



UNIVERSIDAD DE JAÉN
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE LINARES

Trabajo Fin de Grado

**SISTEMA DE LOCALIZACIÓN EN
INTERIORES
CON DISPOSITIVO MULTISENSOR
Y REDUNDANCIA TEMPORAL**

Alumna: Alicia López Justicia

Tutor: Pedro Vera Candéas

Co-tutor: Francisco Javier Bris Peñalver

Depto.: Ingeniería de Telecomunicación

ÍNDICE

1	RESUMEN	6
2	INTRODUCCIÓN	8
2.1	Estado del arte del Sistema de Localización en interiores.....	9
3	OBJETIVOS.....	16
4	MATERIALES Y MÉTODOS	17
4.1	Exposición del método de análisis realizado	17
4.2	Pasos previos	19
4.3	Calibración, evaluación, obtención de resultados, análisis y aportación de posibles soluciones	26
4.4	Aplicación de posibles soluciones y análisis de resultados	30
5	DISCUSIÓN	31
5.1	Resultados Iniciales	31
5.2	Resultados Definitivos.....	50
5.3	Resultados obtenidos con el cálculo del algoritmo DSW	69
6	CONCLUSIONES	76
6.1	Líneas futuras	78
7	PLANOS	79
8	ANEXOS.....	80
9	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82

LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 2.1 FOTO DEL NUEVO CAMPUS ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE LINARES	9
FIGURA 2.2 ARQUITECTURA DE SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO E INS	11
FIGURA 2.3 EJEMPLO DE PUNTO DE ACCESO INSTALADO EN E.P.S.LINARES CISCO AIRONET 3700	13
FIGURA 4.1 EJEMPLO WPSAPP - PRESENTACIÓN DATOS	19
FIGURA 4.2 EJEMPLO WIFI EXPLORER – REDES WIFI DETECTADAS.....	20
FIGURA 4.3 EJEMPLO WIFI EXPLORER – INSPECCIÓN DEL ESPECTRO	20
FIGURA 4.4 MAPA DEL CAMPUS CIENTÍFICO TECNOLÓGICO DE LINARES	20
FIGURA 4.5 PLANO ZONA DE TRABAJO PROYECTO POSICIONAMIENTO INDOOR.	22
FIGURA 4.6 . PROTOTIPO MULTISENSOR CON 4 ANTENAS WIFI.....	23
FIGURA 4.7 . CONFIGURACIÓN FINAL DEL ÁREA DE CALIBRACIÓN CON PUNTOS DE ACCESO	25
FIGURA 4.8 . PANTALLA EJECUCIÓN DEL SOFTWARE DE POSICIONAMIENTO DE INTERIORES	27
FIGURA 4.9 . REPRESENTACIÓN DEL ÁREA DE CALIBRACIÓN	29
FIGURA 5.1 . POTENCIA MEDIA POR POSICIÓN AP 1.....	33
FIGURA 5.2 . POTENCIA MEDIA POR POSICIÓN AP 2.....	33
FIGURA 5.3 . POTENCIA MEDIA POR POSICIÓN AP 3 – 1.....	34
FIGURA 5.4 . POTENCIA MEDIA POR POSICIÓN AP 3 – 2.....	34
FIGURA 5.5 . POTENCIA MEDIA POR POSICIÓN AP 4 – 1.....	35
FIGURA 5.6 . POTENCIA MEDIA POR POSICIÓN AP 4 – 2.....	35
FIGURA 5.7 . POTENCIA MEDIA POR POSICIÓN AP 5 – 1.....	36
FIGURA 5.8 . POTENCIA MEDIA POR POSICIÓN AP 5 – 2.....	36
FIGURA 5.9 . POTENCIA MEDIA POR POSICIÓN AP 6 – 1.....	37
FIGURA 5.10 . POTENCIA MEDIA POR POSICIÓN AP 6 - 2.....	37
FIGURA 5.11 . POTENCIA MEDIA POR POSICIÓN AP 7 – 1.....	38
FIGURA 5.12 . POTENCIA MEDIA POR POSICIÓN AP 7 – 2.....	38
FIGURA 5.13 . POTENCIA MEDIA POR POSICIÓN AP 9.....	39
FIGURA 5.14 . POTENCIA MEDIA POR POSICIÓN AP 10.....	39
FIGURA 5.15 . GRÁFICA PRECISIÓN VS. NÚMERO DE ANTENAS – DISTANCIA EUCLÍDEA, 95% PROBABILIDAD DE ERROR.....	41
FIGURA 5.16 . GRÁFICA PRECISIÓN VS. NÚMERO DE ANTENAS – DISTANCIA MAHALANOBIS MEDIA, 95% PROBABILIDAD	42
FIGURA 5.17 . GRÁFICA CDF PARA 1 ANTENA – DISTANCIA EUCLÍDEA.	43
FIGURA 5.18 . GRÁFICA CDF PARA 2 ANTENAS – DISTANCIA EUCLÍDEA.	44
FIGURA 5.19 . GRÁFICA CDF PARA 3 ANTENAS – DISTANCIA EUCLÍDEA.	44
FIGURA 5.20 . GRÁFICA CDF PARA 4 ANTENAS – DISTANCIA EUCLÍDEA.	45
FIGURA 5.21 . GRÁFICA PDF PARA 1 ANTENA – DISTANCIA EUCLÍDEA.	46
FIGURA 5.22 .GRÁFICA PDF PARA 2 ANTENAS – DISTANCIA EUCLÍDEA.	46
FIGURA 5.23 .GRÁFICA PDF PARA 3 ANTENAS – DISTANCIA EUCLÍDEA.	47

FIGURA 5.24 .GRÁFICA PDF PARA 4 ANTENAS – DISTANCIA EUCLÍDEA.	47
FIGURA 5.25 . GRÁFICA PRECISIÓN VS. NÚMERO DE ANTENAS – DISTANCIA EUCLÍDEA – VALORES POTENCIA MEDIA, 95% PROBABILIDAD DE ERROR.	52
FIGURA 5.26 . GRÁFICA PRECISIÓN VS. NÚMERO DE ANTENAS – DISTANCIA MAHALANOBIS – VALORES POTENCIA MEDIA, 95% PROBABILIDAD DE ERROR.	53
FIGURA 5.27 . GRÁFICA PRECISIÓN VS. NÚMERO DE ANTENAS – MÉTODO B DIVERGENCIA, PARA B= 1 – POTENCIA MEDIA, 95% PROBABILIDAD DE ERROR.	54
FIGURA 5.28 . GRÁFICA PRECISIÓN VS. NÚMERO DE ANTENAS – MÉTODO B DIVERGENCIA, PARA B= 0'5 – POTENCIA MEDIA, 95% PROBABILIDAD DE ERROR.	54
FIGURA 5.29 . GRÁFICA PRECISIÓN VS. NÚMERO DE ANTENAS – MÉTODO B DIVERGENCIA, PARA B=0.3 – POTENCIA MEDIA, 95% PROBABILIDAD DE ERROR.	55
FIGURA 5.30 . GRÁFICA PRECISIÓN VS. NÚMERO DE ANTENAS – MÉTODO B DIVERGENCIA, PARA B=0'1 – POTENCIA MEDIA, 95% PROBABILIDAD DE ERROR.	55
FIGURA 5.31 . GRÁFICA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ACUMULATIVA (CDF), DISTANCIA EUCLÍDEA, 4 ANTENAS.	56
FIGURA 5.32 . GRÁFICA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ACUMULATIVA (CDF), ALGORITMO MAHALANOBIS, 4 ANTENAS.	56
FIGURA 5.33 . GRÁFICA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ACUMULATIVA (CDF), B- DIVERGENCIA PARA B=1, 4 ANTENAS.	57
FIGURA 5.34 . GRÁFICA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ACUMULATIVA (CDF), B- DIVERGENCIA PARA B=0'5, 4 ANTENAS.	57
FIGURA 5.35 . GRÁFICA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ACUMULATIVA (CDF), B- DIVERGENCIA PARA B=0'3, 4 ANTENAS.	58
FIGURA 5.36 . GRÁFICA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ACUMULATIVA (CDF), B- DIVERGENCIA PARA B=0'1, 1 ANTENAS.	58
FIGURA 5.37 . GRÁFICA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ACUMULATIVA (CDF), B- DIVERGENCIA PARA B=0'1, 2 ANTENAS.	59
FIGURA 5.38 . GRÁFICA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ACUMULATIVA (CDF), B- DIVERGENCIA PARA B=0'1, 3 ANTENAS.	59
FIGURA 5.39 . GRÁFICA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ACUMULATIVA (CDF), B- DIVERGENCIA PARA B=0'1, 4 ANTENAS.	60
FIGURA 5.40 . GRÁFICA FUNCIÓN DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD (PDF), DISTANCIA EUCLÍDEA (B=2), 4 ANTENAS.	61
FIGURA 5.41 . GRÁFICA FUNCIÓN DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD (PDF), ALGORITMO MAHALANOBIS, 4 ANTENAS.	61
FIGURA 5.42 . GRÁFICA FUNCIÓN DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD (PDF), B DIVERGENCIA PARA B=1, 4 ANTENAS.	62

FIGURA 5.43 . GRÁFICA FUNCIÓN DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD (PDF), B DIVERGENCIA PARA B=0.5, 4 ANTENAS.....	62
FIGURA 5.44 . GRÁFICA FUNCIÓN DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD (PDF), B DIVERGENCIA PARA B=0.3, 4 ANTENAS.....	63
FIGURA 5.45 . GRÁFICA FUNCIÓN DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD (PDF), B DIVERGENCIA PARA B=0.1, 1 ANTENA.	63
FIGURA 5.46 . GRÁFICA FUNCIÓN DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD (PDF), B DIVERGENCIA PARA B=0.1, 2 ANTENAS.....	64
FIGURA 5.47 . GRÁFICA FUNCIÓN DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD (PDF), B DIVERGENCIA PARA B=0.1, 3 ANTENAS.....	64
FIGURA 5.48 . GRÁFICA FUNCIÓN DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD (PDF), B DIVERGENCIA PARA B=0.1, 4 ANTENAS.....	65
FIGURA 5.49 . GRÁFICA CDF PARA 4 ANTENAS Y TODAS LAS DIFERENTES DISTANCIAS UTILIZADAS	67
FIGURA 5.50 . GRÁFICA FUNCIÓN DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD (PDF) CON DSW, B DIVERGENCIA PARA B=0.1, 1 ANTENA.....	69
FIGURA 5.51 . GRÁFICA FUNCIÓN DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD (PDF) CON DSW, B DIVERGENCIA PARA B=0.1, 2 ANTENAS.....	70
FIGURA 5.52 . GRÁFICA FUNCIÓN DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD (PDF) CON DSW, B DIVERGENCIA PARA B=0.1, 3 ANTENAS.....	70
FIGURA 5.53 . GRÁFICA FUNCIÓN DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD (PDF) CON DSW, B DIVERGENCIA PARA B=0.1, 4 ANTENAS.....	71
FIGURA 5.54 . GRÁFICA FUNCIÓN DE DE DISTRIBUCIÓN ACUMULATIVA (CDF) CON DSW, B DIVERGENCIA PARA B=0.1, 1 ANTENA.....	71
FIGURA 5.55 . GRÁFICA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ACUMULATIVA (CDF) CON DSW, B DIVERGENCIA PARA B=0.1, 2 ANTENAS.....	72
FIGURA 5.56 . GRÁFICA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ACUMULATIVA (CDF) CON DSW, B DIVERGENCIA PARA B=0.1, 3 ANTENAS.....	72
FIGURA 5.57 . GRÁFICA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ACUMULATIVA (CDF) CON DSW, B DIVERGENCIA PARA B=0.1, 4 ANTENAS.....	73
FIGURA 5.58 . GRÁFICA CDF PARA 4 ANTENAS SIN APLICAR DSW Y CON DSW	74
FIGURA 7.1 PLANO ZONA DE TRABAJO PROYECTO LOCALIZACIÓN EN INTERIORES.....	79

LISTADO DE TABLAS

TABLA 4.1. PUNTOS DE ACCESO INSTALADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO Y DIRECCIONES MAC.	26
TABLA 5.1. TABLA RESUMEN DE DATOS UTILIZADOS PARA OBTENER LOS RESULTADOS INICIALES Y LOS DEFINITIVOS.....	51
TABLA 5.2. TABLA CDF PARA 4 ANTENAS, Y TODAS LAS DIFERENTES DISTANCIAS UTILIZADAS.	67
TABLA 5.3. TABLA CDF PARA 4 ANTENAS, APLICANDO B-DIVERGENCIA (PARA $B= 0'1$) Y DSW.	74

1 RESUMEN

Este Trabajo Fin de Grado trata sobre la localización en interiores con dispositivo multisensor y diversidad temporal, siguiendo la línea de investigación de la E.P.S de Linares. A continuación se van a describir cuáles son sus características principales:

- Utilización del método de RF Fingerprinting, esta es una técnica de calibración del área de trabajo, es relativamente más simple y robusta en condiciones de múltiples trayectorias, aunque es una técnica muy laboriosa.
- Utilización de un software de Localización en interiores anteriormente desarrollado, el cual se va a adaptar a las características arquitectónicas del nuevo campus, y se le va a incorporar nuevas funcionalidades para la mejora del posicionamiento.
- Utilización de un dispositivo multisensor, formado por cuatro antenas WiFi, distribuidas en un área menor a la cuadrícula de medición, que proporciona diversidad espacial.
- Realización de dos barridos en diferentes instantes temporales obteniendo diversidad temporal, con el propósito de obtener más información de la caracterización del canal.

El área de trabajo corresponde a los pasillos de la segunda planta del edificio D “Laboratorio Oeste”, en el Campus Científico-Tecnológico de Linares de Linares y se puede llevar a cabo gracias a los puntos de acceso que hay allí instalados.

En primera instancia, se ha llevado a cabo el **proceso de calibrado** del área, con la finalidad de obtener un mapa de potencias recibidas de cada punto de acceso en cada posición. Para ello se ha utilizado el software de Localización en interiores[2] y el dispositivo multisensor[2], realizándose dos barridos en diferentes instantes temporales, para obtener una información más precisa del comportamiento del canal.

A continuación, se ha realizado el **proceso de evaluación** para el cual se ha evaluado un determinado recorrido en el área de trabajo, sobre el que se estimará la precisión del posicionamiento realizado.

En el procedimiento de obtención de resultados se ha valorado una serie de algoritmos de distancia, con el objetivo de conseguir la posición estimada más precisa, es

decir, la posición estimada más próxima a la posición real. Estos son: la distancia de Mahalanobis y la β -Divergencia (para diferentes valores de β). Se concluye, gracias a la obtención de los siguientes parámetros: el error o precisión de posicionamiento haciendo uso de la función de distribución acumulativa (CDF), el error o precisión de posicionamiento haciendo uso de la función densidad de probabilidad (PDF) y la precisión (en metros) en la estimación de la posición real vs posición estimada según el número de antenas, que el algoritmo con el que se logran mejores resultados es el algoritmo β -Divergencia, para $\beta = 0.1$.

