

Universitat de Lleida
Escuela Politécnica Superior
Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas

Trabajo de final de carrera

Sistema de auto localización a partir de una red WIFI

Autor: Jordi Lladós Segura

Director: Jordi Palacín Roca

Julio 2010

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | | |
|----------|--|----------|
| 1 | Introducción..... | 1 |
| 1.1 | Presentación del problema | 1 |
| 1.2 | Objetivos del trabajo..... | 1 |
| 1.3 | Estado del arte..... | 1 |
| 1.3.1 | Indicador de fuerza de señal recibida (RSSI) | 2 |
| 1.3.2 | Ángulo de llegada (AOA) | 2 |
| 1.3.3 | Tiempo de llegada (TOA) | 3 |
| 1.3.4 | Tiempo de vuelo (TOF)..... | 3 |
| 1.4 | Estructura del proyecto | 4 |
| 2 | Sistema de auto localización a partir de una red WIFI | 5 |
| 2.1 | Detección de redes inalámbricas..... | 5 |
| 2.1.1 | Método de detección..... | 5 |
| 2.1.2 | Parámetros disponibles..... | 5 |
| 2.1.3 | Sistemas inalámbricos de recepción..... | 6 |
| 2.1.4 | Descripción de la función de detección..... | 7 |
| 2.2 | Método de auto localización | 8 |
| 2.3 | Recolección de datos de forma estática | 9 |
| 2.3.1 | Resultados en un escaneo instantáneo | 9 |
| 2.3.2 | Resultados en escaneos temporales | 10 |
| 2.3.3 | Comparativa entre adaptadores | 14 |
| 2.4 | Problemas en la señal inalámbrica..... | 17 |
| 2.4.1 | Influencia de la altura | 17 |
| 2.4.2 | Interferencias causadas por el medio..... | 20 |
| 2.4.3 | Efecto a causa de la presencia de una persona | 22 |
| 2.5 | Posicionamiento en un escaneo | 25 |
| 2.5.1 | Introducción..... | 25 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.5.2 | Escaneo temporal en varios puntos | 25 |
| 2.5.3 | Algoritmo de posicionamiento | 27 |
| 2.5.4 | Prueba de posicionamiento..... | 28 |
| 2.6 | Posicionamiento en un mapa | 31 |
| 2.6.1 | Introducción..... | 31 |
| 2.6.2 | Puntos de intensidad de señal | 31 |
| 2.6.3 | Mapa de cobertura inalámbrica | 31 |
| 2.6.4 | Algoritmo de posicionamiento | 33 |
| 2.6.5 | Pruebas de posicionamiento | 33 |
| 3 | Conclusiones y trabajo futuro..... | 40 |
| 4 | Bibliografía | 41 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Posición del Transmisor mediante AOA | 3 |
| Figura 2. Adaptador EnGenius..... | 6 |
| Figura 3. Adaptador Intel | 7 |
| Figura 4. Diagrama de funcionamiento..... | 7 |
| Figura 5. Localización mediante fingerprinting [4]: MU indica el usuario móvil | 8 |
| Figura 6. Escaneo instantáneo (EnGenius) | 9 |
| Figura 7. Escaneo instantáneo (Intel)..... | 10 |
| Figura 8. Escaneo temporal 24h 25/03/2010 (EnGenius) | 11 |
| Figura 9. Promedios escaneo temporal 24h 25/03/2010 (EnGenius)..... | 11 |
| Figura 10. Escaneo temporal 24h 06/04/2010 (EnGenius) | 12 |
| Figura 11. Promedios escaneo temporal 24h 06/04/2010 (EnGenius)..... | 12 |
| Figura 12. Escaneo temporal 24h 08/04/2010 (EnGenius) | 13 |
| Figura 13. Promedios escaneo temporal 24h 08/04/2010 (EnGenius)..... | 13 |
| Figura 14. Escaneo temporal 24h 05/05/2010 (EnGenius) | 15 |
| Figura 15. Promedios escaneo temporal 24h 05/05/2010 (EnGenius)..... | 15 |
| Figura 16. Escaneo temporal 24h 05/05/2010 (Intel)..... | 16 |
| Figura 17. Promedios escaneo temporal 24h 05/05/2010 (Intel) | 16 |
| Figura 18. Escaneo a altura 0 metros (EnGenius)..... | 18 |
| Figura 19. Escaneo a altura 0.65 metros (EnGenius)..... | 18 |
| Figura 20. Escaneo a altura 1 metro (EnGenius) | 19 |
| Figura 21. Escaneo a altura 1.45 metros (EnGenius)..... | 19 |
| Figura 22. Escaneo a altura 1.75 metros (EnGenius)..... | 20 |
| Figura 23. Fenómeno de reflexión | 21 |
| Figura 24. Fenómeno de refracción | 21 |
| Figura 25. Fenómeno de difracción | 21 |
| Figura 26. Escaneo temporal sin persona..... | 22 |

| | |
|---|----|
| Figura 27. Promedios escaneo temporal sin persona | 23 |
| Figura 28. Escaneo temporal con persona..... | 23 |
| Figura 29. Promedios escaneo temporal con persona | 24 |
| Figura 30. Pasillo EPS segundo piso..... | 25 |
| Figura 31. Escaneo temporal pasillo (EnGenius)..... | 26 |
| Figura 32. Escaneo temporal pasillo (Intel) | 26 |
| Figura 33. Prueba de posicionamiento en pasillo (1)..... | 28 |
| Figura 34. Prueba de posicionamiento en pasillo (4)..... | 29 |
| Figura 35. Prueba de posicionamiento en pasillo (8)..... | 29 |
| Figura 36. Prueba de posicionamiento en pasillo (11)..... | 30 |
| Figura 37. Mapa de puntos segundo piso EPS..... | 32 |
| Figura 38. Mapa de cobertura obtenido para la MAC: 00-0B-86-3B-7F-81 | 32 |
| Figura 39. Prueba en aula puntos a posicionar..... | 33 |
| Figura 40. Prueba posicionamiento 1 mala | 34 |
| Figura 41. Prueba posicionamiento 2 mala | 34 |
| Figura 42. Prueba posicionamiento 1 buena | 35 |
| Figura 43. Prueba posicionamiento 2 buena | 35 |
| Figura 44. Prueba en EPS segundo piso puntos a posicionar..... | 36 |
| Figura 45. Prueba en EPS segundo piso punto 1..... | 37 |
| Figura 46. Prueba en EPS segundo piso punto 2..... | 37 |
| Figura 47. Prueba en EPS segundo piso punto 3..... | 38 |
| Figura 48. Prueba en EPS segundo piso punto 4..... | 38 |
| Figura 49. Prueba en EPS segundo piso punto 5..... | 39 |
| Figura 50. Prueba en EPS segundo piso punto 6..... | 39 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Media escaneo temporal (EnGenius) | 14 |
| Tabla 2. Media escaneo temporal 24h 05/05/2010 (EnGenius - Intel)..... | 17 |
| Tabla 3. Media escaneo altura (EnGenius) | 20 |

1 Introducción

1.1 Presentación del problema

La necesidad de localizar una persona o un objeto en poco tiempo es una información valiosa en muchos campos. Mediante GPS podemos determinar la posición en exteriores, pero interesa tener una herramienta para determinarla también en interiores.

En este trabajo se hará un estudio con el objetivo de localizar una persona u objeto mediante la tecnología inalámbrica. En un futuro se mejorarán los métodos y algoritmos de localización para que esta sea más precisa, rápida y eficiente.

1.2 Objetivos del trabajo

El presente trabajo tiene como objetivo realizar un sistema de auto localización a partir de una red inalámbrica.

Para lograr dicho objetivo realizaremos una aplicación en Matlab la cual tratará la señal inalámbrica y finalmente deberá mostrar un mapa en escala real indicando en este la localización del objeto con una precisión aceptable.

Se ha prestado especial atención a que las muestras sean representativas teniendo en cuenta las interferencias y problemas que puede presentar una onda en el medio.

1.3 Estado del arte

Las propiedades de la señal inalámbrica que intervienen en el posicionamiento pueden ser [1]: Indicador de fuerza de señal recibida cuyas siglas en inglés son RSSI (Received Signal Strength Indication), ángulo de llegada cuyas siglas en inglés son AOA (Angle Of Arrival), tiempo de llegada cuyas siglas en inglés son TOA (Time Of Arrival), su variación diferencia del tiempo de llegada cuyas siglas en inglés son TDOA (Time Difference Of Arrival) y el tiempo de vuelo cuyas siglas en inglés son TOF (Time Of Flight).

1.3.1 Indicador de fuerza de señal recibida (RSSI)

Este método se basa en el uso de varios puntos de acceso (con un mínimo de tres) para realizar la localización de la persona u objeto. Las técnicas que se basan en este método destacan por la falta de equipamiento adicional y por consecuencia ningún coste extra. Los errores que se cometen son debidos por la situación y el número de puntos de acceso, la distancia de muestreo y cambios en el entorno.

Los métodos se dividen en dos grupos: fingerprinting y trilateration.

El fingerprinting (huella digital) consiste en generar un mapa de intensidades RSSI del área de interés, para generarlo se deben decidir dónde ubicar los puntos de referencia y se deben escoger en base a una distancia coherente entre ellos. Una vez obtenido el mapa (fase de entrenamiento), se puede proceder a la localización, para ello se lee el RSSI de todos los puntos de acceso visibles por la persona/objeto y mediante un algoritmo se encuentra el punto que mejor coincide con el mapa trazado en la fase de entrenamiento. No hay que olvidar que los cambios en el medioambiente causan variaciones en la señal, de modo que las medidas tomadas se pueden quedar obsoletas con el paso del tiempo.

El método basado en trilateration (modelo de propagación) consiste en conocer las coordenadas de los puntos de acceso. Si la distancia r desde el punto de acceso hasta el objeto puede ser medida, se puede dibujar un círculo con radio r , la intersección de estos círculos resulta en un punto el cual es la posición del objeto. El problema principal es que las medidas obtenidas se basan en la potencia de la señal y encontrar un modo de convertirlo a distancia es complicado.

1.3.2 Ángulo de llegada (AOA)

Este método se basa en trilateration mediante el uso de antenas sensitivas a la dirección en los receptores de manera que se pueda obtener la dirección hacia el emisor.

El ángulo de llegada se calcula trazando una línea entre el receptor y emisor y otra desde el receptor hacia una dirección conocida como pueden ser los puntos cardinales (Figura 1). Usando varios receptores en posiciones conocidas se puede determinar la posición del transmisor mediante triangulación. Para tomar estas mediciones se requiere de varias antenas sensitivas a la dirección en varias ubicaciones, la precisión de este aumenta según el número de antenas utilizadas y también a su vez el coste.

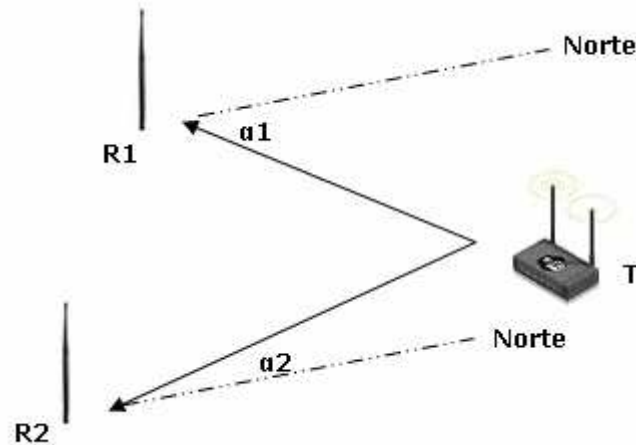


Figura 1. Posición del Transmisor mediante AOA

1.3.3 Tiempo de llegada (TOA)

Este método se basa en trilateration y en el tiempo de propagación de la señal entre el transmisor y los receptores.

El tiempo de propagación es el que necesita la señal para viajar desde el transmisor al receptor y puede calcularse como $(t_{\text{transmisor}} - t_{\text{receptor}})$. A partir de este tiempo y sabiendo que la velocidad de propagación es aproximadamente la de la luz se obtiene la distancia entre transmisor y receptor. Esta técnica tiene dos problemas básicos, el primero de ellos es que no haya una trayectoria directa entre el transmisor y el receptor, la segunda es que los relojes de ambos dispositivos deben estar sincronizados para obtener una distancia correcta, lo cual afecta en el coste de los dispositivos.

Se puede encontrar una variante de este método llamada diferencia del tiempo de llegada (TDOA), este se basa en la estimación de la diferencia entre los tiempos de llegada de la señal emitida en múltiples receptores. El problema de TDOA es que implica el uso de sistemas basados en ecuaciones no lineales.

1.3.4 Tiempo de vuelo (TOF)

Este método basado en trilateration utiliza el tiempo transcurrido en una transmisión entre emisor y receptor, consiguiendo una velocidad de propagación estimada de la señal.

Receptores con relojes de alta exactitud transmiten señales con valores de tiempo de salida conocidos hacia los transmisores con este tipo de relojes. El tiempo de salida se compara con el tiempo de llegada y usando una estimación de la velocidad de propagación se puede determinar la distancia entre los dispositivos.

Este método sufre de los mismos problemas que DOA.

1.4 Estructura del proyecto

El proyecto se ha estructurado en los siguientes capítulos:

- Capítulo 1. Introducción.
Descripción del problema, objetivos a tratar y métodos hasta la fecha.
- Capítulo 2. Sistema de auto localización a partir de una red WIFI.
Detección de las redes inalámbricas, método propuesto para la localización y las pruebas llevadas a cabo.
- Capítulo 3. Conclusiones y trabajo futuro.
Conclusiones extraídas en la finalización del proyecto y mejoras de cara al futuro.
- Capítulo 4. Bibliografía.
Documentos consultados para la realización del proyecto.

2 Sistema de auto localización a partir de una red WIFI

2.1 *Detección de redes inalámbricas*

2.1.1 Método de detección

La detección de las redes inalámbricas se ha realizado mediante un programa desarrollado en Matlab que utiliza funciones mex para acceder a funciones estándar del sistema operativo Windows.

Para realizar la detección se ha realizado una función mex de Matlab, que consiste en una dll que permite utilizar funciones de otros lenguajes de programación, en este caso del lenguaje C. Se han creado dos funciones distintas. La primera permite acceder a los adaptadores de red en el registro de Windows y obtener el nombre de cada adaptador y su ID. La segunda permite el acceso al adaptador seleccionado y recoger todos los parámetros de los puntos de acceso visibles.

2.1.2 Parámetros disponibles

Las redes inalámbricas tienen los siguientes parámetros:

- SSID: Nombre del punto de acceso visible por todos los usuarios.
- MAC: Secuencia de valores única que lo identifica. Ejemplo: XX-XX-XX-XX-XX-XX.
- RSSI: Fuerza de la señal en dbm (decibelios referenciados a 1mW).
- Encriptación: Tipo de codificación de datos.
- Frecuencia: Identifica el canal en uso, este referencia su frecuencia (1 → 2.412 GHz hasta el 13 → 2.472 GHz).
- Beacon: Paquetes que anuncian periódicamente la presencia del punto de acceso.

2.1.3 Sistemas inalámbricos de recepción

EnGenius Wireless LAN Long Range USB Adapter (EUB - 862 EXT2) [2].

- Chipset: Atheros AR5523 + AR5112.
- Conexión: USB 2.0.
- Canal: 2.412 ~ 2.472 GHz en Europa.
- Potencia: 200mW.
- 2 x antenas de 2dBi.



Figura 2. Adaptador EnGenius

Intel(R) PRO/Wireless 3945ABG [3].

- Chipset: Intel 945.
- Conexión: mini PCI Express.
- Canal: 2.412 ~ 2.472 GHz en Europa.
- Potencia: 50.1mW.
- Antena de doble diversidad.

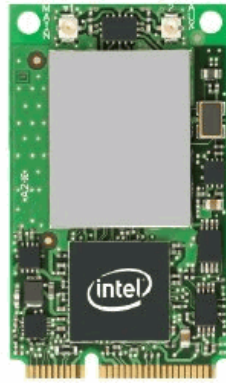


Figura 3. Adaptador Intel

Ambos receptores constan de doble antena omnidireccional (no influye la orientación).

El adaptador Intel recibe la señal por ambas antenas, pero solamente usa la que recibe con mejor calidad de señal (doble diversidad), en cambio el adaptador EnGenius dispone de una para cada rango de frecuencias 2.4GHz y 5GHz.

