomunicación con al menos tres nodos.	Nivel 0: Se evalúa la comunicación aislada del resto del sistema.	Posicionar 3 dispositivos con una distancia entre nodos de 300 metros, en donde uno de ellos únicamente servirá como envío de datos, mientras que el del centro funcionará como repetidor hacia el último nodo. Se evaluará si el mensaje del dispositivo configurado como "sender" llega al último dispositivo de la red.
	Nivel 1: Se evalúa la comunicación integrada con los demás sensores.	El mismo proceso pero el mensaje del dispositivo configurado como "sender" se construye con la información sensada por el sistema.
	Nivel 2: Se evalúa la comunicación integrada con la importación de datos en la nube.	El mismo proceso pero el mensaje del dispositivo configurado como "sender" construido con la información sensada por el sistema debe de subirse a la nube en Firebase.
El sistema funciona bajo los siguientes rangos: Temperatura de -5°C a 55°C. Humedad relativa de 0% a 95%. Presión de 300 a 1100 hPa (-500 a 900 m.s.n.m.)	Nivel 3: Nada más es necesario hacer la evaluación con el sistema completamente integrado.	Se somete el dispositivo a pruebas extremas de temperatura, para evaluar la humedad se somete el dispositivo a un dispositivo humidificador. Para evaluar la presión, se hace los cálculos para transformar la presión a altura y

		comparamos ese dato con la altura del gps
Medición de partículas suspendidas con diámetros entre 10 μm 0.3 μm , humedad relativa, temperatura, elevación, hora y fecha.	Nivel 0: Se miden los datos de forma individual como cada subsistema aislado y se comparan con mediciones meteorológicas de otras fuentes, tanto oficiales como de teléfonos inteligentes.	Se procede a hacer una prueba de campo. Se lleva el dispositivo a un sensor meteorológico comercial y se comprueba sus medidas
	Nivel 1: Se miden los datos de forma individual como un sistema integrado y se comparan con mediciones meteorológicas de otras fuentes, tanto oficiales como de teléfonos inteligentes.	
Publicación de datos recolectados de los sensores cada 15 minutos	Nivel 3: Se integra todo el sistema para hacer la publicación de datos recolectados.	Se comprueba el tiempo de recolección de datos con un cronómetro y se compara la constancia en tiempos de las mediciones a largo de un día.
Precisión en mediciones con rango de tolerancia de humedad relativa de $\pm 2\%$. Temperatura de $\pm 0.3^\circ\text{C}$. Presión de $\pm 12 \text{ Pa}$. PM de $\pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Nivel 0: Se miden los datos de forma individual como cada subsistema aislado y se comparan con mediciones meteorológicas de otras fuentes, tanto oficiales como de teléfonos inteligentes.	<ul style="list-style-type: none"> Se testea el dispositivo con una fuente de calor variable. Se utiliza un humidificador para testear el DHT y BMP280.
	Nivel 1: Se miden los datos de forma individual como un sistema integrado y se comparan con mediciones meteorológicas de otras fuentes, tanto oficiales como de teléfonos inteligentes.	

● Outcomes sección 8.11.2 Incisos c y d

- c) The system and each of its components are evaluated for satisfaction of allocated system requirements and of intended use and user needs based on assigned integrity levels.

Cada de los componentes que integran los

- d) Objective evidence is developed to determine whether the system and each of its components satisfy all allocated system requirements and meet intended use and user needs.

Los objetivos principales del proyecto de acuerdo a las necesidades del usuario y los diferentes requerimientos que se tenían planeado integrar en el proyecto al inicio, se plantean de acuerdo a los componentes que componen el sistema.

En el área mecánica, se cuenta con 3 distintos modelos que se realizaron en impresión 3D, el principal objetivo de cada una de las carcasas es proteger los componentes electrónicos del ambiente a los que podrían estar expuestos, además de que permiten tener una buena interacción con el usuario a quien va destinado el producto. De acuerdo con un estudio de mercado para dispositivos electrónicos de hogar, las principales necesidades son que los dispositivos sean fáciles de utilizar, compactos y con un buen diseño.

Los principales componentes que integran cada uno de los dispositivos, se encuentran ubicados dentro del área de electrónica. Se cuenta con un sistema de carga de la batería

que permite mantener cargada la batería con una fuente de alimentación externa, como lo es un panel solar. Tener una batería en alguno de los dispositivos, le permite a los usuarios poder mover su dispositivo a cualquier parte, de acuerdo a sus necesidades.

