

# ENTREGABLE PROYECTOS— 2023

**Proyecto de I+D para la definición y desarrollo de un laboratorio de movilidad inteligente distribuido  
“IMOLAB”**

**Entregable: E1.2 Descripción laboratorio AIDIMME iMoLab**

**Número de proyecto: 22200015**

**Expediente: IMAMCC/2021/1**

**Duración: Del 01/03/2022 al 31/10/2023**

**Coordinado en AIDIMME por: LOPEZ CATALUÑA, SERGIO**



# ÍNDICE

<b>ÍNDICE</b> .....	<b>1</b>
<b>TABLA DE ILUSTRACIONES</b> .....	<b>1</b>
<b>A. ACTIVIDADES REALIZADAS</b> .....	<b>3</b>
<b>1. ESTADO DEL ARTE</b> .....	<b>3</b>
<b>USOS DE BALIZAMIENTO MEDIANTE BLE</b> .....	<b>5</b>
<b>2. DESARROLLO DE RED MALLADA (MESH)</b> .....	<b>7</b>
<b>DESARROLLO RED MESH</b> .....	<b>8</b>
<b>SISTEMA DE BALIZAMIENTO BLE / WI-FI</b> .....	<b>11</b>
<b>COMUNICACIÓN ESP-NOW</b> .....	<b>14</b>
<b>COMUNICACIÓN BLE CON EL MASTER</b> .....	<b>15</b>
<b>CÁLCULO DE LA DISTANCIA</b> .....	<b>16</b>
<b>PANTALLA EXTERNA DEL ESP32 MASTER</b> .....	<b>17</b>
<b>3. DESARROLLO DE PCB PARA AMPLIACIÓN DE SENSORES</b> .....	<b>19</b>
<b>DISEÑO DE ESQUEMÁTICO</b> .....	<b>19</b>
<b>DISEÑO DE LA PCB</b> .....	<b>20</b>
<b>4. PRUEBA DEL LABORATORIO IMOLAB</b> .....	<b>21</b>
<b>PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO</b> .....	<b>22</b>
<b>PRUEBA 1</b> .....	<b>22</b>
<b>PRUEBA 2</b> .....	<b>25</b>
<b>5. PRUEBA VEHÍCULO IMOLAB</b> .....	<b>27</b>
<b>6. RESULTADOS Y CONCLUSIONES</b> .....	<b>33</b>
<b>COMO RESULTADOS DEL PROYECTO, SE ENUMERAN LOS SIGUIENTES:</b> .....	<b>34</b>



## TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Nodo .....	8
Ilustración 2 ESP 32 .....	11
Ilustración 3 Diagrama ESP 32 .....	12
Ilustración 4 Pinout.....	12
Ilustración 5 Topología de red utilizada. ....	13
Ilustración 6 Muestra de la dirección de la comunicación ESP-NOW entre los ESP32 ..	14
Ilustración 7 Flujo de eventos entre la comunicación de un ESP32.....	15
Ilustración 10 Pantalla principal .....	17
Ilustración 11 Pantalla secundaria.....	17
Ilustración 12 Pantalla LOG .....	18
Ilustración 18 PCB sensores.....	20
Ilustración 19 PCB en 3 dimensiones .....	20
Ilustración 20 Nodo concentrador (Gateway) + HMI .....	21
Ilustración 21 Nodo móvil .....	21
Ilustración 22 Baliza.....	22
Ilustración 23 Ubicaciones dentro de AIDIMME del concentrador, nodos y zona de movimiento del nodo móvil .....	23
Ilustración 24 Colocación de los nodos para las pruebas.....	23
Ilustración 25 Visualización del dato de la temperatura.....	25
Ilustración 26 Elementos de la prueba móvil .....	27
Ilustración 27 Diagrama de flujo de la prueba móvil .....	28
Ilustración 28 AGV con paquetería.....	29
Ilustración 29 Sistema de visión. ....	30
Ilustración 30 Configuración QR.....	31
Ilustración 31 Configuración de salidas.....	31
Ilustración 33 HMI con distancias.....	32
Ilustración 34 Nodos cercanos .....	32
Ilustración 35 Nodo 868 MHz.....	33
Ilustración 36 Gateway.....	34

## OBJETIVO DEL ENTREGABLE

Este entregable recoge las actividades realizadas durante la ejecución del **PT1 – TAREA 1.2 - Definición, diseño y puesta en marcha de laboratorios IITT iMoLab.**

El objetivo de este paquete de trabajo se centra en el desarrollo de un laboratorio de movilidad realizado en las instalaciones de AIDIMME, que permitirán desarrollar su capacidad en el ámbito de la Movilidad Inteligente y conectada. La principal característica del laboratorio es el despliegue de una red mallada capaz de comunicar en el espectro 868 MHz. Esta red está formada por nodos o balizas preparadas para ubicarse en entornos tanto 'in door' como urbanos. A esta red se le han añadido unos dispositivos 'Plug in' que, mediante comunicaciones BLE y WIFI, son capaces de determinar en tiempo real la posición de un nodo de la red, ya sea fijo o móvil.

Esta red se utiliza para determinar la posición de un elemento móvil, así como conocer el estado de los diferentes periféricos que puedan estar conectados al mismo.

Se pueden monitorizar en tiempo real variables como:

- Posición
- Temperatura
- Humedad
- Aceleración

La idea principal de incorporar estas tecnologías es poder establecer parámetros de geolocalización mediante técnicas alternativas al GPS, que obtengan mayor precisión y que sean capaces de mejorar las prestaciones en dispositivos con movilidad.

Se contará con la participación del grupo Simetría, colaborando esta empresa en el estudio de viabilidad de implantación de resultados. El grupo simetría participará activamente en las pruebas piloto que se llevarán a cabo en la instalación implantada en AIDIMME, colaborando principalmente en el testeo de las diferentes tipologías de red en los nodos de captura de datos para su posterior transferencia de conocimiento.

Se simularán las condiciones de un entorno real para comprobar la robustez del hardware desarrollado y verificar el correcto comportamiento de los diferentes subsistemas que conforman el nodo.

Finalmente, en las instalaciones de AIDIMME se someterán a los nodos y al Gateway a diferentes condiciones existentes sobre vehículos, para verificar que el flujo de información entre nodos es constante y que la información llegue a su destino correctamente. Esta tarea se llevará a cabo, en la parte de testeo, junto con SIMETRIA FIDENTIA, S.L.U.

## A. ACTIVIDADES REALIZADAS

### 1. ESTADO DEL ARTE

Las tecnologías que permiten determinar la localización/ubicación de un ítem (objeto, personas, etc.) en un espacio determinado son muy variadas y cada una de ellas tiene pros/contras según el requerimiento del proyecto preestablecido.

Es muy importante establecer si el objetivo de localización es interior o exterior, también podría darse el caso de requerir ambas al mismo tiempo.

En el caso de ubicación externa tenemos sistemas muy económicos con tecnología GPS (Sistema de Posicionamiento Global) dan una ubicación con márgenes de error que oscilan  $\pm 10$  metros. Si fuese necesario, este error se podría mejorar en entornos abiertos y controlados mediante técnicas GPS diferencial desarrollando los algoritmos correctivos necesarios.

Este tipo de tecnología es muy útil en entornos abiertos, pero poco efectiva o nula en entornos cerrados o cubiertos. Otro inconveniente que hemos detectado es el alto consumo de energía que requieren los equipos, aunque se puede disminuir de manera significativa utilizando equipos y técnicas LP (Low Power) el consumo sigue siendo alto lo que limita la autonomía de los equipos.

Los métodos de ubicación/balizamiento Indoor de un ítem tienen un espectro de tecnologías mucho más amplio, a continuación de enumeran algunas de ellas.

#### 1.- Wi-Fi

Los sistemas de balizamiento/ubicación indoor basados en Wi-Fi son complejos, requieren un desarrollo y configuración con costes elevados que no siempre cubren todos los requerimientos del proyecto.

#### 2.- BLE (Bluetooth de baja energía)

Los sistemas de ubicación/balizamiento mediante tecnología Bluetooth de baja energía (BLE) permiten establecer sistemas de balizamiento/ubicación en interiores de manera fácil y no intrusiva facilitando la instalación e integración de estos en las instalaciones. Las balizas de ubicación Bluetooth son pequeñas, económicas, y tiene una batería de larga duración.

Su funcionamiento se basa en la detección de la baliza de ubicación Bluetooth

mediante las balizas fijas establecidas anteriormente, una vez detectada se calcula la distancia hasta esa baliza permitiendo conocer su ubicación.

Este tipo de tecnología podría combinarse con tecnología Wi-Fi para establecer arquitecturas de ubicación con otras funcionalidades

El uso más extendido de este tipo de tecnología ha sido en Marketing, mediante los denominado Beacons, aunque las posibilidades de la misma se extienden a otros muchos ámbitos donde puede aportar valor. Cada dispositivo BLE podría disponer de sensórica como temperatura, humedad, acelerómetro, etc...

### 3.- RFID activo

La tecnología RFID activo utiliza tags (etiquetas) RFID que tienen una fuente de energía interna, como una batería, que les permite transmitir datos de forma activa a un lector RFID. A diferencia de la tecnología RFID pasiva, que depende de la energía proporcionada por el lector RFID, los tags RFID activos tienen su propia fuente de energía y pueden transmitir señales a distancias mayores y en entornos más desafiantes.