Para lograr una mejora en los mismos, se ha incorporado al software de localización en interiores utilizado[2] un algoritmo que permite mejorar los resultados de localización en interiores, conocido como Dynamic Space Warping (DSW), el mismo es un algoritmo adaptado de Dynamic Time Warping (DTW) y se emplea para implementar memoria en el sistema de localización con el fin de mejorar la precisión en la localización. Esta mejoría es mucho más significativa para valores altos de probabilidad de error, ya que para probabilidades de error inferiores el error también se reduce, aunque en menor medida.

En conclusión, gracias a los métodos desarrollados y utilizados en este Trabajo Fin de Grado, se han logrado obtener unos buenos resultados de localización en interiores, limitando el error en la estimación de la posición.

2 INTRODUCCIÓN

El Sistema de Posicionamiento en Interiores Inalámbrico (WIPS, del inglés Wireless Indoor Positioning System) es uno de los grandes hitos tecnológicos a lograr, ya que el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) no es viable en localizaciones interiores debido a que su señal es muy débil. Por lo tanto, se ha convertido en un sobresaliente campo de investigación en los últimos tiempos.

Las soluciones que se han propuesto no han sido puestas en práctica debido, sobre todo, al alto coste que suponía la instalación de infraestructura fija. Sin embargo, actualmente las redes inalámbricas están ampliamente establecidas en todo tipo de edificios (hospitales, aeropuertos, universidades, bibliotecas, hoteles, etc) lo que hace posible que el desarrollo de este tipo de posicionamiento sea más factible.

Este Trabajo Fin de Grado de “*Sistema De Localización en interiores con Dispositivo Multisensor Y Diversidad temporal*”, surge como continuación a una línea de investigación de la Escuela Politécnica Superior de Linares[2] . Debido al traslado al nuevo campus universitario (ver Figura 2.1 Foto del nuevo campus Escuela Politécnica Superior de Linares), se hace necesaria la adaptación y testeo de los avances y desarrollos realizados hasta el momento a las nuevas características técnicas y arquitectónicas. El mismo aprovecha los recursos técnicos ya instalados, como son las redes WiFi, para realizar la localización.

El **dispositivo multisensor** que proporciona diversidad espacial, está formado por cuatro antenas distribuidas en un área menor a la cuadrícula de medición, por lo que para cada posición se obtienen cuatro medidas. El **tratamiento** de la **diversidad temporal** consiste en la realización de las medidas de calibración en distintos ejes temporales, de esta manera se tiene en cuenta la fluctuación y variabilidad de las señales WiFi cuando son transmitidas por el canal, ya que este es difícil de modelar y presenta un carácter aleatorio.

A continuación, en el subapartado 2.1.1, se expone la definición de algunos conceptos previos y se particularizará según las características técnicas de la localización y elementos utilizados. En el capítulo 3, se explican los objetivos que se pretenden lograr con este trabajo fin de grado, siendo en el capítulo 4 donde se desarrolla detenidamente los materiales y métodos seguidos en el desarrollo de este proyecto. Las discusiones y

análisis de resultados iniciales y resultados definitivos están en el capítulo 5, finalizando con las conclusiones en el capítulo 6.



Figura 2.1 Foto del nuevo campus Escuela Politécnica Superior de Linares

2.1 Estado del arte del Sistema de Localización en interiores

Existen numerosos estudios y publicaciones en este campo de investigación. Desde iniciativas privadas y públicas han desarrollado diferentes aplicaciones móviles, programas de posicionamiento para software libre, etc, en ellas se han utilizado distintos procedimientos: aprovechan las infraestructuras ya existentes e instaladas en los edificios, o han instalado equipamiento dedicado.

Si se pone el foco en el ámbito universitario se pueden citar muchos trabajos de investigación sobre esta materia, como por ejemplo, la investigación realizada por el Departamento de Ingeniería de Software y Sistemas Informáticos de la UNED, cuya publicación se llama “Sistema de posicionamiento en interiores con mapas de profundidad y redes inalámbricas”[6] , donde se requiere el uso de teléfonos inteligentes, la instalación de sensores RGB-D en el área de detección y una red inalámbrica con tecnología WiFi. Desde la E.P.S de Linares existen publicaciones sobre la Localización en interiores, se titula “Multisensor Wireless Positioning System” [2] .

También existen varias propuestas de compañías de renombre[1] (Google, Apple, entre otras) con diferentes niveles de desarrollo, pero aún a bajo nivel, por lo que no

existe todavía ningún estándar aceptado para el posicionamiento en interiores, lo que nos puede dar una idea del gran avance que es necesario para el desarrollo de esta tecnología.

Aún así, existen compañías que ya ofrecen soluciones a clientes que quieran proporcionar en sus instalaciones Posicionamiento en Interiores. La empresa alemana “infsoft” explica algún caso de éxito en la aplicación de esta tecnología como es la “Monitorización y el seguimiento de activos en el sector de la salud”[8] . Esta empresa instala balizas Bluetooth Low Energy (BLE), las cuales se utilizan para localizar dispositivos médicos y camas, estos nodos reciben las señales bluetooth y transmiten los datos a un servidor en la nube, donde la posición se calcula y proporciona la localización a través de servicios web a los empleados, que pueden ver la ubicación de dispositivos médicos y camas de hospital con una precisión de menos de 5 metros en un mapa.

Otra compañía que también ofrece soluciones de Posicionamiento en Interiores es Philips, los lugares donde ha implantado esta tecnología son supermercados y grandes superficies comerciales, como MediaMarkt (Eindhoven, Holanda) o Carrefour (Lille, Francia), Thalia Bookstores (Hagen, Alemania)[9] Para este caso, cada producto tiene una luz LED, que envía un código de identificación único al Smartphone del cliente a través de la cámara del teléfono inteligente, lo que puede determinar la ubicación con gran precisión.

Añadir que se realizan conferencias internacionales sobre el “Posicionamiento en Interiores”, como por ejemplo IPIN 2017[7] , celebrada en septiembre del 2.017 en Sapporo, Japón. La misma está organizada por IEEE y Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University.

Como se percibe por todos los ejemplos anteriores, el Posicionamiento en Interiores es un ámbito que suscita el interés en todo el mundo, sobre el que queda un mundo por desarrollar.

Con respecto a este Trabajo Fin de Grado, como se ha indicado en el capítulo 2, se ha continuado en la misma línea de investigación que en proyectos precedentes[2] . Se utilizará el método de RF Fingerprinting. Esta técnica de calibración del área de estudio es relativamente más simple y robusta en condiciones de múltiples trayectorias. Aunque, tiene un gran inconveniente y es la laboriosa labor para elaborar el mapa de potencias recibidas en cada posición. Además, hay que tener en cuenta que, en caso de

cambios ambientales, es necesaria una recalibración del área, para actualizar el mapa radioeléctrico.

Así mismo, comentar que se reutiliza el software de posicionamiento de interiores desarrollado anteriormente y un prototipo multisensor con cuatro antenas Wifi[2] , que permite obtener más valores RSSI para una misma posición.

2.1.1 Conceptos previos

2.1.1.1 Posicionamiento en interiores

Las primeras tecnologías que se tuvieron en cuenta para el sistema de posicionamiento en interiores fue la radiación infrarroja, aunque esta tecnología tenía una gran barrera y era que no podía atravesar paredes. Afortunadamente, estamos viviendo en una época de revolución de las tecnologías inalámbricas (WiFi, Bluetooth, WiMax, ZigBee, etc). Además, los smartphones ya tienen incorporados sensores inerciales como el magnetómetro, giroscopio, acelerómetro, etc que son un buen motivo para estudiar la navegación inercial (INS, del inglés Inertial Navigation System) en sistemas de posicionamiento en interiores (ver figura Figura 2.2).

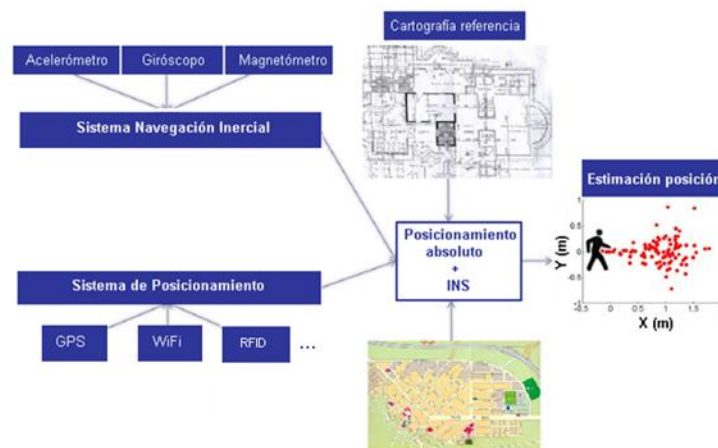


Figura 2.2 Arquitectura de sistemas de posicionamiento e INS

Existen diversos algoritmos de localización como puede ser el ángulo de llegada, la potencia de la señal recibida, el tiempo de propagación, etc. También se pueden usar de manera conjunta para mejorar la precisión.

Particularizando para este proyecto, se va a utilizar la técnica que mide la potencia de la señal recibida, se amplía su definición en el siguiente apartado.

2.1.1.2 Received Signal Strength (RSS)

Receiver Signal Strength (RSS) es una técnica que mide la potencia de la señal recibida. Se basa en la idea de que una señal sufre una atenuación a medida que se aleja de su fuente emisora, por lo tanto, se puede conocer la distancia que los separa. Aunque debido al multitrayecto, reflexiones y demás efectos, esta relación distancia – potencia recibida no es muy exacta. La gran ventaja de esta técnica es que su implementación es fácil y de bajo coste.

Existen varias técnicas que utilizan RSS, la usada en este proyecto es el método Fingerprinting, el cual se basa en la comparación de bases de datos, identificador de puntos de acceso, potencias recibidas, etc. Para ello es necesario tener previamente un mapa de calibración del área de localización.

2.1.1.3 Tecnología WiFi

Es una tecnología de comunicación inalámbrica para redes locales, basada en los estándares IEEE 802.11[4] . La banda de frecuencias más habituales son las de 2.4GHz y la banda de 5GHz.

Algunas de sus características son la atenuación por obstáculos, reflexión, difracción, dispersión y el efecto de propagación multitrayecto. Además, existen fluctuaciones de nivel de potencia por cambios leves en el entorno, ya que una puerta abierta o cerrada puede significar un cambio severo de la señal. A pesar de esto actualmente existe una amplia distribución de redes WiFi tanto en lugares públicos como privados como puede ser viviendas, oficinas, hoteles, etc. Y es que existen numerosos dispositivos que incorporan esta tecnología. Hablamos de ordenadores personales, impresoras, smart TV, libros electrónicos, así como elementos pertenecientes a la domótica, aparatos de aire acondicionado, frigoríficos.

Por lo tanto, se puede afirmar que la tecnología WiFi es una tecnología acertada para el sistema de posicionamiento indoor, ya que requiere una menor inversión. Esta tecnología será la usada en este proyecto.

Por otra parte, los estándares IEEE 802.11 son un conjunto de especificaciones para el desarrollo de tecnología inalámbrica en redes de área local. Opera en distintas

bandas frecuenciales, que van desde los 900MHz, 2.4GHz o 5GHz entre otros. Debido al éxito en la implantación de tecnología WiFi se han ido incorporando mejoras a las distintas versiones del estándar 802.11, se puede comprobar su evolución en la publicación The IEEE 802.11 Universe, [4] .

En este trabajo fin de grado se va a trabajar con la banda de 2.4GHz, debido a que las antenas que forman el prototipo ya desarrollado trabajan en esta banda frecuencial y el código está desarrollado para esa banda frecuencial. Las antenas del prototipo pertenecen al estándar 802.11 bgn, sus características son:

- 802.11 b: banda de frecuencias de funcionamiento 2,4 GHz, el ancho de banda de cada canal es 22MHz, con un total de 11 canales[5] .
- 802.11 g: banda de frecuencias de funcionamiento 2,4 GHz, modulación OFDM[5] .
 - 802.11 n: banda de frecuencias de funcionamiento 5GHz. Incorpora una mejora de rendimiento para antenas de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO)[5] .

2.1.1.4 Puntos de Acceso

Los puntos de acceso son dispositivos que permiten la interconexión entre equipos. En la Escuela Politécnica Superior de Linares, los puntos de acceso instalados son Cisco, más concretamente el modelo AIR-CAP3702I-H-K9 de Cisco Aironet 3700.



Figura 2.3 Ejemplo de Punto de Acceso instalado en E.P.S.Linares Cisco Aironet 3700

Las características de los mismos son:

- Estándares 802.11: a/g/n/ac
- Banda de frecuencias de funcionamiento: 2.4GHz - 5GHz
- 4*4 MIMO (antenas internas).

2.1.1.5 Algoritmos de distancia utilizados

- MAHALANOBIS:

La distancia de Mahalanobis mide la distancia de un grupo de puntos a un único punto común.

$$D(\vec{X}_1, \vec{X}_2) = \sqrt{\left(\frac{X_{11} - X_{12}}{\sigma_1}\right)^2 + \left(\frac{X_{21} - X_{22}}{\sigma_2}\right)^2} \quad (1)$$

$$D(\vec{X}_1, \vec{X}_2) = \sqrt{\left(\frac{\vec{X}_1 - \vec{X}_2}{S_i}\right)^2} \quad (2)$$

Donde S es la desviación estándar de las medidas, la cual ha sido calculada partiendo de la media o la mediana.

- B- DIVERGENCIA:

$$\frac{1}{\beta \cdot (\beta - 1)} \cdot (x^\beta + (\beta - 1) \cdot y^\beta - \beta \cdot x \cdot y^{\beta-1}) \quad (3)$$

- EUCLÍDEA:

Particularidad de β -Divergencia, para $\beta=2$:

$$D(\vec{X}_j, \vec{Y}_j) = \sqrt{\sum_j^J (\vec{X}_j - \vec{Y}_j)^2} \quad (4)$$

2.1.1.6 Algoritmo Dynamic Space Warping

Es un algoritmo adaptado de Dynamic Time Warping (DTW) y utilizado para implementar memoria en el sistema de localización con el fin de mejorar la precisión en la localización.

Dynamic Time Warping (DTW) es un algoritmo para medir la similitud entre dos velocidades temporales, es decir, calcula una correspondencia óptima entre dos secuencias dadas (por ejemplo, series de tiempo).