- **Outcomes sección 9.1.2 Inciso a**

- a) System requirements have been allocated to software (primary focus on software with consideration of interactions with hardware and user allocations).
-

- **Outcomes sección 9.2.2 Todos los incisos**

- a) The software requirements are correct.
- b) The software requirements are complete.
- c) The software requirements are accurate.
- d) The software requirements are testable.
- e) The software requirements are consistent with the system software requirements.

Requerimiento	Descripción	Prueba
R1	El software debe recopilar datos del sensor PMS5003 y sen55 a través del protocolo de comunicación I2C y UART.	Verificar que se reciben datos válidos del sensor PMS5003 mediante pruebas de lectura y validación de los datos recopilados.
R2	El software debe recopilar datos del sensor DHT22 a través del protocolo de comunicación One wire..	Realizar pruebas de lectura del sensor DHT22 para verificar que se obtienen datos precisos de temperatura y humedad.
R3	El software debe recopilar datos del sensor BMP280 a través del protocolo de comunicación I2C..	Realizar pruebas de lectura del sensor BMP280 para verificar que se obtienen datos precisos de presión atmosférica y temperatura.
R4	El software debe enviar datos meteorológicos a través de Wi-Fi.	Realizar pruebas de conexión y transferencia de datos a través de Wi-Fi para verificar que se envían correctamente los datos

		meteorológicos.
R5	El software debe procesar y analizar los datos meteorológicos.	Verificar la precisión y la corrección de los cálculos y análisis realizados por el software mediante pruebas de comparación con fuentes de datos confiables.
R6	El software debe tener un mecanismo de almacenamiento local de datos.	Realizar pruebas de almacenamiento y recuperación de datos locales para verificar que el software guarda y recupera correctamente los datos meteorológicos.
R7	El software debe tener un sistema de manejo de errores y excepciones.	Realizar pruebas de escenarios de error y excepción para verificar que el software detecta, registra y maneja adecuadamente los problemas durante la ejecución.
R8	El software debe tener una interfaz de configuración y ajustes.	Verificar que la interfaz de configuración permite establecer correctamente los parámetros necesarios, como intervalos de muestreo, opciones de transmisión, ajustes de red, etc.
R9	El software debe tener una interfaz de usuario intuitiva.	Realizar pruebas de usabilidad y navegación en la interfaz de usuario para verificar que es intuitiva y fácil de usar para los usuarios.
R10	El software debe ser compatible con diferentes plataformas y sistemas operativos.	Realizar pruebas de compatibilidad en diferentes plataformas y sistemas operativos para verificar que el software se ejecuta correctamente en cada uno de ellos.
R11	El software debe tener un código bien estructurado y documentado.	Realizar pruebas de revisión de código y documentación para verificar que el código está bien estructurado y la documentación es completa

		y clara.
R12	El software debe tener un tiempo de respuesta máximo de 10 minutos para recopilar y enviar datos meteorológicos.	Realizar pruebas de tiempo de respuesta para asegurar que el software cumple con el límite establecido de X segundos para recopilar y enviar los datos meteorológicos.
R13	El software debe ser capaz de manejar una cantidad mínima de 47 bites por segundo en tiempo real.	Realizar pruebas de carga para verificar que el software puede procesar y manejar al menos X datos por segundo en tiempo real sin comprometer su funcionamiento.
R14	El software debe ser capaz de operar de manera continua sin fallas durante un periodo de tiempo mínimo de 12 horas.	Realizar pruebas de resistencia para verificar que el software puede operar sin interrupciones durante un período mínimo de X horas.
R15	El software debe consumir una cantidad máxima de X recursos (memoria, CPU, etc.) para su correcto funcionamiento.	Realizar pruebas de consumo de recursos para asegurar que el software no excede los límites establecidos de X recursos para un funcionamiento adecuado.

- **Outcomes sección 9.3.2 Inciso a**

- a) The software design is correct, accurate, and a complete transformation of the software requirements.

El diseño de software varía dependiendo del sistema. Existe un diseño para lo que se categorizó como “Nodo”, que funciona como sistema sensorial y distribuidora de información vía LoRa y un sistema para lo que se categorizó como “Gateway”, que es el receptor de información y la comunicación con la nube.