Mediante este tipo de tecnología se pueden realizar sistemas de ubicación/balizamiento colocando los tags de manera estratégica en aquellas zonas/perímetro que deseamos controlar.

Es importante tener en cuenta que, debido a la necesidad de una fuente de energía interna, los tags RFID activos son generalmente más grandes y costosos que los tags pasivos.

### 4.- RFID pasivo

En la tecnología RFID pasivo vamos a diferenciar entre RFID pasivo y NFC.

4.1.- RFID pasivo: Mediante el uso de etiquetas RFID UHF se pueden establecer sistema de ubicación, aunque conllevan cierta complejidad en cuanto la discriminación de ítem repetidos y direccionalidad de las antenas.

4.2.- NFC: La tecnología NFC permite establecer sistemas de ubicación precisos no desasistidos donde será necesaria la intervención del usuario, bien mediante un lector NFC portátil o su smartphone (con capacidad NFC).

Este tipo de tecnología utiliza chips pequeños que no necesitan una fuente de alimentación. Los lectores NFC o smartphones detectan el chip, y si el dispositivo está

dentro 30 cm del chip, entonces leerá el número de serie del chip. Esto permitirá un posicionamiento preciso de la ubicación dentro de 30 cm.

### 5.- Ultrasonidos

Utiliza ondas ultrasónicas para determinar la ubicación de un dispositivo. Los sensores ultrasónicos emiten y reciben ondas ultrasónicas para calcular la distancia entre el dispositivo y los sensores, lo que se utiliza para determinar la posición.

### 6.- Láser

Se basan en el uso de la tecnología láser para determinar la posición y el movimiento de objetos o personas en un entorno interior, se basan en la emisión de rayos láser y la detección de los reflejos para calcular la distancia y, a veces, la dirección en función del tiempo que tarda la luz en viajar desde el emisor hasta el objeto y de vuelta al receptor.

Estos sistemas son particularmente valiosos en entornos industriales y aplicaciones donde se requiere una alta precisión en la ubicación y el mapeo en tiempo real.

### 7.- Visual Positioning Systems (VPS)

Este tipo de sistemas utiliza cámaras y algoritmos de visión por computadora para analizar el entorno y determinar la posición del dispositivo en función de características visuales, como patrones y puntos de referencia. Su coste es elevado.

### Usos de balizamiento mediante BLE

Según el estudio realizado, actualmente, la tendencia en los sistemas de localización indoor desasistidos apuesta por el uso de balizamiento mediante tecnología Bluetooth Low Energy (BLE). A continuación, se enumeran algunos de los usos más comunes:

1. Navegación y orientación en grandes instalaciones (museos, aeropuertos, hospitales, etc..): Las balizas de ubicación Bluetooth permiten la navegación interior para pasajeros de trenes o aerolíneas. Pueden encontrar fácilmente la vía o puerta correcta, e importantes lugares de interés como baños, mostradores de boletos, y cajeros automáticos. Pueden encontrarlos usando una aplicación en un dispositivo inteligente. American Airlines utiliza balizas de ubicación Bluetooth para enviar contenido activado por la ubicación a pasajeros cercanos a través de la aplicación American Airlines. Los pasajeros pueden usar la aplicación American Airlines para obtener información como el horario de embarque, distancia a la puerta, y la línea de seguridad más cercana.

2. Protección antirrobo: Podemos conectar balizas de localización Bluetooth a objetos caros y valiosos. El personal de seguridad recibirá una notificación o se activará una alarma cuando una baliza abandone una región o área definida.
3. Seguimientos activos: Las balizas de ubicación Bluetooth pueden facilitar a los trabajadores en grandes almacenes navegar por las secciones de almacenamiento. También hará que elegir y entregar flujos de trabajo sea más eficiente.
4. Turismo: Podemos implementar balizas de ubicación Bluetooth en atracciones turísticas para permitir una experiencia mejor y más informada. Las aplicaciones detectan las balizas y ofrecen recorridos de audio relevantes, hechos históricos, Modelos AR e indicaciones cuando los usuarios están cerca de puntos de interés. El Museo Eldheimar en Islandia utiliza balizas de ubicación Bluetooth para proporcionar a los visitantes la información de navegación necesaria y contenido activado por la ubicación.
5. Marketing: Envíe cupones y ofertas a compradores cercanos. Las tiendas utilizan balizas de ubicación Bluetooth para enviar cupones de descuento y ofertas especiales a los clientes en sus tiendas mediante notificaciones automáticas. Por ejemplo, cuando un cliente navega por el departamento de calzado, la aplicación de la tienda puede enviar un cupón por 20% calzado selecto. Las balizas brindan a las tiendas físicas la capacidad de interactuar digitalmente con los clientes justo en el punto de consideración. Los compradores obtienen un trato VIP y ofertas adaptadas a su recorrido en la tienda. Es marketing de precisión impulsado por la ubicación.
6. Automatización: Las balizas Bluetooth ofrecen oportunidades interesantes para automatizar y optimizar edificios basándose en datos de ocupación en tiempo real. Desplegando balizas en varias zonas y habitaciones., Los administradores de instalaciones pueden rastrear patrones de uso e integrarse con sistemas de control ambiental. Por ejemplo, Las luces se pueden programar para que se enciendan cuando la gente entre y se apaguen nuevamente cuando un área esté vacía. Las balizas también pueden activar la programación y reserva de salas cuando se detecta que los empleados ingresan a las salas de reuniones.

## 2. DESARROLLO DE RED MALLADA (Mesh)

Una red Mesh o red en malla es una topología de red inalámbrica donde varios dispositivos (nodos) están interconectados entre ellos para proporcionar cobertura de red.

Las principales características del despliegue de una red Mesh son las siguientes:

1. **Cobertura:** En una red Mesh, la interconexión entre todos los nodos de la red permite cubrir áreas más grandes de un edificio o espacio interior, lo que garantiza que los dispositivos estén dentro del rango de al menos un nodo de la red, mejorando así la cobertura del sistema de ubicación indoor.
2. **Precisión:** Al aumentar la densidad de los nodos en una red Mesh, podemos mejorar la precisión del posicionamiento. Cuantos más nodos haya en la red, más puntos de referencia habrá para calcular la ubicación de un dispositivo dentro del espacio cubierto por la red.
3. **Autoconfiguración y Auto reparación:** Una de las principales características de una red mallada es el encaminamiento. Si un nodo falla o se desconecta, la red puede encontrar automáticamente rutas alternativas para mantener la conectividad, lo que garantiza una alta disponibilidad del sistema de ubicación indoor.
4. **Escalabilidad:** Las redes Mesh son escalables, lo que significa que es relativamente fácil agregar nuevos nodos a la red para expandir la cobertura o mejorar la precisión a medida que las necesidades cambian.
5. **Menor Dependencia de Infraestructura Fija:** A diferencia de los sistemas de ubicación indoor que dependen de infraestructura fija como Beacons físicos, las redes Mesh permiten una mayor flexibilidad, ya que los nodos pueden ser móviles y reubicarse según sea necesario.
6. **Interferencia Reducida:** La estructura de una red Mesh puede ayudar a reducir la interferencia y mejorar la calidad de la señal, lo que es crucial para sistemas de ubicación en interiores.

Es importante tener en cuenta que la implementación efectiva de una red Mesh para ubicación indoor depende de varios factores, incluyendo la densidad de nodos, el tipo de tecnología utilizada (Wi-Fi, BLE, etc.), la topología del espacio interior y la precisión requerida para la aplicación específica. Además, el diseño cuidadoso de la red y la planificación de la ubicación de los nodos son esenciales para lograr resultados precisos y confiables en la ubicación indoor.

Una vez analizadas las diferentes tecnologías y arquitecturas existentes en sistemas de balizamiento/ubicación indoor y siempre teniendo presente el desarrollo de un sistema Low Cost de fácil despliegue e integración optamos por desarrollar el proyecto mediante dispositivos HW del fabricante Espresiff.

En este proyecto hemos centrado el desarrollo en las tecnologías BLE y ESP-Now viendo las posibilidades de esta tecnología, pero pensando en un desarrollo evolutivo a una tipología de red Mesh con dichos dispositivos.

### Desarrollo red Mesh

La red Mesh está formada por dos elementos: nodo y Gateway.

#### NODO

El nodo se ha desarrollado de modo que sea capaz de comunicarse a través de un Transceiver, siendo el Transceiver un dispositivo que cuenta con los circuitos electrónicos capaces de procesar información que puede ser enviada o recibida por el mismo, transmitiendo en la banda de frecuencia 868 MHz. Además, el Transceiver contiene la lógica para darle funcionalidad a la red, y va acompañado de una electrónica para poder acondicionar las señales que capturara.



*Ilustración 1 Nodo*

La ventaja de estos dispositivos es que permiten crear redes malladas de largo alcance y con la posibilidad de conectar miles de dispositivos. Estos dispositivos o nodos

optimizan el consumo energético, aumentando directamente el ciclo de vida de las baterías, por lo que es una configuración ideal para aplicaciones IoT, aplicaciones M2M, tracking y automatización. Como se ha introducido anteriormente, los nodos forman una red mallada, esto permite crear y desplegar rápidamente sistemas de tele gestión escalables para la gestión remota, encendido/apagado de periféricos conectados a los nodos, regulación y monitorización individual de dispositivos, inclusión de datos de otros sensores específicos, etc.

