

ANEXO DE DISEÑO DE SOFTWARE

---

**SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO DE  
OBJETOS MEDIANTE LA TECNOLOGÍA  
BLUETOOTH LOW ENERGY, MODO  
BEACON**

---

6 de enero de 2021

Rubén Arce Domingo  
Máster en automatización y robótica  
industrial  
akimbo170@gmail.com



# Índice

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Firmware</b>	<b>5</b>
2.1	Emisor BLE o Beacon . . . . .	5
2.2	Receptor gateway o master . . . . .	5
2.2.1	Configuración inicial . . . . .	5
2.2.2	Funcionamiento . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Herramientas de visualización</b>	<b>7</b>
3.1	Tecnologías . . . . .	7
3.2	Procedimiento . . . . .	7
3.3	Simulaciones . . . . .	7
3.3.1	Prueba de concepto . . . . .	7
3.3.2	Estabilidad del sistema . . . . .	8
3.3.3	Posicionamiento real . . . . .	8
3.3.4	Prueba en supermercado . . . . .	12
3.4	Conclusiones . . . . .	12

## Índice de figuras

1	Captura de página web generada por el dispositivo . . . . .	6
2	Escaneo y procesamiento de dispositivos Beacons . . . . .	7
3	Prueba piloto, carretera . . . . .	8
4	Toma de datos durante dos horas . . . . .	9
5	Archivo de configuración de diseño de casa . . . . .	10
6	Ejemplo de tres personas dentro de una misma habitación . . . . .	10
7	Beacons estáticos durante la simulación . . . . .	11
8	Beacons en movimiento . . . . .	11
9	Beacons en movimiento dentro de supermercado captura 1 . . . . .	13
10	Beacons en movimiento dentro de supermercado captura 2 . . . . .	13
11	Beacons en supermercado percibidos solo por un master . . . . .	13



### 1. Introducción

Este proyecto engloba programación de tres sistemas que emplean protocolos y tecnologías muy diferenciadas para llevar a cabo la transmisión de información, empleando el lenguaje de programación C para el firmware de los microcontroladores y Python para realizar los cálculos de distancia y visualización de los Beacons.

Se han ejecutado pruebas en interiores y exteriores, en una casa, en un supermercado y en un lugar con un número elevado de dispositivos BLE, mostrando a continuación el procedimiento y los resultados.

### 2. Firmware

#### 2.1. Emisor BLE o Beacon

La ventaja de los Beacons es que se ha llevado a cabo el paradigma de plug and play, es decir, tan solo hay que conectar la batería y comienza a funcionar sin problemas. La única posibilidad de configuración podría ser el tiempo de envío de datos.

Teniendo en cuenta que estamos en fases de pruebas no se ha adoptado un perfil demasiado conservador en lo que a batería se refiere. Sin embargo en la versión real para cliente se le dará la posibilidad de configurar a su gusto la frecuencia de envío de datos con las consecuencias que esto conlleva en la autonomía.

#### 2.2. Receptor gateway o master

##### 2.2.1. Configuración inicial

El equipo que escucha a los Beacons ha de hacer un barrido cada X tiempo, obtener el Rssi y por último enviar a través de MQTT los datos para que el sistema de visualización sea capaz de posicionarlos dentro de un mapa. Para que todo esto funciona es necesario que alguien configure su Wifi al que han de conectarse para poder transmitir los datos.

Esta configuración inicial ha de ser sencilla y, sobretodo, ha de poder cambiarse en el caso de que la contraseña se modifique o de que se desplacen los equipos a otro lugar.

Para ello se ha programado lo siguiente:

1. Según sale de fábrica el master intenta conectarse, con números aleatorios, al Wifi que tenga guardado en la memoria.
2. Cuando fracase en el intento, generará un punto de acceso, es decir, se crea un Wifi al que el usuario ha de conectarse.
3. Una vez conectado a este Wifi sin internet ha de meterse en la página web alojada en el 192.168.4.1 donde introducirá los credenciales del Wifi real al que ha de conectarse.

4. Tras recibir los datos proporcionados por el cliente, el equipo se conectará a internet y estará listo para usarse y escuchar Beacons.
5. En la memoria flash se guardan los datos para que cada vez que se apage no sea necesario repetir el proceso.

En todo momento si se quisiera volver a condiciones de fábrica se puede pulsar el botón a la vez que se enciende el dispositivo y se reseteará la memoria previamente configurada y volverá a generarse el punto de acceso Wifi para repetir el proceso.