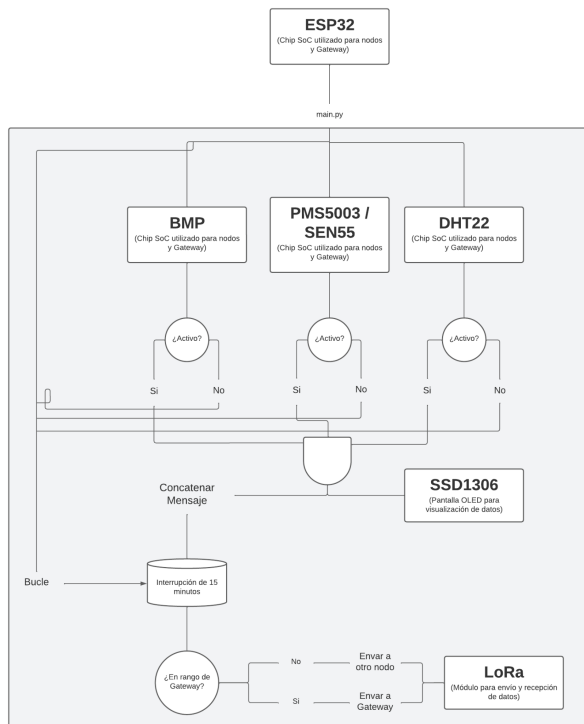


Figura 7. Diseño de nodo.

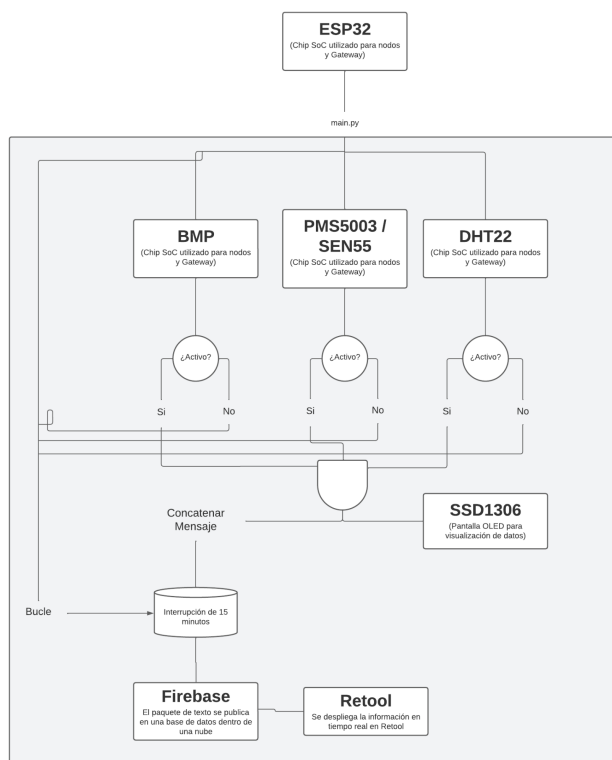


Figura 8. Diseño de gateway.

-
- **Outcomes sección 9.5.2**

9.5.2 Outcomes

As a result of the successful implementation of the Software Integration V&V process, objective evidence is developed to assess whether the software requirements and system requirements allocated to software are validated as each software component (e.g., unit or module) is incrementally integrated.

- **Outcomes sección 9.8.2 Incisos c y d**

9.8.2 Outcomes

As a result of successful implementation of the Software Verification process:

- a) A Verification and Validation Plan is developed and implemented.
 - b) The system of interest (software) and all components of the system of interest are assigned integrity levels that are reevaluated throughout the life cycle of the system.
 - c) The software and each of its components are evaluated for requirements satisfaction based on assigned integrity levels.
 - d) Objective evidence is developed to determine whether the software and each of its components conform to requirements and satisfy all the criteria for each successive life cycle activity.
-

- **Outcomes sección 10.1.2 Inciso a**

10.1.2 Outcomes

As a result of the successful implementation of the Hardware Concept V&V process, objective evidence is developed to assess whether:

- a) System requirements allocated to hardware components are addressed.