Entre todos los nodos se crea una tipología de red mallada (Mesh). Esto quiere decir que los nodos de la red comunican entre ellos sin necesidad de pasar por el Gateway, permitiendo desplegar fácilmente redes en entornos complejos donde no exista visibilidad directa entre los nodos y el Gateway.

La red Mesh también es capaz de analizar el estado de cada nodo para decidir cómo deben conectarse entre ellos para tener la mejor cobertura. Entre los factores que tienen en cuenta está la distancia, la potencia de la señal de cada uno, la saturación de los nodos o la cantidad de dispositivos conectados a cada uno. Todo esto se hace automáticamente por parte de los nodos de la red para que el usuario no tenga que preocuparse.



La arquitectura se ha desarrollado para que sea totalmente abierta y escalable. El sistema que forman los nodos junto con el Gateway puede funcionar tanto de forma autónoma como integrarse con cualquier sistema o plataforma de gestión que disponga el cliente. Se puede acceder a los nodos desde cualquier navegador web, y adaptarse para identificar y gestionar los elementos en un mapa interactivo. También es posible programar la generación de informes de cada nodo y detectar eventos en tiempo real.

En lo que afecta al número de nodos que se pueden integrar en una misma red, se ha dimensionado para poder gestionar 1024 nodos por Gateway. Si se desean conectar más nodos, se generarían subredes de 1024 nodos, con un Gateway en cada subred. Esto simple dependerá del entorno en el que vayamos a desplegar la red y las características de la misma.

Respecto a la comunicación con los nodos, el Gateway (master) recibe los comandos por web, a través de un módem 4G, o bien mediante un conector RJ45 o WIFI. El master o Gateway recibe las órdenes y comunica las mismas al resto de nodos, siendo la comunicación bidireccional. Respecto la seguridad, se implementa un modelo HW / SW de seguridad para conectividad. Tanto las comunicaciones entre nodos como la comunicación con el cloud están cifradas, así como el acceso a nodos o Gateway de la arquitectura propuesta.

En lo que refiere a la instalación de los nodos, se ha buscado un modo de funcionamiento "touch & configure" para facilitar su puesta en marcha. En este caso el instalador lee un QR en cada nodo, para parametrizar el mismo. Cada vez que se instale un nodo se envía una marca de tiempo junto con la latitud y la longitud, y junto con la referencia del nodo, con error inferior a 15 metros. Los nodos de la red pueden ser actualizados de manera remota, sin necesidad de acceder a los nodos físicamente.

### GATEWAY

El Gateway se basa en una capa con una base Linux, formado por una tarjeta con un core Linux, en la cual se conectan en diferentes slots las tarjetas que se requieran en función del tipo de comunicación: 4G, 3G, MBIOT, WIFI...

Con este Gateway se dispone de diversos módulos software que permiten cualquiera de estas funcionalidades:

- Conectarse con Google Cloud para enviar los datos a la nube, y, a través de ella a la plataforma IoT que se desee.
- Conectarse a una red Blockchain, enviar datos y recibir datos de la misma. (estamos en estudio de ver si puede actuar como nodo Blockchain o tendría que conectarse con otro nodo Blockchain externo).
- Funcionar como servidor OPC UA para que cualquier cliente que esté en la red pueda consultar las variables de proceso.
- Disponer de algoritmos de IA y de ML en el propio nodo, en caso de que fuese necesario por la arquitectura de red implementada.

A través del Gateway se puede realizar en caso necesario la actualización remota del software de este. El Gateway lleva un módulo Mesh, que será el encargado de comunicar con toda la red de nodos.

Teóricamente, el Gateway permite comunicar un número ilimitado de nodos, pero como se ha comentado anteriormente, se recomendará un máximo de 1024 nodos por cada Gateway, aunque esto dependerá de las características de cada instalación (distancia entre nodos, volumen de datos...).

### Sistema de Balizamiento BLE / Wi-Fi

En el proyecto, se ha optado por el uso de las tecnologías BLE y ESP-NOW para la localización de un dispositivo ESP32 (móvil) y la lectura del sensor que lleve 'on board' mediante el uso de dos tecnologías.

La tecnología BLE ya ha sido explicada anteriormente mientras que la tecnología ESP-NOW es una tecnología propia del fabricante Espressif (<https://www.espressif.com/>) que implementa en el FW de su HW.

El Hardware utilizado para el desarrollo del proyecto ha sido ESP32-C3. A continuación, podemos ver el diagrama del ESP-32.

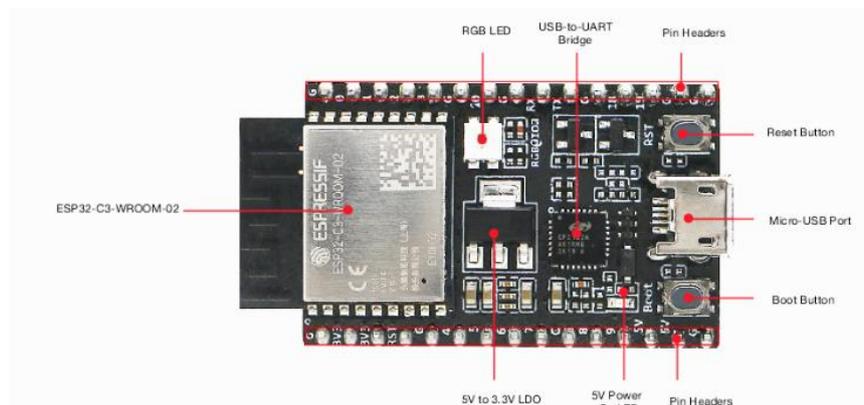


Ilustración 2 ESP 32

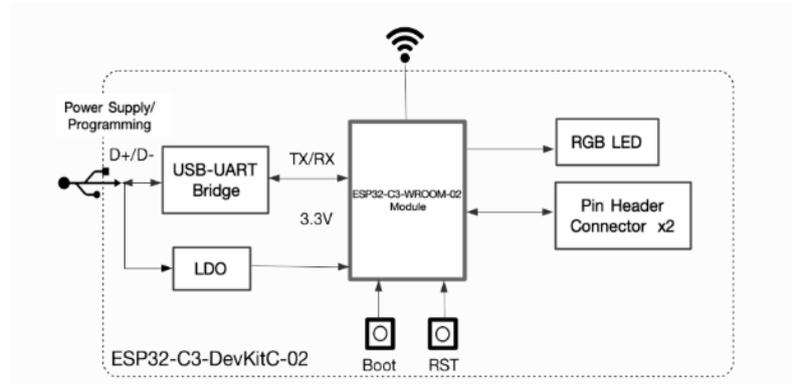


Ilustración 3 Diagrama ESP 32

A continuación, en la Ilustración 4 Pinout, se puede ver el Pinout del dispositivo.

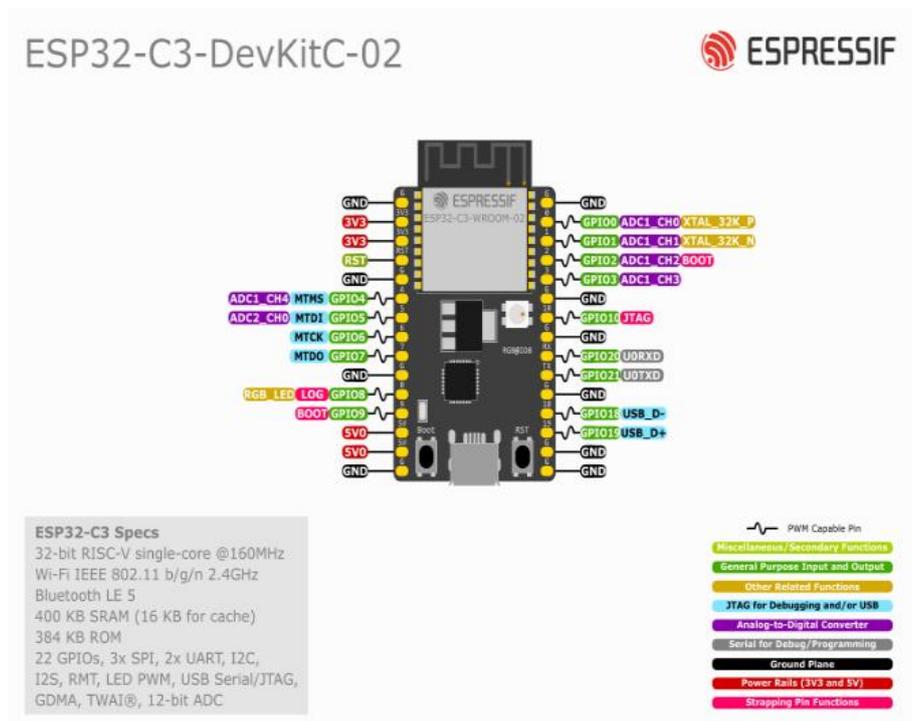


Ilustración 4 Pinout

ESP-Now es un protocolo de comunicación entre varios dispositivos creado por Espressif, el cual es similar al utilizado en los dispositivos de baja energía que funcionan en la banda de 2.4Ghz. Su funcionamiento requiere de emparejamiento de los dispositivos, pero una vez hecho la conexión será automática, permitiendo intercambiar pequeños mensajes (hasta 250 bytes), entre nuestros microcontroladores ESP. Este protocolo es muy versátil y nos permitirá realizar conexiones en una dirección o en ambas direcciones, en diferentes configuraciones.