DSW es una extensión de DTW para 3 dimensiones (2 para la superficie de localización y la tercera corresponde a la hora). Para cada marco de tiempo, el coste actual de cada posición se calcula usando algoritmos métricos diferentes (como distancia euclidiana, Mahalanobis, b-divergencia, etc.) Este coste es una medida de similitud entre

la señal recibida y la señal RSSI Fingerprinting. Para decidir cuál es la posición actual, el coste total de cada posición es:

$$\begin{aligned}
 Cost(positionA)_{t=\tau} & \\
 &= CostAlgorithm(positionA)_{t=\tau} \\
 &+ \min\{Cost(positionB)_{t=\tau-1} * distance(positionA \\
 &- positionB)\}
 \end{aligned} \tag{5}$$

2.1.1.7 Factores que influyen en el funcionamiento correcto de las redes WiFi

De manera general, en un entorno de redes inalámbricas las señales de radiofrecuencia pueden sufrir interferencias, estas se deben a varios factores:

- Factores determinados por elementos y materiales utilizados en la construcción: metales, vigas, vidrio, plomo, cerámica, etc.
- El uso de otros elementos inalámbricos: dispositivos que usen bluetooth, teléfonos inalámbricos, otras redes Wireless.
- Factores determinados por la configuración de las redes WiFi: el uso de canales adyacentes que se solapan en el espectro radioeléctrico y de frecuencias de funcionamiento.
- Reflexiones de la señal.

Este proyecto se emplaza en un entorno interior, en la banda frecuencial 2'4GHz, estándar 802.11 bgn, donde el canal inalámbrico tiene un comportamiento no determinista, por lo que en este escenario es complicado caracterizar los elementos que pueden formar parte del mismo, como son:

- La distribución de pasillos, paredes, despachos, etc.
- La representación de la naturaleza dinámica del entorno (movilidad de objetos, personas).
- El uso de elementos inalámbricos que pueden interferir en la recepción y propagación de la señal, etc.

Es en este tipos de escenarios en los que el empleo del método RF Fingerprinting permite crear un mapa de calibración del área de trabajo donde se simulen las condiciones del mismo, aportando una valiosa información para la Localización en interiores. Aún así, existirán valores cambiantes en el tiempo (algunos descritos anteriormente) que van a modificar estos valores recibidos o incluso bloquear recepción de la señal.

3 OBJETIVOS

Los objetivos de este Trabajo Fin de Grado de “sistema de localización en interiores con dispositivo multisensor y diversidad temporal” son varios:

- ❖ El principal objetivo es la obtención de una posición estimada lo más similar posible a la posición real de una persona situada en el interior de la zona de trabajo.

Para ello se adaptará el software existente en “Localización de Interiores” a las características técnicas del nuevo campus de la nueva Escuela Politécnica de Linares. Se deberán localizar los puntos de acceso y las direcciones de los interfaces inalámbricos.

- ❖ Otro objetivo es ratificar la mejora del error obtenido al introducir la diversidad espacial. Es decir, obtener mejores resultados de posicionamiento al utilizar el dispositivo multisensor que dispone de 4 antenas WiFi.
- ❖ La inclusión de la diversidad temporal en las medidas realizadas, ya que al tener un canal con carácter aleatorio esto nos permite tener más información sobre su comportamiento.
- ❖ Las conclusiones que se obtengan procederán del cálculo de los siguientes parámetros y gráficas:
 - Base de datos de calibración y base de datos de evaluación.
 - Mapas de calor de cada uno de los puntos de acceso del área de trabajo.
 - Precisión en la estimación de la posición según el número de antenas utilizadas del dispositivo multisensor y la probabilidad de error configurada.
 - El error o precisión de posicionamiento según el número de antenas utilizadas del dispositivo multisensor haciendo uso de la función de distribución acumulativa.
 - El error o precisión de posicionamiento según el número de antenas utilizadas del dispositivo multisensor haciendo uso de la función densidad de probabilidad.
- ❖ La mejora de los parámetros de localización en interiores con la incorporación del algoritmo DSW (Dynamic Space Warping).
Este algoritmo que mide la similitud entre dos secuencias dadas (consultar subapartado 2.1.1.6), permite obtener la secuencia de posiciones más lógicas en un recorrido cualquiera que se realiza. Consiguiéndose, por lo tanto, una mejora en los resultados de Localización en interiores.

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Exposición del método de análisis realizado

En este capítulo se resumen los procedimientos para conseguir los objetivos descritos en el apartado anterior. En los subapartados siguientes se detallarán las características y particularidades de cada uno de los pasos.

Síntesis general del procedimiento seguido para conseguir el primer objetivo principal, obtener una posición estimada y poder compararla con la posición real:

En una primera instancia se realiza la localización de los puntos de acceso y obtención de las direcciones MAC de cada uno. Continuando con el proceso de calibración del área de trabajo, mediante la calibración del espacio elegido, pasillos de los despachos de los profesores (ver Figura 4.7) en la nueva Escuela Politécnica Superior de Linares (ver Figura 4.4), se obtendrá una base de datos de potencias recibidas de cada punto de acceso. Las medidas se tomarán con el “dispositivo multisensor” (ver Figura 4.6), realizando 12 medidas por posición de cada dirección MAC de los puntos de acceso. Se utilizará una adaptación del software de calibración desarrollado en Matlab[2]. La distancia entre cada una de las medidas realizadas es de un metro.

Para proceder a realizar la integración de la “diversidad temporal”, es decir, para que se tenga en cuenta la variabilidad del canal, se realizarán dos calibraciones del área en diferentes espacios temporales. De esta manera, los resultados serán cambiantes en el tiempo, considerando el carácter aleatorio y variable del canal. Los resultados obtenidos en ambas calibraciones deberán de integrarse en una sola matriz de resultados llamada matriz de calibración.

El proceso de evaluación consiste en obtener una base de datos de potencias recibidas haciendo un determinado recorrido en la zona de trabajo, utilizando el dispositivo multisensor, el software desarrollado en Matlab y realizando 1 medida por posición de cada punto de acceso.

Para obtención de resultados y análisis de los mismos se han obtenido los siguientes parámetros para analizar:

1. Mapas de calor de cada punto de acceso, con valores de media y mediana.

2. El error o precisión de posicionamiento según el número de antenas utilizadas del dispositivo multisensor haciendo uso de la Función de Distribución Acumulativa (CDF).
3. El error o precisión de posicionamiento según el número de antenas utilizadas del dispositivo multisensor haciendo uso de la Función Densidad de Probabilidad (PDF).
4. Precisión (en metros) en la estimación de la posición según el número de antenas y diferente probabilidad de error.

Con el último parámetro, correspondiente a la precisión, se podrá comprobar otro objetivo de los explicados en el capítulo 3. Al representar la precisión de la estimación de la posición con respecto a la posición real, en función del número de antenas del dispositivo multisensor se pueden comparar las gráficas obtenidas, determinando que el error disminuye al tener diversidad espacial.

Así mismo, las gráficas obtenidas mediante las funciones CDF (Función de Distribución Acumulativa) y PDF (Función Densidad de Probabilidad) según el número de antenas, son formas de representar el error estadísticamente para poder analizar los resultados de localización obtenidos.

Se procederá a analizar los resultados obtenidos. Si estos no son válidos para la localización en interiores, es decir, el error obtenido en la gráfica de precisión es muy elevado, se analizará y se estudiarán las posibles medidas que mejorarán los resultados y se incorporarán dichas soluciones, obteniendo los mismos parámetros que se han comentado.

Los resultados de estimación de la posición, se calcularán para diferentes métodos de distancias: Mahalanobis, β -Divergencia (para diferentes valores de β), obteniéndose el método que mejores resultados logre. Finalmente, para dicho método se aplicará el algoritmo DSW (Dynamic Space Warping), con el que se consigue disminuir considerablemente el error en la localización.

A continuación, se detallarán los pasos previos que se han realizado antes del proceso de calibración y que describen en profundidad la progresión del proyecto. Se exponen detalladamente todas las gráficas y resultados obtenidos para cada una de las fases en el capítulo 5.

4.2 Pasos previos

Anteriormente a la realización del primer paso correspondiente a la calibración, se han llevado a cabo una serie de tareas previas. Las mismas se detallan a continuación:

4.2.1 Preparación previa de los recursos a utilizar

4.2.1.1 Localización de las MACs de los Puntos de Acceso

Para conocer las MACs de los Puntos de Acceso se ha procedido a la instalación en el móvil de las siguientes aplicaciones móviles:

WPSApp:

WPSApp Apk es una aplicación de hacking Wi-Fi, donde se comprueba si la red posee de una conexión segura a través del protocolo WPS. Esta aplicación, en la vida cotidiana se utiliza para ver las contraseñas WiFi. A pesar de este uso, también permite ver la señal recibida, la dirección MAC del punto de acceso, el nombre y canal en el que emite.



Figura 4.1 Ejemplo WPSApp - Presentación datos

WiFi Explorer:

WiFi Explorer es una herramienta que proporciona una información muy completa sobre las redes inalámbricas visibles desde el Smartphone. Dicha aplicación permite ver los datos de una red, proporciona gráficos de todas las redes visibles por intensidad de señal. Así mismo, las redes estarán divididas entre las que utilizan canales en la banda frecuencial de 2,4 GHz o de 5 GHz Para dichas las redes visibles se facilitan datos como canal utilizado, relación señal a ruido, intensidad media de la señal, seguridad, etc.

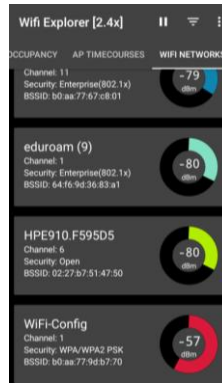


Figura 4.2 Ejemplo WiFi Explorer – Redes WiFi detectadas

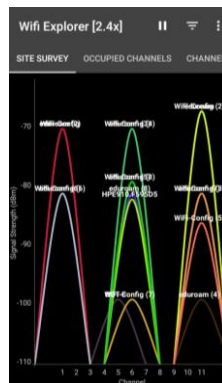


Figura 4.3 Ejemplo WiFi Explorer – Inspección del espectro

4.2.1.2 Delimitación de los puntos y posiciones del mapa de calibrado

La zona de trabajo correspondiente al posicionamiento en interiores está situada en el Campus Científico-Tecnológico de Linares de Linares, concretamente en los pasillos de la segunda planta del edificio D “Laboratorio Oeste” (ver Figura 4.4). Esta zona se corresponde con los despachos del profesorado.

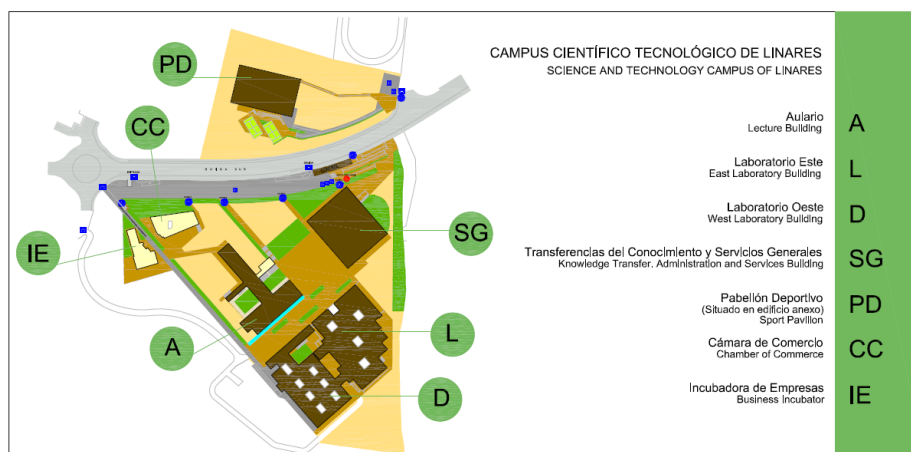


Figura 4.4 Mapa del campus científico tecnológico de Linares

La misma se ha dividido en cuadros de un metro por un metro, quedando una superficie acotada de 66 cuadros de largo, 32 cuadros de ancho. Esto hace una dimensión total de: $32 \times 66 = 2112$ puntos.

A continuación, (ver Figura 4.5) se puede observar el mapa del edificio. Los pasillos, posiciones en las cuales se realizarán las medidas, están con color morado. Por lo que, en total, la superficie medible es:

- Un pasillo largo de 66 metros de largo por uno de ancho.
- Un pasillo largo de 49 metros de largo por uno de ancho.
- Cuatro pasillos menores de 32 metros cada uno.

Si se realizan los cálculos $(66 + 49 + 30 \times 4)$, se tendrá un total de 235 puntos medibles de potencia de señal recibida por punto de acceso instalado en el área de trabajo (ver Figura 4.5).



Figura 4.5 Plano zona de trabajo proyecto posicionamiento indoor.

4.2.1.3 Configuración del Software de Posicionamiento en Interiores

Este software ha sido desarrollado en un proyecto de investigación anteriormente, en el software matemático Matlab. En este proyecto, se adaptará a las nuevas condiciones técnicas y arquitectónicas de este nuevo emplazamiento. Por lo tanto se tienen que:

1. Configurar las direcciones MACs de los nuevos puntos de acceso.
2. El número total de puntos de acceso obtenidos.

4.2.2 Información fundamental obtenida del análisis de la fase inicial

Las cuatro antenas usadas en el prototipo (ver Figura 4.6) trabajan en la banda de 2.4GHz y usan el estándar 802.11 bgn. Como resultado de esto, un gran número de direcciones de los interfaces inalámbricos de los puntos de acceso que se obtienen con las aplicaciones móviles no se detectan con el prototipo desarrollado.

La solución a esta contrariedad es realizar una detección de dichas direcciones de los interfaces inalámbricos directamente con el prototipo multisensor de cuatro antenas WiFi[2] .



Figura 4.6 . Prototipo multisensor con 4 antenas WiFi

En algunos momentos, a la hora de realizar la llamada al sistema desde Matlab (ejecutando la aplicación), se obtiene el siguiente error: “*command failed: no such device (-1)*”. Esto se debe a que no detecta los interfaces de red correctamente, por lo que hay que lanzar el interfaz de red: `iwconfig nombre_interfaz up`.

La ejecución del programa desde Matlab tiene que hacerse desde el usuario con los privilegios de seguridad de root. Por lo tanto ejecutar Matlab desde la ventana de comandos con los privilegios de root (`sudo su`).

Los interfaces WiFi de las cuatro antenas usadas en el prototipo multisensor hay que volver a configurarlas con el nombre que tienen en la aplicación de Matlab (`wlan1`, `wlan2`, `wlan3` y `wlan4`). O modificar los nombres en la aplicación de Matlab por los interfaces de red.

4.2.3 Configuración final del área de calibración

Se va a describir la configuración del área de calibración, que está determinada por las características expuestas en los apartados anteriores, y de la información esencial (ver subapartado 4.2.2) obtenida en esta fase inicial:

- El área de trabajo será el área que comprende los pasillos (Figura 4.7 que se muestra a continuación) está delimitada por una línea discontinua de color azul marino. Tiene por lo tanto, una dimensión de 32 metros en el eje x, y 66 metros en el eje y.
- Como se muestra en la imagen, existen dos pasillos más largos paralelos a ambos lados del área, que corresponden con $X = 1$ y $X = 32$. Los cuatro pasillos más pequeños y perpendiculares a estos dos anteriores se corresponden con: $Y = 18$, $Y = 34$, $Y = 49$ e $Y = 60$. (Estos datos son importantes en la fase posterior de interpretación de la base de datos).
- Los puntos de acceso que están instalados en esta planta, y que son decisivos para el posicionamiento en interiores, son los representados con una figura pequeña del punto de acceso y están etiquetados con la nomenclatura “AP + número del punto de acceso” según su posición en el eje de coordenadas.