En la figura 1 se puede ver cómo es el interfaz web que se ha llevado a cabo para la configuración del Wifi.

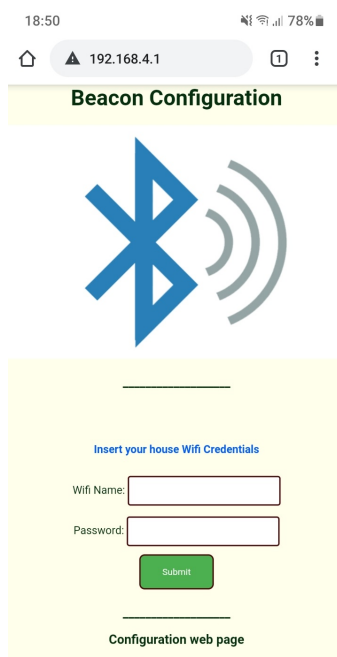


Figura 1: Captura de página web generada por el dispositivo

### 2.2.2. Funcionamiento

Una vez llevada a cabo esta configuración inicial y habiendo conectado el master al terminal a través del puerto serie, podemos ver cómo se lleva a cabo el barrido de los Beacons y el procesamiento de los mismos.

El envío de información a través de MQTT se lleva a cabo en el acto consiguiendo una frecuencia elevada de datos que alimentan a nuestra herramienta de visualización de una forma dinámica. En la figura 2 se puede ver como en el primer barrido se encuentran 8 Beacons y en el segundo solo 7.

```
mqtt task
in
  Address: f4:59:7f:ee:2a:dd // RSSI: -72
  Address: 4d:c9:fc:ba:8b:0a // RSSI: -80
  Address: 7b:6e:0d:c6:9b:f4 // RSSI: -78
  Address: 76:04:91:c4:1a:8f // RSSI: -81
  Address: 55:02:95:a4:42:42 // RSSI: -91
  Address: 56:46:a6:f1:a5:1e // RSSI: -89
  Address: 27:bf:1e:d4:1f:0c // RSSI: -84
  Address: c9:52:e3:61:40:4c // RSSI: -85
Devices found:
8
.
in
  Address: f4:59:7f:ee:2a:dd // RSSI: -77
  Address: 55:02:95:a4:42:42 // RSSI: -85
  Address: 76:04:91:c4:1a:8f // RSSI: -77
  Address: 4d:c9:fc:ba:8b:0a // RSSI: -84
  Address: 27:bf:1e:d4:1f:0c // RSSI: -86
  Address: 7b:6e:0d:c6:9b:f4 // RSSI: -90
  Address: 56:46:a6:f1:a5:1e // RSSI: -89
Devices found:
7
```

Figura 2: Escaneo y procesamiento de dispositivos Beacons

## 3. Herramientas de visualización

### 3.1. Tecnologías

Para generar las pantallas y animaciones he empleado Python con su librería "Pygame". EN lo que respecta a los cálculos y gráficas se ha empleado Matplotlib y "NumPy" para hacer operaciones de una forma rápida.

### 3.2. Procedimiento

Se han llevado a cabo cinco simulaciones, en todas ellas la metodología ha sido la siguiente:

1. Escucha de los datos.
2. Parseo de los mismos, así como almacenamiento en estructuras de datos que permitan luego fácil utilización.
3. Filtraje, cálculos de posicionamiento y ajustes.
4. Visualización y escalado de los resultados.

### 3.3. Simulaciones

#### 3.3.1. Prueba de concepto

Para comprobar si la tecnología era capaz de llevar a cabo el posicionamiento de un equipo en un mapa, se ha establecido un sencillo escenario en el que había tres equipos