2.1.4 Descripción de la función de detección

La función principal se denomina wifi.m y tiene el siguiente diagrama de funcionamiento (Figura 4). En primer lugar detecta los adaptadores mediante la función elegir_adaptador.dll para mostrarlos. Una vez elegido el adaptador, permite realizar distintas consultas mediante la función buscar_ap.dll y posteriormente tratar los datos.

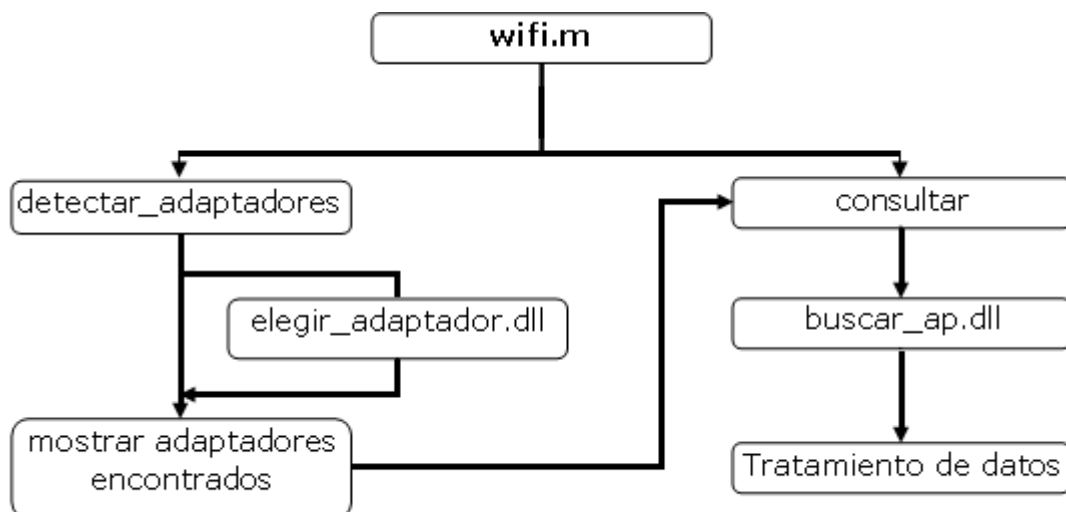


Figura 4. Diagrama de funcionamiento

2.2 Método de auto localización

En nuestro caso el método que se utilizará para la localización será el fingerprinting (huella digital).

Uno de los puntos principales a favor de este es que no requiere ningún hardware adicional, ya que los puntos de acceso proveen la información necesaria. Además en el entorno que se realizaran las pruebas hay una gran cantidad de puntos de acceso lo cual ayuda e incrementa la efectividad de este.

La localización mediante fingerprinting difiere del método tradicional, enés de determinar distancias entre la persona/objeto y el punto de acceso para una posterior triangulación, la determina comparando los valores obtenidos con el mapa guardado en memoria. Dicho mapa se debe construir mediante la recolección de valores en varios puntos y finalmente usar un algoritmo para determinar la posición el cual decidiremos más adelante (Figura 5).

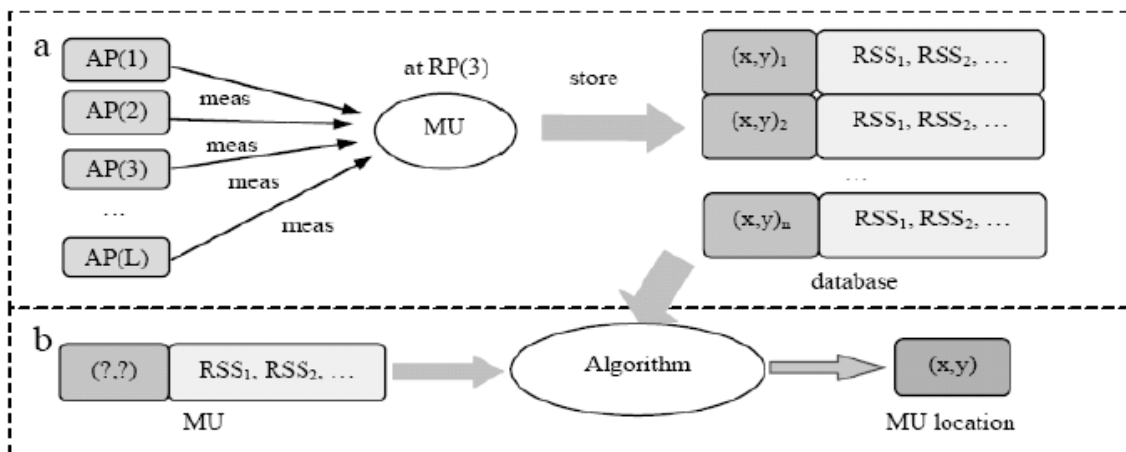


Figura 5. Localización mediante fingerprinting [4]: MU indica el usuario móvil

2.3 Recolección de datos de forma estática

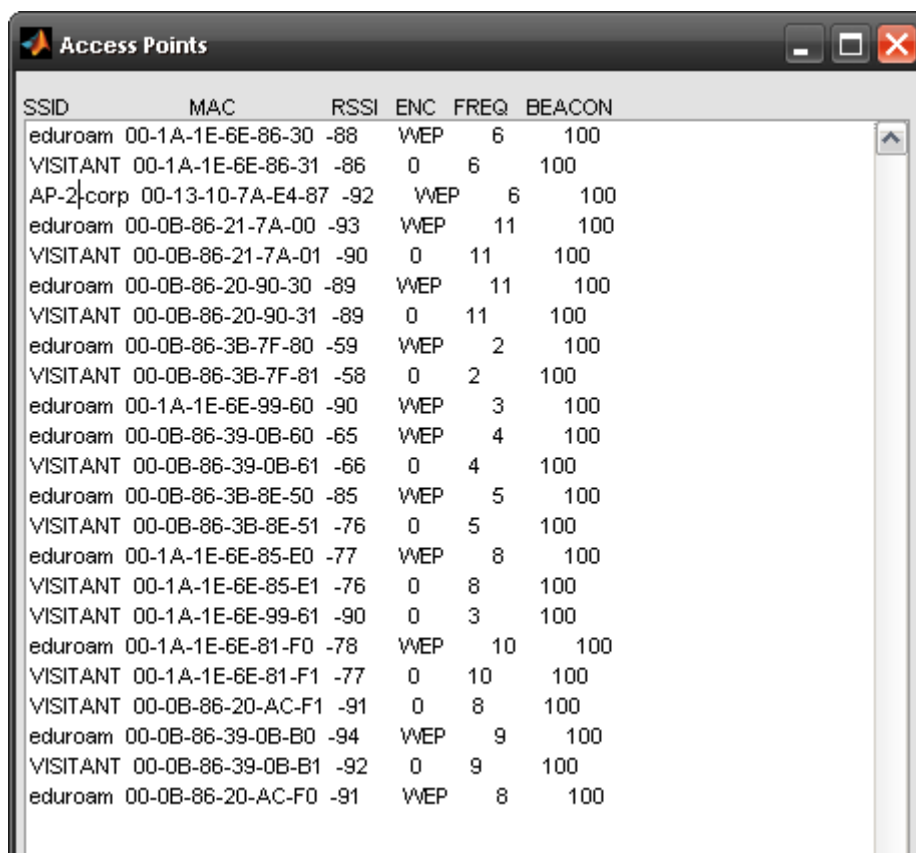
En este apartado se muestran los resultados obtenidos.

2.3.1 Resultados en un escaneo instantáneo

Para la obtención de datos mediante un escaneo instantáneo se ha realizado una medición en el laboratorio de robótica de la Escuela Politécnica Superior (EPS) situando el receptor EnGenius y el receptor Intel en el mismo lugar.

La Figura 6 muestra los parámetros obtenidos con el adaptador EnGenius y la Figura 7 con el adaptador Intel.

Se observa que el adaptador EnGenius recibe un mayor número de redes, siendo estas las que se encuentran a más distancia del dispositivo y por consiguiente con menor RSSI, esto es debido a la diferencia de potencia entre los receptores. En ambos casos el punto de acceso con MAC 00-0B-86-3B-7F-8X (siendo “X” [0,1] “VISITANT” o “EDUROAM”) es la que se recibe con más señal, las demás mantienen una relación parecida en cuando a potencia en ambos dispositivos.



| SSID | MAC | RSSI | ENC | FREQ | BEACON |
|-----------|-------------------|------|-----|------|--------|
| eduroam | 00-1A-1E-6E-86-30 | -88 | WEP | 6 | 100 |
| VISITANT | 00-1A-1E-6E-86-31 | -86 | 0 | 6 | 100 |
| AP-2 corp | 00-13-10-7A-E4-87 | -92 | WEP | 6 | 100 |
| eduroam | 00-0B-86-21-7A-00 | -93 | WEP | 11 | 100 |
| VISITANT | 00-0B-86-21-7A-01 | -90 | 0 | 11 | 100 |
| eduroam | 00-0B-86-20-90-30 | -89 | WEP | 11 | 100 |
| VISITANT | 00-0B-86-20-90-31 | -89 | 0 | 11 | 100 |
| eduroam | 00-0B-86-3B-7F-80 | -59 | WEP | 2 | 100 |
| VISITANT | 00-0B-86-3B-7F-81 | -58 | 0 | 2 | 100 |
| eduroam | 00-1A-1E-6E-99-60 | -90 | WEP | 3 | 100 |
| eduroam | 00-0B-86-39-0B-60 | -65 | WEP | 4 | 100 |
| VISITANT | 00-0B-86-39-0B-61 | -66 | 0 | 4 | 100 |
| eduroam | 00-0B-86-3B-8E-50 | -85 | WEP | 5 | 100 |
| VISITANT | 00-0B-86-3B-8E-51 | -76 | 0 | 5 | 100 |
| eduroam | 00-1A-1E-6E-85-E0 | -77 | WEP | 8 | 100 |
| VISITANT | 00-1A-1E-6E-85-E1 | -76 | 0 | 8 | 100 |
| VISITANT | 00-1A-1E-6E-99-61 | -90 | 0 | 3 | 100 |
| eduroam | 00-1A-1E-6E-81-F0 | -78 | WEP | 10 | 100 |
| VISITANT | 00-1A-1E-6E-81-F1 | -77 | 0 | 10 | 100 |
| VISITANT | 00-0B-86-20-AC-F1 | -91 | 0 | 8 | 100 |
| eduroam | 00-0B-86-39-0B-B0 | -94 | WEP | 9 | 100 |
| VISITANT | 00-0B-86-39-0B-B1 | -92 | 0 | 9 | 100 |
| eduroam | 00-0B-86-20-AC-F0 | -91 | WEP | 8 | 100 |

Figura 6. Escaneo instantáneo (EnGenius)

| SSID | MAC | RSSI | ENC | FREQ | BEACON |
|----------|-------------------|------|-----|------|--------|
| eduroam | 00-0B-86-20-90-30 | -74 | WEP | 11 | 100 |
| VISITANT | 00-0B-86-20-90-31 | -76 | 0 | 11 | 100 |
| eduroam | 00-0B-86-21-7A-00 | -89 | WEP | 11 | 100 |
| VISITANT | 00-0B-86-21-7A-01 | -92 | 0 | 11 | 100 |
| VISITANT | 00-1A-1E-6E-81-F1 | -76 | 0 | 10 | 100 |
| eduroam | 00-1A-1E-6E-85-E0 | -71 | WEP | 8 | 100 |
| VISITANT | 00-1A-1E-6E-85-E1 | -71 | 0 | 8 | 100 |
| VISITANT | 00-0B-86-39-0B-61 | -67 | 0 | 4 | 100 |
| eduroam | 00-0B-86-3B-7F-80 | -35 | WEP | 2 | 100 |
| VISITANT | 00-0B-86-3B-7F-81 | -35 | 0 | 2 | 100 |
| eduroam | 00-1A-1E-6E-81-F0 | -76 | WEP | 10 | 100 |
| VISITANT | 00-0B-86-3B-7F-71 | -95 | 0 | 11 | 100 |
| eduroam | 00-0B-86-3B-7F-70 | -95 | WEP | 11 | 100 |
| eduroam | 00-1A-1E-6E-86-30 | -81 | WEP | 6 | 100 |
| VISITANT | 00-1A-1E-6E-86-31 | -76 | 0 | 6 | 100 |
| VISITANT | 00-0B-86-3B-8E-51 | -81 | 0 | 5 | 100 |

Figura 7. Escaneo instantáneo (Intel)

2.3.2 Resultados en escaneos temporales

Los siguientes experimentos se han realizado en el laboratorio de robótica de la Escuela Politécnica Superior situando el receptor EnGenius encima del ordenador y a una altura aproximada de 1.34 metros del suelo.

Para poder observar las redes que interesan en el posicionamiento se han creado una serie de filtros en la aplicación Matlab:

- Mostrar únicamente redes de la Universidad de Lleida: Como indica el nombre obviamos las redes que no sean “VISITANT” o “EDUROAM” ya que estas a diferencia de las demás son fijas y siempre están en funcionamiento.
- Eliminar duplicidad de los puntos de acceso: Cada emisor inalámbrico de la Universidad es visible por dos SSID “VISITANT” y “EDUROAM” teniendo ambos la misma MAC pero acabada en distinto número, en este caso solo interesa tener uno de estos ya que la potencia en ambos es la misma.
- Descartar punto de acceso (AP) con señal baja: Cuando un emisor se recibe con poca señal es probable que a veces se pierda constantemente y no es correcto usarlo para localizar.

Las gráficas contienen el RSSI de cada punto de acceso con un intervalo de muestreo de 60 segundos en un total de 24 horas para comprobar la estabilidad de la red.

Escaneo 24h (25/03/2010)

La Figura 8 muestra el resultado del escaneo, se observa que las redes tienen una amplitud de señal constante durante las 24 horas del escaneo a pesar de tener algún valor outlier (fuera del rango normal). A partir de los valores tomados en el escaneo se ha realizado una gráfica con los promedios de cada red y sus valores mínimos y máximos (Figura 9), mediante estos valores se creará una tabla para poder compararlos con los datos de los demás días (Tabla 1).