Figura 4.7 . Configuración final del área de calibración con puntos de acceso

Las direcciones MACs de cada punto de acceso son las siguientes:

NOMBRE	MAC
AP 1	64:F6:9D:3A:92:80
AP 2	64:F6:9D:36:83:A1
AP 3	64:F6:9D:43:1E:E0
	64:F6:9D:37:A3:D1
AP 4	64:F6:9D:37:A3:70
	64:F6:9D:37:A3:71
AP 5	B0:AA:77:9D:B7:70
	B0:AA:77:9D:B7:71
AP 6	B0:AA:77:8E:8F:70
	64:F6:9D:43:1E:E1
AP 7	B0:AA:77:67:E0:31
	64:F6:9D:43:1F:30
AP 9	B0:AA:77:67:EB:C0
AP 10	B0:AA:77:9D:B8:E1

Tabla 4.1. Puntos de Acceso instalados en el área de estudio y direcciones MAC.

4.3 Calibración, evaluación, obtención de resultados, análisis y aportación de posibles soluciones

A continuación de la fase inicial, donde se han obtenido:

- Las dimensiones del área de trabajo.
- Las posiciones donde se realizarán las medidas.
- Las localizaciones de los puntos de acceso y sus direcciones MAC.

Se prosigue con la fase de calibración, mediante el prototipo multisensor y el software de posicionamiento se obtendrán las potencias recibidas para cada punto de acceso y para cada posición del área.

4.3.1 Descripción del software de posicionamiento

El software de posicionamiento tiene configurados los siguientes parámetros:

- Frecuencia de escaneado: 2.412MHz.

- Número de medidas por posición: 12
- Listado de direcciones MACs de los puntos de acceso: ver tabla Tabla 4.1.
- Número de direcciones MACs: 14.

4.3.1.1 Configuración de los parámetros de entrada

Para la fase de calibración se deben de configurar los siguientes parámetros en la interfaz gráfica del software de posicionamiento de interiores (ver Figura 4.8) en el modo de Calibración.

- Map length N-S (m): 66
- Map length W-E (m): 32
- Pulsar el botón: 'Run calibration'.

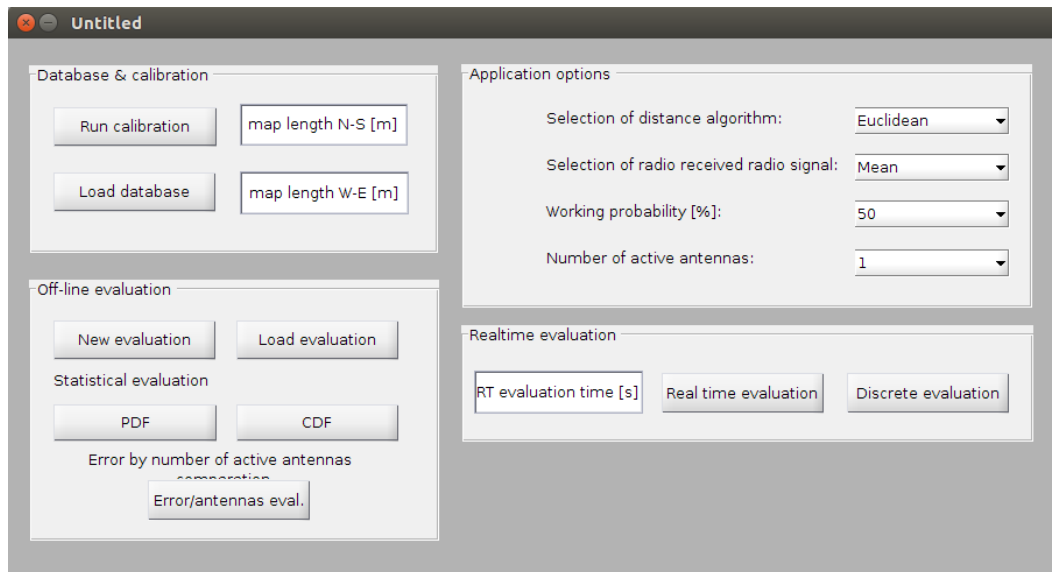


Figura 4.8 . Pantalla ejecución del software de posicionamiento de interiores.

4.3.1.2 Parámetros de salida

Al terminar la primera calibración del área se obtiene una matriz de datos con las siguientes características:

- Una variable llamada 'APlist', la cual tiene el listado de las catorce direcciones MACs de los puntos de acceso existentes. Este listado ha sido configurado previamente en el software. Su tamaño será: 14X1.
- Una variable denominada 'freq' con el valor de la frecuencia principal de operación, ya configurada previamente en el software, cuyo valor es 2412.
- Una matriz de nombre 'ref' de tamaño 32X66, es decir, el tamaño del área total. Cada posición de la matriz tendrá las siguientes características:
 - Si la posición es no medible, es decir, está fuera del área a calibrar que corresponderá con despachos, seminarios, aseos, etc (ver Figura 4.7 zona no morada), tendrá un valor de -1.

- Si la posición es medible, cada una tendrá un tamaño de 14X48, es decir, 14 puntos de acceso, y 48 medidas realizadas (4 antenas X 12 medidas por posición). Cada valor tendrá la potencia recibida para esa posición de cada uno de los puntos de acceso existentes.
- Si no se recibe señal para un punto de acceso, el valor almacenado será de -100.

4.3.1.3 Desarrollo software para la obtención de resultados

Se han reutilizado los métodos creados para el software de posicionamiento[2] , adaptándolos a las nuevas características técnicas del emplazamiento de la zona de trabajo. Así mismo se ha creado un método principal desde el cual se realizan las llamadas a los métodos para obtener los siguientes resultados para cada base de datos obtenida (ver capítulo 8):

- Base de Datos de calibración:
 - Mapas de calor utilizando la media y mediana: Para cada punto de acceso se han obtenido dos gráficas (una calculando la media de la potencia recibida y otra la mediana) donde se indica cómo se distribuye la potencia de señal WiFi, en el área de trabajo. Esta representación se hace en una escala de colores dependiendo del valor de dicha potencia.
- Base de Datos de calibración y evaluación:
 - Precisión vs número de antenas
 - PDF
 - CDF

4.3.2 Ejecución de la calibración del área

4.3.2.1 Área de trabajo



Figura 4.9 . Representación del área de calibración

4.3.2.2 Integración de la diversidad temporal

Como se ha explicado previamente en el capítulo 2 y en el subapartado 4.1, el **tratamiento** de la **diversidad temporal** se consigue obteniendo unas medidas de calibración en diferentes espacios temporales. Gracias a esto, se tiene en cuenta la variabilidad de las señales WiFi cuando son transmitidas.

Por lo tanto, se tendrá una base de datos de calibración en un eje temporal t_1 y otra base de datos de calibración en un eje temporal t_2 . Ambas bases de datos se unificarán en **una única base de datos de calibración** sobre la cual se realizarán los cálculos (ver subapartado 4.3.1.3) para el posterior estudio y análisis de la matriz de resultados.

4.3.3 Ejecución de la evaluación del área

Las medidas de 'evaluación' se realizarán utilizando el dispositivo multisensor y tomando 1 medida por antena y por posición de todas las señales recibidas de cada punto de acceso, (para cada uno de los 14 puntos de acceso se tendrán 4 medidas), realizando un recorrido cualquiera por el área de trabajo.

4.3.4 Obtención de resultados, análisis y aportación de posibles soluciones

Se han obtenido los siguientes parámetros para analizar:

- Mapas de calor de cada punto de acceso, con valores de media y mediana.
- Precisión (en metros) en la estimación de la posición real vs posición estimada según el número de antenas.
- El error o precisión de posicionamiento según el número de antenas utilizadas del dispositivo multisensor haciendo uso de la función de distribución acumulativa (CDF).
- El error o precisión de posicionamiento según el número de antenas utilizadas del dispositivo multisensor haciendo uso de la función densidad de probabilidad (PDF).

Se analizarán las gráficas, se verá si los resultados son los adecuados y el error de posicionamiento en función del número de antenas activas se estima de manera correcta. Si esto no es así, se estudiarán los posibles problemas e impedimentos, aportando soluciones viables.

4.4 Aplicación de posibles soluciones y análisis de resultados

Se aplicarán las soluciones que han sido obtenidas en el subapartado anterior (ver 4.3.4) y se realizará un análisis de los nuevos resultados obtenidos, estudiando la viabilidad de los mismos. Los resultados de estimación de la posición, se calcularán para diferentes métodos de distancias:

- Mahalanobis.
- β -Divergencia (para diferentes valores de β).

Sobre el método de distancia con el que menor error se obtenga y mejores resultados de Localización en interiores se logre, será sobre el que se aplique el algoritmo DSW (Dynamic Space Warping). Gracias al empleo de este algoritmo se consigue disminuir considerablemente el error en la localización.

En el siguiente capítulo, se detallan las gráficas y resultados obtenidos. Estos han sido el fruto del inmenso trabajo realizado descrito en este capítulo.

5 DISCUSIÓN

5.1 Resultados Iniciales

Como se ha explicado en el capítulo 4.2.1.2, la zona elegida para la realización de este Trabajo Fin de Grado es el nuevo Campus Científico-Tecnológico de Linares de Linares, concretamente en los pasillos de la segunda planta del edificio D “Laboratorio Oeste”.

La superficie de dicha planta tiene un tamaño de 66x32 metros, por lo que este espacio se ha dividido en cuadrículas de un metro de lado, en cada una se medirá la potencia recibida de cada punto de acceso. Dichas medidas se realizarán exclusivamente en los pasillos, por lo que el resto de puntos del mapa se guardarán con valor -1.

Para conseguir el objetivo principal de este trabajo fin de grado, obtener mediante un “*Sistema De Localización en interiores con Dispositivo Multisensor Y Diversidad temporal*” el error (metros) que se tiene entre una posición estimada con respecto a la posición real, se tiene que trabajar con los siguientes parámetros:

- En la primera **base de datos**, correspondiente a la **calibración** del área total, se recorrerán todos los pasillos obteniéndose las medidas de señal recibida RSSI usando el dispositivo multisensor que dispone de cuatro antenas (diversidad espacial). Para cada posición medible se registrará la potencia recibida por cada antena del dispositivo (4 antenas) de las 14 direcciones MACs, realizando esta medida 12 veces. Por lo tanto, para cada dirección MAC de los puntos de acceso se tendrán 48 medidas RSSI (4 antenas x 12 medidas).
- Para obtener una base de datos con diversidad temporal, ver capítulo 2, esta medida de calibración se realizará dos veces, en espacios temporales diferentes, obteniéndose en total 96 medidas RSSI para cada punto de acceso en cada posición medible (48 medidas + 48 medidas).
- La segunda **base de datos** a obtener será la base de datos de **evaluación**. Se realizará de forma similar a la base de datos de calibración, aunque no se recorrerán todos los pasillos, si no que se simulará el itinerario que una persona realice en esta planta. Así mismo, se utilizará el dispositivo

multisensor de cuatro antenas. Los valores que se tendrán en dicha matriz serán:

- Las posiciones no medibles, así como las posiciones de los pasillos que no han sido recorridos, se registrarán con un valor de: -1.
- El resto de medidas se guardará para cada posición la potencia de señal recibida de cada punto de acceso. En esta ocasión se tendrá una sola medida por antena y punto de acceso. Se tendrá una base de datos de evaluación para cada posición de 4 medidas RSSI por cada punto de acceso (4 antenas x 1 medida).
- Cuando no se reciba señal de una dirección MAC de un punto de acceso, el valor será de -100.

5.1.1 Base de Datos Calibración: Cálculos y resultados

5.1.1.1 Mapas de calor con calibración media y mediana

En este apartado se han obtenido los mapas de calor para cada punto de acceso, gracias a la matriz de calibración, como se ha detallado anteriormente esta incluye diversidad temporal y diversidad espacial para obtener unos resultados más reales y exactos (ver subapartado 4.1). Consultar el subcapítulo 4.2.3 donde se ha explicado en detalle el área de calibración, la posición de cada punto de acceso, así como la dirección MAC de cada uno.

Antes de analizar los mapas de calor, se debe de tener en cuenta las características de elementos y materiales utilizados en la construcción. Hacer hincapié en el moderno diseño interior de concepto abierto del nuevo campus, donde conviven los pasillos diáfanos, las paredes de vidrio y los patios de gran luminosidad, donde la luz natural fluye por gran parte del espacio.

Al tener este diseño, los pasillos no tienen ningún tipo de calefacción o aire acondicionado, y cada despacho, seminario o área de trabajo dispone de un dispositivo individual, por lo que al abrir o cerrar las puertas de los mismos existen grandes cambios de temperatura.

Los mapas de calor son representaciones gráficas de la potencia que se recibe de señal en cada punto de una determinada emisión de señal inalámbrica. A continuación, se representarán, en dos apartados, los mapas de calor por cada punto de acceso. En el

subapartado 5.1.1.1.1 se tendrán los mapas de calor para la potencia calculada con el valor de potencia media y en el otro **Error! Reference source not found.** para la potencia calculada con el de la mediana.

Para ver la situación de los puntos de acceso en el área de trabajo, consultar el subapartado 4.3.2.1.