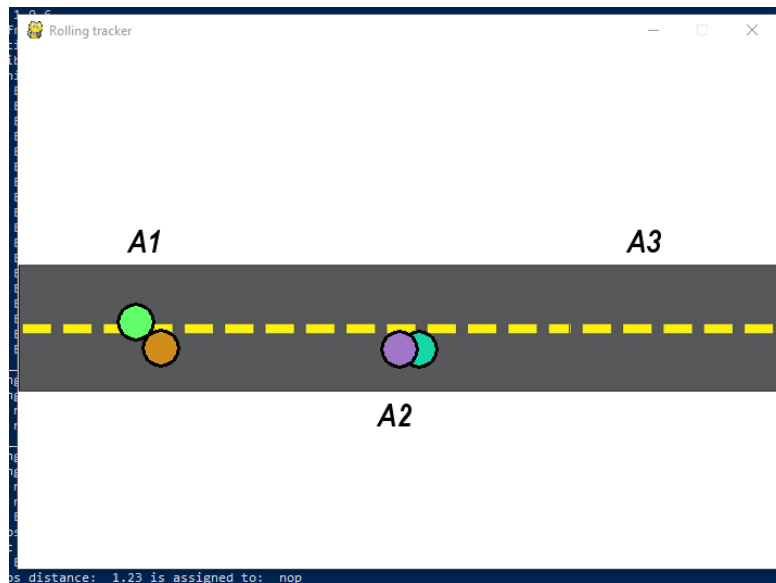


Figura 3: Prueba piloto, carretera

que escuchaban y cuatro Beacons. En la siguiente imagen se puede apreciar el sencillo escenario.

La figura representa lo coloridos Beacons próximos entre sí, mostrando como sí que es posible situarlos con relativa precisión. Asimismo, se puede observar que los masters tienen los nombres de A1, A2 y A3, respectivamente.

### 3.3.2. Estabilidad del sistema

Tras esta primera prueba se optó por ver hasta que punto la tecnología es precisa, para lo cual se trazaron gráficas comparativas con los datos obtenidos a través de los equipos. En primer lugar, se dejaron durante un par de horas encendidos los equipos para ver las fluctuaciones.

Como podemos ver en la figura 4 las diferencias entre equipos estáticos son acusadas, es por ello por lo que queda demostrada la necesidad de desarrollar un filtro que anule este ruido radioeléctrico.

### 3.3.3. Posicionamiento real

El paso siguiente fue comprobar si tras filtrar las señales era realmente capaz de discernir si un Beacon se encontraba en una habitación o en otra tan solo atendiendo a su Rssi. Para ello se ha llevado a cabo una simulación que permite dibujar las dimensiones



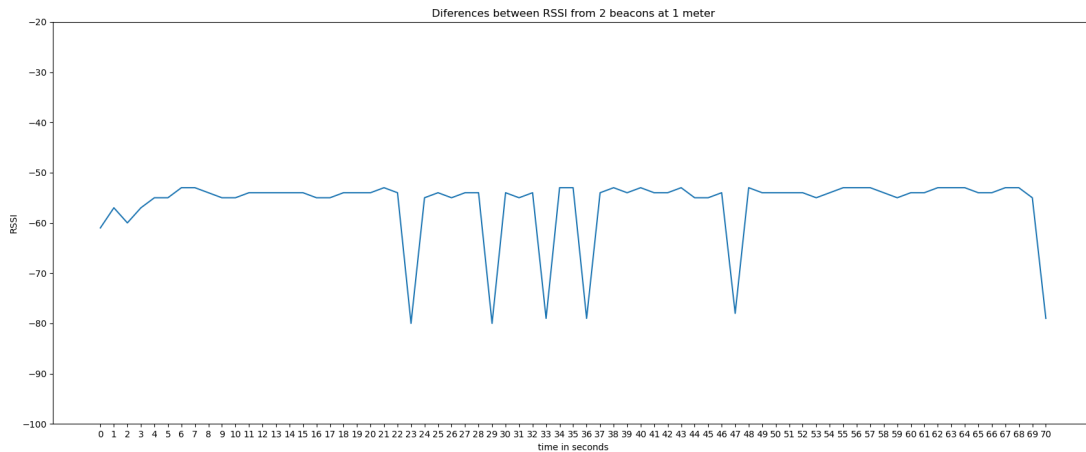


Figura 4: Toma de datos durante dos horas

y color de las habitaciones así como la posición de los Masters que escuchan a estos Beacons. En la figura 5 se puede ver una captura del archivo de configuración con el que se pretende que cualquiera pueda dibujarse su propia casa.

Una vez creada nuestra casa ya solo queda colocar realmente los equipos en lugares elevados y poco accesibles y ejecutar el script. Los equipos estuvieron durante una semana encendidos, escuchando Beacons y los resultados fueron los esperados. En la figura 6 se puede visualizar el diseño de la casa en la que se llevó a cabo la prueba.

El caso más curioso de todos es que se dejaron Beacons estáticos encima de armarios y la posición no móvil de los mismos se mantuvo en la simulación en todo momento. En la imagen 7 se muestra como en todo momento fueron percibidos por los masters.