ESP32 soporta las siguientes características:

- Comunicación unicast encriptada y sin encriptar.
- Se pueden mezclar clientes con encriptación y sin encriptación.
- Permite enviar hasta 250-bytes de carga útil.
- Se pueden configurar Callbacks para informar a la aplicación si la transmisión fue correcta.
- Largo alcance, pudiendo superar los 200m en campo abierto.

Pero también debemos tener en cuenta las siguientes limitaciones:

- El número de clientes con encriptación está limitado. Esta limitación es de 10 clientes para el modo Estación, 6 como mucho en modo punto de acceso o modo mixto.
- El número total de clientes con y sin encriptación sin encriptación es del 20.
- Sólo se pueden enviar 250 bytes como mucho.

ESP-Now permite diferentes topologías de red, nosotros en el proyecto hemos usado la siguiente:

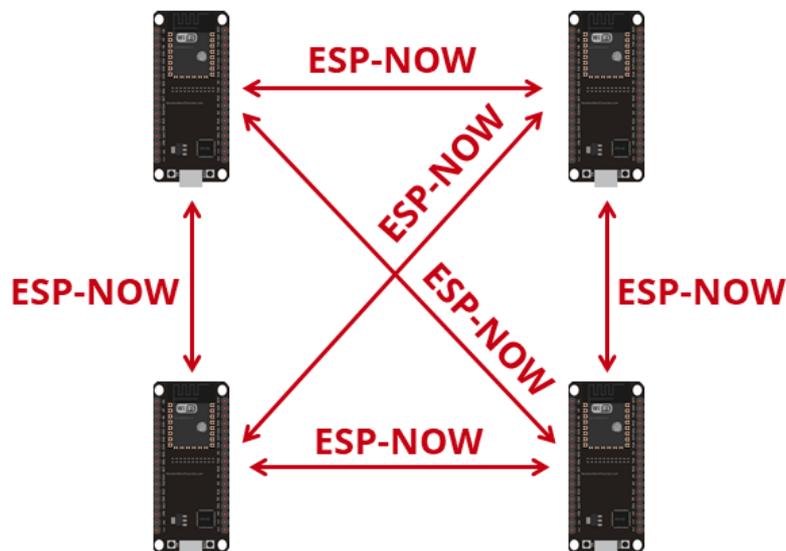


Ilustración 5 Topología de red utilizada.

Como se ha dicho anteriormente, el objetivo de este proyecto es la localización de un dispositivo ESP32 y la lectura del sensor que lleve mediante la comunicación BLE y ESP-NOW con otros dispositivos ESP32.

## Comunicación ESP-NOW

Esta es la principal manera con la que se comunican los dispositivos ESP32 entre sí:

Los ESP32 que se encargan de detectar al dispositivo ESP32 con el sensor, se denominan ESP32 SCANNER (ya que son los que escanean las frecuencias BLE para detectarlo), mientras que el dispositivo ESP32 con el sensor, se denomina ESP32 BROADCASTER (ya que este, se anuncia en las frecuencias BLE para poder ser detectado).

Dentro de los ESP32 SCANNER, hay un ESP32 al que se denomina ESP32 MASTER mientras que todos los demás ESP32 SCANNER se denominarán ESP32 SLAVE. EL ESP32 MASTER, además de hacer lo mismo que los ESP32 SLAVE, también se encarga de decirle a cada ESP32 SLAVE cuando apagar/encender su led para mostrar visualmente que ESP32 está más cerca del ESP32 BROADCASTER.

### COMUNICACION ESP-NOW

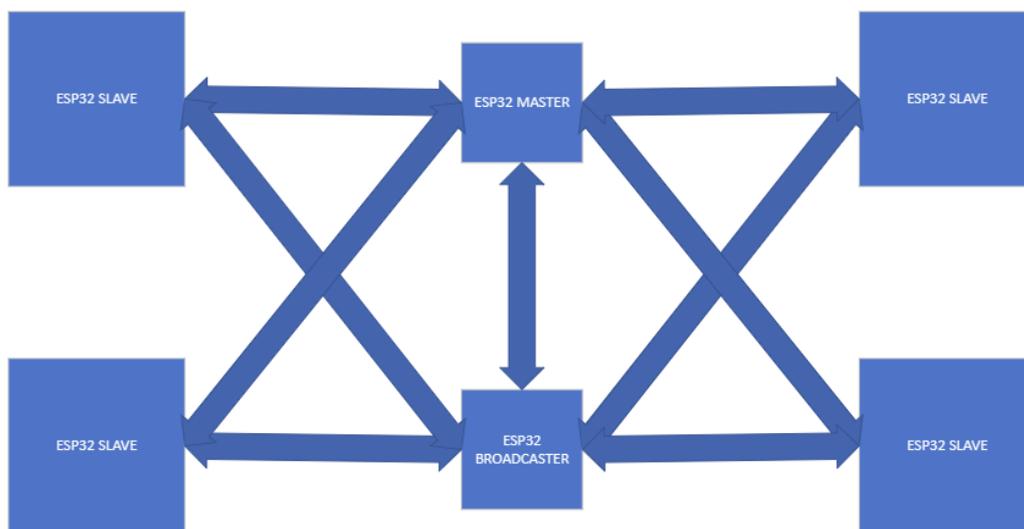


Ilustración 6 Muestra de la dirección de la comunicación ESP-NOW entre los ESP32

Como se puede observar en la ilustración 6, los dispositivos ESP32 SLAVE no se comunican entre sí, todos se comunican únicamente con el ESP32 BROADCASTER y con el ESP32 MASTER.

La comunicación ESP-NOW con el ESP32 BROADCASTER se realiza con el fin de obtener el valor del sensor que tiene conectado. Mientras que la comunicación ESP-NOW con el ESP32 MASTER se realiza con el fin de que el ESP32 MASTER obtenga todos

los RSSI obtenidos de cada ESP32 SLAVE para que este calcule cuál está más cerca y poder así ordenar a cada ESP32 SLAVE si tiene que encender la luz o no.

### OBTENCION CORRECTA DEL RSSI DEL ESP32-BROADCASTER

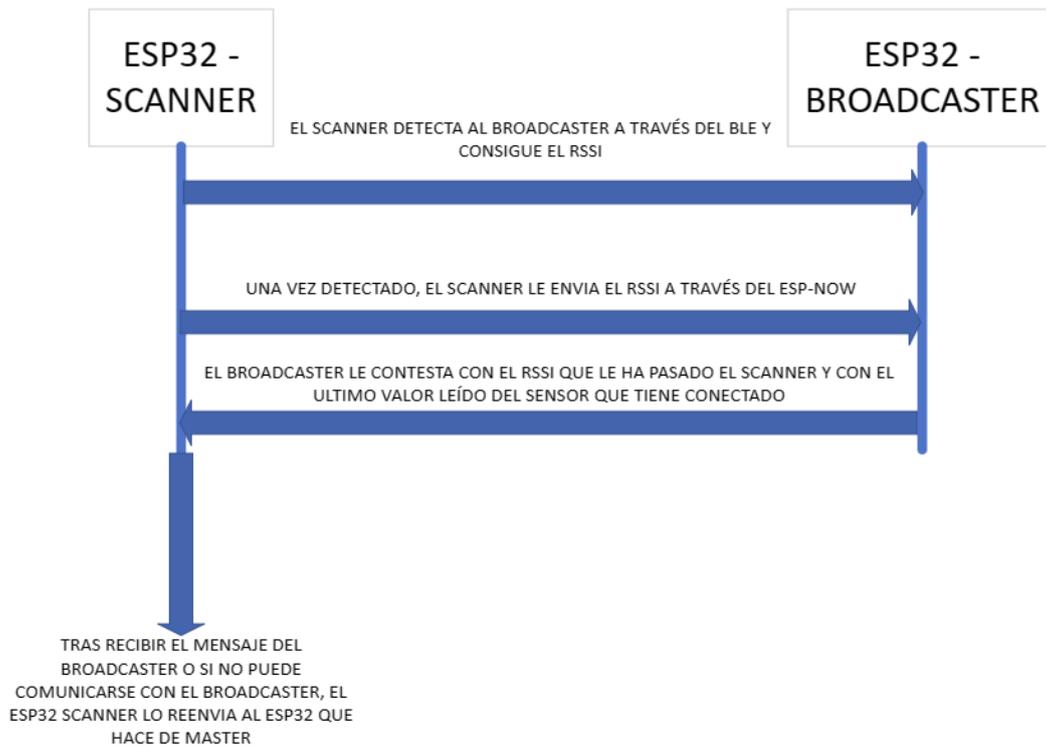


Ilustración 7 Flujo de eventos entre la comunicación de un ESP32

### Comunicación BLE con el MASTER

El ESP32 MASTER además de escanear las frecuencias BLE para detectar al ESP32 BROADCAST, también se estará anunciando en esas frecuencias, para que cualquier dispositivo bluetooth pueda establecer una conexión para que, tras establecer el emparejamiento con ese dispositivo, leyendo una característica, el dispositivo bluetooth pueda obtener el valor del sensor que tiene el ESP32 BROADCASTER.