Índice	Requerimiento del Sistema	Subsistema
1	Recopilar datos meteorológicos de partículas en suspensión	Sensores de Partículas
2	Recopilar datos de temperatura y humedad ambiental	Sensores de Temperatura y Humedad
3	Recopilar datos de presión atmosférica	Sensor de Presión y

	y temperatura barométrica	Temperatura
4	Comunicación Wi-Fi y transferencia de datos	Módulo de Comunicación Wi-Fi
5	Generación de energía eléctrica	Paneles Solares
6	Carga y gestión de energía de las baterías	Cargador de Baterías
7	Comunicación con sensores y dispositivos periféricos	Protocolos de Comunicación (I2C, UART, SPI, OneWire)
8	Rendimiento de hardware	Recursos de Hardware
9	Protección contra sobretensiones y cortocircuitos	Mecanismos de Protección
10	Instalación y mantenimiento fácil	Diseño de Hardware
11	Almacenamiento seguro y confiable	Módulo de Almacenamiento de Datos
12	Interfaz de usuario intuitiva	Software de Interfaz de Usuario
13	Resistencia a condiciones ambientales adversas	Diseño de Hardware
14	Generación de alertas	Software de Alertas
15	Expansión y conexión de nuevos dispositivos	Conexión de Dispositivos Adicionales
16	Cumplimiento de normas de seguridad eléctrica y ambiental	Diseño de Hardware
17	Funcionamiento continuo en caso de interrupciones de energía	Batería de Respaldo

- Outcomes sección 10.2.2 Todos los incisos

- a) The hardware requirements correctly, completely, and accurately satisfy the system requirements allocated to the hardware element.

Requerimientos de Hardware	Descripción
----------------------------	-------------

Módulo de LoRa	<p>El transceptor utilizado (Ra01), nos proporciona un rango de comunicación entre nodos de 350 metros, el cual cumple con los requerimientos que se establecieron al principio del proyecto. Además, el dispositivo trabaja a una radio-frecuencia de 433 Mhz, la cual es libre para trabajar.</p>
Fuente de alimentación	<p>Es de vital importancia mantener una buena autonomía en los dispositivos. Particularmente elegimos una batería de 2600 mAh. En las peores condiciones el dispositivo tiene un consumo de poco más de 300 mA, por lo que se calcula una autonomía promedio de alrededor 8 horas. Asimismo, el dispositivo integrará una serie de paneles solares conectados en serie, para suministrar la mayor cantidad de corriente al sistema. Los paneles solares entregan 600mA, por lo que en días de sol, los paneles alimentan tanto el sistema como la batería, para que esta última pueda alimentar el sistema durante la noche y solo así poder hacer que nuestro dispositivo este funcionando 24 horas los siete días de las semanas.</p>
Diseño de placa impreso (PCB)	<p>Batería de LiPo: La PCB incluirá un conector o un área de soldadura para conectar la batería de LiPo. También se incorporará un circuito de carga que garantice una carga segura y controlada de la batería. Esto puede implicar la inclusión de un circuito de protección de sobrecarga y un regulador de corriente constante para la carga adecuada de la batería.</p> <p>Booster de voltaje: Para aumentar el voltaje de la batería de 3.7V a los 5V requeridos por el microcontrolador ESP32, se incluirá un circuito booster en la PCB. El booster elevará el voltaje de la batería a la tensión deseada y proporcionará una salida de 5V estabilizada y regulada para alimentar el ESP32.</p> <p>Microcontrolador ESP32: En la PCB, se incluirá un espacio y conectores para soldar o insertar el microcontrolador ESP32. Se conectarán los pines correspondientes del ESP32 a las pistas de la PCB para permitir la comunicación y la alimentación adecuada del microcontrolador.</p>