5.1.1.1.1 Mapas de calor obtenidos para la función 'media'

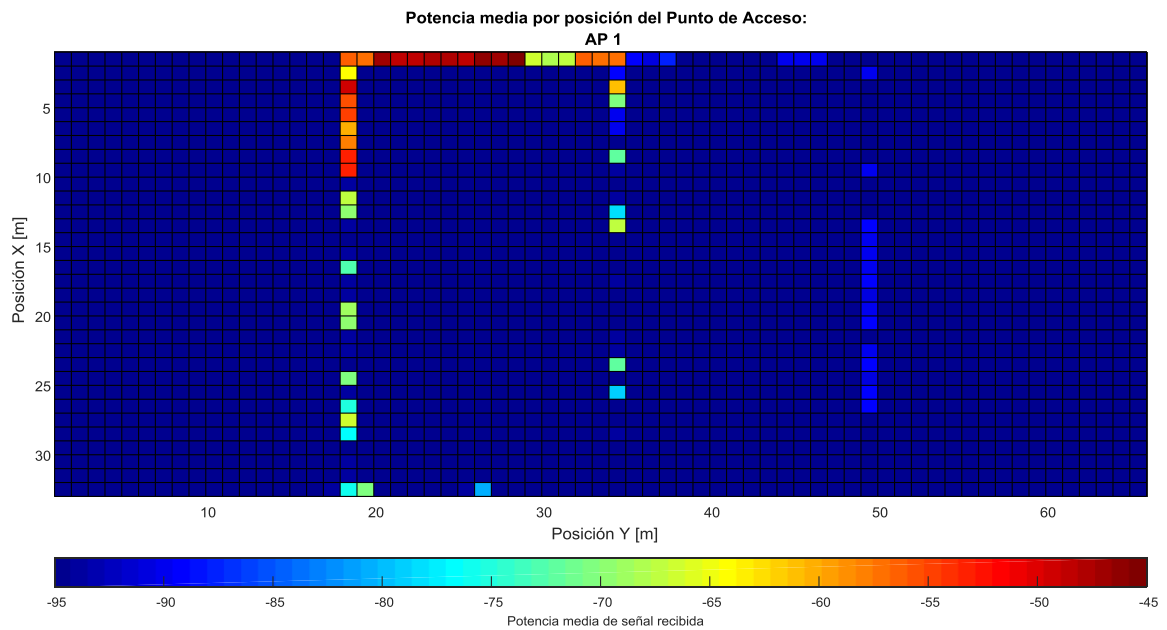


Figura 5.1 . Potencia media por posición AP 1

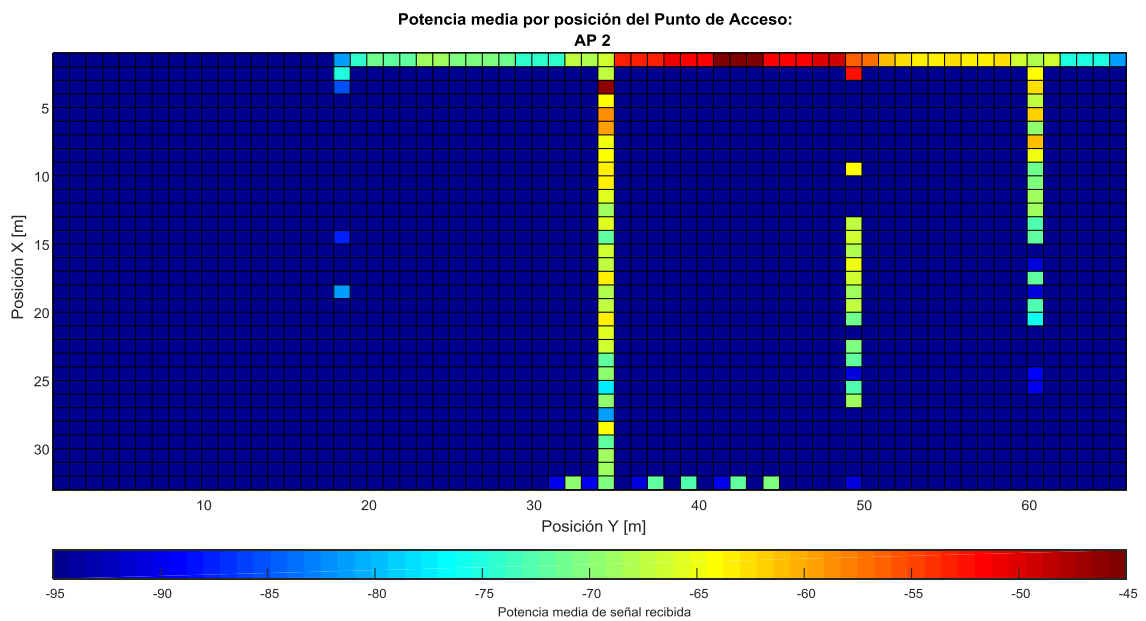


Figura 5.2 . Potencia media por posición AP 2

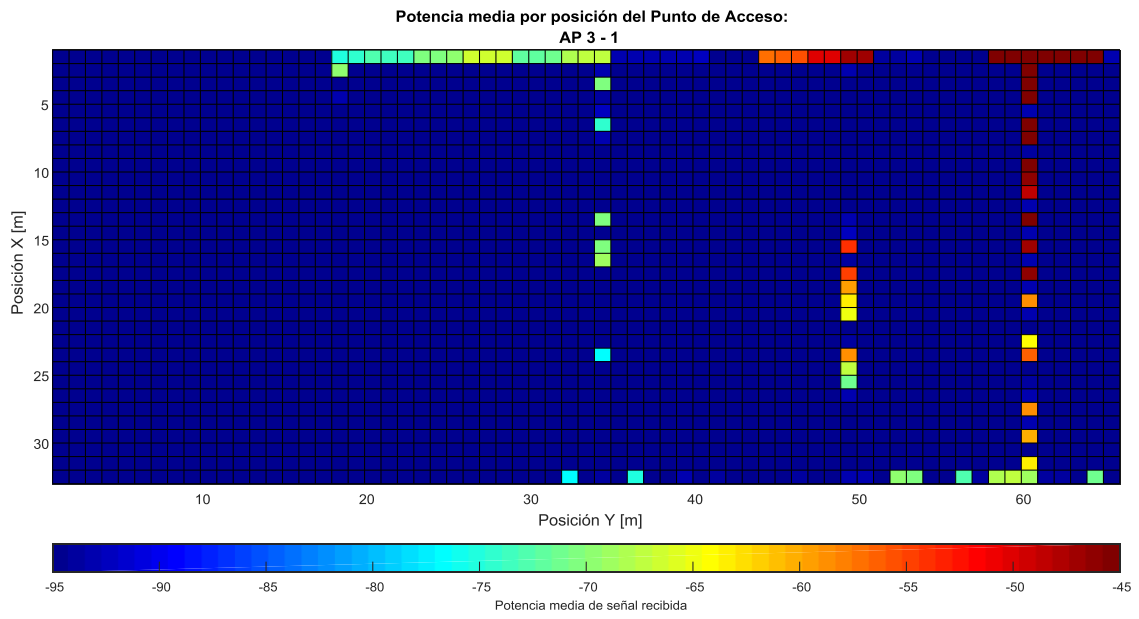


Figura 5.3 . Potencia media por posición AP 3 – 1

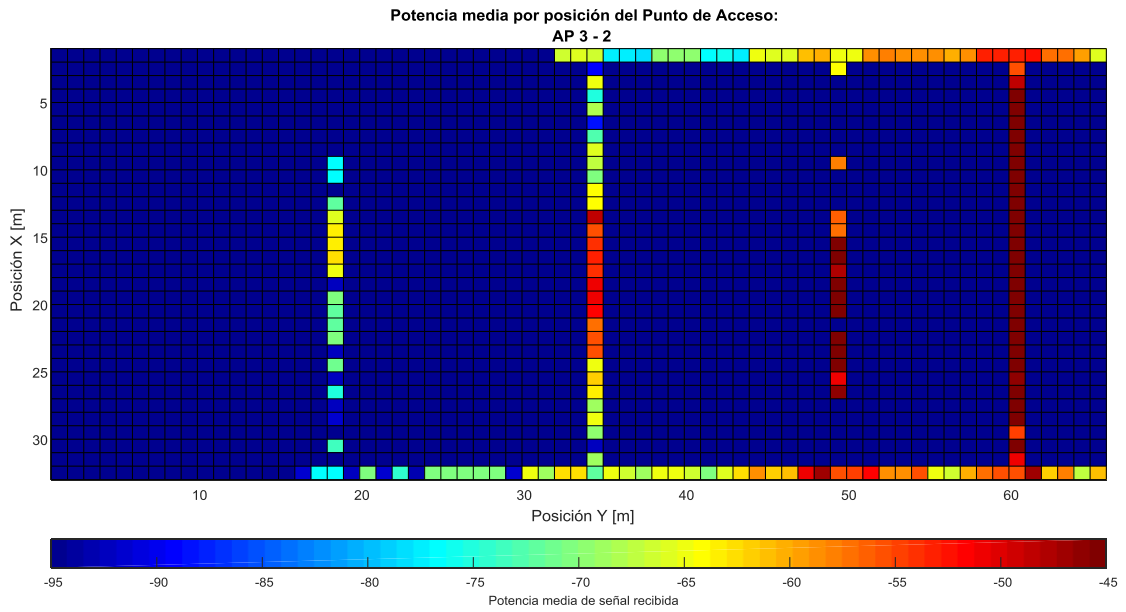


Figura 5.4 . Potencia media por posición AP 3 – 2

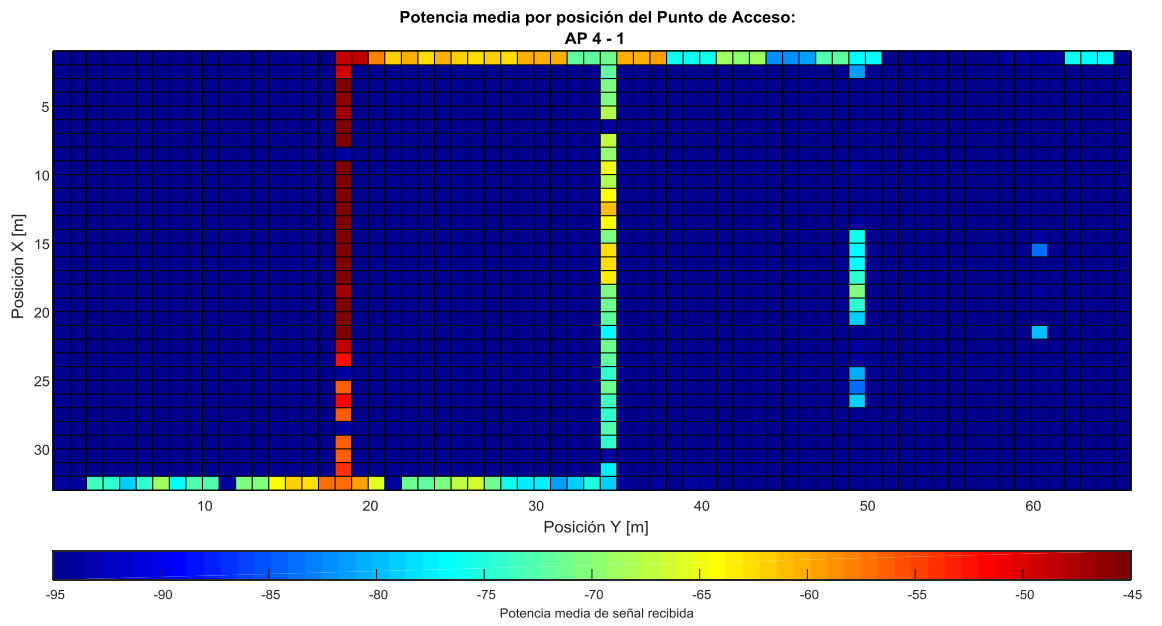


Figura 5.5 . Potencia media por posición AP 4 – 1

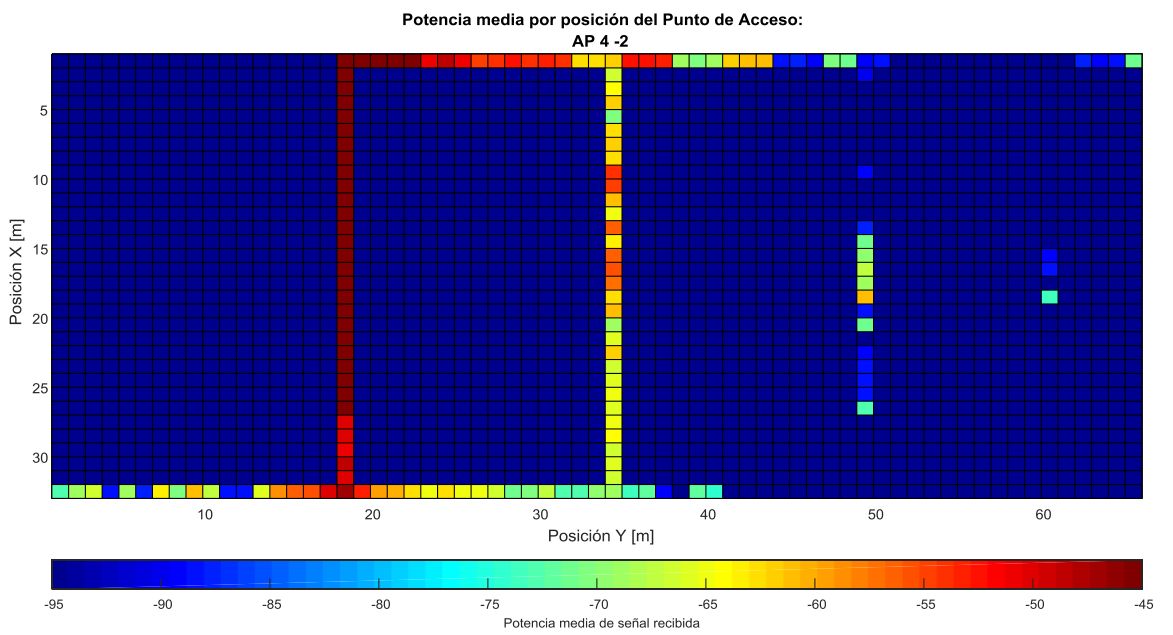


Figura 5.6 . Potencia media por posición AP 4 – 2

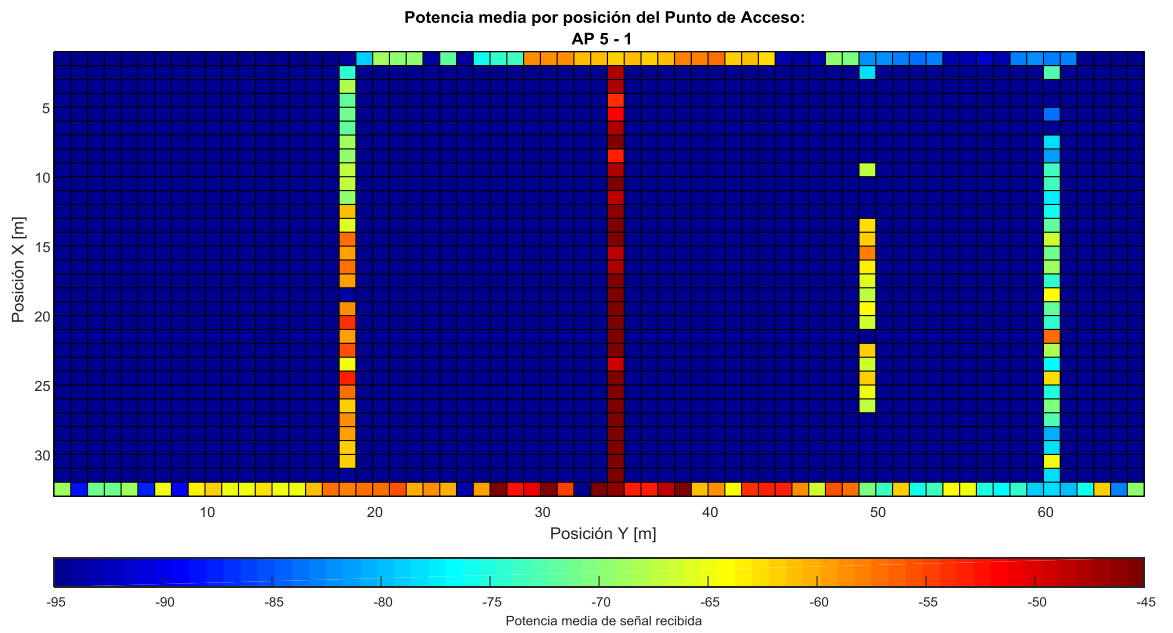


Figura 5.7 . Potencia media por posición AP 5 – 1

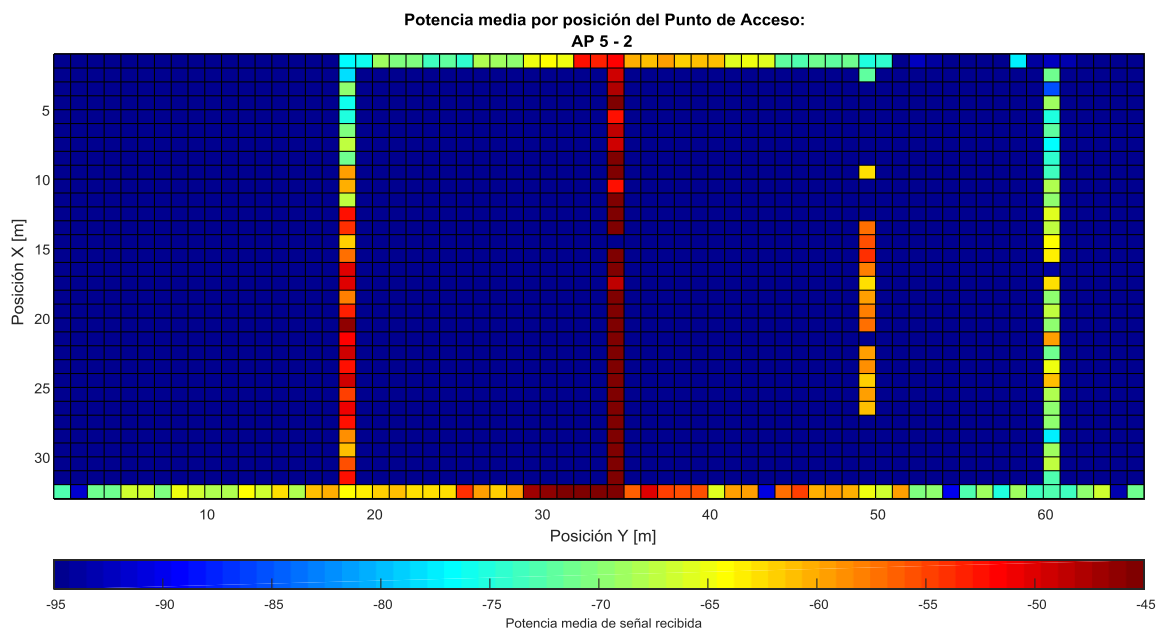


Figura 5.8 . Potencia media por posición AP 5 – 2

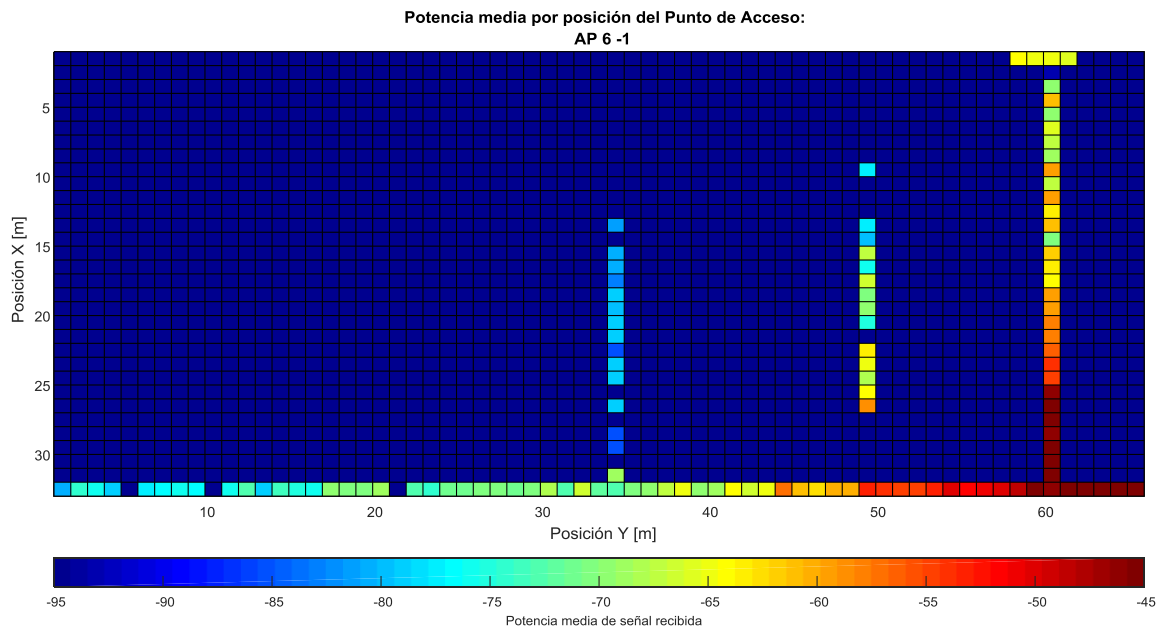


Figura 5.9 . Potencia media por posición AP 6 – 1

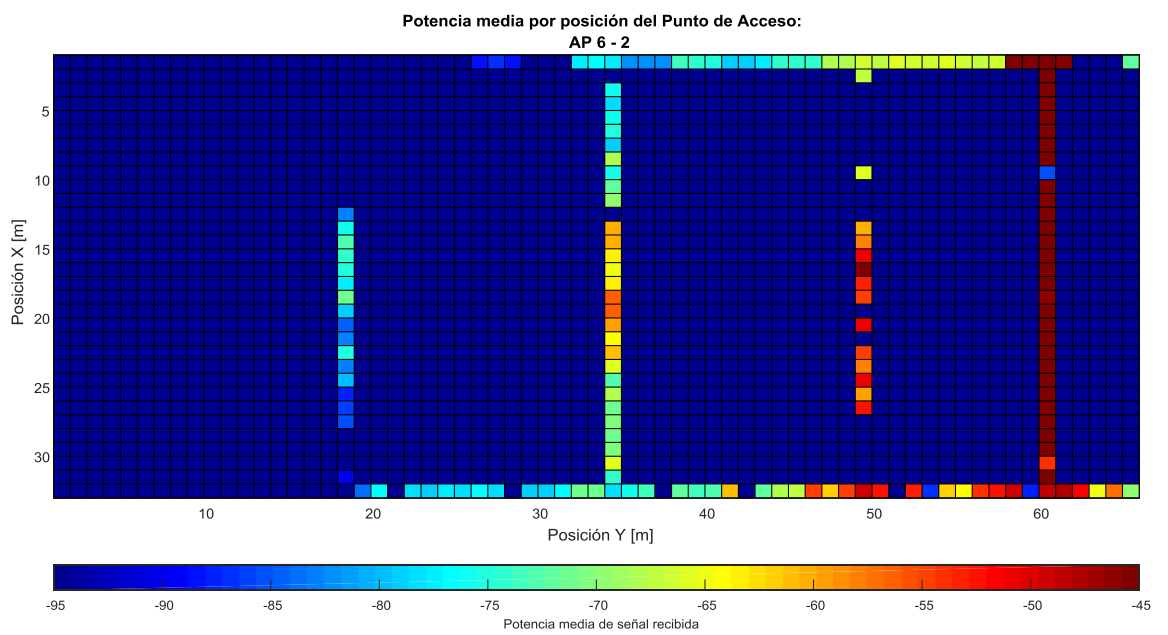


Figura 5.10 . Potencia media por posición AP 6 - 2

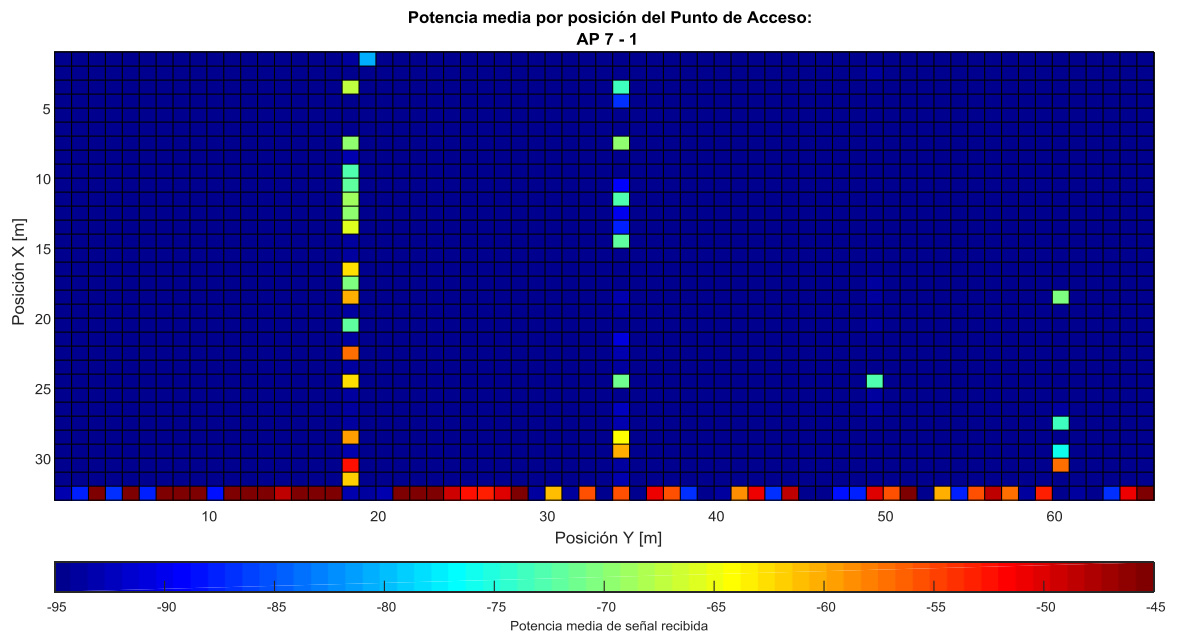


Figura 5.11 . Potencia media por posición AP 7 – 1

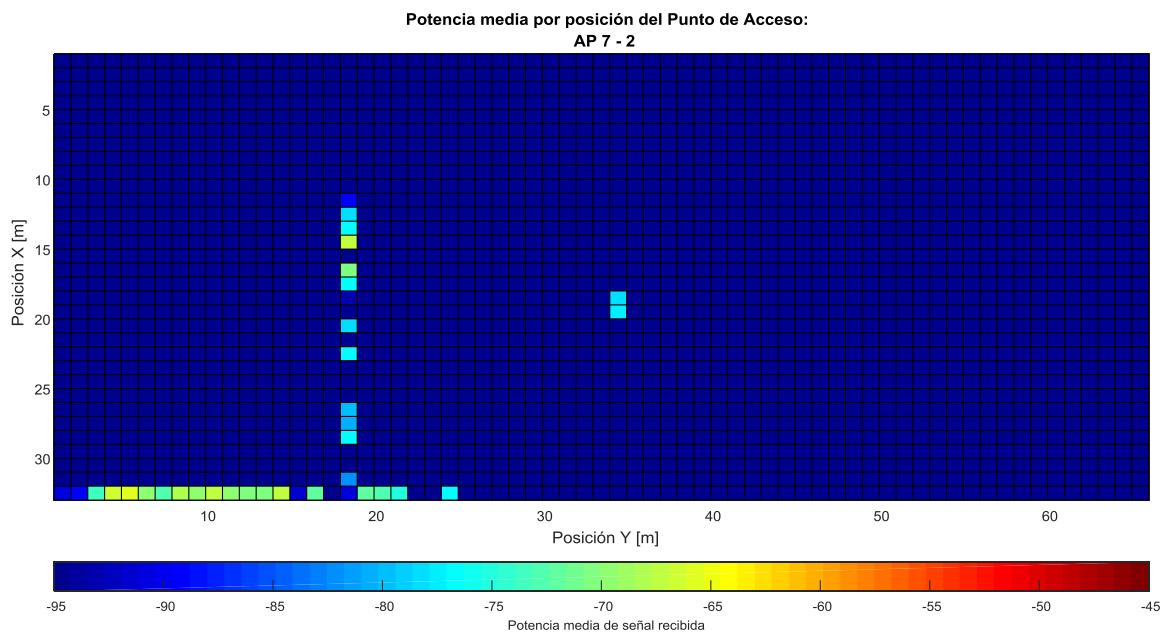


Figura 5.12 . Potencia media por posición AP 7 – 2

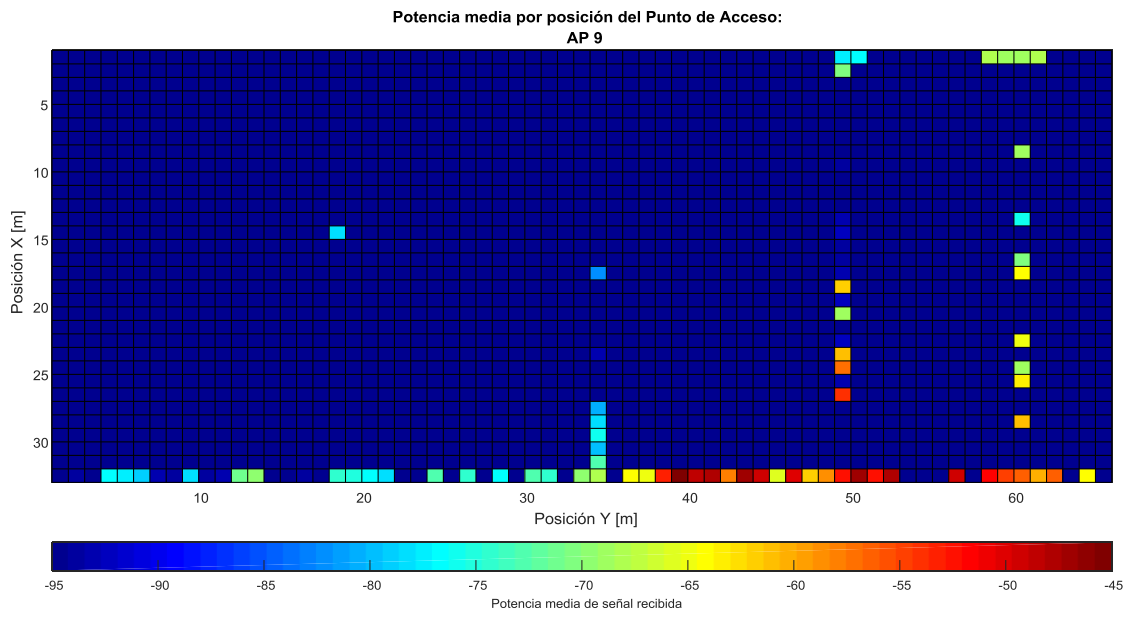


Figura 5.13 . Potencia media por posición AP 9

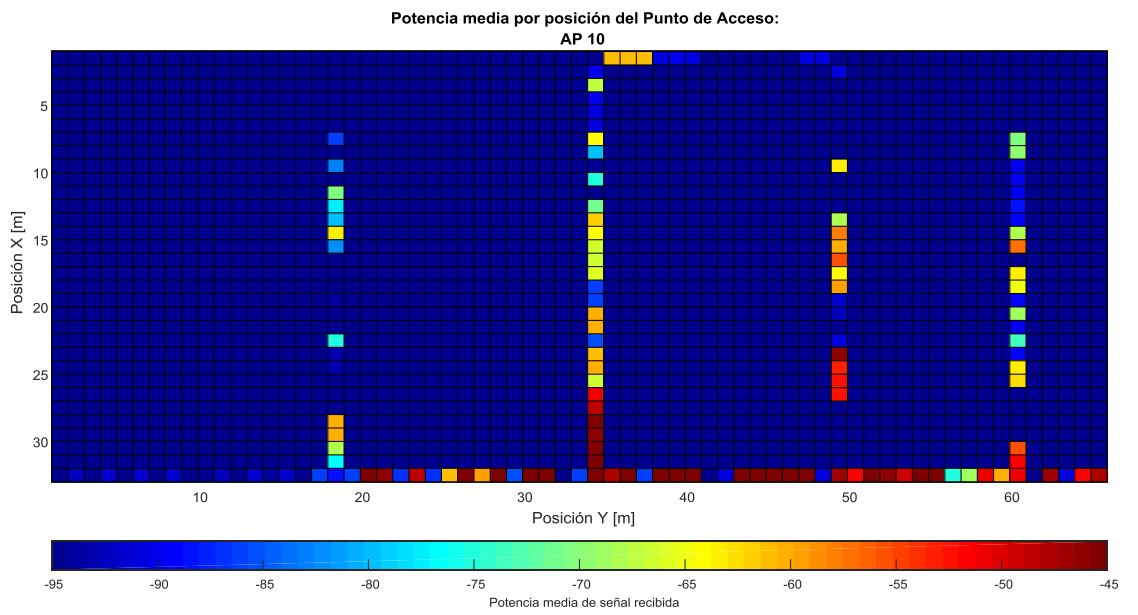


Figura 5.14 . Potencia media por posición AP 10

Si observamos los mapas de calor, estos nos proporcionan bastante información:

- La potencia que transmite el punto de acceso (no en todos los casos es la misma, observar por ejemplo la figura Figura 5.12 . Potencia media por posición AP 7 – 2).
- Cómo se reparte la señal por la zona de trabajo. En algunos puntos de acceso se observan zonas de desvanecimiento total de la señal cuando está rodeado por niveles altos de la misma. Este efecto se observa en las siguientes figuras:
 - Figura 5.3 . Potencia media por posición AP 3 – 1.
 - Figura 5.11 . Potencia media por posición AP 7 – 1.