## Cálculo de la distancia

Con todos los datos que recibe el ESP32 MASTER, este es el que se encarga de almacenarlos en un vector por cada ESP32 SCANNER.

MAC ADDRESS	LED STATE	DISTANCIA	TIME MSG RECV	CONECTADO
66:7C:16:79:CF:58	0	1.00	14589	TRUE
7C:9E:BD:60:A2:E8	1	0.31	14256	TRUE
84:F7:03:26:B4:B4	0	1500.00	5681	FALSE
30:AE:A4:86:BB:94	0	4.05	14326	TRUE

Tabla. 1

La Tabla. 1 es un ejemplo de que datos almacena el ESP32 MASTER de cada ESP32 SCANNER, el primer elemento del vector siempre será el propio ESP32 MASTER y los demás, los otros ESP32 SLAVE. Los datos que almacenará son:

- Mac address: la dirección Mac del ESP-NOW del dispositivo.
- LED STATE: el estado del led del dispositivo, 0 -> apagado, 1 -> encendido. Solamente puede haber un led encendido a la vez.
- Distancia: el último valor de distancia al ESP32 BROADCASTER leído por el dispositivo (valor mayor que 1000 si no lo encuentra).
- Time MSG recv: ultimo 'tick' en el que se ha recibido mensaje del dispositivo. Esta variable, básicamente sirve para calcular el tiempo que está sin recibir ningún mensaje de ese dispositivo (si el tiempo es mayor que 10 segundos, trata el dispositivo como desconectado).
- Conectado: variable booleana que indica si hay conexión con el dispositivo o no, cuando se recibe un mensaje del dispositivo, este se pone a 'true', si no se recibe nada en 10 segundos, se pone a 'false'.

Cada vez que el ESP32 MASTER obtiene un nuevo dato, este vuelve a calcular cuál es el dispositivo conectado más cercano al ESP32 BROADCASTER, para ello, compara todas las distancias almacenadas en el vector con la última distancia más pequeña y si hay otra más pequeña, la actualiza y si hace referencia a otro dispositivo, actualiza el respectivo estado del led. Si no hay ninguna distancia más pequeña, actualiza la variable con el valor de la distancia actual del dispositivo más cercano y si todas las distancias almacenadas son mayores de 1000 (ningún dispositivo detecta al ESP32

BROADCASTER) todos los estados del led se ponen a 0.

### Pantalla externa del ESP32 MASTER

Para que todo el procedimiento de la aplicación sea más visual, el ESP32 MASTER tendrá conectada una pantalla en la que se podrá ver el estado actual y los logs.

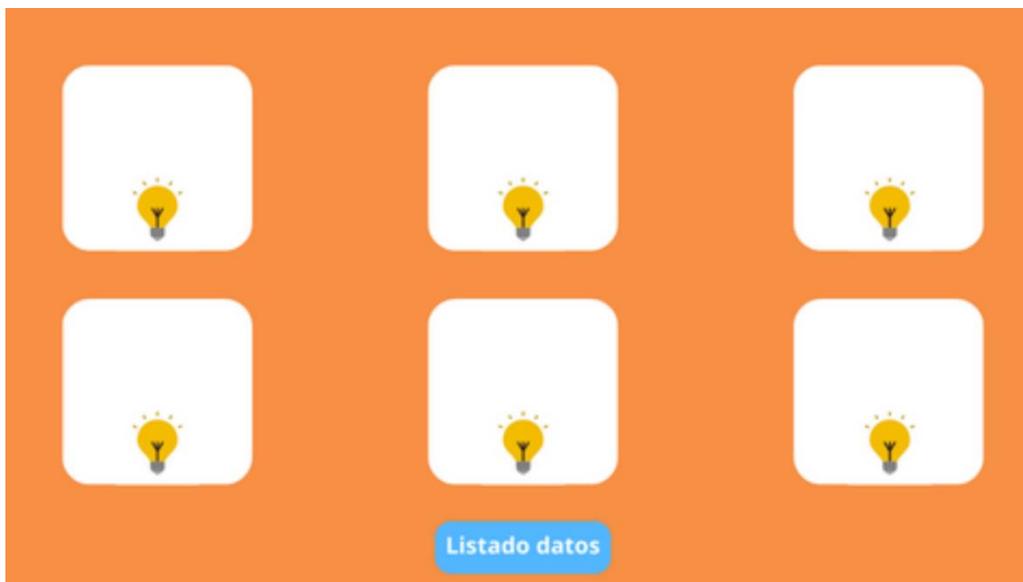


Ilustración 8 Pantalla principal

En la Ilustración 10 se observa la pantalla principal en la que se muestran los primeros 6 ESP32 SCANNER del sistema, inicialmente en cada recuadro aparece el texto “ESP 0” hasta “ESP 5” dependiendo de los ESP32 que haya detectado, además todos los iconos de la luz están ocultos y solamente se muestra la que está encendida.

**MAC:**

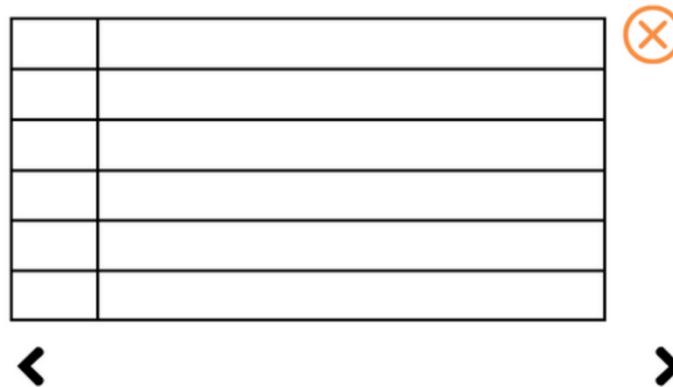


**Distancia:**

Ilustración 9 Pantalla secundaria

Esta segunda pantalla muestra más información de cada ESP32 SCANNER y se accede pulsando al recuadro de cada ESP32 SCANNER de la pantalla principal, en esta

pantalla se puede observar la Mac del dispositivo, así como también a que distancia esta del ESP32 BROADCASTER (también se ve si el led este encendido). Estos valores se ven al ejecutar la demo.



En esta última pantalla aparecerá un log que se rellenará de los datos del dispositivo que esté más cerca del ESP32 BROADCASTER, cada vez que un nuevo dispositivo se ponga cerca del ESP32 BROADCASTER, se añadirá una nueva fila al log. Para ver todas las filas del log se pueden usar las flechas de la izquierda y la derecha.

### 3. DESARROLLO DE PCB PARA AMPLIACIÓN DE SENSORES

#### Diseño de esquemático.

Una vez desarrollada la red mallada, se procede al diseño de una electrónica capaz de conectar tanto entradas como salidas a cualquier nodo. Esto está pensado para poder conectar al nodo móvil cualquier tipo de sensorica para poder monitorizar la carga o paquete que pueda llevar a bordo.

Para el caso que nos ocupa, se ha desarrollado un circuito capaz de conectar 8 sensores analógicos y 8 sensores digitales. Esta placa comunica con el nodo mediante Rx Tx.

Para controlar estos sensores, se ha optado por usar un MCU del fabricante ST.

Para poder alimentar los diferentes periféricos, se ha diseñado esta etapa de alimentación. La alimentación principal es de 24 VDC y a la salida obtenemos tanto 5 VDC como 3.3 VDC.

Para conectar las entradas digitales, se ha optado por usar un circuito opto acoplado, para separar galvánicamente las señales.

En lo que respecta a las entradas analógicas, se ha separado en dos bloques. El primer bloque abarca las entradas tipo 4...20 mA, por intensidad. El segundo bloque servirá para conectar entradas por tensión, convirtiendo la tensión de entrada a una tensión de trabajo del MCU de 3.3 VDC.

En paralelo, se ha diseñado un circuito para albergar dos salidas digitales, pensadas para activar salidas de tipo 24 VDC.

## Diseño de la PCB

Una vez diseñado el circuito, se procederá a diseñar la PCB. Todo el diseño se efectuará usando el software Kicad 6.0. a continuación, se puede observar una imagen del software en el momento del ruteo de la PCB.

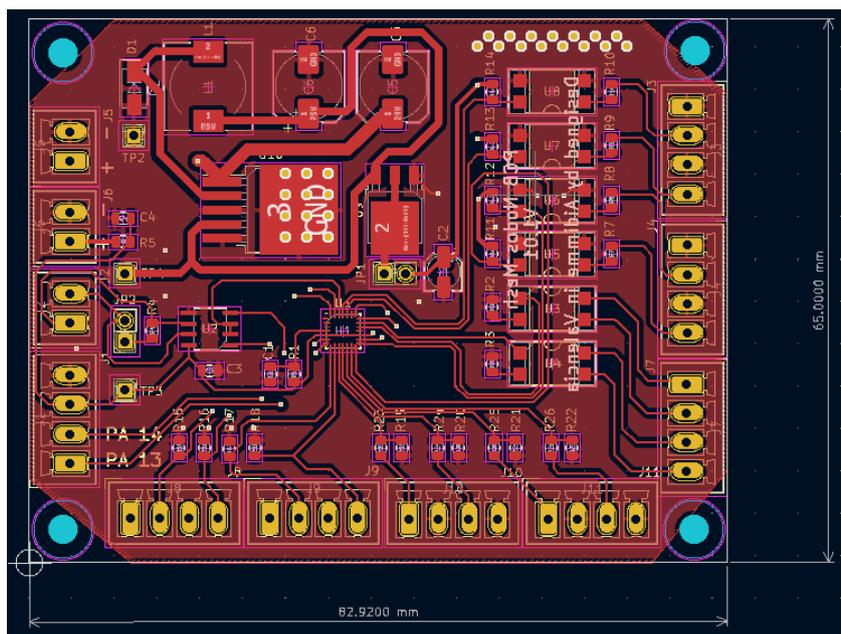


Ilustración 11 PCB sensores

Este sería el aspecto de la PCB una vez terminado el diseño.

