

**Simulación de Cobertura Wi-Fi mediante Funciones
Gaussianas en el Gimnasio ICESI**

AQUAMONIT

Noviembre 2025

Proyecto Integrador II

Javier Torijano

Documentación: Mapa de Calor de Access Points en el Gimnasio ICESI

1. Resumen ejecutivo

Este documento presenta el desarrollo de una simulación de cobertura Wi-Fi en la zona de duchas del Gimnasio ICESI, con el fin de evaluar la viabilidad de transmitir datos de sensores ambientales (ESP32 + YF-S201) instalados en cada ducha. La simulación se realizó mediante un script en MATLAB que genera un mapa de calor basado en la superposición de funciones gaussianas centradas en los Access Points Aruba AP-E03-P1 presentes en el recinto. La metodología permite estimar la intensidad relativa de la señal y visualizar áreas de mayor y menor cobertura. Los resultados obtenidos muestran valores estimados entre -38 dBm y -47 dBm, muy superiores al límite de sensibilidad del ESP32 (\approx -90 dBm), lo que confirma que la conectividad en toda el área es estable y redundante para la transmisión continua de telemetría. Esta simulación constituye un insumo clave para validar la instalación de sensores y planificar la integración de la infraestructura de red del gimnasio.

2. Introducción

El acceso a redes inalámbricas confiables es fundamental en espacios universitarios donde convergen estudiantes, personal administrativo, dispositivos IoT y sistemas de control. En el caso particular del Gimnasio ICESI, se ha identificado la necesidad de garantizar conectividad estable en áreas donde se instalarán sensores de flujo de agua y monitoreo ambiental, especialmente en las duchas, donde las condiciones físicas limitan la propagación de la señal Wi-Fi.

Este documento tiene como propósito describir la estructura y funcionamiento del script desarrollado en MATLAB para simular la cobertura Wi-Fi en el área mencionada. A partir de esta simulación, se busca verificar que la infraestructura de red existente garantiza la cobertura necesaria para la transmisión confiable de datos desde los sensores ESP32 ubicados en las duchas. El análisis incluye el modelo matemático utilizado, la representación gráfica mediante funciones gaussianas y la estimación de potencia recibida considerando el modelo FSPL.

3. Metodología

3.1. Herramientas Utilizadas

La simulación se realizó en MATLAB R2023a, empleando funciones de graficación, generación de mallas 2D, superposición de imágenes y cálculo matricial. No se utilizaron toolboxes adicionales.

3.2 Modelo de Propagación

Se empleó un modelo simplificado basado en funciones gaussianas para representar la potencia recibida:

$$Z = e^{-\left(\frac{(x-c_x)^2}{2\sigma_x^2} + \frac{(y-c_y)^2}{2\sigma_y^2}\right)}$$

donde:

- c_x, c_y : coordenadas del Access Point
- $\sigma_x = \sigma_y = 5$: medida de dispersión de la señal
- Z: intensidad normalizada de la señal

Además, para validar la cobertura real, se empleó el modelo de pérdida en espacio libre (FSPL):

$$FSPL(dB) = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) + 32.44$$

Con:

- f = 2400 MHz
- d = distancia AP → sensor

3.3 Parámetros del Sistema

- Frecuencia: 2.4 GHz
- Potencia AP Aruba AP-E03-P1: hasta 30 dBm
- Ganancia antena: 4–5 dBi
- Sensibilidad ESP32: entre –90 y –96 dBm
- Cobertura teórica por AP: ~25 metros

3.4 Suposiciones

- No se consideran materiales ni absorción por paredes.
- La propagación se modela como circular (gaussiana).
- No se contempla interferencia con otros APs ni multipath.
- El gimnasio se representa mediante figuras geométricas simples.