	<p>Sensor barométrico BMP280: El sensor BMP280 se integrará en la PCB y se conectará al ESP32 mediante líneas de comunicación como I2C o SPI. Se asegurará una conexión adecuada entre el sensor y el microcontrolador para permitir la transmisión de datos de presión atmosférica y temperatura.</p> <p>Componentes SMD: Para reducir el tamaño y mejorar la eficiencia de la PCB, se utilizarán componentes electrónicos en montaje superficial (SMD, por sus siglas en inglés). Estos componentes se sueldan directamente en las pistas de cobre de la PCB y ocupan menos espacio que los componentes tradicionales.</p>
Sensores (BMP280, DHT, PMS5003)	<p>Existen requerimientos esenciales que se generaron al inicio del proyecto los cuales son:</p> <p>Rango de medición: El sistema debe ser capaz de medir una amplia gama de contaminantes o parámetros relacionados con la calidad del aire, como partículas suspendidas, dióxido de carbono (CO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), ozono (O₃), monóxido de carbono (CO), entre otros. El rango de medición debe ser adecuado para cubrir los niveles típicos de contaminación en el entorno en el que se utilizará el sistema.</p> <p>Sensibilidad: Los sensores utilizados en el sistema deben tener una sensibilidad suficiente para detectar niveles bajos de contaminantes y proporcionar mediciones precisas incluso en concentraciones bajas. La sensibilidad del sensor determina la capacidad del sistema para detectar pequeñas variaciones en la calidad del aire.</p> <p>Calibración: Es fundamental que el sistema se calibre correctamente para garantizar la precisión de las mediciones. La calibración implica comparar las lecturas del sensor con mediciones de referencia y ajustar los valores para corregir cualquier desviación o error. Se debe establecer un procedimiento de calibración regular para mantener la precisión de las mediciones a lo largo del tiempo.</p>

	<p>Estabilidad y robustez: El sistema debe ser estable y resistente a condiciones ambientales variables, como cambios de temperatura, humedad y presión. Los sensores y componentes utilizados deben ser capaces de funcionar de manera confiable y precisa a lo largo del tiempo, incluso en entornos desafiantes o adversos.</p> <p>Tiempo de respuesta: El sistema debe tener un tiempo de respuesta adecuado para proporcionar mediciones casi en tiempo real de la calidad del aire. El tiempo de respuesta se refiere al tiempo que tarda el sistema en detectar y reportar cambios en la calidad del aire. Es especialmente importante en aplicaciones en las que la detección temprana de contaminantes es crítica, como en entornos industriales o en la monitorización de la calidad del aire en interiores.</p> <p>Precision: El sistema debe ser capaz de realizar mediciones confiables y exactas de los parametros de la calidad de aire.</p>
Microcontrolador (ESP32)	<p>El tiempo de respuesta es un requerimiento importante para que el ESP32 tenga una lectura rápida para leer y procesar los datos de los sensores. Esto es particularmente relevante en aplicaciones en tiempo real donde la velocidad de muestreo y el procesamiento de datos son críticos, como lo es la medición de la calidad de aire.</p>

b) The hardware requirements, in total, satisfy the system needs.

-
- Outcomes sección 10.3.2 Inciso a y b

Requerimiento de Hardware	Requerimiento del Sistema	Cumple con los requerimientos del sistema
El sensor PMS5003 recopila datos meteorológicos de partículas en suspensión.	El software recopila datos del sensor PMS5003 y realiza análisis de la calidad	Sí

	del aire.	
El sensor DHT22 proporciona mediciones precisas de temperatura y humedad.	El software recopila datos del sensor DHT22 y realiza análisis de la temperatura y humedad ambiental.	Sí
El sensor BMP280 proporciona mediciones precisas de presión atmosférica y temperatura.	El software recopila datos del sensor BMP280 y realiza análisis de la presión atmosférica y temperatura barométrica.	Sí
El ESP32 se encarga de la comunicación Wi-Fi y la transferencia de datos a un dashboard y a Firebase.	El software envía datos meteorológicos a través de Wi-Fi a un dashboard y a Firebase para su visualización y almacenamiento.	Sí
Los paneles solares generan energía eléctrica para el sistema.	El sistema se alimenta de energía solar, lo que garantiza su autonomía y operación continua.	Sí
El cargador de baterías de LiPo carga y gestiona la energía de las baterías.	El sistema cuenta con una fuente de energía de respaldo y se carga correctamente para asegurar su funcionamiento ininterrumpido.	Sí
La comunicación por protocolos I2C, UART, SPI y OneWire permite la interacción con los sensores y otros dispositivos periféricos.	El software se comunica con los sensores y otros dispositivos periféricos utilizando los protocolos I2C, UART, SPI y OneWire de manera confiable y eficiente.	Sí
Los recursos de hardware (memoria, CPU, etc.) cumplen con los requisitos de rendimiento del sistema.	El software está optimizado para utilizar eficientemente los recursos de hardware disponibles y cumple con los requisitos de rendimiento establecidos.	Sí
El sistema cuenta con protección contra sobretensiones y cortocircuitos.	El hardware del sistema incluye protecciones para evitar daños por sobretensiones y cortocircuitos, garantizando su funcionamiento seguro y confiable.	Sí