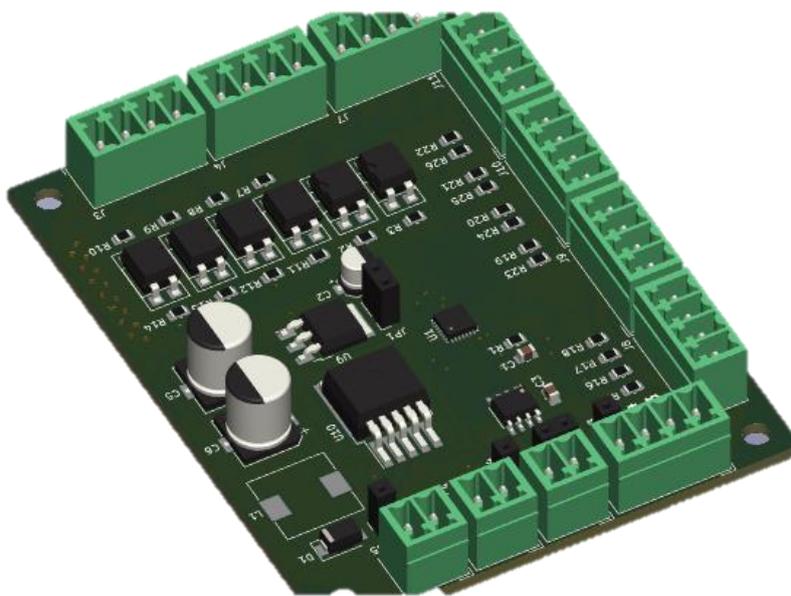


Ilustración 12 PCB en 3 dimensiones

Una vez terminado el diseño, se obtienen los archivos GERBER necesarios para poder producir la PCB. Esta placa sería una opción que se puede, o no, añadir a cada nodo, en función de la información que se quiera obtener. Sería una ampliación del puerto de E/S de cada nodo.

#### 4. PRUEBA DEL LABORATORIO IMOLAB

Una vez preparados los dispositivos que conforman la red, se procede a realizar una prueba piloto del laboratorio iMoLab en las instalaciones de AIDIMME.

A continuación, se exponen los diferentes elementos que se han usado para realizar esta prueba.

- **Nodo concentrador + HMI**, que es el elemento que gestiona la red mallada y actúa también como baliza. A este elemento le hemos añadido también una pantalla táctil para poder gestionar y visualizar el estado de la red.

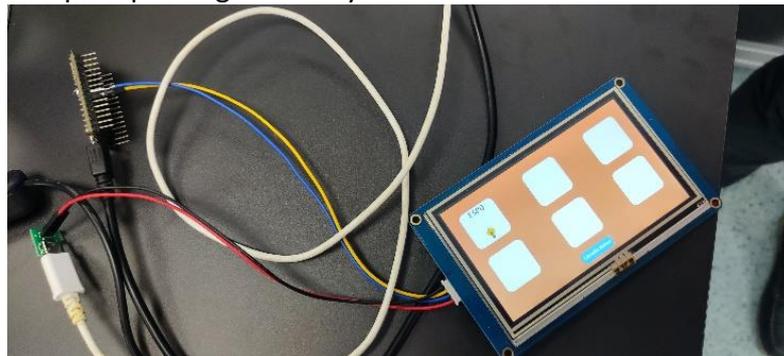


Ilustración 13 Nodo concentrador (Gateway) + HMI

- **Nodo móvil**, se trata de un nodo especial de la red mallada, sobre el que el resto de la red calcula su distancia y la comunica al concentrador. Este nodo funciona con batería.

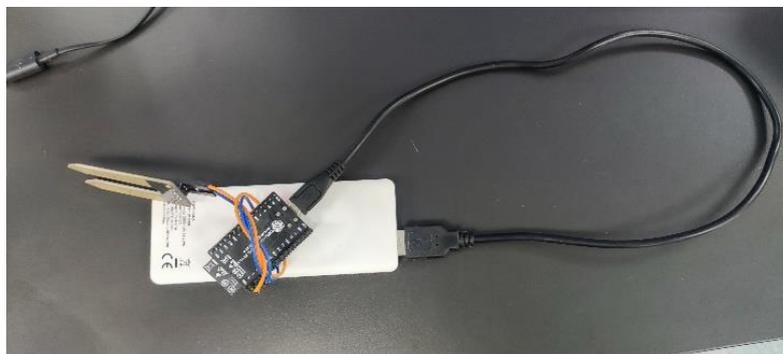


Ilustración 14 Nodo móvil

- **Balizas**, se tratan de nodos de la red mallada, que se comportan como balizas, se conectan entre ellas y con el concentrado y ofrecen la distancia aproximada sobre el nodo móvil. Estos nodos funcionan con batería o conectados a corriente.

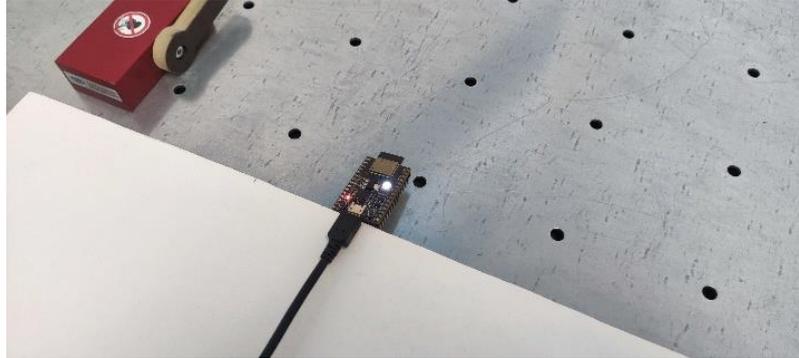


Ilustración 15 Baliza

### Pruebas de funcionamiento

En las instalaciones de AIDIMME se han sometido a los nodos a diferentes condiciones existentes sobre vehículos, para verificar que el flujo de información entre nodos es constante y que la información llegue a su destino correctamente. Esta tarea se ha llevado a cabo, en la parte de testeo, junto con SIMETRIA FIDENTIA, S.L.U.

#### Prueba 1

Para la realización de la prueba, se ha establecido un escenario dentro de las instalaciones de AIDIMME donde se han colocado el concentrador y varias balizas, en distintas condiciones de alcance (con diversas distancias, y con obstáculos y paredes intermedias) procediendo a ir desplazando el nodo móvil para testear la bondad de la solución. Los nodos se han situado en los puntos que se muestran en la siguiente ilustración.

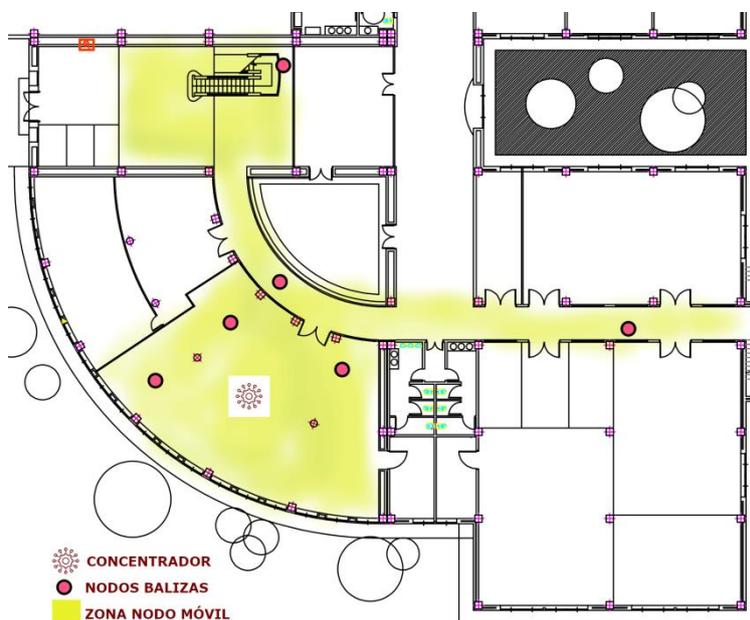


Ilustración 16 Ubicaciones dentro de AIDIMME del concentrador, nodos y zona de movimiento del nodo móvil

En las siguientes imágenes, se pueden ver las diferentes ubicaciones donde se instalaron las balizas.