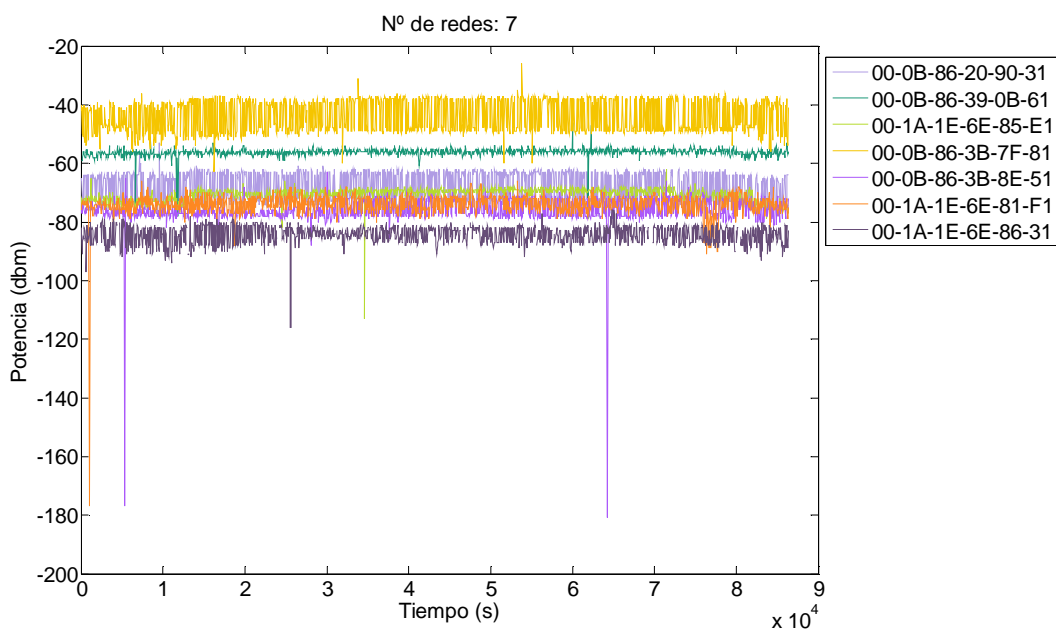


Figura 8. Escaneo temporal 24h 25/03/2010 (EnGenius)

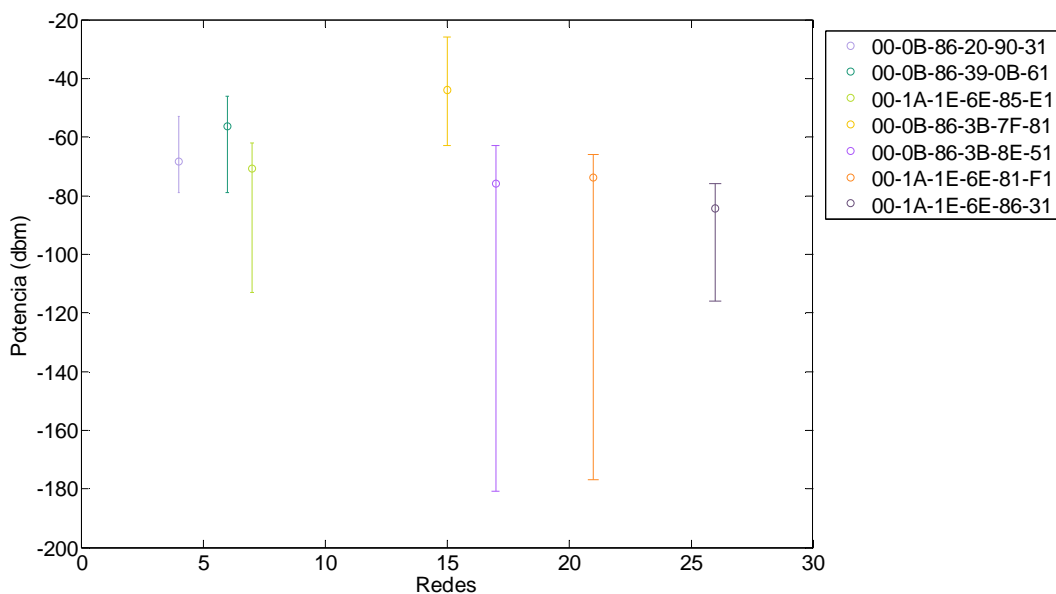


Figura 9. Promedios escaneo temporal 24h 25/03/2010 (EnGenius)

Escaneo 24h (06/04/2010)

Se observa (Figura 10) que las redes tienen amplitudes muy distintas conforme pasa el tiempo resultando en señales poco constantes, viendo este resultado y el anterior (Figura 8) se debería ver si este ha sido un hecho puntual causado por interferencias en la lectura o por inestabilidad en la red, por ello se deben revisar más experimentos y comprobar su comportamiento. En la Figura 11 se observan los promedios de cada red con su valor mínimo y máximo, además en la Tabla 1 se muestra el valor medio en concreto de cada una.

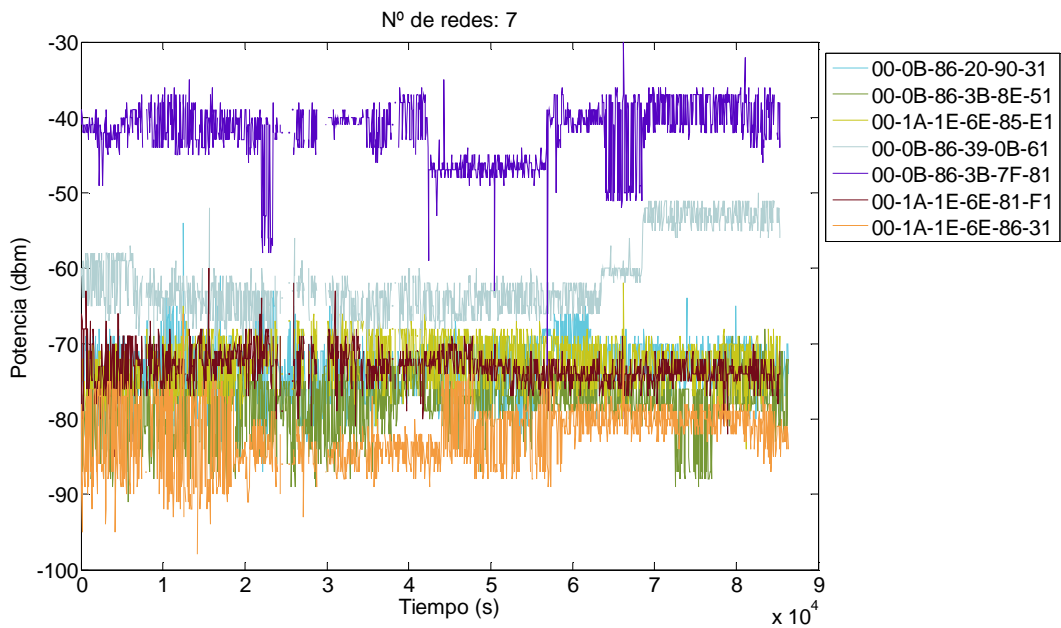


Figura 10. Escaneo temporal 24h 06/04/2010 (EnGenius)

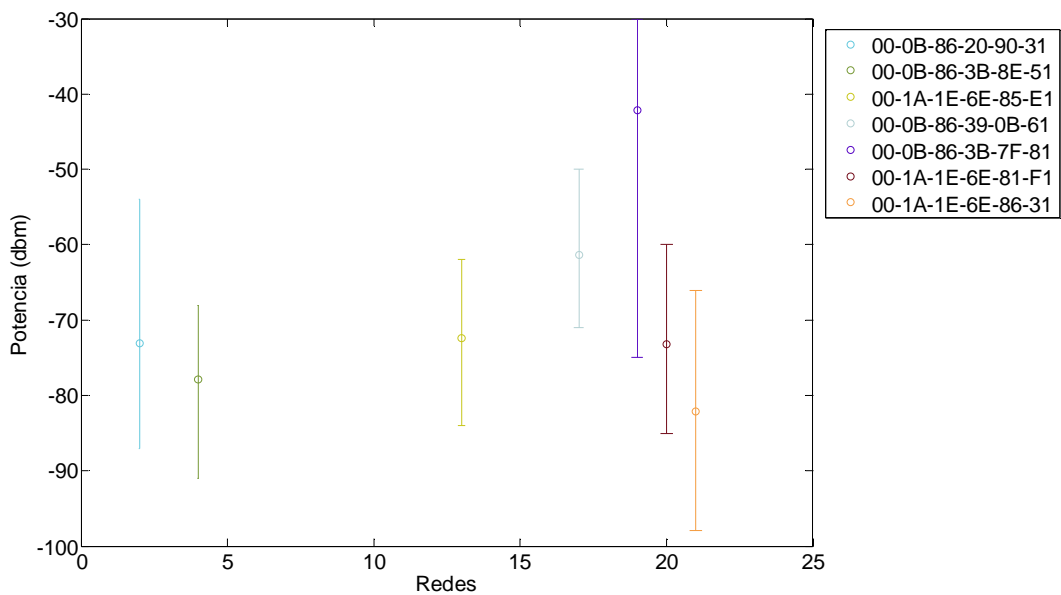


Figura 11. Promedios escaneo temporal 24h 06/04/2010 (EnGenius)

Escaneo 24h (08/04/2010)

Las redes vuelven a ganar su constancia en este escaneo (Figura 12) frente al anterior (Figura 10), siendo más similares a la Figura 8. Además tienen unos valores muy similares teniendo en cuenta que las muestras se han tomado en diferentes instantes de tiempo, se debería considerar el motivo de las interferencias en algunas lectura por ello se dedicará un apartado del trabajo a estudiarlo. En la Figura 13 se observan los promedios de cada red con su valor mínimo y máximo. En la Tabla 1 se muestra el valor medio en concreto de cada una.

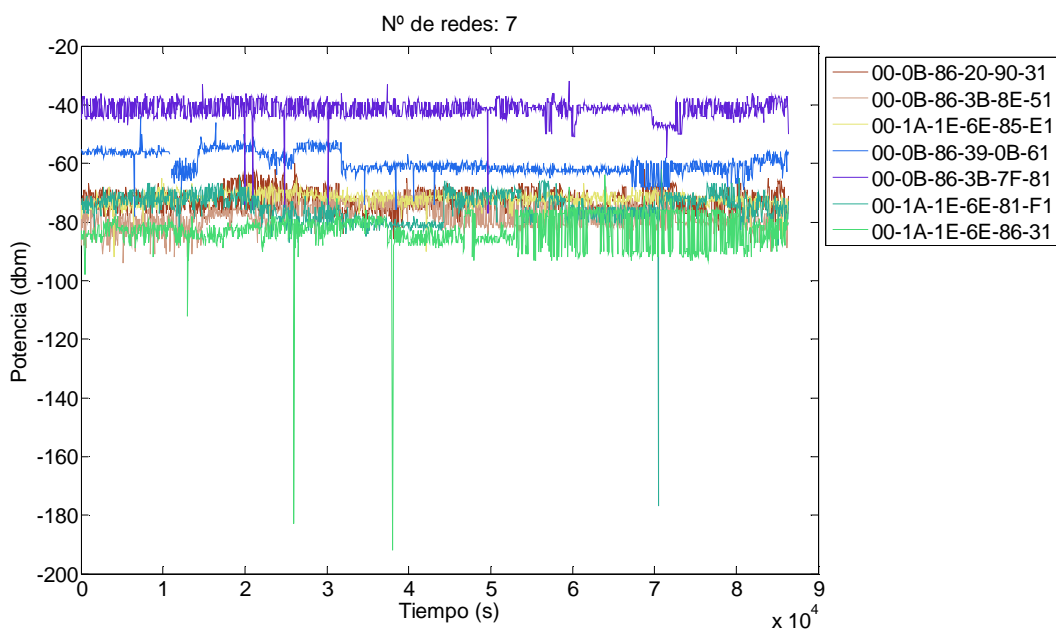


Figura 12. Escaneo temporal 24h 08/04/2010 (EnGenius)

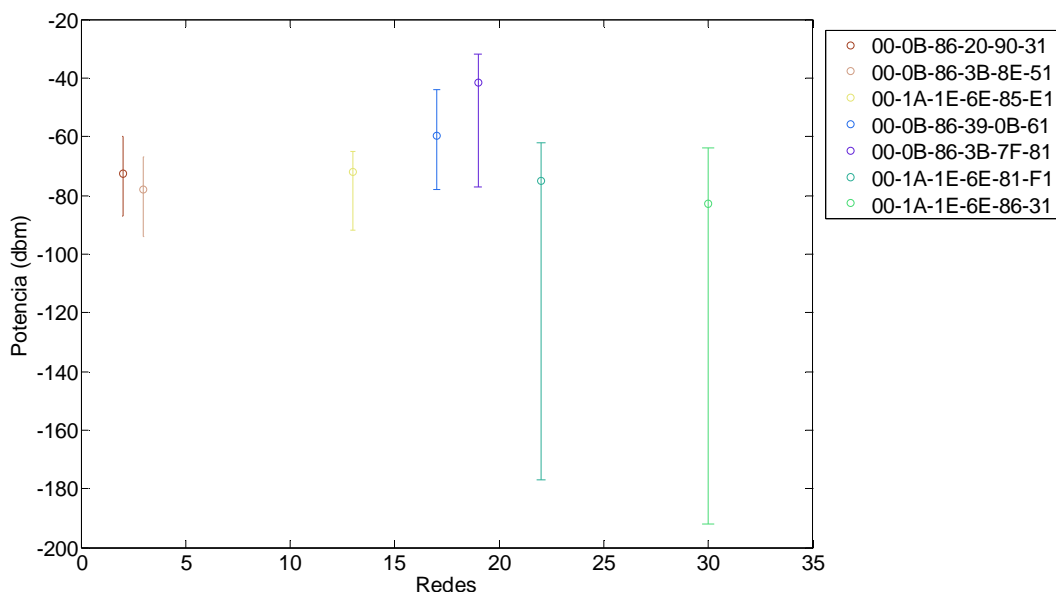


Figura 13. Promedios escaneo temporal 24h 08/04/2010 (EnGenius)

| MAC | 25/03/2010 (dbm) | 06/04/2010 (dbm) | 08/04/2010 (dbm) | Media (dbm) |
|-------------------|------------------|------------------|------------------|-------------|
| 00-0B-86-3B-7F-81 | -44,06 | -42,09 | -41,58 | -42,58 |
| 00-0B-86-39-0B-61 | -56,21 | -61,38 | -59,8 | -59,13 |
| 00-1A-1E-6E-85-E1 | -70,66 | -72,43 | -72,04 | -71,71 |
| 00-1A-1E-6E-81-F1 | -73,95 | -73,16 | -74,95 | -74,02 |
| 00-0B-86-20-90-31 | -68,27 | -73,07 | -72,73 | -71,36 |
| 00-0B-86-3B-8E-51 | -75,78 | -77,92 | -77,98 | -77,23 |
| 00-1A-1E-6E-86-31 | -84,39 | -82,06 | -82,94 | -83,13 |

Tabla 1. Media escaneo temporal (EnGenius)

En definitiva parece ser que las redes no acostumbran a presentar variaciones de amplitud de señal y de ser constantes las 24 horas del día. Cuando se producen pueden ser debidas por distintos factores que afectan a las ondas WIFI, estos serán detallados en el apartado 2.4.

2.3.3 Comparativa entre adaptadores

El experimento se ha realizado en el laboratorio de robótica de la Escuela Politécnica Superior situando el receptor EnGenius encima del ordenador portátil y escaneando simultáneamente a una altura de 0.92m del suelo. El resultado del escaneo tiene aplicados todos los filtros y el intervalo de muestreo en este caso es de 60 segundos por dato.

Se observa (Figura 14 y Figura 16) que los valores medios en ambos casos son bastante parecidos, siendo ligeramente mejores en el adaptador EnGenius ya que este a su favor tiene más potencia y por lo cual mejores valores. En la Figura 15 y Figura 17 se observan los promedios de cada red con su valor mínimo y máximo, la amplitud de la señal en el caso del adaptador EnGenius es más pequeña (sin tener en cuenta los outliers) y por lo cual mejor ya que no tiene tantas variaciones. Además las redes encontradas en ambos casos mediante los filtros son las mismas y los valores medios difieren de poco (Tabla 2).

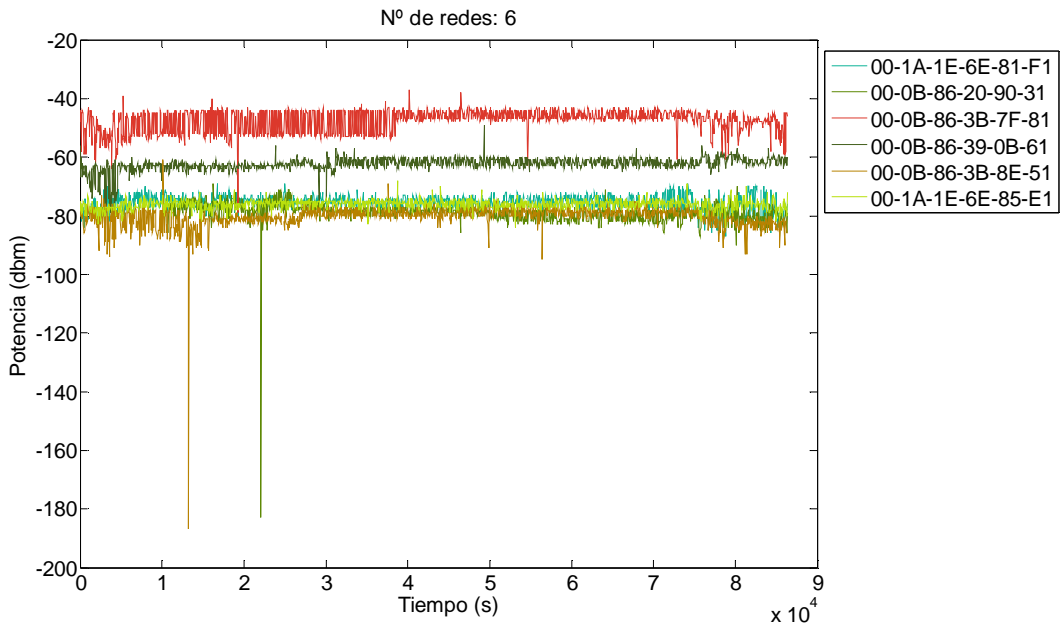


Figura 14. Escaneo temporal 24h 05/05/2010 (EnGenius)