 - Figura 5.13 . Potencia media por posición AP 9.
 - Figura 5.14 . Potencia media por posición AP 10.

5.1.2 Base de Datos Evaluación: Cálculos y resultados

5.1.2.1 Análisis y obtención de conclusiones

❖ Resultados precisión en la estimación de la posición según el número de antenas empleadas:

En este subapartado se utilizan la base de datos de calibración y la de evaluación, (consultar subapartado 5 donde se explican ambas). Se realizará una estimación de la trayectoria que se ha hecho en el área de trabajo, a partir de la matriz de evaluación, en función de los datos existentes en la matriz de calibración. Cuando se tenga esta posición estimada y la posición real, se calculará la precisión de estos valores en función de varios métodos de medidas de similitud (ver subapartado 2.1.1.5):.

- ❖ Distancia de Mahalanobis
- ❖ B - Divergencia.

A continuación se muestran los resultados obtenidos para cada una de las pruebas realizadas:

❖ Distancia Euclídea, 95% probabilidad de error:

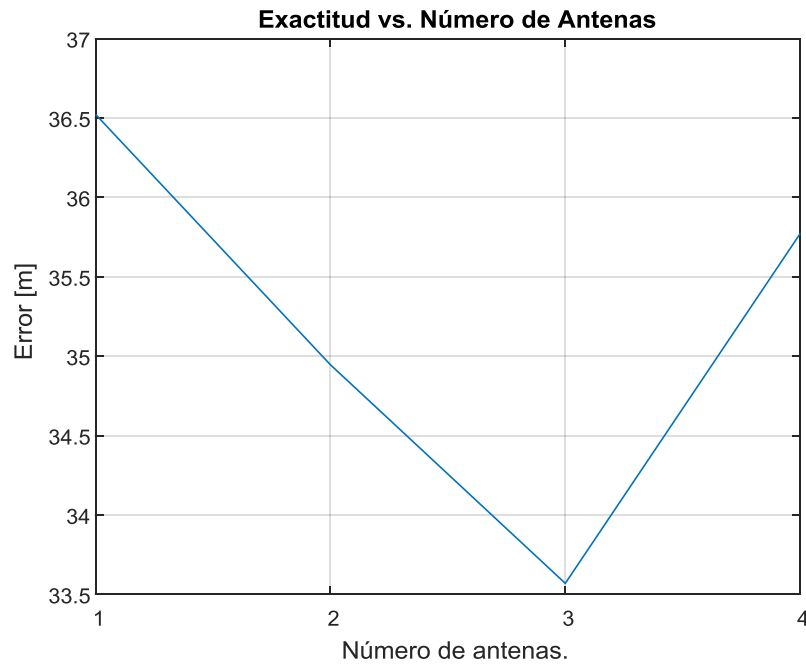


Figura 5.15 . Gráfica precisión vs. Número de antenas – Distancia Euclídea, 95% probabilidad de error.

Los resultados obtenidos de error en metros, donde se analiza la precisión de la posición estimada con respecto a la posición real, para un determinado número de antenas, utilizando la distancia euclídea y sabiendo que el área de trabajo es de 66x32 metros, para 95% de probabilidad de error (ver Figura 5.15) está en torno a los 35 metros.

Son valores muy elevados de error a la hora de hacer una estimación de la posición, se pueden considerar que estima la posición de manera aleatoria, por lo que no son valores válidos.

Aún así, a continuación se muestran los resultados que se obtienen utilizando la distancia de Mahalanobis, aunque ya se prevé que también tendrán un elevado valor de error:

❖ Distancia Mahalanobis con valores de media, 95% probabilidad de error:

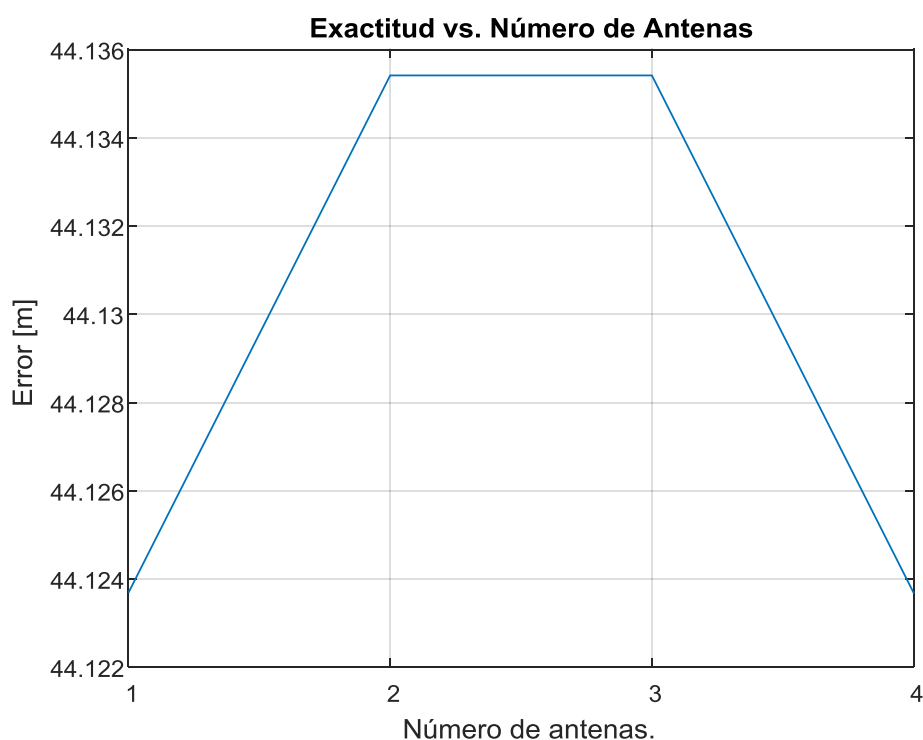


Figura 5.16 . Gráfica precisión vs. Número de antenas – Distancia Mahalanobis media, 95% probabilidad

Análisis de los resultados iniciales para las gráficas de Precisión de la estimación de la posición según el número de antenas del dispositivo multisensor:

⊕ **CONCLUSIÓN 1:**

Como comprobamos en estas gráficas, estos valores de error son muy elevados (en torno a los 35 metros de error), y definitivamente no servirán para el proceso de localización.

⊕ **CONCLUSIÓN 2:**

En consecuencia, se hace necesario un análisis exhaustivo de los resultados y una propuesta de soluciones que se van a adoptar para obtener una mejora en los resultados, y por tanto, en el posicionamiento en interiores. Todo esto se detalla en el subapartado 5.1.3.

⊕ **CONCLUSIÓN 3:**

Se deberán de obtener nuevamente los resultados aplicando las soluciones propuestas. Será en el subapartado 5.2 relativo a la “Resultados Definitivos”

donde se obtendrán los resultados finales correspondientes al posicionamiento en interiores.

5.1.2.2 Representación de gráficas obtenidas

Resultados Función de Distribución Acumulativa:

- ❖ Error de posicionamiento según el número de antenas utilizadas del dispositivo multisensor haciendo uso de la función de distribución acumulativa (CDF) para distancia Euclídea, para una antena.

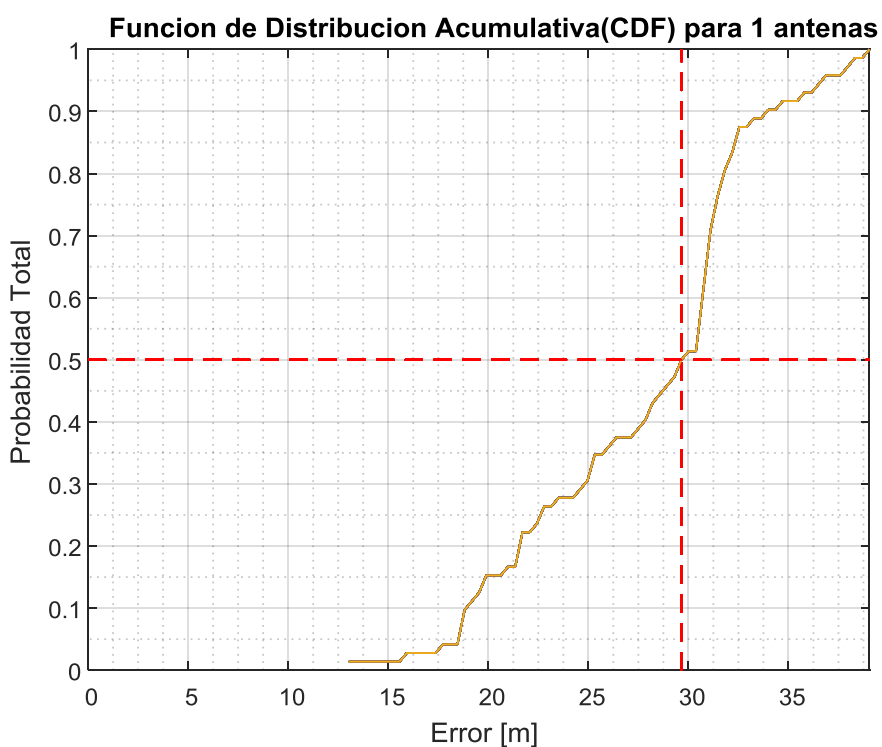


Figura 5.17 . Gráfica CDF para 1 antena – Distancia Euclídea.

- ❖ Error de posicionamiento según el número de antenas utilizadas del dispositivo multisensor haciendo uso de la función de distribución acumulativa (CDF), para distancia Euclídea, para dos antenas.

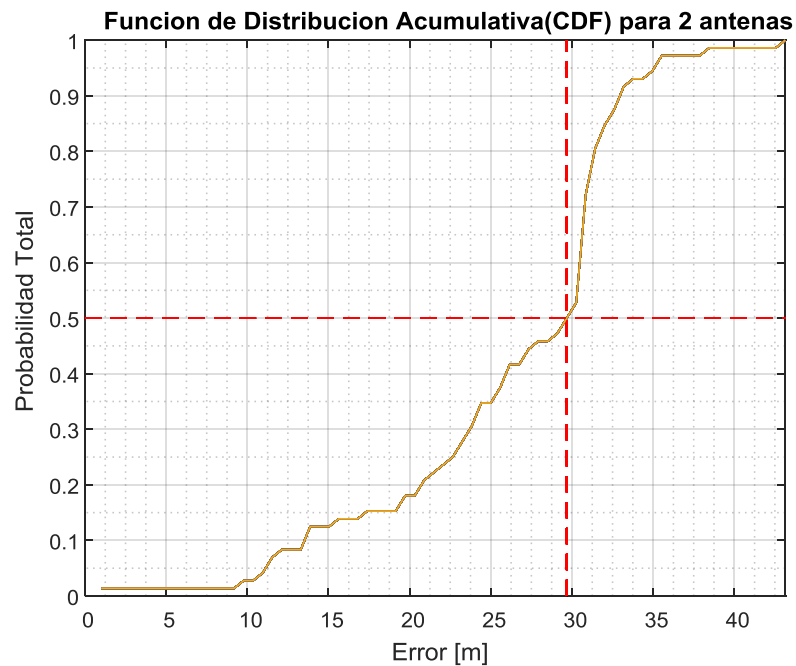


Figura 5.18 . Gráfica CDF para 2 antenas – Distancia Euclídea.

- ❖ Error de posicionamiento según el número de antenas utilizadas del dispositivo multisensor haciendo uso de la función de distribución acumulativa (CDF), para distancia Euclídea, para tres antenas.