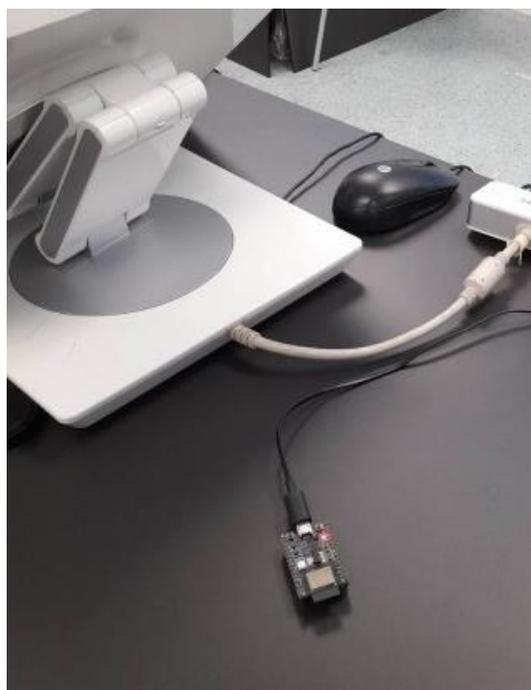


Ilustración 17 Colocación de los nodos para las pruebas



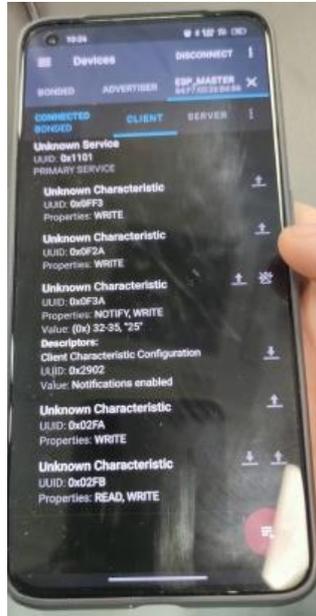


Ilustración 18 Visualización del dato de la temperatura

Objetivos conseguidos:

Se ha conseguido verificar que la bondad de la solución:

- Se detecta por las balizas la distancia aproximada del nodo móvil y la baliza más cercana se identifica con una luz blanca.
- El nodo concentrador recibe las distancias a todos los nodos y, a través del ordenador al que está conectado se visualizan los datos.

Problemas detectados:

- Se detectan determinados errores que hacen que al poco de montar la red, los nodos se desconecten cada cierto tiempo.
- Se detecta la necesidad de visualizar los datos sin la presencia de un ordenador

## Prueba 2

Se resuelven los problemas detectados en la Prueba 1, en cuanto a los problemas de conexión con los nodos y se realiza una segunda y definitiva prueba, con resultado positivo.

Se añade una pantalla al nodo concentrador, desde la que se visualizan los otros nodos, la posición del nodo móvil y las distancias a los distintos nodos.



Concentrador con pantalla de visualización de datos

## 5. PRUEBA VEHÍCULO IMOLAB

Una vez se han obtenido resultados satisfactorios en las pruebas de los nodos, se procede a realizar una prueba simulando un entorno real. En este caso, se utilizará un robot móvil para simular un vehículo de reparto de última milla.

La demo consistirá en la realización y monitorización de la siguiente secuencia. El robot AGV, se ubica en un almacén donde es cargado con paquetes A y/o B. El robot recibe las posiciones destino. Una vez llegado a destino, se encuentra el usuario final, que muestra un código QR al sistema de visión artificial equipado en el vehículo. Una vez leído el código, el robot busca el paquete con QR coincidente para entregar. Si se dispone del paquete, un brazo de 6 ejes, en este caso un Cobot de Universal Robots UR5, hace la entrega del paquete. Con la cámara, el robot verifica que se ha retirado el paquete y procede a desplazarse hacia el siguiente punto de entrega para realizar el reparto del siguiente paquete.

A continuación, se muestra un diagrama de flujo con los diferentes elementos que intervienen en la prueba, así como el flujograma de la misma.

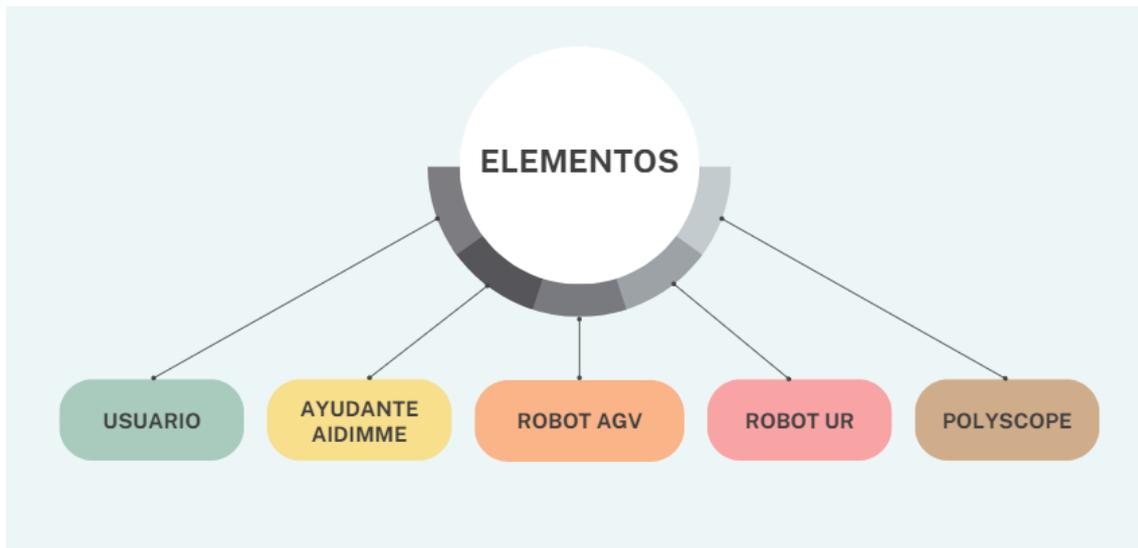


Ilustración 19 Elementos de la prueba móvil

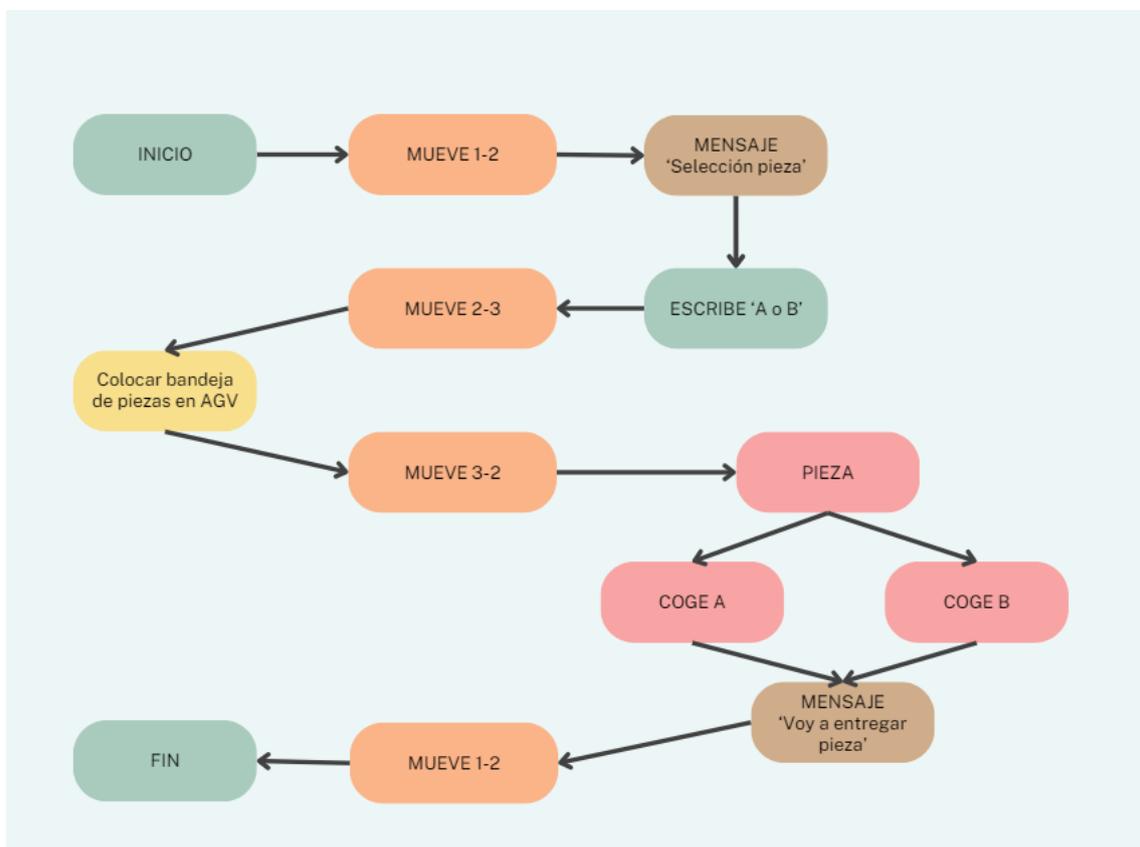


Ilustración 20 Diagrama de flujo de la prueba móvil

En la siguiente ilustración, se puede observar el vehículo con la paquetería a bordo.



*Ilustración 21 AGV con paquetería*

En el interior del vehículo móvil, se situará la baliza móvil, alimentada con una batería, de modo que en todo momento se monitorice la posición del nodo móvil, así como los sensores que lleve conectados a bordo. Para la prueba, se monta un sensor de temperatura.