El diseño del hardware permite una fácil instalación y mantenimiento.	El sistema está diseñado con conectores y componentes que facilitan la instalación y el mantenimiento, minimizando el tiempo y los esfuerzos requeridos.	Sí
El sistema cuenta con un módulo de almacenamiento de datos para la persistencia de la información.	El software almacena los datos meteorológicos de manera segura y confiable para su posterior análisis y consulta.	Sí
El sistema incluye una interfaz de usuario intuitiva y fácil de usar.	El software proporciona una interfaz de usuario amigable que permite a los usuarios interactuar y visualizar los datos meteorológicos de manera sencilla.	Sí
El sistema está diseñado para ser resistente a condiciones ambientales adversas.	El hardware del sistema es capaz de soportar condiciones ambientales extremas, como altas temperaturas, humedad y polvo.	Sí
El sistema cuenta con un mecanismo de alertas para notificar eventos meteorológicos importantes.	El software genera alertas y notificaciones cuando se detectan eventos meteorológicos significativos, como cambios bruscos de temperatura o niveles altos de contaminación del aire.	Sí
El sistema permite la expansión y conexión de nuevos dispositivos y sensores.	El hardware del sistema es compatible con la conexión de dispositivos y sensores adicionales para ampliar la capacidad de monitoreo y análisis.	Sí
El sistema cumple con las normas de seguridad eléctrica y ambiental.	El hardware del sistema ha sido diseñado y fabricado cumpliendo con las normas y regulaciones aplicables en materia de seguridad eléctrica y ambiental.	Sí
El sistema cuenta con una batería de respaldo para garantizar el funcionamiento	El sistema se mantiene operativo utilizando la batería de respaldo cuando	Sí

continuo en caso de interrupciones de energía.	se produce una interrupción en el suministro de energía principal.	
--	--	--

10.3.2 Outcomes

As a result of the successful implementation of the Hardware Design V&V process, objective evidence is developed to assess whether:

- a) Hardware design components satisfy the hardware requirements specification of the hardware element.
- b) The design solution satisfies the system performance, safety, and reliability requirements.

Índice	Componente de Hardware	Función relacionada con los requerimientos	Forma de satisfacer el requerimiento
1	Sensor PMS5003	Recopilar datos meteorológicos de partículas en suspensión	Sensor específico para la medición de partículas en suspensión
2	Sensor DHT22	Recopilar datos de temperatura y humedad ambiental	Proporciona mediciones precisas de temperatura y humedad
3	Sensor BMP280	Recopilar datos de presión atmosférica y temperatura barométrica	Mide la presión atmosférica y la temperatura con alta precisión
4	Módulo ESP32	Comunicación Wi-Fi y transferencia de datos	Incorpora capacidades de comunicación Wi-Fi para transferir datos
5	Paneles solares	Generación de energía eléctrica	Convierte la energía solar en electricidad utilizada por el sistema

6	Cargador de baterías de LiPo	Carga y gestión de energía de las baterías	Proporciona carga segura y gestión eficiente de las baterías
7	Módulo de comunicación LoRa	Comunicación a larga distancia	Permite la transmisión de datos a larga distancia mediante tecnología LoRa
8	Display LCD	Visualización de datos en tiempo real	Muestra los datos meteorológicos en una pantalla LCD
9	Microcontrolador	Control y gestión general del sistema	Controla las operaciones del sistema y gestiona los datos recibidos
10	Buzzer	Generación de alertas sonoras	Emite señales audibles para indicar eventos importantes
11	LED indicador	Indicación visual del estado del sistema	Proporciona retroalimentación visual sobre el estado del sistema
13	Antena	Transmisión y recepción de señales inalámbricas	Permite la comunicación inalámbrica a través de la antena
14	Tarjeta SD	Almacenamiento de datos a largo plazo	Guarda los datos en una tarjeta de memoria SD para un almacenamiento duradero
16	Circuitos de protección (fusibles, diodos)	Protección contra sobretensiones y cortocircuitos	Salvaguarda los componentes del sistema ante posibles daños eléctricos
17	Conectores y cables	Conexiones físicas entre componentes	Permiten la conexión física y el flujo de datos entre los componentes
18	Carcasa o caja	Protección física del sistema contra el entorno	Brinda protección contra elementos ambientales y

			asegura la integridad del sistema
19	Interruptores	Control manual de encendido/apagado	Permite el control manual del sistema
20	Resistencias, capacitores, inductores	Componentes electrónicos para ajuste y estabilización	Ajusta y estabiliza las señales eléctricas en el sistema

- Outcomes sección 10.4.2 Ambos incisos

10.4.2 Outcomes

As a result of the successful implementation of the Hardware Fabrication V&V process, objective evidence is developed to assess whether:

- The final fabrication elements comply with the hardware design.
- Each fabricated hardware component satisfies the overall system performance, safety, and reliability requirements.