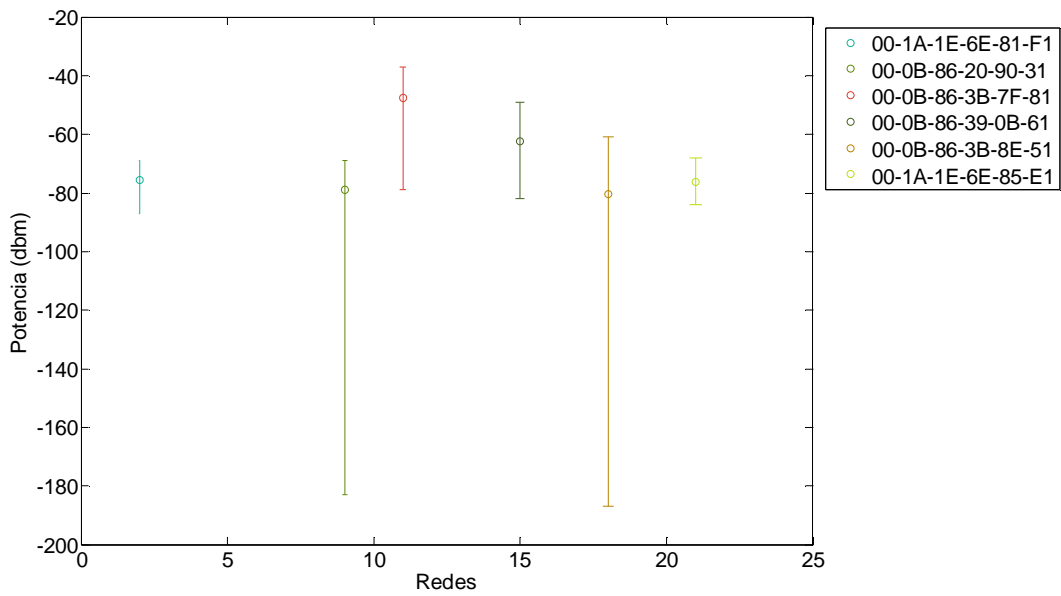


Figura 15. Promedios escaneo temporal 24h 05/05/2010 (EnGenius)

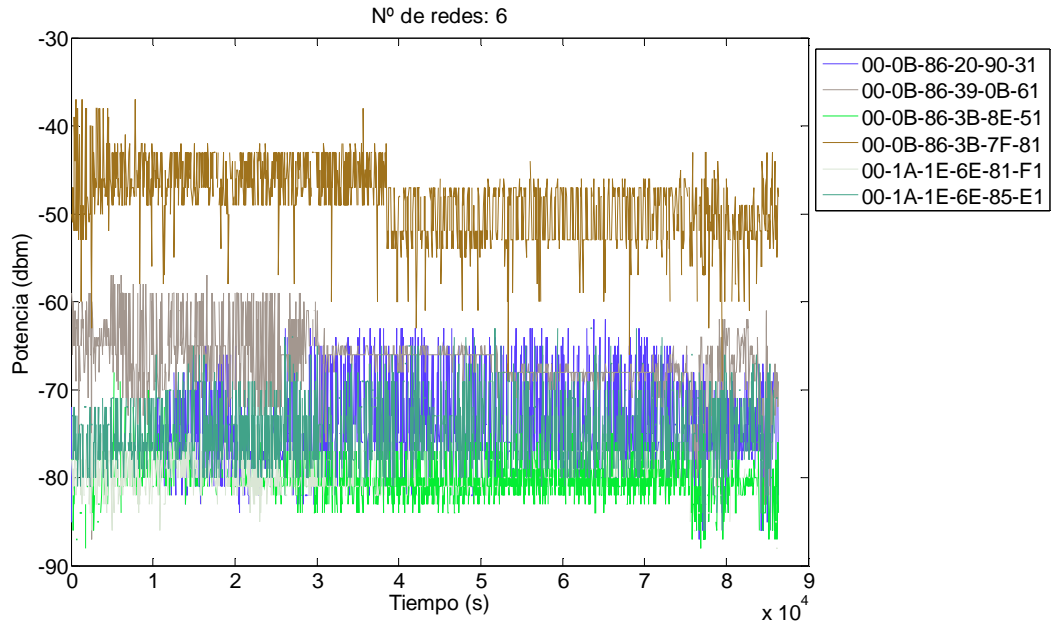


Figura 16. Escaneo temporal 24h 05/05/2010 (Intel)

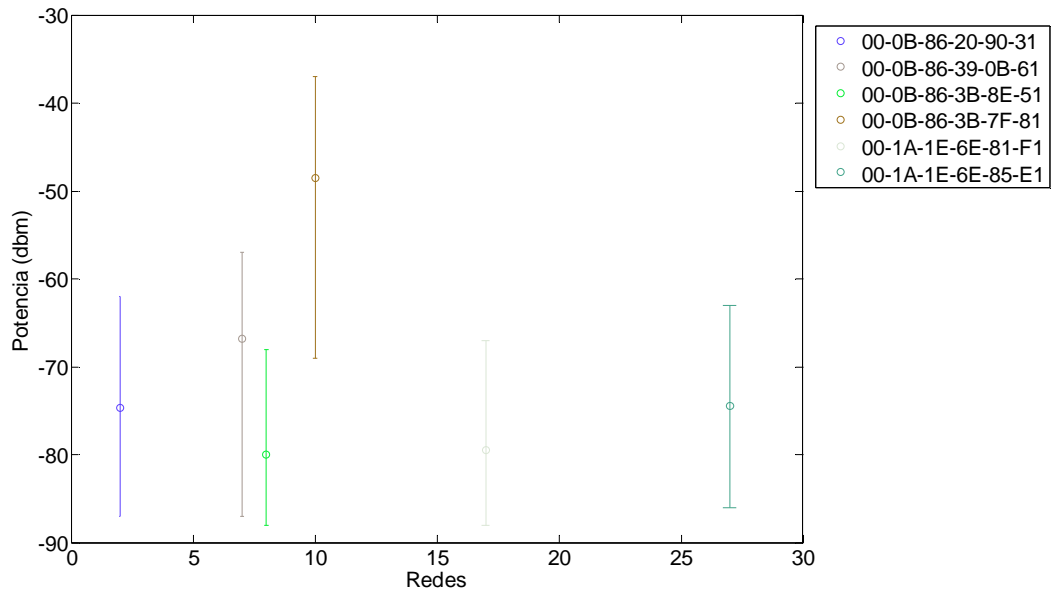


Figura 17. Promedios escaneo temporal 24h 05/05/2010 (Intel)

| MAC | EnGenius (dbm) | Intel (dbm) | Media (dbm) |
|-------------------|----------------|-------------|-------------|
| 00-0B-86-3B-7F-81 | -47,65 | -48,56 | -48,11 |
| 00-0B-86-39-0B-61 | -62,44 | -66,82 | -64,63 |
| 00-1A-1E-6E-85-E1 | -76,13 | -74,51 | -75,32 |
| 00-1A-1E-6E-81-F1 | -75,51 | -79,47 | -77,49 |
| 00-0B-86-20-90-31 | -78,95 | -74,71 | -76,83 |
| 00-0B-86-3B-8E-51 | -80,31 | -80,03 | -80,17 |

Tabla 2. Media escaneo temporal 24h 05/05/2010 (EnGenius - Intel)

2.4 Problemas en la señal inalámbrica

A parte de observar la influencia en la señal según el día, también interesa saber si esta es afectada por otros factores.

2.4.1 Influencia de la altura

El experimento se ha realizado en el laboratorio de robótica de la Escuela Politécnica Superior situando el receptor EnGenius en diferentes alturas del suelo. El resultado del escaneo tiene aplicados todos los filtros. El intervalo de muestreo en este caso es de 1 dato por segundo.

En general la diferencia entre distintas alturas no es muy notable, entre 1 y 3 dbm normalmente y habiendo muy pocos que difieren de algo más, siendo estos algún pico o influencia del medio y por lo cual no influyentes en un escaneo de larga duración (Figura 18, Figura 19, Figura 20, Figura 21 y Figura 22).

Dicho esto y contemplando que la mayoría de pruebas se harán a una altura parecida, no se ve necesario incluir una variable de altura en el escaneo de la wifi.

Ver valores en la Tabla 3

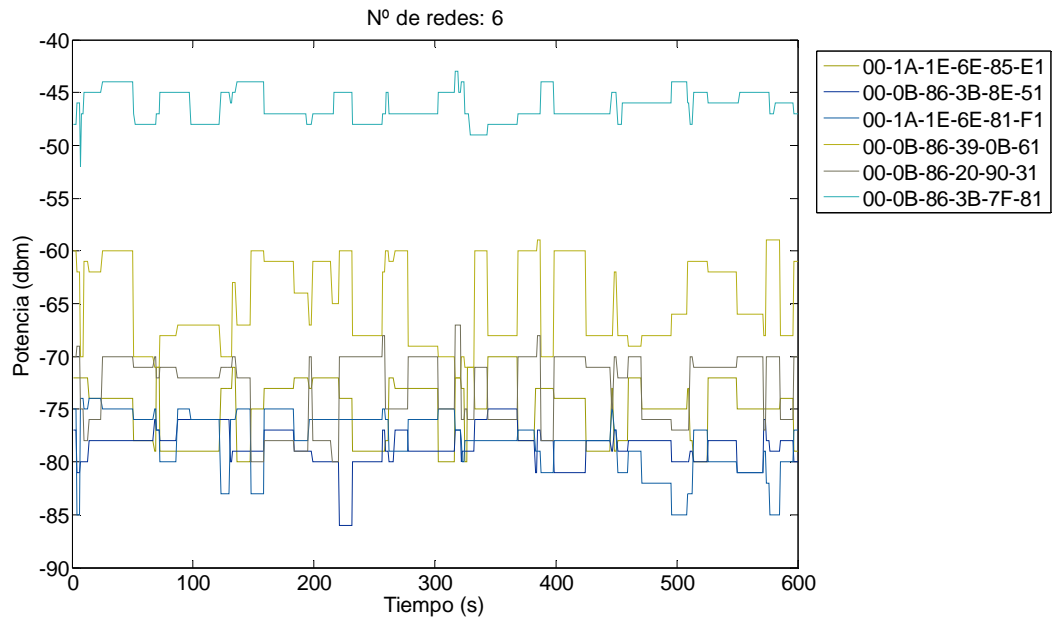


Figura 18. Escaneo a altura 0 metros (EnGenius)

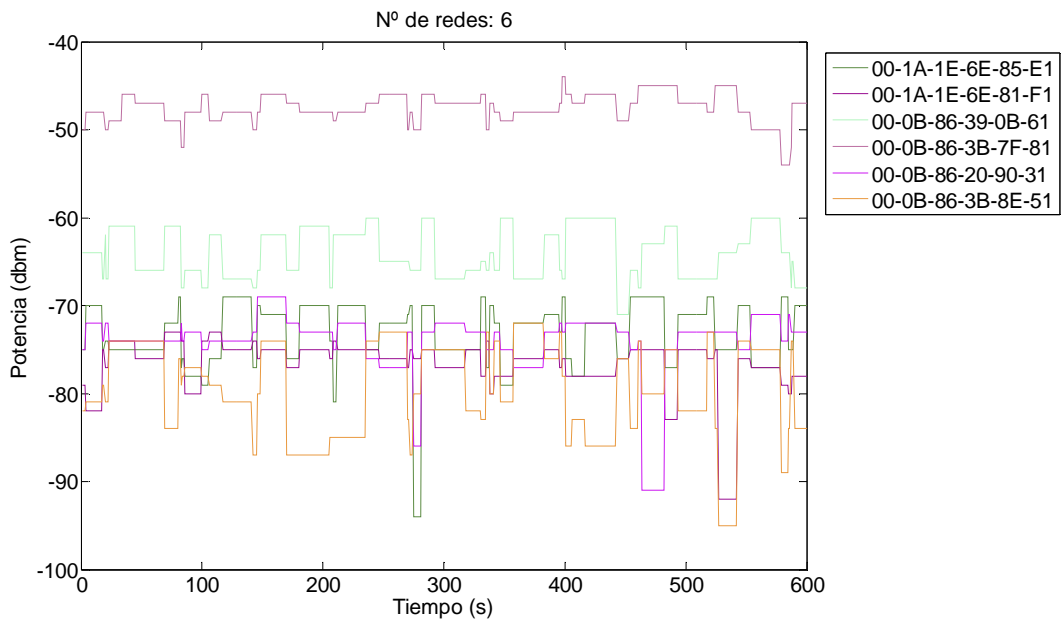


Figura 19. Escaneo a altura 0.65 metros (EnGenius)

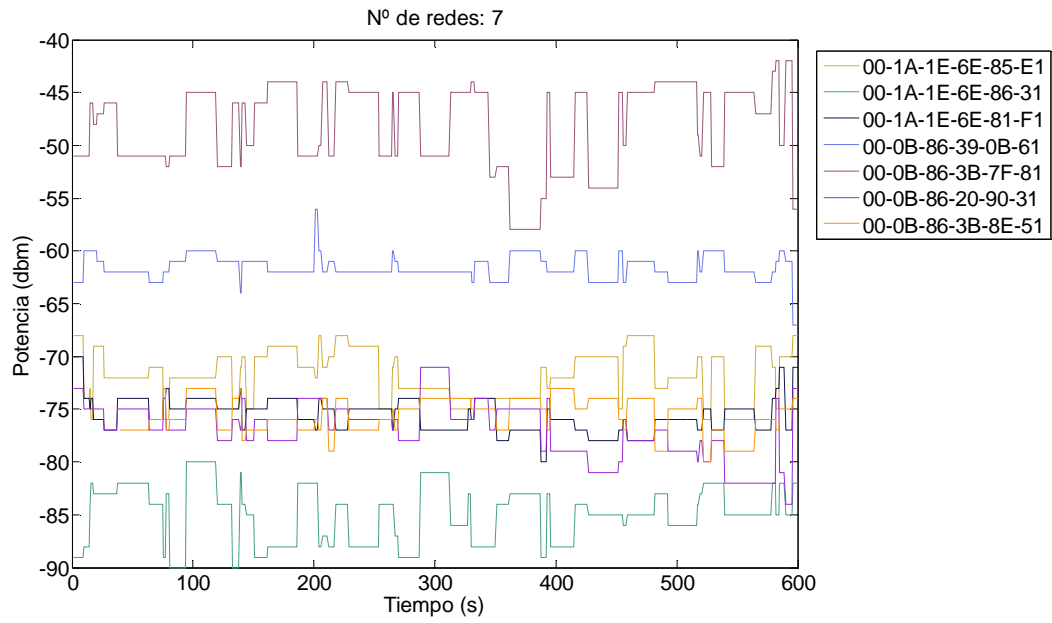


Figura 20. Escaneo a altura 1 metro (EnGenius)

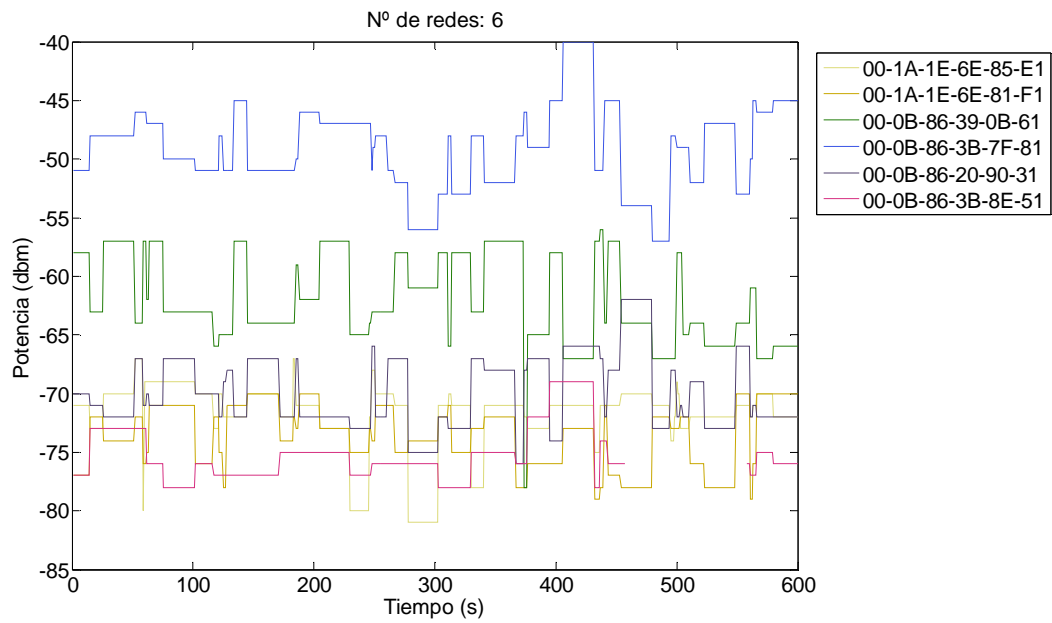


Figura 21. Escaneo a altura 1.45 metros (EnGenius)