En la siguiente ilustración, se pueden ver los códigos QR para identificación de piezas, así como uno de los paquetes.



*Ilustración 22 Sistema de visión.*

El sistema de visión utilizado ha sido un sistema KEYENCE VX400. Podemos ver en las siguientes ilustraciones el entorno de programación donde se configuran los códigos y las salidas a robot.

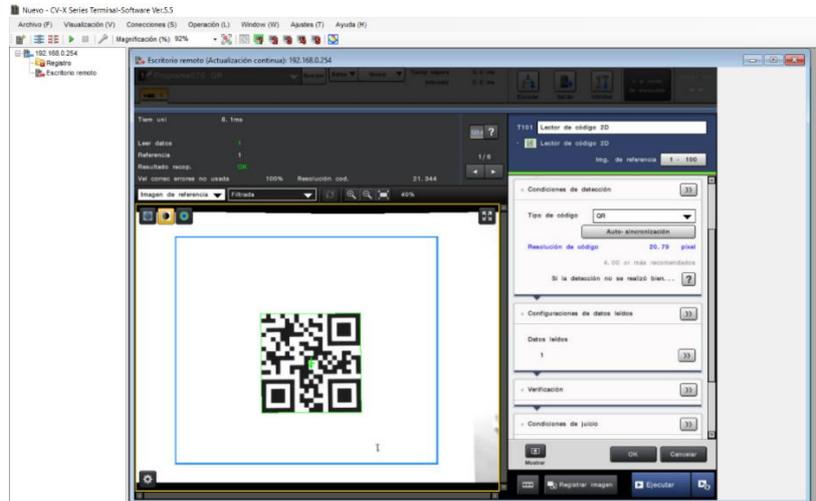


Ilustración 23 Configuración QR

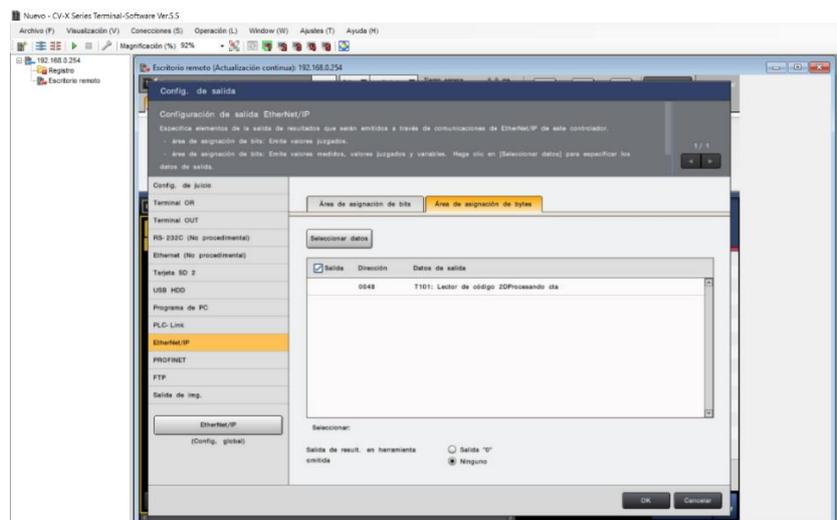


Ilustración 24 Configuración de salidas

Para que el brazo de 6 ejes pueda ejecutar las tareas, se programa un script dentro de Polyscope, que es la herramienta que Universal Robots nos brinda para programar su brazo robot.

Durante la ejecución de la demo, se pueden ir consultando las distancias de nodo móvil respecto de cada baliza a través de la pantalla que se ha programado para ello.

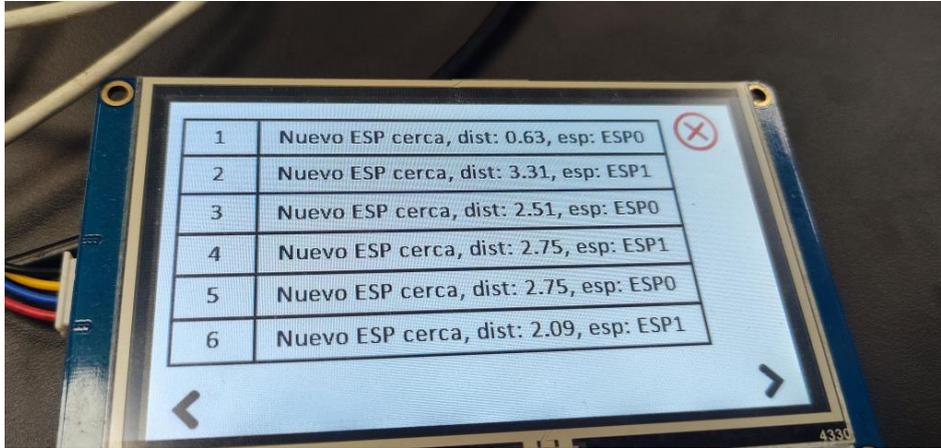


Ilustración 25 HMI con distancias

A parte de la distancia, se puede visualizar en la pantalla la baliza que está más cerca del nodo móvil, indicándose con el icono de una bombilla.

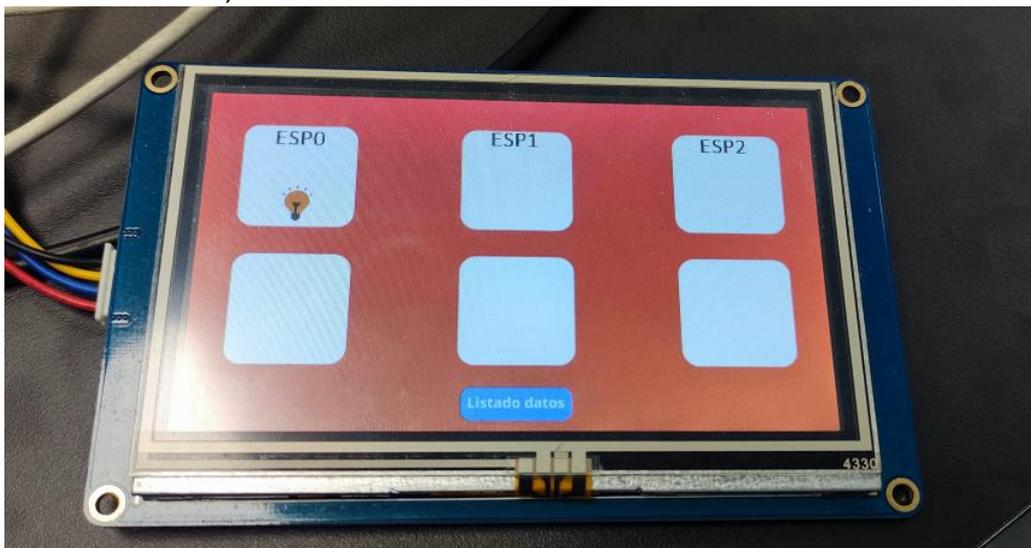


Ilustración 26 Nodos cercanos

En este punto, se da por concluida la prueba, siendo el resultado satisfactorio. En el apartado RESULTADOS Y CONCLUSIONES se presentan los resultados obtenidos en las diferentes pruebas.

## 6. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En las primeras pruebas, se optó por montar una red mallada con unos nodos Transceiver que comunicaban en el espectro de 868 MHz. Las pruebas de conectividad y robustez de la red fueron satisfactorias, pero no se logró conseguir una buena precisión a la hora de geolocalizar el nodo móvil. En las siguientes imágenes se pueden ver los nodos que se usaron para las pruebas y su Gateway.



*Ilustración 27 Nodo 868 MHz*



*Ilustración 28 Gateway*

Una vez terminadas esas pruebas, se montó la segunda red, esta vez optando por comunicaciones BLE con los dispositivos ESP32 y desarrollando un software para conseguir geolocalizar el nodo móvil.

Como resultados del proyecto, se enumeran los siguientes:

- Se ha demostrado, a través de un entorno de pruebas, la viabilidad de la utilización de una red mallada de dispositivos 'Plug in' BLE y WIFI para determinar en tiempo real la posición de un nodo móvil dentro de la misma, con precisiones mayores a 0.5 metros.
- Se ha confirmado que a través de este sistema se pueden establecer parámetros de geolocalización en entornos en los que son inviables técnicas como GPS, lo que nos permite mejorar prestaciones en dispositivos con movilidad.
- Lograr capturar datos de cualquier nodo (aceleración, temperatura, humedad...) y transmitirlos en tiempo real, usando la red mallada.
- Alcanzar el despliegue de una red de nodos o balizas que conforman una estructura mallada para lograr comunicaciones inalámbricas robustas

Con la colaboración de:



# AIDIMME

## INSTITUTO TECNOLÓGICO

Domicilio fiscal —

C/ Benjamín Franklin 13. (Parque Tecnológico)  
46980 Paterna. Valencia (España)  
Tlf. 961 366 070 | Fax 961 366 185

Domicilio social —

Leonardo Da Vinci, 38 (Parque Tecnológico)  
46980 Paterna. Valencia (España)  
Tlf. 961 318 559 - Fax 960 915 446

[aidimme@aidimme.es](mailto:aidimme@aidimme.es)

[www.aidimme.es](http://www.aidimme.es)