Al movernos dentro de la casa los masters de las habitaciones contiguas nos percibían con menor Rssi, es por ello por lo que no nos visualizaba dentro de esa estancia. En la figura 8 se puede ver como las cuatro personas se encontraban en el salón de la casa en ese momento.

```

Code > Visualize_Tools > input.txt
1  #Colors of the room -
2  (158, 242, 119)
3  (158, 242, 119)
4  (201, 149, 93)
5  (114, 177, 181)
6  (237, 237, 237)
7  (154, 245, 100)
8  (89, 217, 144)
9  (255, 220, 107)
10
11 #Esp listener coordinates - x, y and name
12 (50 100 A1)
13 (50 200 A2)
14 (50 400 A3)
15 (150 600 A4)
16 (675 50 A5)
17 (650 250 A6)
18 (650 450 A7)
19
20 #Room dimensions - x, y , length, width
21 (50 100 400 50 Corridor)
22 (50 200 350 150 Toilet)
23 (50 400 350 150 Kitchen)
24 (150 600 250 250 Room1)
25 (450 50 250 150 Livingroom)
26 (450 250 250 150 Room2)
27 (450 450 250 300 Room3)
28

```

Figura 5: Archivo de configuración de diseño de casa

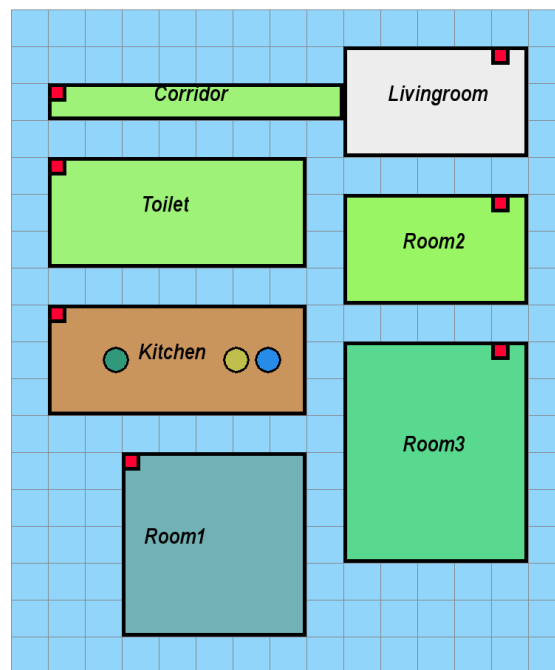


Figura 6: Ejemplo de tres personas dentro de una misma habitación

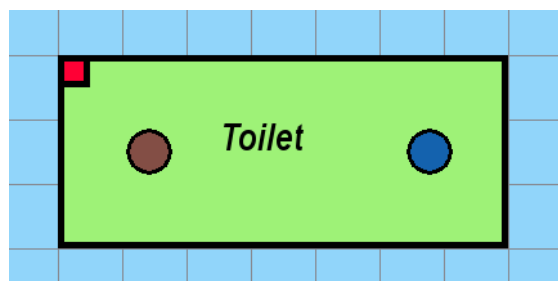


Figura 7: Beacons estáticos durante la simulación

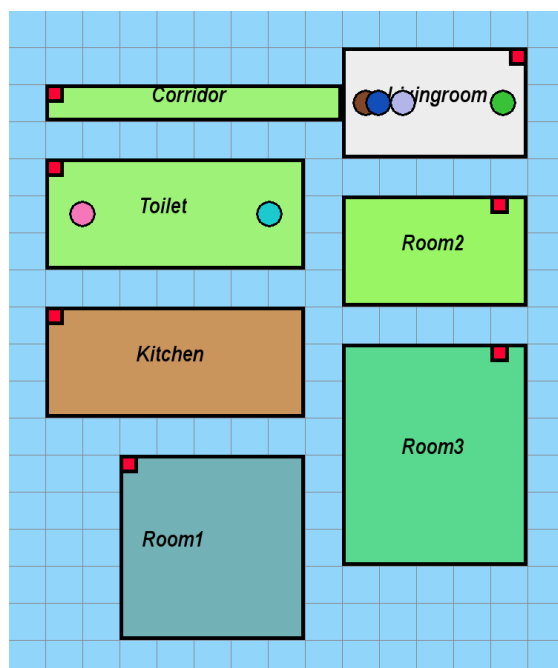


Figura 8: Beacons en movimiento

### 3.3.4. Prueba en supermercado

Una vez testada la tecnología se llevó a cabo una prueba real en un supermercado. Para ejecutar el ejemplo se instalaron únicamente dos masters y seis Beacons en carros en movimiento.