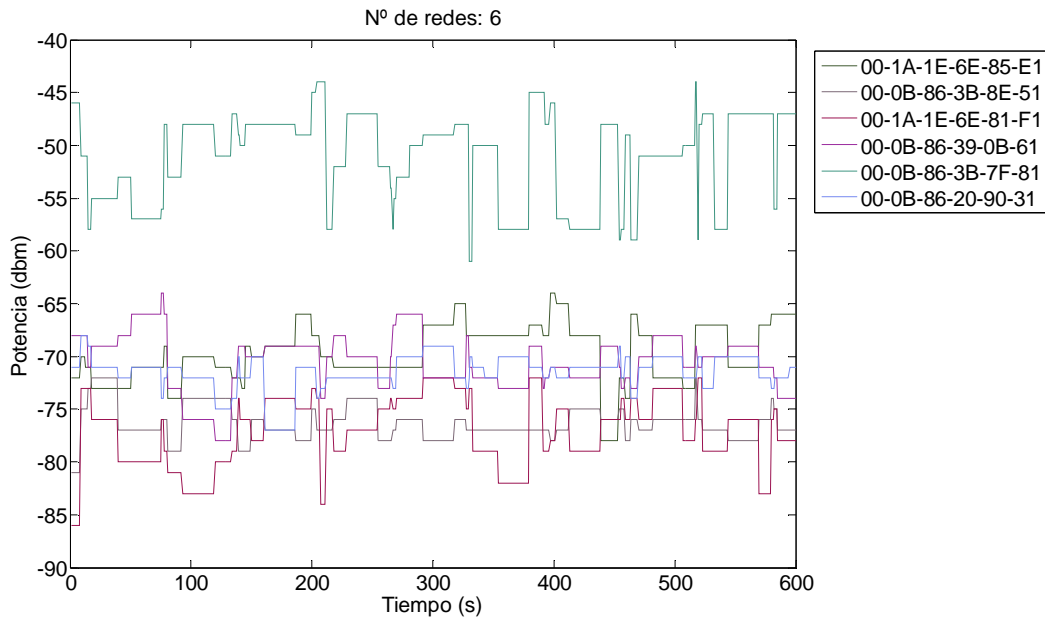


Figura 22. Escaneo a altura 1.75 metros (EnGenius)

| MAC | 0m (dbm) | 0.65m (dbm) | 1m (dbm) | 1.45m (dbm) | 1.75m (dbm) | Media (dbm) |
|-------------------|----------|-------------|----------|-------------|-------------|-------------|
| 00-0B-86-3B-7F-81 | -46,27 | -47,49 | -48,37 | -49,16 | -50,99 | -48,45 |
| 00-0B-86-39-0B-61 | -64,96 | -63,95 | -61,64 | -62,11 | -70,52 | -64,63 |
| 00-1A-1E-6E-85-E1 | -75,1 | -73,2 | -71,69 | -71,8 | -69,68 | -72,29 |
| 00-1A-1E-6E-81-F1 | -78 | -76,64 | -75,61 | -73,53 | -77,15 | -76,18 |
| 00-0B-86-20-90-31 | -72,89 | -74 | -76,96 | -69,93 | -71,46 | -73,04 |
| 00-0B-86-3B-8E-51 | -78,5 | -79,46 | -76,95 | -75,18 | -76,34 | -77,28 |

Tabla 3. Media escaneo altura (EnGenius)

2.4.2 Interferencias causadas por el medio

La propagación ideal es muy difícil de conseguir, hay varios fenómenos que distorsionan las señales y por consecuencia estas se atenúan [5].

- Reflexión: Cuando la onda colisiona contra un objeto de mayor tamaño que la longitud de onda de la propagada, parte o la totalidad de la onda se refleja y se observa una pérdida de la intensidad (Figura 23).

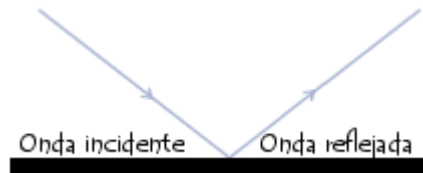


Figura 23. Fenómeno de reflexión

- Refracción: Es el cambio de dirección que sufre la onda al pasar de un medio material a otro con una densidad distinta (Figura 24).

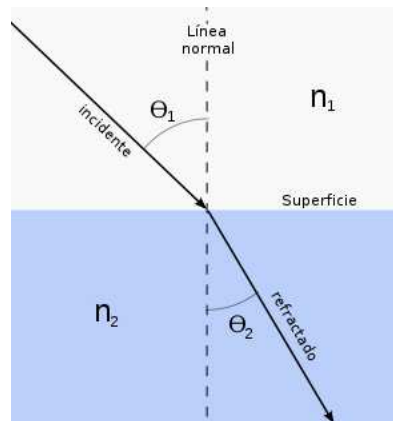


Figura 24. Fenómeno de refracción

- Difracción: Se produce cuando la onda colisiona contra un obstáculo y esta esparciéndose por los límites de la superficie es capaz de llegar al otro lado del obstáculo (Figura 25).



Figura 25. Fenómeno de difracción

- Dispersión: Ocurre cuando la onda atraviesa alguna masa de electrones o gotas de agua en áreas suficientemente grandes, y de esta manera se refractan.

2.4.3 Efecto a causa de la presencia de una persona

La red inalámbrica utiliza la banda de frecuencia de 2.4 GHz, la misma que la de los microondas. Su principio es el siguiente: la onda emitida a una gran potencia es absorbida por las moléculas de agua contenidas en los alimentos. Esta absorción “agita” las moléculas de agua y genera calor lo que permite calentar o cocer los alimentos. Por el mismo principio, cualquier obstáculo alrededor de una conexión WIFI 2.4GHz conteniendo agua atenuará en mayor o menor medida esta conexión.

Sabiendo que el cuerpo humano consiste en un 70% de agua, la potencia de la señal es absorbida cuando un usuario obstruye el camino y causa una atenuación extra. Para estudiar este efecto se ha realizado una prueba en la cual una persona obstruye el camino entre el punto de acceso con MAC 00-0B-86-3B-7F-81 y el receptor.

Se observa una diferencia notable en cuanto a potencia entre la Figura 26 en la cual nadie bloquea el paso de la señal entre el AP y el receptor y la Figura 28 en la cual una persona obstruye el camino de la señal. La diferencia de potencia entre ambas (Figura 27 y Figura 29) es de 5 dbm aproximadamente, un valor influyente que podría dar lugar a un mal posicionamiento en el mapa.

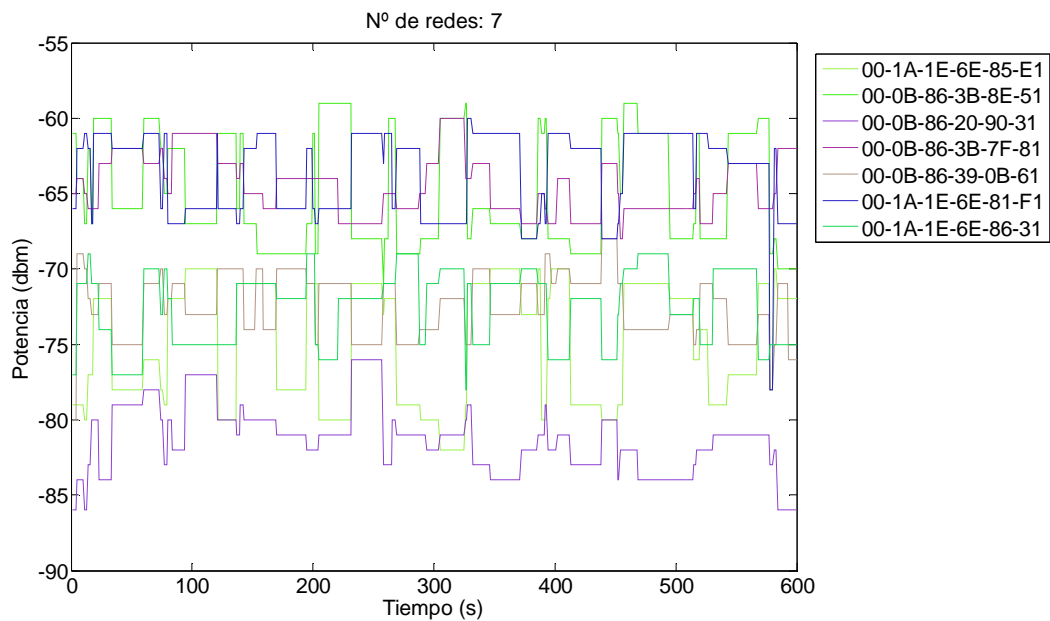


Figura 26. Escaneo temporal sin persona

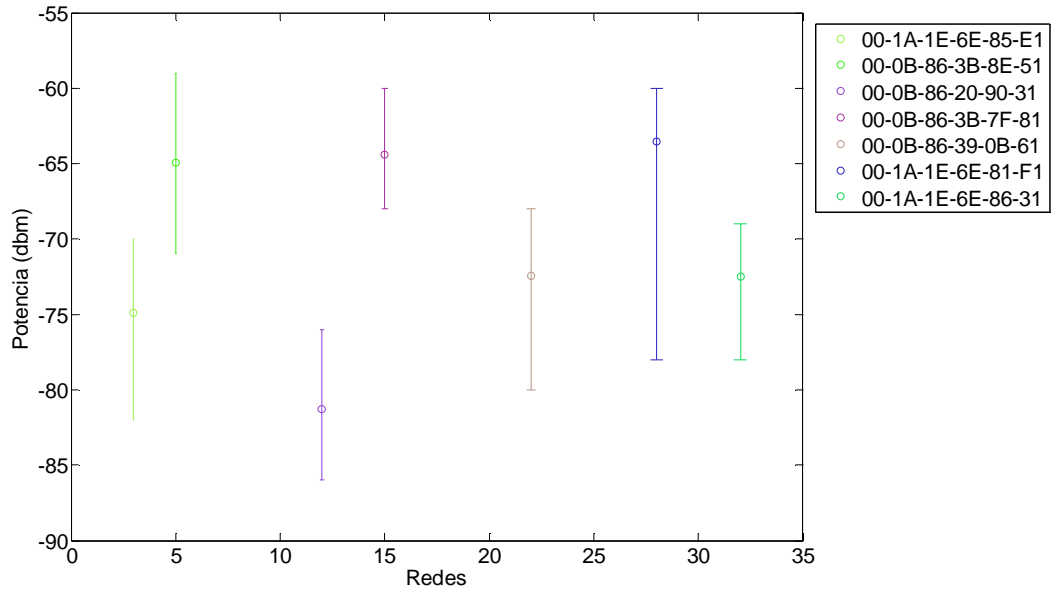


Figura 27. Promedios escaneo temporal sin persona

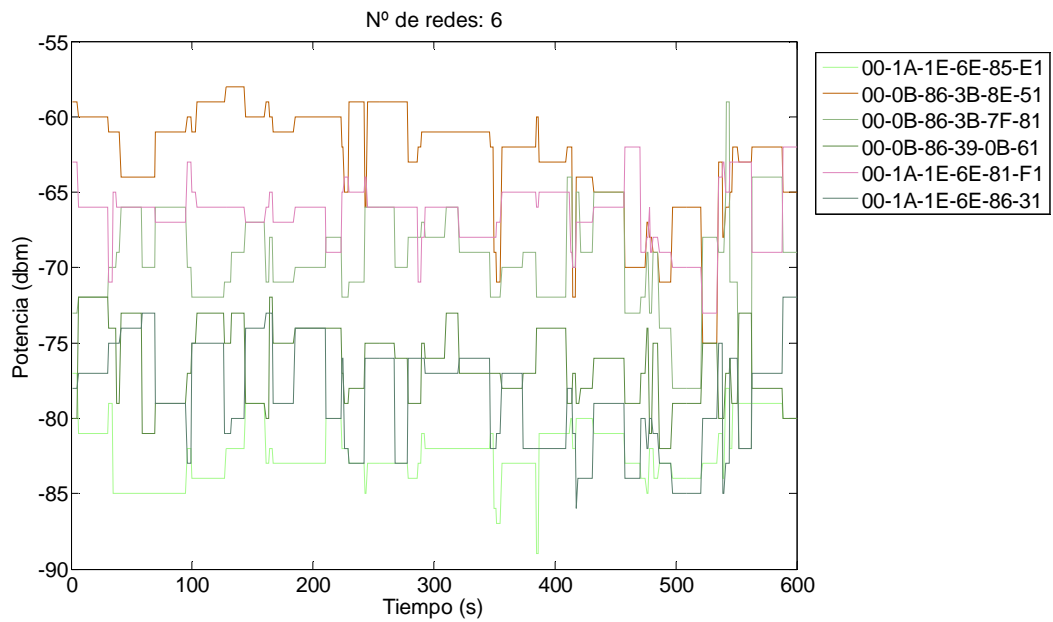


Figura 28. Escaneo temporal con persona

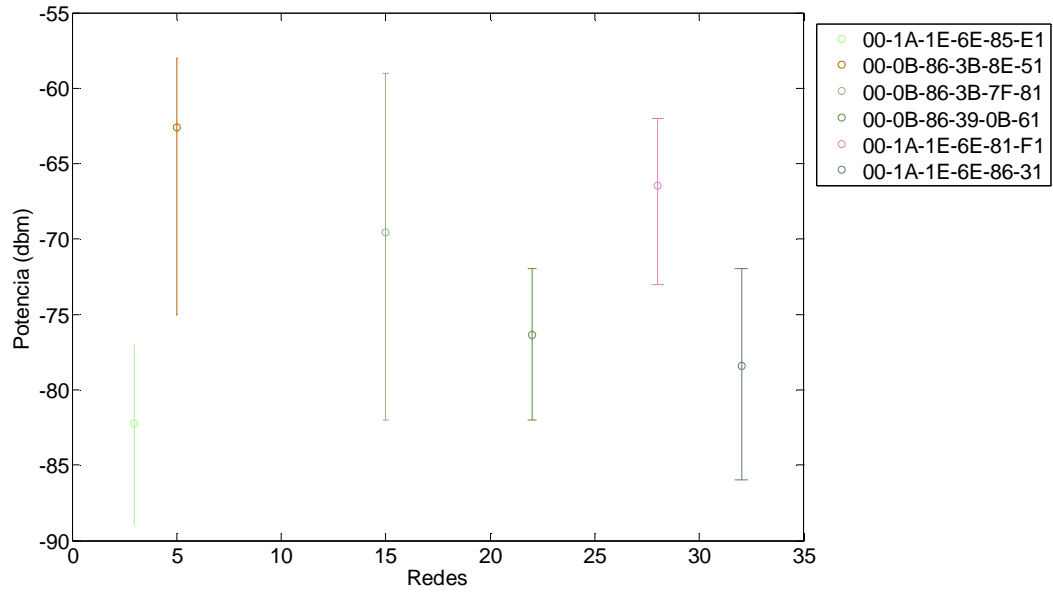


Figura 29. Promedios escaneo temporal con persona

2.5 Posicionamiento en un escaneo

2.5.1 Introducción

En base a un primer experimento de localización se realizará un escaneo temporal en varios puntos del pasillo del segundo piso de la Escuela Politécnica Superior (Figura 30) para un posterior intento de localización dentro de este.

Para realizarlo se ha situado el ordenador portátil en un carro con ruedas dotándole así de movimiento. Las pruebas se han realizado con ambos adaptadores con todos los filtros aplicados y a una altura aproximada de 1.09 metros del suelo.