- Outcomes sección 10.5.2 Ambos incisos

10.5.2 Outcomes

As a result of the successful implementation of the Hardware Integration V&V process, objective evidence is developed to assess whether:

- Hardware parts conform to the hardware element requirements during the integration process.
- The hardware element satisfies the system requirements.

- Outcomes sección 10.8.2 Incisos c y d

c) Para la implementación de verificación de Hardware se asignan niveles de integridad a los componentes para cumplir satisfactoriamente. Estos niveles evalúan cada subsistema y su integridad con respecto a los demás subsistemas. Si se denomina a la combinación de estos subsistemas como el sistema principal, el sistema principal es un sistema altamente integrado. Para no ser mantener ambigüedad se definieron tres niveles de integración:

Nivel 0: Nula, cuando cada funcionalidad actúa por su cuenta independiente de lo que esté sucediendo en el resto del sistema.

Nivel 1: Combinación, cuando las funcionalidades coexisten y se relacionan pero no existe ninguna dependencia entre ellas.

Nivel 2: Parcial, cuando las funcionalidades coexisten y son variables con respecto al ambiente definido por algún otro integrante del sistema.

Nivel 3: Completa, cuando la funcionalidad de un integrante del sistema depende en su totalidad de la funcionalidad de algún otro integrante.

Cada componente de Hardware se evalúa con base a sus requerimientos en estos niveles de integración.

Subsistemas	Componentes y funcionalidades que integran este subsistema	Nivel
Electrónico de potencia	Reguladores de voltaje integrados, puerto de carga micro usb conectada a una batería Lipo de una celda y un panel solar de tres celdas.	2: Parcial
De control	Microcontrolador ESP-32 WROOM comercial	0: Nulo
Circuito impreso	Placa con solder mask azul, componentes smd	3: Completa
Comunicación por radio frecuencia	Transceptor LoRa, PCB, Microcontrolador	3: Completa
Alimentación	Puerto de carga micro usb conectada a una batería Lipo de una celda y un panel solar de tres celdas.	2: Parcial
Sensores y actuadores	AMS1002, BMP280	1: Combinación
Caja y armazón	3 secciones impresas de alrededor de 7 componentes	3: Completa

Un tipo de integridad se refiere al tema de seguridad. La integridad de la seguridad se mide por el desempeño correcto de las funciones de seguridad que se utilizan para devolver el sistema a un estado de seguridad. Este estado se puede cuantificar utilizando los niveles de integridad de seguridad:

Nivel de integridad de seguridad	Probabilidad de fallo en demanda	Reducción de factor de riesgo
SIL 4	$10^{-5} \geq PdD < 10^{-4}$	100,000 a 10,000
SIL 3	$10^{-4} \geq PdD < 10^{-3}$	10,000 a 1,000
SIL 2	$10^{-3} \geq PdD < 10^{-2}$	1,000 a 100

SIL 1	10-2 \geq PdD < 10-1	100 a 10
-------	------------------------	----------

d) Los requerimientos de hardware establecidos se enlistan en la [primera página del desarrollo del VPP](#) pero se enlistan en la siguiente tabla para desglosar la evidencia a utilizar y el proceso de evaluación.