Como suele ocurrir, la prueba real no se asemejaba tanto a las pruebas anteriores y podemos comprobar como el algoritmo se complica más en ausencia de numerosos masters escuchando Beacons. En este caso como solo se disponían de dos, los cálculos no siempre eran tan precisos y el filtro implementado en el caso de un desplazamiento rápido de un equipo de punta a punta del supermercado no era el más óptimo.

Podemos ver como los puntos amarillos son los carros de la compra percibidos por ambos Beacons y los rojos son aquellos que solo son escuchados por un master, de tal modo que el punto en el que se encuentran es menos preciso a menos número de masters escuchando. Igualmente se puede llegar a ver en que lugar hay más concentración de gente.

## 3.4. Conclusiones

Se puede concluir que la tecnología de posicionamiento de objetos o personas en interiores es suficientemente precisa como para situarlos de una forma acertada dentro de una habitación.

Se han de tener en cuenta las limitaciones físicas que esto conlleva puesto que los equipos presentan fluctuaciones en su percepción de Rssi, así como de la influencia de medio en el que se coloquen.

Aún con todo esto estamos ante un sistema perfectamente válido para la aplicación que tenemos entre manos, siempre y cuando no se requiera de una exactitud o precisión elevada.

El mayor punto a favor de este sistema es su relación calidad precio, por un pequeño y bajo coste se puede colocar un dispositivo emisor y posicionarlo sin miedo a que se pierda puesto que un sustituto sería asequible.

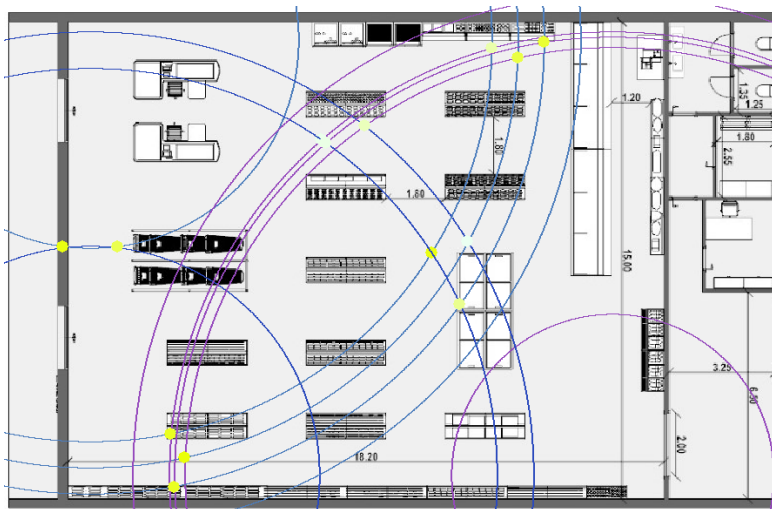


Figura 9: Beacons en movimiento dentro de supermercado captura 1

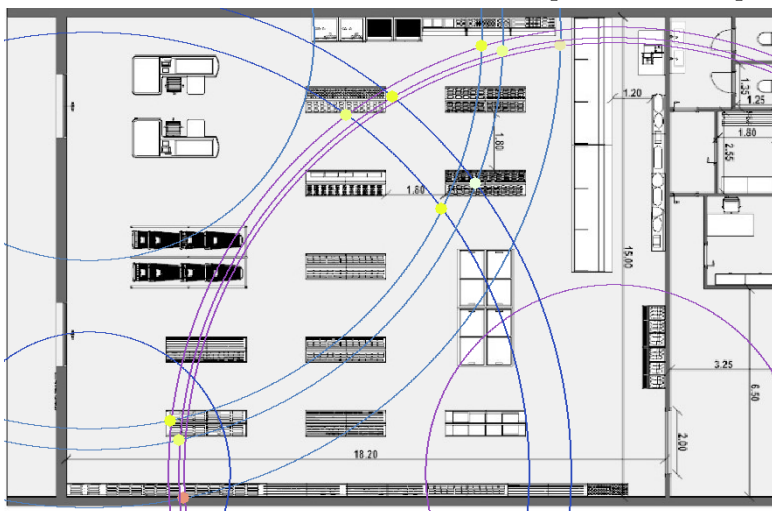


Figura 10: Beacons en movimiento dentro de supermercado captura 2

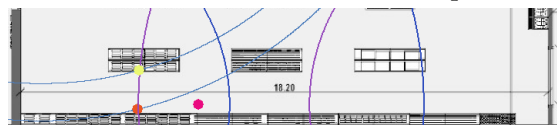


Figura 11: Beacons en supermercado percibidos solo por un master