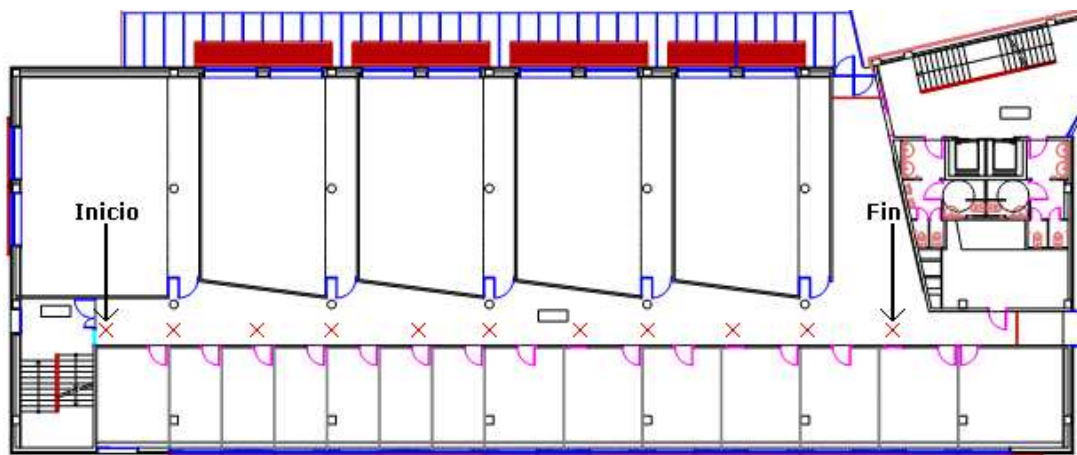


Figura 30. Pasillo EPS segundo piso

2.5.2 Escaneo temporal en varios puntos

La Figura 31 y Figura 32 muestran las gráficas potencia/tiempo con cada adaptador, en ambas se ha usado un tiempo de muestreo de 25 segundos estando un total de 100 segundos en cada punto marcado en la Figura 30, haciendo un total de cuatro muestras por punto. De esta forma el punto 1 está definido entre el instante 0 - 100 segundos, el punto 2 entre 100 - 200 segundos, etc.

En ambas gráficas se observa que conforme avanzamos del punto inicial las redes que tienen más potencia la van perdiendo (se aleja del AP que la emite), a su vez aparecen nuevas redes que antes no eran detectadas (se acerca a un AP que antes no era visible), y las de menos potencia la van recuperando (se acerca al AP que la emite).

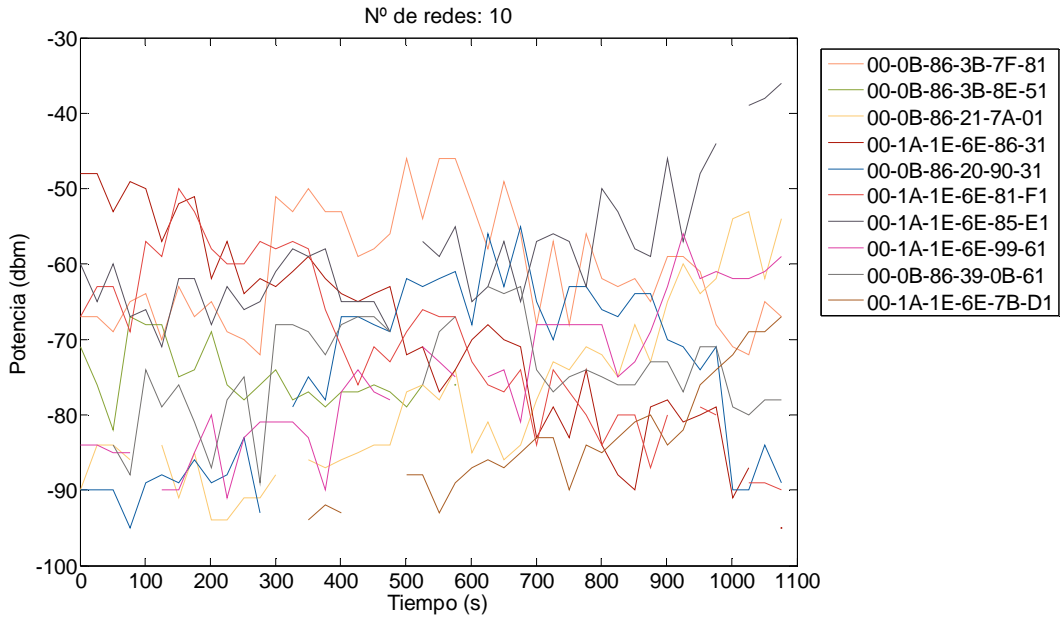


Figura 31. Escaneo temporal pasillo (EnGenius)

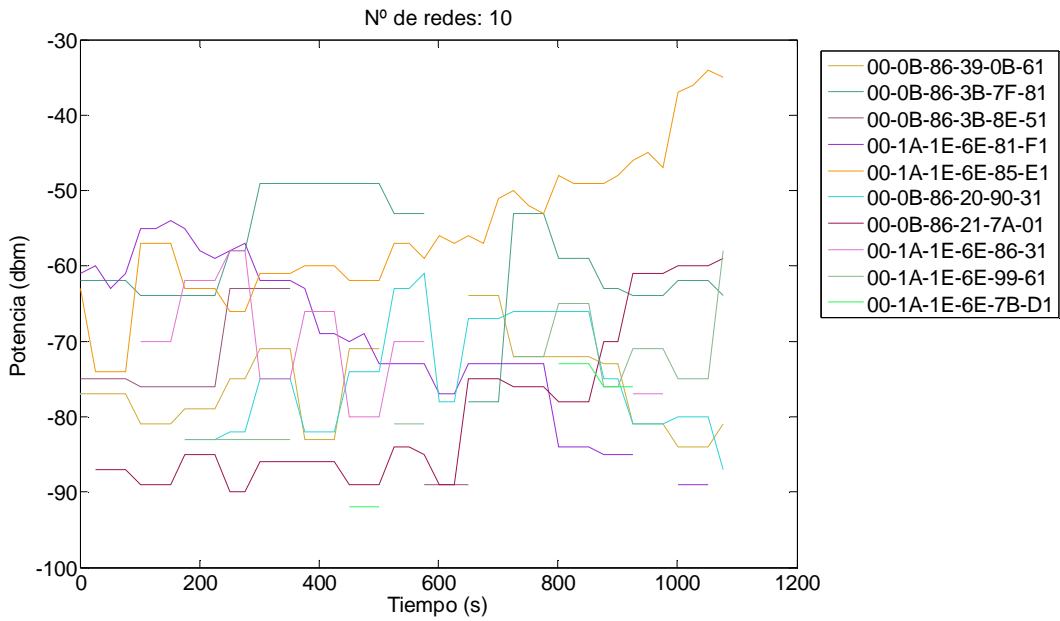


Figura 32. Escaneo temporal pasillo (Intel)

2.5.3 Algoritmo de posicionamiento

La manera de determinar el lugar donde se ha realizado el escaneo es aplicando:

1. Encontrar MAC común entre el escaneo en movimiento y el escaneo estático.
2. Restar a todos los RSSI de la MAC en los distintos puntos del pasillo el RSSI que tiene en el escaneo estático y ponerlo en valor absoluto. De modo que como más cercano sea el valor resultante a 0 mayor es la similitud del punto.
3. Repetir el paso 1 y 2 hasta que se haya hecho con todas las MAC que tienen en común.
4. Realizar el sumatorio de los valores en cada punto del pasillo por cada MAC y encontrar el mínimo, el cual será el punto que tiene los RSSI más parecidos al escaneo estático.

2.5.4 Prueba de posicionamiento

A partir del escaneo en movimiento anterior (Figura 31) realizado con el adaptador EnGenius, se probará que un escaneo estático realizado en cualquier punto del pasillo sea identificado en este mediante el algoritmo propuesto anteriormente.

En todos los casos el escaneo estático realizado para la comparativa tiene una duración de 60 segundos con un intervalo de muestreo de 1 segundo y se ha realizado con el adaptador EnGenius.

Posición de inicio (1)

El escaneo estático se ha realizado en el punto de inicio del pasillo marcado en la Figura 30. Los resultados obtenidos mediante la comparativa con el algoritmo propuesto muestran un posicionamiento correcto (Figura 33) sabiendo que el tiempo entre 0 y 100 segundos corresponde a la posición 1.

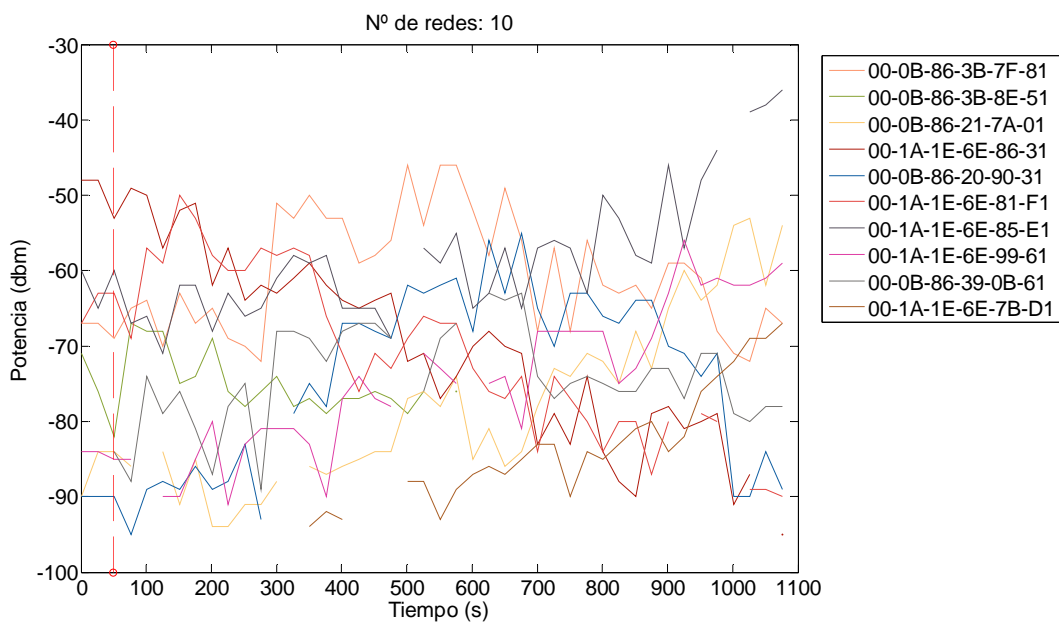


Figura 33. Prueba de posicionamiento en pasillo (1)

Posición (4)

El escaneo estático se ha realizado en el punto 4 del pasillo marcado en la Figura 30. Los resultados obtenidos mediante la comparativa con el algoritmo propuesto muestran un posicionamiento correcto (Figura 34) sabiendo que el tiempo entre 300 y 400 segundos corresponde a la posición 4.

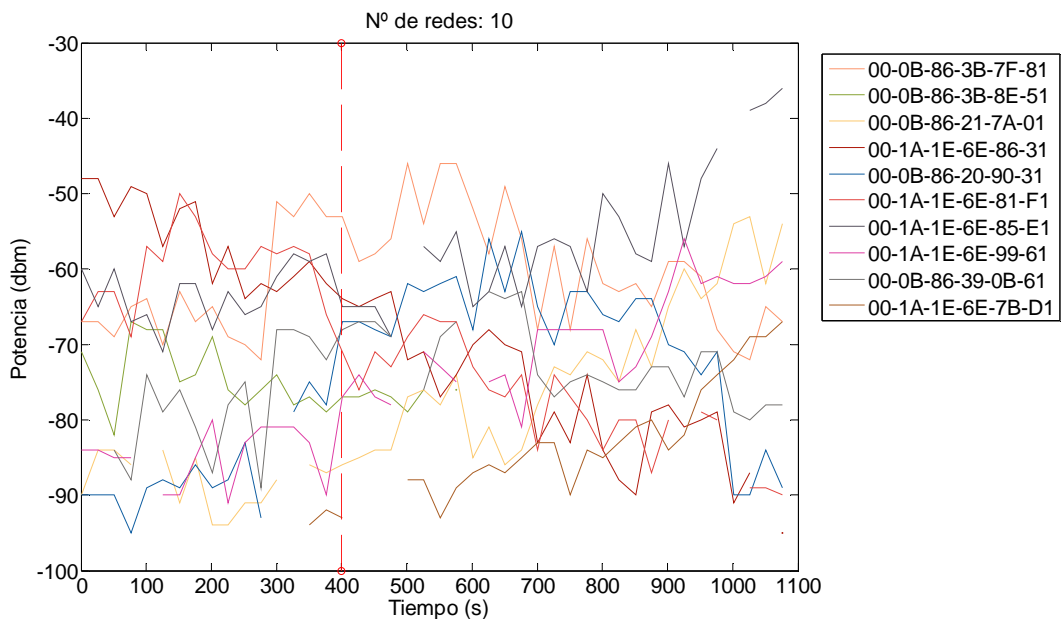


Figura 34. Prueba de posicionamiento en pasillo (4)

Posición (8)

El escaneo estático se ha realizado en el punto 8 del pasillo marcado en la Figura 30. Los resultados obtenidos mediante la comparativa con el algoritmo propuesto muestran un posicionamiento correcto (Figura 35) sabiendo que el tiempo entre 700 y 800 segundos corresponde a la posición 8.

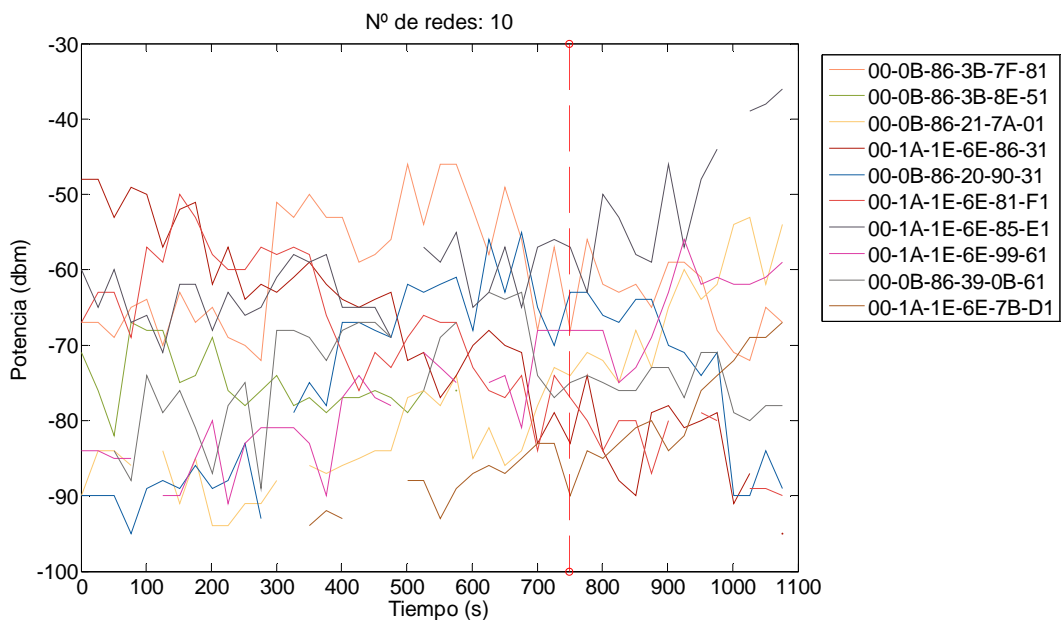


Figura 35. Prueba de posicionamiento en pasillo (8)

Posición final (11)

El escaneo estático se ha realizado en el punto final del pasillo marcado en la Figura 30. Los resultados obtenidos mediante la comparativa con el algoritmo propuesto muestran un posicionamiento correcto (Figura 36) sabiendo que el tiempo entre 1000 y 1100 segundos corresponde a la posición 11.