4. Estructura General del Script

El script define un entorno bidimensional (en metros) que representa la planta física del gimnasio y dibuja los elementos principales

Elemento	Representación	Descripción
----------	----------------	-------------

Paredes / áreas	Rectángulos	Delimitan duchas, baños y gimnasio
Access Points	Rombos negros	Representan los AP Aruba
Sensores ESP32	Puntos rojos	Ubicación de los sensores en las duchas
Señal Wi-Fi	Mapa de calor gaussiano	Simula la propagación de potencia recibida

4.1 Definición del entorno 2D

Se crea un plano cartesiano que representa la planta del gimnasio:

```
[xGrid, yGrid] = meshgrid(linspace(-4, 45, 800), linspace(-4, 45, 800));
```

4.2 Representación de la infraestructura física

Los muros y duchas se dibujan mediante rectángulos:

```
rectangle('Position',[22,15,6,4],'EdgeColor','k','LineWidth',2);
```

4.3 Ubicación de los Access Points

Los APs se representan como rombos:

```
cx_superior = 17.5;
cy_superior = 22;
plot(x_rombo1, y_rombo1, 'k', 'LineWidth', 1);
```

Los tres APs están ubicados en:

- (17.5, 22)
- (17.5, 0)
- (35, 31)

4.4 Generación del mapa de calor

Para cada AP se calcula la gaussiana y se visualiza con imagesc:

```
Z = exp(-((xGrid - cx).^2)/(2*sigma_x^2)+((yGrid - cy).^2)/(2*sigma_y^2));
h = imagesc(...);
set(h, 'AlphaData', Z^3);
```

Esto crea un mapa acumulativo donde zonas rojas indican mayor intensidad.

4.5 Colocación de sensores

Se representan como puntos rojos:

```
plot(24, 16.8, 'ro', 'MarkerSize', 5, 'MarkerFaceColor', 'r');
```

5. Ubicación y Distancias de los Access Points

AP	Ubicación (aproximada)	Distancia de referencia	Descripción
AP1 (Inferior)	(17.5, 0)	Delimitan duchas, baños y gimnasio	Instalado cerca de la entrada de los baños, cubre principalmente el corredor inferior y las duchas
AP2 (Superior)	17.5, 22)	Representan los AP Aruba	Situado sobre el pasillo superior, extiende cobertura hacia la parte central del gimnasio
AP3 (Gimnasio)	(35, 31)	- 20 m del centro de los baños - Directamente sobre el centro del gimnasio	Cubre la parte alta del gimnasio y refuerza la conectividad en áreas comunes

6. Especificaciones Técnicas del Access Point Aruba AP-E03-P1

Característica	Descripción
Modelo	Aruba Instant On AP-E03-P1
Bandas	2.4 GHz / 5 GHz / 6 GHz (Wi-Fi 6E)
Ancho de banda	20 / 40 / 80 MHz
Potencia de transmisión	Hasta 30 dBm (1 W)
Ganancia de antena	4 dBi (2.4 GHz), 5 dBi (5 GHz)
Sensibilidad del receptor	-90 dBm a -96 dBm según tasa de datos
Cobertura típica	Hasta 25 m interiores por AP (dependiendo de obstáculos)
Interfaces	1 puerto PoE Clase 4 (30 W máx.), 1 puerto Ethernet
Modos IP	Automático (DHCP) / Estático

7. Estimación de Potencia Recibida en los Sensores (ESP32 – Duchas)

Usando el modelo de pérdida de trayectoria en espacio libre (FSPL)

$$PL(d) = 32.44 + 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10}(d)$$

Donde:

- f = 2400MHz
- d = distancia (m)
- $PL(d)$ = pérdida en dB

8. Cálculos aproximados para los sensores ubicados en las duchas

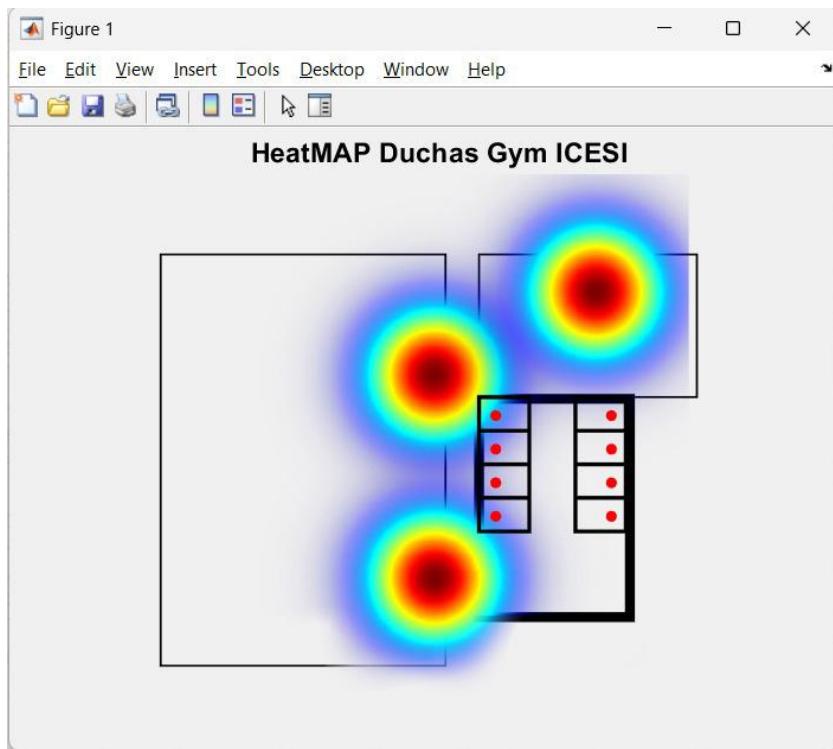
Fuente	Distancia	Pérdida (dB)	Potencia recibida estimada

AP1 → Duchas	16.6 m	≈ 70 dB	-40 dBm a -45 dBm
AP2 → Duchas	14 m	≈ 68 dB	-38 dBm a -43 dBm
AP3 → Duchas	20 m	≈ 72 dB	-42 dBm a -47 dBm

Estos valores son muy superiores a la sensibilidad mínima del ESP32 (≈ -90 dBm), por lo que la conectividad Wi-Fi es estable y suficiente para la transmisión de datos de los sensores

Las duchas reciben cobertura de al menos dos Access Points simultáneamente, garantizando redundancia y señal superior a -45 dBm, adecuada para telemetría continua de los sensores

9. Grafica del código



Este gráfico representa la distribución espacial de la intensidad de señal Wi-Fi en la zona de duchas del gimnasio de la Universidad ICESI, simulada mediante funciones gaussianas centradas en tres puntos de acceso (Access Points, APs) modelo Aruba AP-E03-P1.

Modelo de propagación: Se emplean funciones gaussianas para simular la atenuación de la señal desde cada AP. Esto implica que la intensidad máxima se encuentra en el centro de cada función (ubicación del AP), disminuyendo gradualmente hacia los bordes.

Distribución de intensidad:

Las zonas rojas indican alta intensidad de señal, típicamente cercanas a los APs.

Las zonas azules representan baja cobertura, posiblemente afectadas por obstáculos físicos como muros, divisiones o distancia excesiva.

Ubicación de los APs: Los tres puntos rojos en el plano corresponden a los APs. Su disposición parece estratégica para cubrir áreas clave del recinto, incluyendo duchas individuales y pasillos.

Cobertura efectiva:

Las duchas individuales muestran buena cobertura en la mayoría de los compartimentos, aunque algunas esquinas presentan degradación.

El pasillo central tiene una cobertura intermedia, lo que sugiere que la señal se dispersa adecuadamente, pero podría beneficiarse de ajustes de potencia o reubicación de APs.

8. Conclusiones

El script desarrollado permite simular de manera eficiente la distribución espacial de la señal Wi-Fi dentro del área de duchas del Gimnasio ICESI. Los resultados confirman que los niveles de potencia son suficientes para garantizar la transmisión continua de datos por parte de los sensores ESP32 instalados en cada ducha. La redundancia proporcionada por los tres Access Points ofrece robustez ante fallos y asegura conectividad constante.

9. Recomendaciones

Ajustar la potencia de transmisión de los APs para optimizar eficiencia energética.

Realizar mediciones reales con herramientas como Wi-Fi Analyzer o AirCheck.

Extender la simulación al resto del gimnasio y zonas adyacentes.

Implementar modelos más avanzados (log-normal, Rayleigh).

10. Referencias

IEEE 802.11ax Standard

Datasheet Aruba AP-E03-P1

Documentación oficial de MATLAB: imagesc, meshgrid, exp, plot

Espressif ESP32 Technical Reference Manual

10. Anexos