Requerimiento	Proceso de verificación	Resultados
El diseño mecánico debe de tomar en cuenta la funcionalidad de los sensores, el de humedad y calidad del aire deben de funcionar con una eficiencia de arriba de 90% comparado con el sistema no encapsulado.	Se realizaron mediciones para cada componente de forma individual e integrada. Se compararon los resultados de las mediciones dentro del encapsulado y fuera.	Para las mediciones de altitud, temperatura y presión se obtuvo una R^2 de arriba de 0.9, mientras que las mediciones de partículas finas no alcanzaron el 0.9 pero mantuvieron un R^2 arriba de 0.8. Independientemente de los resultados esperados de las mediciones de partículas finas, se espera hacer una comparación directa con una estación meteorológica próxima.
El encapsulado del sistema, tendrá una forma de cubo de tamaño no mayor 10 cm por lado.	Debido a la limitación de la etapa de prototipado. Las pruebas constan de un diseño digital para asegurar la posibilidad de hacer el sistema así de compacto.	Se logró el objetivo en el diseño y se imprimió para hacer la demostración física. Fue exitosa.
Utilizar componentes SMD para optimizar espacio y recursos.	Se evalúa el correcto funcionamiento del sistema electrónico para cada diseño de PCB. Para asegurar una manufactura correcta se realizaron 5 pruebas para cada diseño de PCB.	Alrededor del 40% de las PCB soldadas a mano en el laboratorio tuvieron problemas con alguno de los componentes. Se cambió la estrategia de producción y se mandaron a imprimir los sistemas eléctricos y hacer la integración de los componentes directamente en china. Se probaron cuatro sistemas con el mismo diseño y proceso de producción y se logró la funcionalidad en su totalidad.
Interfaz gráfica y pantalla OLED para la visualización de las mediciones obtenidas.	Se realizaron pruebas del software aplicadas a la pantalla una vez instalada en el encapsulado y se compararon los resultados con el sistema sin encapsular. Con el objetivo de verificar que las conexiones se mantuvieran seguras a pesar del acomodo de la pantalla.	No se encontró ninguna problemática con la muestra de gráficos de la pantalla.
Poder alimentar el sistema por medio de una celda solar.	En cuestión del Hardware, las pruebas son similares al de la pantalla. Una vez instalados los paneles en el encapsulado se compararon los resultados con el sistema sin encapsular. Con el objetivo de verificar que las conexiones se mantuvieran seguras a pesar del acomodo de los paneles.	No se encontró ninguna problemática con la carga de los paneles.

Anexos

[1] BOM

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1fMCfuJLCSW9MLIyMglF7DY9yqkzmdqW3m4Q-3V-K80k/edit?usp=sharing>

Pruebas

[1] Alimentación del sistema a través de de celdas solares.

<https://drive.google.com/file/d/1KaLcpYmfS6PxPETCeAEahlc5DC8Tc29x/view?usp=sharing>

[2] Comparación de mediciones entre Home Edition & AW1.

https://drive.google.com/file/d/1YqEBICgX9hfrYMTFOFJ_2MwJPvIV-mxR/view?usp=sharing

[3] Comparación de medición entre home edition y dispositivo comercial.

<https://drive.google.com/file/d/1g1Zm12W1ACoUn0KZRas-0kkGS70EWstH/view?usp=sharing>

[4] Consumo critico de sensor AW1.

https://drive.google.com/file/d/1TraVh6NV2jHiQNp2E0dSMk0UEI7v26X_/view?usp=sharing

[5] Consumo critico de home edition.

https://drive.google.com/file/d/130eHy5WGteXJsWpbRsJm823YII214P_G/view?usp=sharing

[6] Picos de consumo al trasmitir un mensaje a través e LoRa.

<https://drive.google.com/file/d/1UVRJJTzs9xjTYqRGIwpQFCFXOD-e4CY/view?usp=sharing>

[7] Prueba de sensor DHT contra humidificador en terminos de temperatura sensada.

<https://drive.google.com/file/d/1mIYmyLjVZ6z2HzAxVhSLlqA5Z3F9KXtY/view?usp=sharing>

[8] Prueba de sensor DHT contra humidificador en terminos de humedad sensada.

<https://drive.google.com/file/d/18mihl8rvioQEXEmsbTC8jl-14xhPxuhj/view?usp=sharing>

[9] Lectura de particulas PM 1.0, PM 2.5 y PM 10.0 en taller de maderas.

https://drive.google.com/file/d/1p8rUH_tVWOOqh9sWisWYpgdvu4wDOxr_/view?usp=sharing

[10] Funcionamiento de step-up con voltaje mínimo de funcionamiento.

<https://drive.google.com/file/d/1DmVo-p-lZDShldXm8IYEbxausoFd6sVx/view?usp=sharing>

[11] Prueba de temperatura de DHT con pistola de calor.

<https://drive.google.com/file/d/1GfyZLqDBmqgkCIYnyTnfSHuhYj6UyPtV/view?usp=sharing>