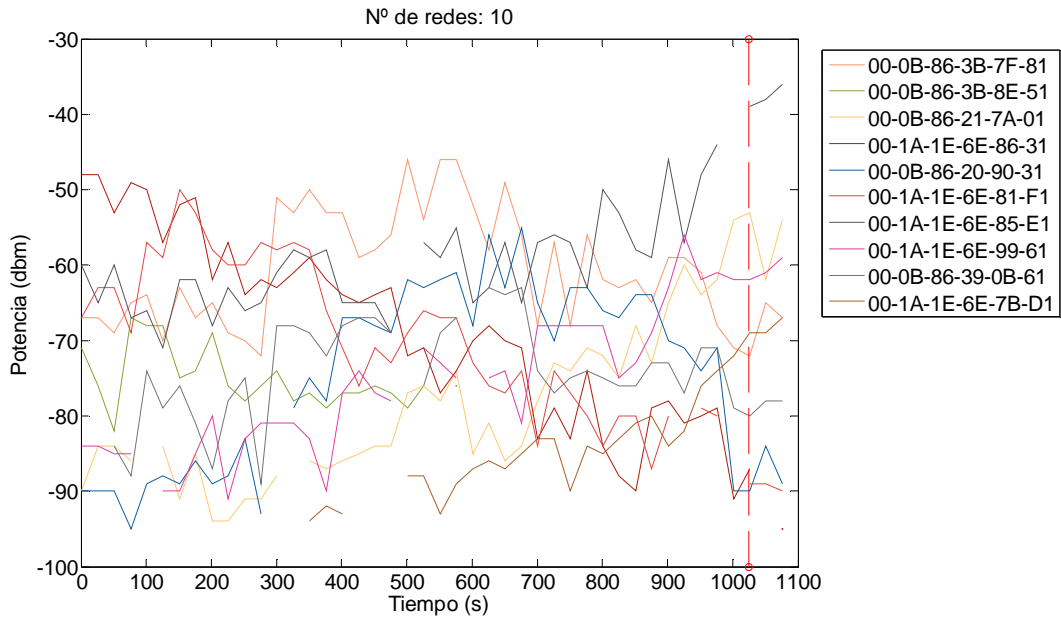


Figura 36. Prueba de posicionamiento en pasillo (11)

2.6 Posicionamiento en un mapa

2.6.1 Introducción

Visto el éxito en el posicionamiento sobre un escaneo en movimiento se intentará abordar el posicionamiento en un mapa. Las pruebas se realizarán en el segundo piso de la Escuela Politécnica Superior.

Para realizar las pruebas deben tenerse en cuenta distintos factores como pueden ser el uso de varios puntos de lectura o un algoritmo distinto de triangulación.

2.6.2 Puntos de intensidad de señal

Se debe tener en cuenta que para realizar el posicionamiento en un mapa mediante fingerprinting hace falta tener una serie de coordenadas (X, Y) conocidas con sus respectivos valores RSSI. Los puntos serán usados para triangular la posición del objeto a localizar, esto implica que como más puntos se añadan mayor será la precisión.

Para ello se ha añadido a la aplicación Matlab una función capaz de añadir puntos en un mapa y guardar los RSSI capturados.

2.6.3 Mapa de cobertura inalámbrica

El experimento se ha realizado en el segundo piso de la Escuela Politécnica Superior situando el receptor EnGenius en distintos lugares de cada habitación y escaneando a una altura aproximada de 1m del suelo. La Figura 37 muestra los puntos donde se ha realizado cada escaneo (marcas azules). Para la obtención de un valor medio fiable cada escaneo tiene una duración de 10 minutos con un muestreo por dato de 10 segundos, además se han descartado los valores outliers.

Una vez obtenidos varios puntos en el mapa (Figura 37) pasamos a interpolarlos, de manera que con un mínimo de tres puntos y varias MAC en común se pueden obtener los valores intermedios que los unen y así poder reconstruir el área que abarcan, la Figura 38 muestra el punto de acceso del laboratorio de robótica.

La reconstrucción es fiable, observando que donde se encuentra el AP la potencia alcanza su valor máximo (-30 dbm) y conforme encuentra obstáculos como pueden ser las paredes se reduce en gran medida.

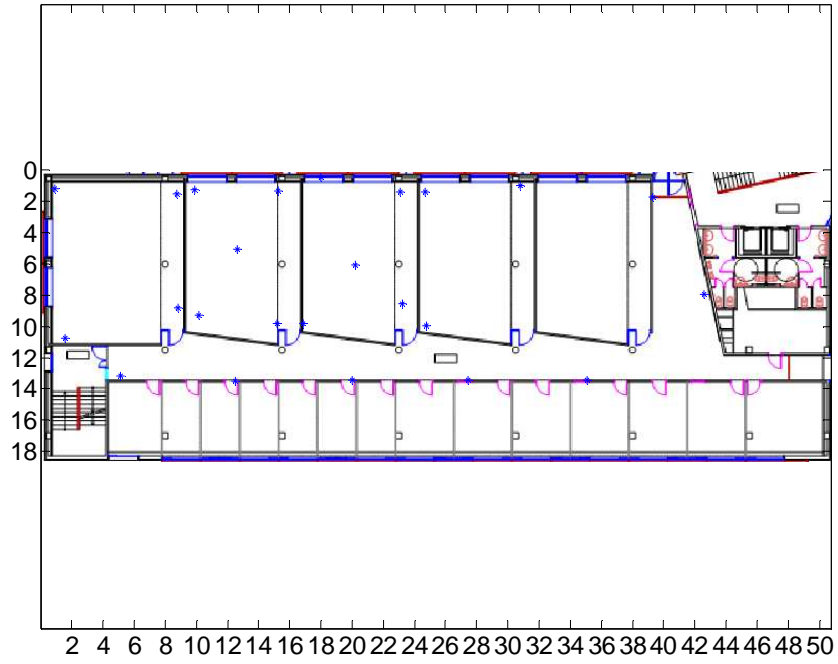


Figura 37. Mapa de puntos segundo piso EPS

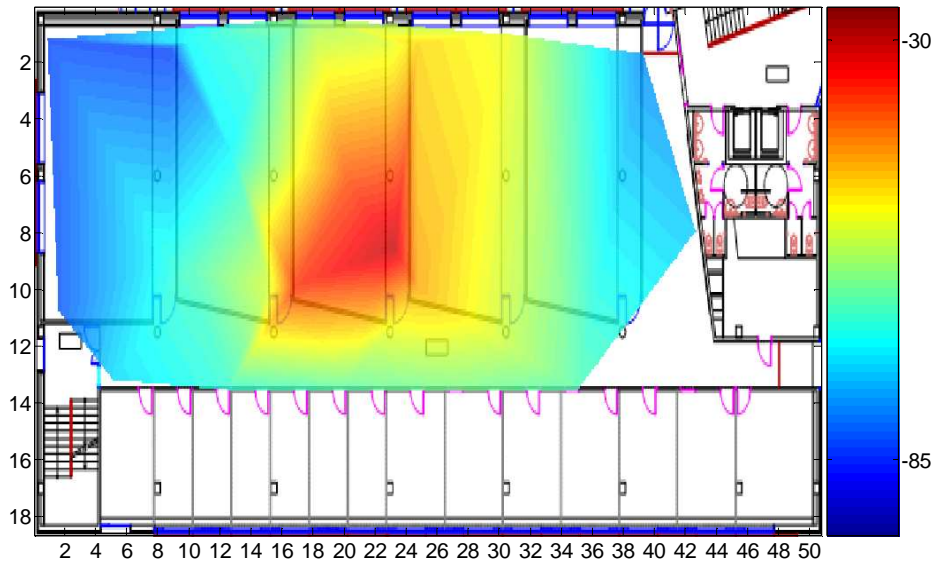


Figura 38. Mapa de cobertura obtenido para la MAC: 00-0B-86-3B-7F-81

2.6.4 Algoritmo de posicionamiento

Partiendo de un mapa en el cual hay un mínimo de 3 puntos añadidos y un escaneo estático del lugar a posicionar se aplica:

1. Encontrar MAC en común entre los puntos del mapa y el escaneo estático.
2. Se interpolan los puntos con la MAC en común obteniendo una matriz del tamaño del mapa con los RSSI de cada punto y los valores interpolados entre ellos.
3. Restar a toda la matriz el valor RSSI que tiene el escaneo estático con la misma MAC y ponerlo en valor absoluto.
4. Repetir los pasos 1, 2 y 3 hasta que no quede ninguna MAC en común.
5. Se realiza la suma de todas las matrices y en la resultante el valor mínimo será el punto a localizar.

2.6.5 Pruebas de posicionamiento

Una vez establecido el método y algoritmo de posicionamiento y teniendo en cuenta los distintos problemas que atenúan la señal pudiendo dar a lugar un mal posicionamiento, se dan a lugar las pruebas de posicionamiento en un mapa.

Las primeras pruebas se basarán en ver la cantidad de puntos que son necesarios por metro para un posicionamiento correcto, los lugares a posicionar son los dos indicados en la Figura 39.

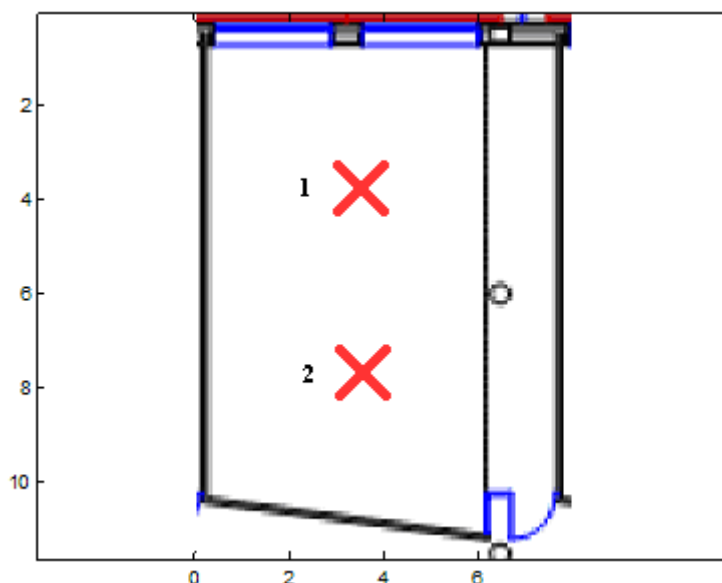


Figura 39. Prueba en aula puntos a posicionar

Prueba 1

La Figura 40 y la Figura 41 muestran el posicionamiento mediante los escaneos marcados en la Figura 39. Como se puede observar se han realizado las mediciones de RSSI en cada esquina del aula. El posicionamiento es poco acertado difieren de unos 2 o 3 metros aproximadamente por lo cual se deben añadir más puntos de potencia en el mapa.

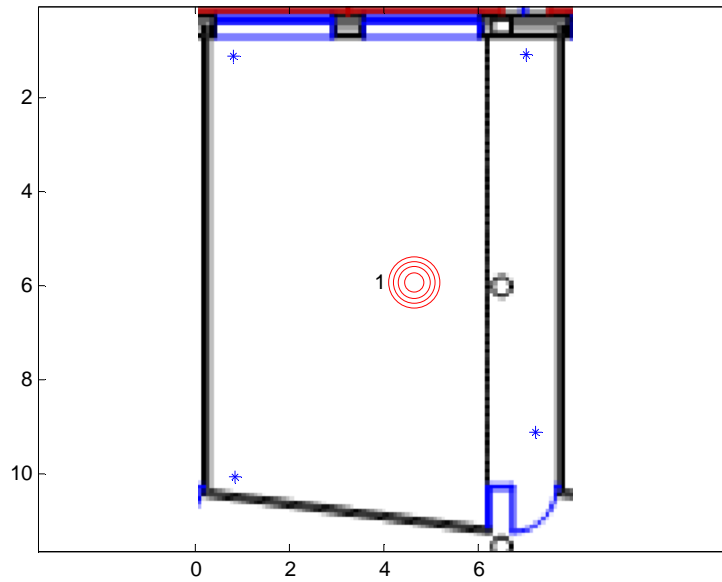


Figura 40. Prueba posicionamiento 1 mala

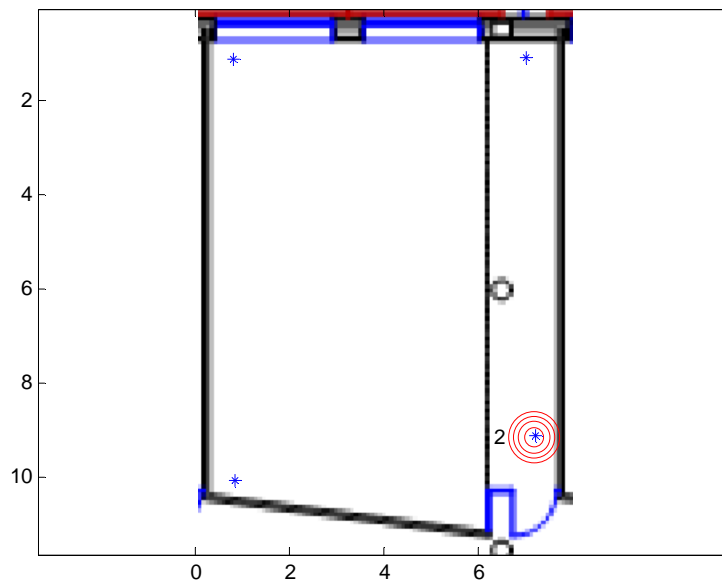


Figura 41. Prueba posicionamiento 2 mala

Prueba 2

Se añaden dos puntos de medición más a la Figura 39 dando a lugar un mapa con 6 puntos de potencia a una distancia aproximada entre 4 y 6 metros. Se observa en la Figura 42 y Figura 43 que el posicionamiento es casi perfecto, esto implica que los valores interpolados mediante 4 puntos no eran acertados siendo demasiado distantes entre ellos.

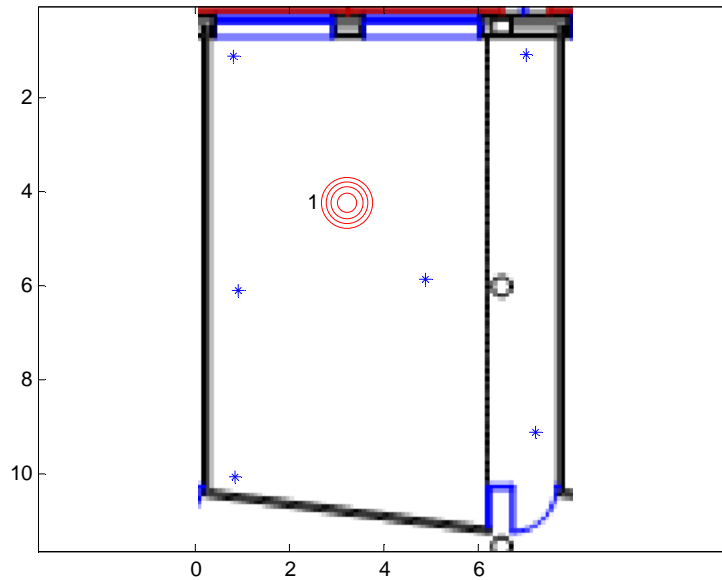


Figura 42. Prueba posicionamiento 1 buena

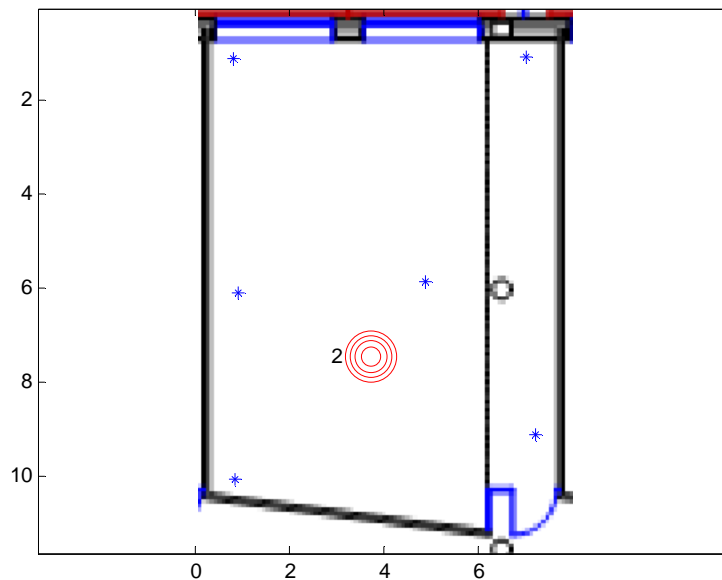


Figura 43. Prueba posicionamiento 2 buena

Prueba 3

Teniendo en cuenta los resultados anteriores se van a realizar una serie de pruebas en el segundo piso de la Escuela Politécnica Superior. Esta prueba a diferencia de la anterior contiene muchos puntos los cuales no se han podido añadir todos en un día, por ello la fiabilidad no es tan alta como en las anteriores y el error puede ser mayor.

La Figura 44 muestra los puntos a localizar.

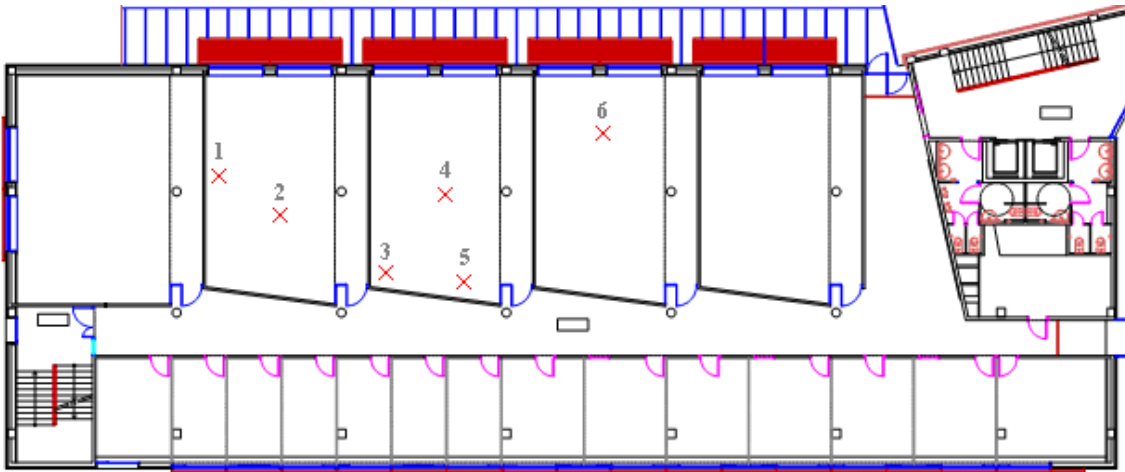


Figura 44. Prueba en EPS segundo piso puntos a posicionar

Se observa que la mayoría de localizaciones (Figura 45, Figura 46, Figura 47, Figura 48 y Figura 49) son posicionadas con un margen de error entre 1 y 2 metros. La que más difiere es la Figura 50 sobre unos 4 metros aproximadamente, esta tiene menos puntos alrededor para poder interpolar, en consecuencia los valores que genera la interpolación no son tan fieles a la realidad, consiguiendo así peores resultados respecto su escaneo estático (Figura 44).

Debe considerarse que al ser escaneos realizados en distintos días puede haber influencias por cambios en el medio o por la ausencia de alguna persona.

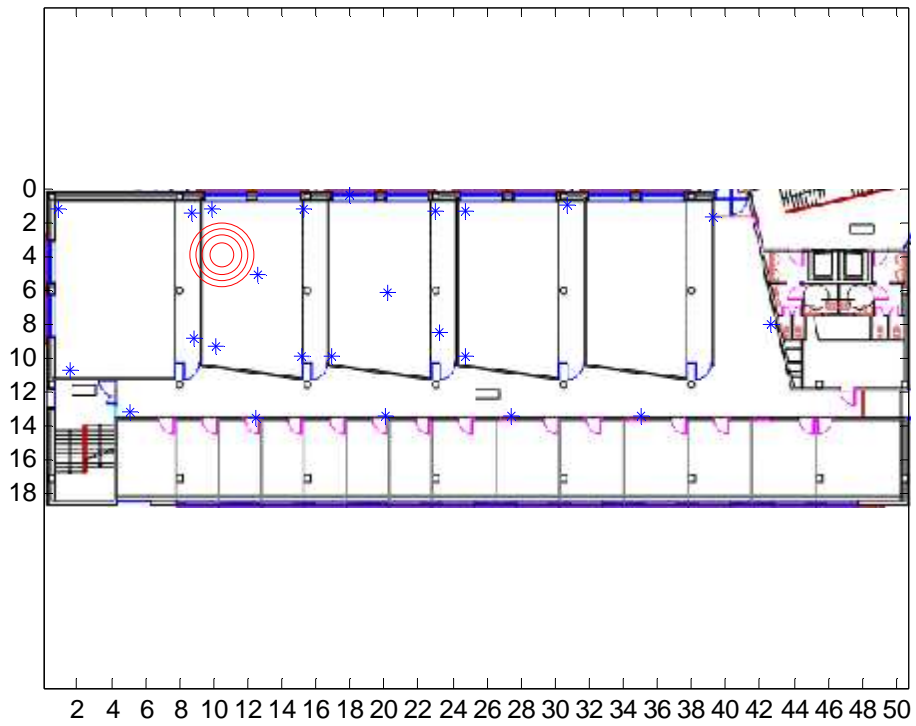


Figura 45. Prueba en EPS segundo piso punto 1

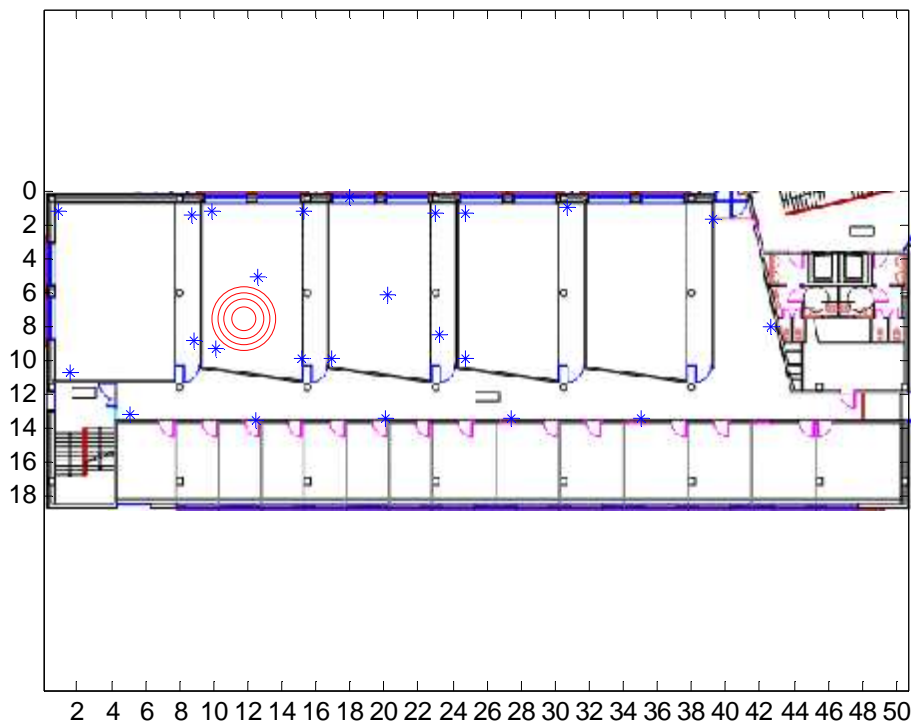


Figura 46. Prueba en EPS segundo piso punto 2

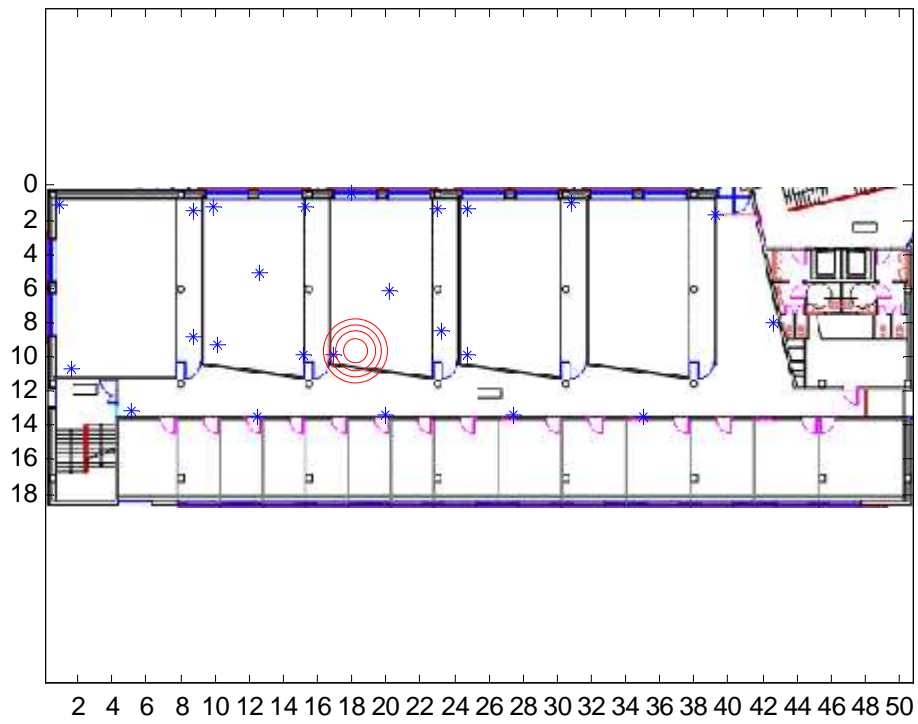


Figura 47. Prueba en EPS segundo piso punto 3

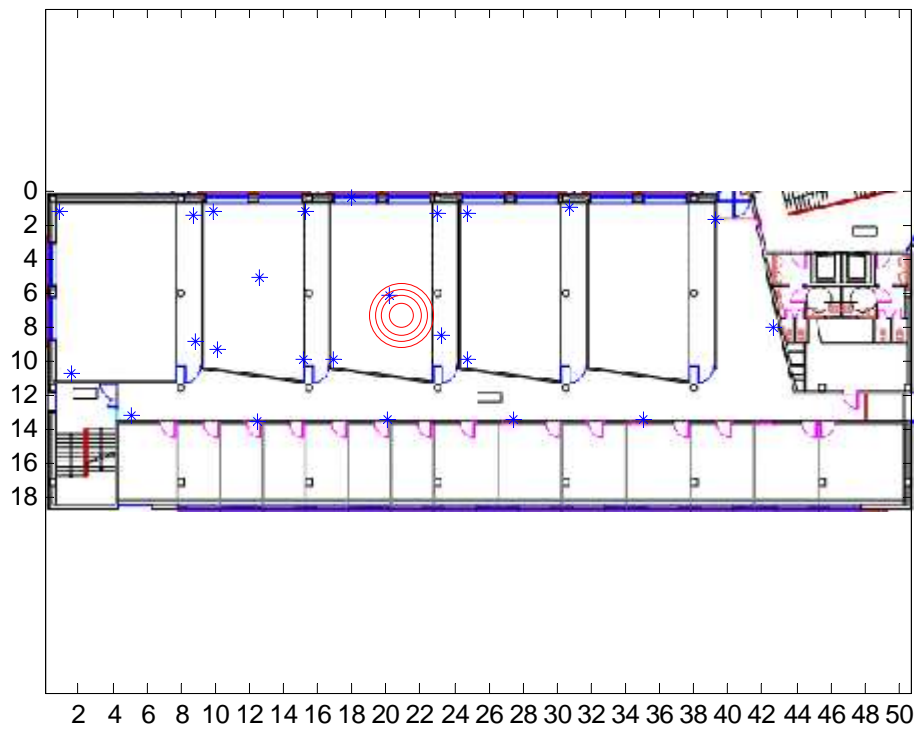


Figura 48. Prueba en EPS segundo piso punto 4

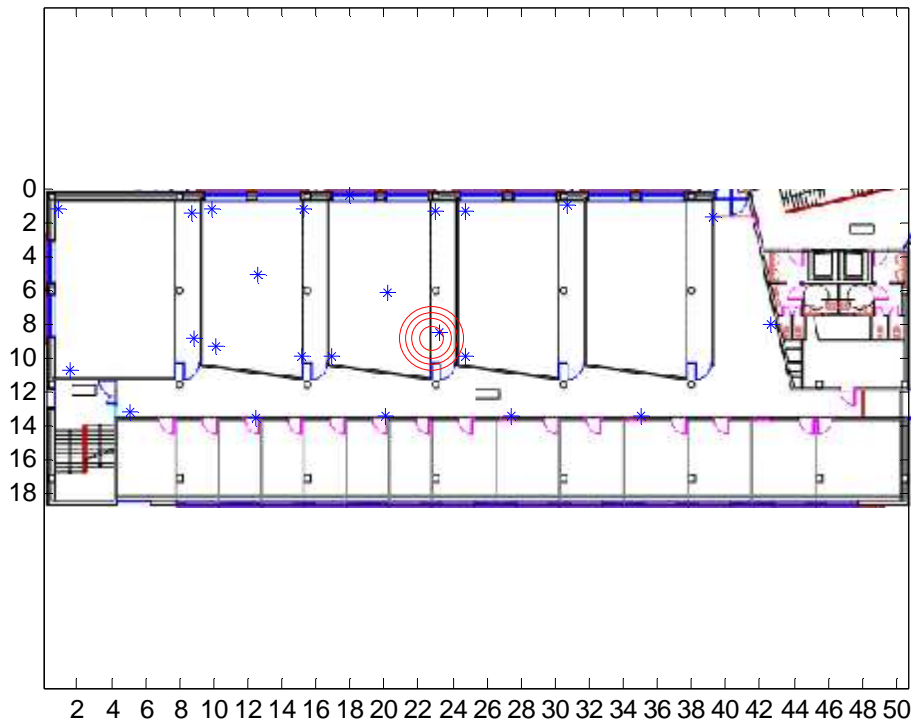


Figura 49. Prueba en EPS segundo piso punto 5

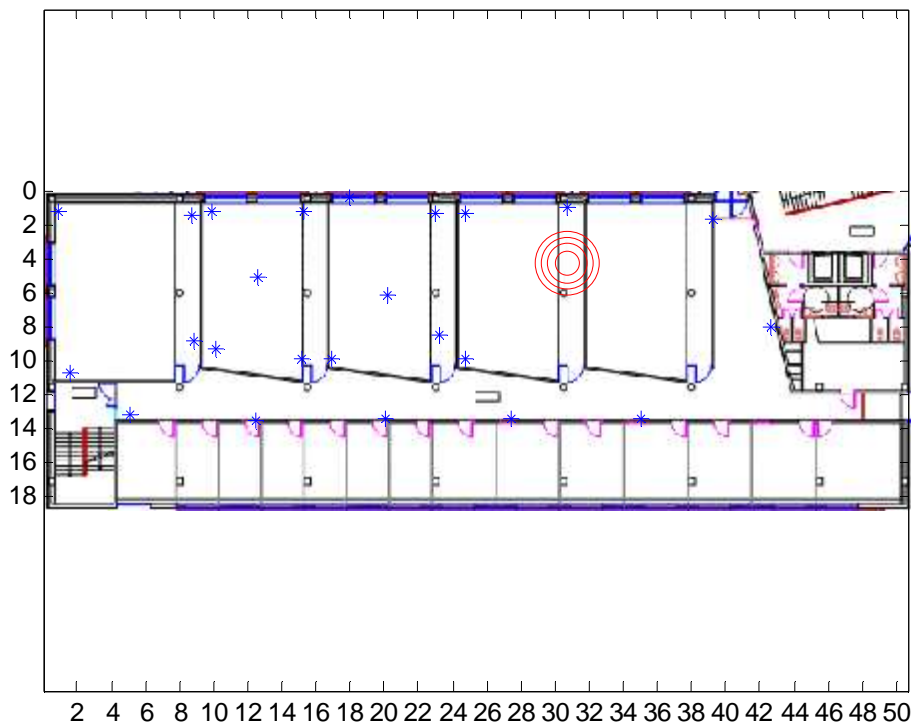


Figura 50. Prueba en EPS segundo piso punto 6

3 Conclusiones y trabajo futuro

En este trabajo se dan a conocer varios métodos de posicionamiento en el interior de un edificio mediante redes inalámbricas. Se ha escogido el método basado en RSSI para el desarrollo del proyecto y para proponer un algoritmo de localización.

El proceso de localización utilizado se basa en un método tipo fingerprinting y consta de dos pasos. En primer lugar se recopilan los niveles de potencias en varios puntos del mapa y se guardan junto con sus coordenadas de posicionamiento (X, Y). A partir de estos datos se realiza una interpolación lineal para obtener una estimación de nivel de potencias en las áreas de las que no se dispone de medición. Finalmente, cualquier medición de nivel de potencias puede compararse con la distribución obtenida para obtener una estimación de su posición en el mapa. Este proceso se ha aplicado en varias pruebas experimentales y los resultados obtenidos permiten esperar un posicionamiento correcto (error inferior a 1 metro) cuando los puntos de referencia tienen una separación inferior a 6 metros y tanto los niveles de referencia como de posicionamiento se han obtenido todos en un mismo día o con las mismas características en el medio.

En un futuro se realizará un mayor número de pruebas experimentales con el objetivo de mejorar el sistema de referencia y de localización.

4 Bibliografía

[1] - Real Time Location Systems (RTLS), A White Paper from Nanotron. Technologies GMBH.

[2] - <http://engenius.ir/content/view/13/4/>

[3] - <http://support.dell.com/support/edocs/network/P94583/sp/specs.htm>

[4] - 24th National Radio Science Conference (NRSC 2007) Faculty of Engineering, Ain shams Univ., Egypt

[5] - <http://eb2bcdrider.spaces.live.com/blog/cns!810C78AC9D7E227A!841.entry>