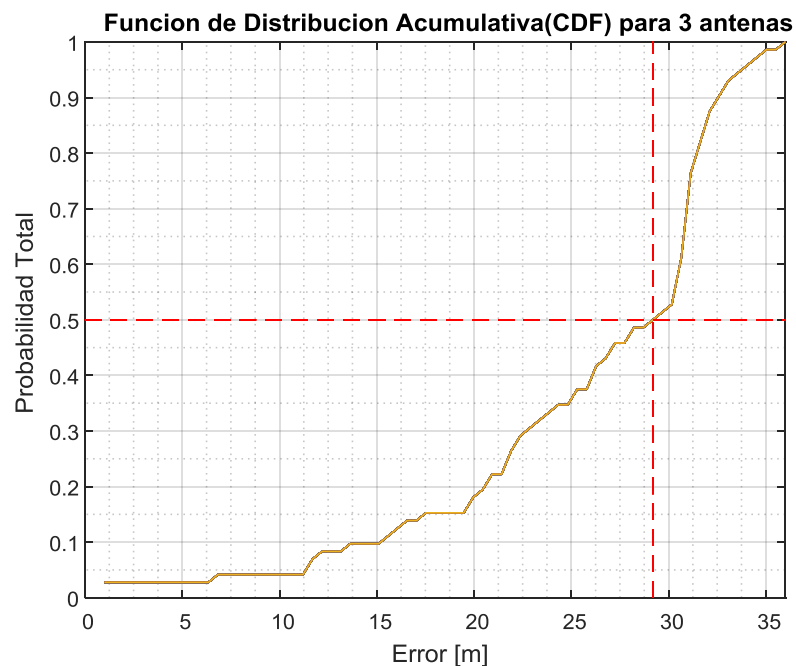


Figura 5.19 . Gráfica CDF para 3 antenas – Distancia Euclídea.

- ❖ Error de posicionamiento según el número de antenas utilizadas del dispositivo multisensor haciendo uso de la función de distribución acumulativa (CDF), para distancia Euclídea, para cuatro antenas.

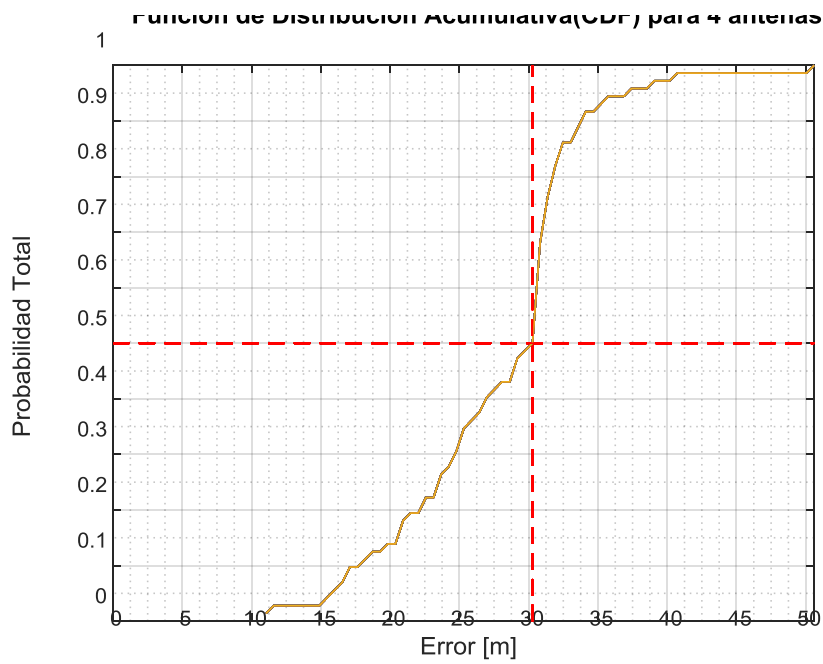


Figura 5.20 . Gráfica CDF para 4 antenas – Distancia Euclídea.

Resultados Función Densidad de Probabilidad:

- ❖ Error de posicionamiento haciendo uso de la función densidad de probabilidad (PDF) - Distancia euclídea, para una antena.

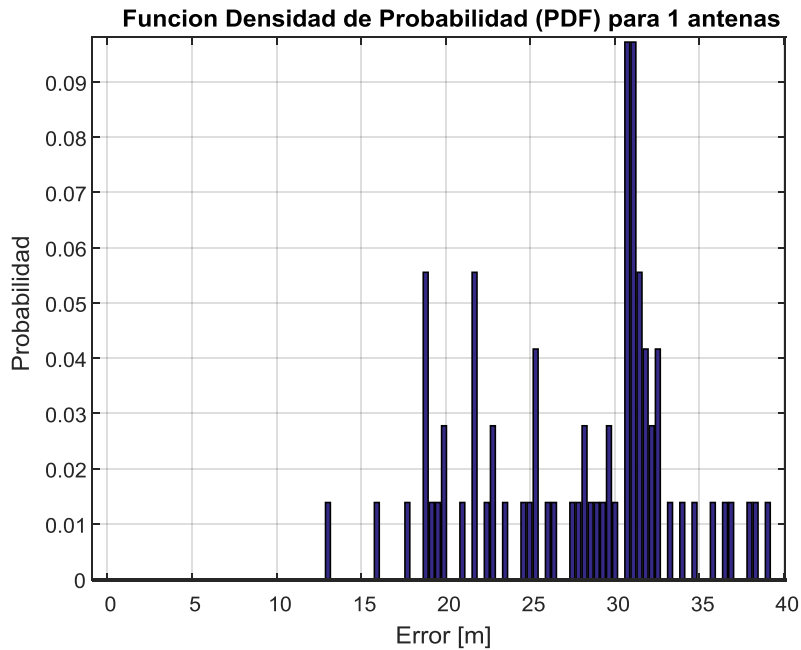


Figura 5.21 . Gráfica PDF para 1 antena – Distancia Euclídea.

- ❖ Error de posicionamiento según el número de antenas haciendo uso de la función densidad de probabilidad (PDF) - Distancia euclídea, para dos antenas.

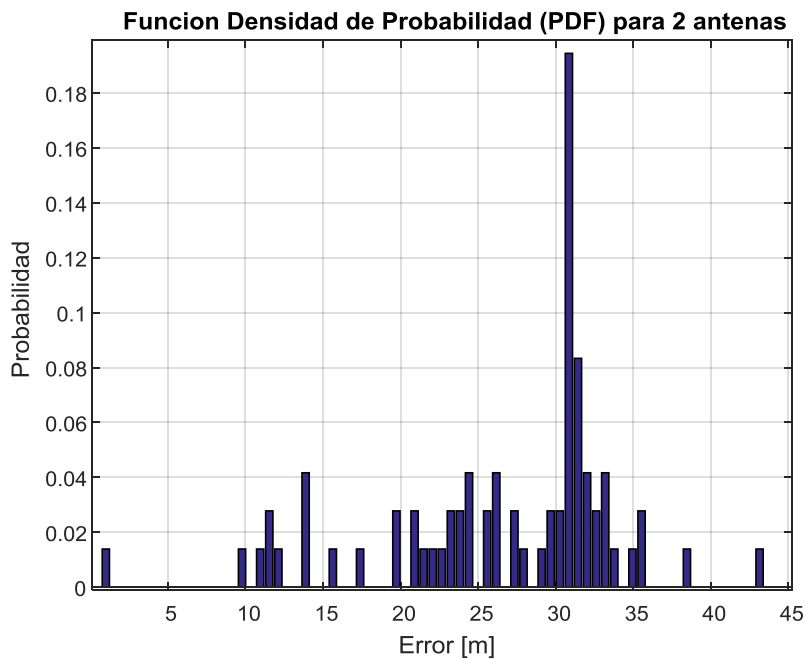


Figura 5.22 .Gráfica PDF para 2 antenas – Distancia Euclídea.

- ❖ Error de posicionamiento haciendo uso de la función densidad de probabilidad (PDF) - Distancia euclídea.

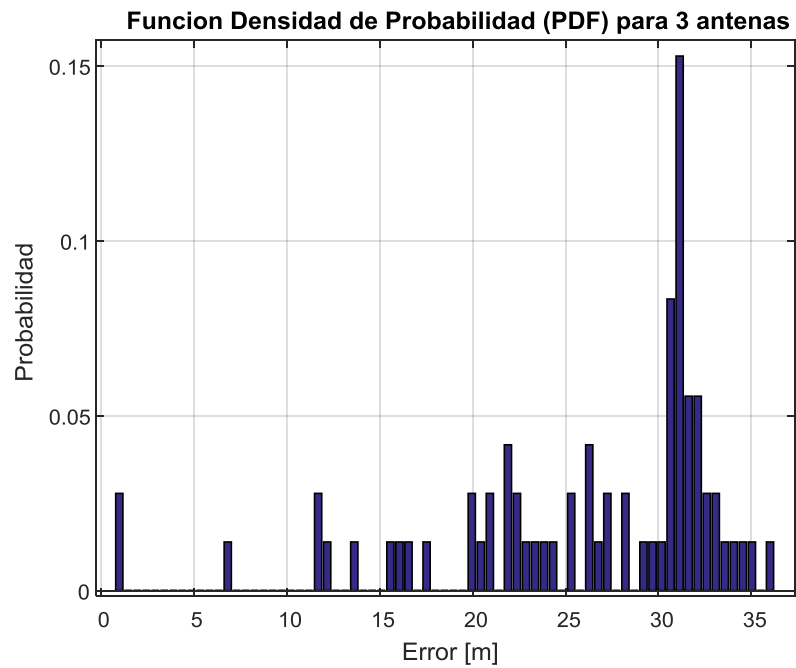


Figura 5.23 .Gráfica PDF para 3 antenas – Distancia Euclídea.

- ❖ Error de posicionamiento haciendo uso de la función densidad de probabilidad (PDF) - Distancia euclídea, para cuatro antenas.

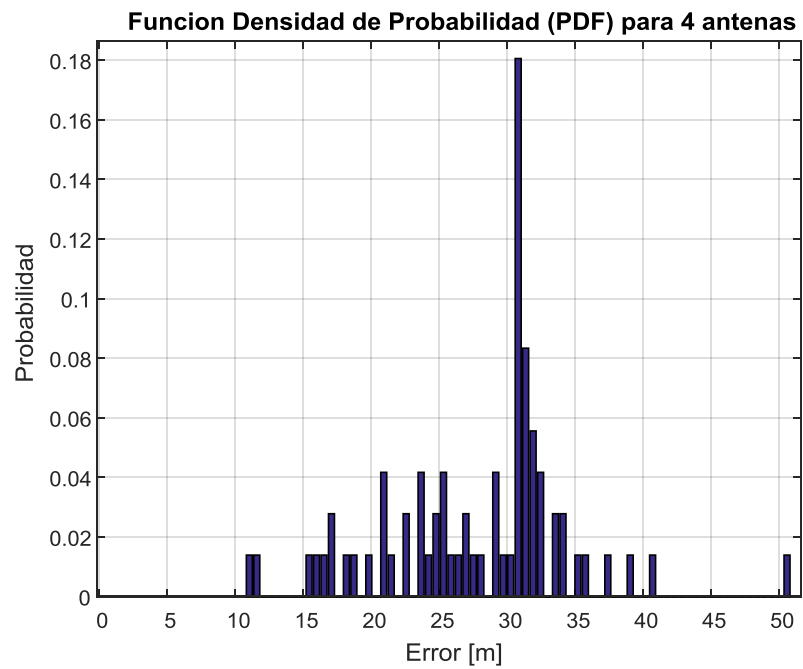


Figura 5.24 .Gráfica PDF para 4 antenas – Distancia Euclídea.

5.1.3 Explicación de soluciones para la obtención de resultados finales de posicionamiento en interiores

Como ha quedado patente en las gráficas obtenidas anteriormente, con los resultados de precisión en la estimación de la posición utilizando 1, 2, 3 y 4 antenas del dispositivo multisensor, la estimación de la posición tiene errores de más de 35 metros. Con lo que se puede afirmar que la estimación es totalmente aleatoria y no es válida, ni tiene resultados fidedignos.

Si se observan las gráficas de función de distribución acumulativa (CDF), para un 50% de probabilidad de error, utilizando 1, 2, 3 y 4 antenas del dispositivo multisensor, se puede observar con mayor detalle la evolución del error de estimación de la posición (en metros). Este tiene más de 30 metros de error para un 50% de probabilidad de error (ver Figura 5.17, ver Figura 5.18, ver Figura 5.19 o ver Figura 5.20) y el mismo no mejora al tener diversidad espacial.

Observando las gráficas de función de densidad de probabilidad, donde se indica la probabilidad de tener un determinado error medido en metros, utilizando 1, 2, 3 o 4 antenas, el mejor resultado es que el 16% de las veces acierta posición real y estimada (ver Figura 5.21, ver Figura 5.22, ver Figura 5.23 o ver Figura 5.24).

Por lo tanto, se han obtenido unos resultados pésimos para la localización de interiores. Y se hace necesario un análisis exhaustivo de los mismos que permita una localización más precisa y veraz. A continuación, se especifican las soluciones propuestas a adoptar para obtener una mejora de los resultados y se fundamenta la razón de su aplicación:

⊕ ANÁLISIS DE RESULTADOS Y SOLUCIONES PROPUESTAS PARA UNA MEJORA DE LOS RESULTADOS DE POSICIONAMIENTO EN INTERIORES

- ❖ Si observamos los mapas de calor obtenidos (ver subapartado 5.1.1.1) se puede deducir lo siguiente:
 - La potencia que transmite el punto de acceso (no en todos los casos es la misma, observar por ejemplo la figura Figura 5.12 . Potencia media por posición AP 7 – 2).

- En algunos puntos de acceso no presentaban un comportamiento coherente, se observan zonas de desvanecimiento total de la señal cuando está rodeado por niveles altos de la misma. Este efecto se observa en las siguientes figuras:
 - Figura 5.3 . Potencia media por posición AP 3 – 1.
 - Figura 5.11 . Potencia media por posición AP 7 – 1.
 - Figura 5.13 . Potencia media por posición AP 9.
 - Figura 5.14 . Potencia media por posición AP 10.

⊕ **SOLUCIÓN 1:**

Se van a omitir los valores de potencia obtenidos por estos puntos de acceso. Como consecuencia, pasamos de tener 14 direcciones MAC a tener 10 direcciones físicas del interfaz inalámbrico.

- ❖ Se ha comparado los valores de las potencias recibidas para las matrices de calibración y evaluación. Se observa una gran variación en los mismos para una misma posición y punto de acceso. Es decir, en algunos casos la diferencia entre las dos matrices es de más de 10dB y, en otros, se pasa de recibir buen nivel de señal a no recibir nada. Por lo que es evidente que la potencia de los puntos de acceso ha cambiado desde la calibración hasta la evaluación.

⊕ **SOLUCIÓN 2:**

Se toma la decisión de redistribuir las bases de datos obtenidas:

- La nueva matriz de calibración estará formada por 11 medidas por posición (en lugar de 12 medidas por posición), correspondientes a la primera calibración realizada (en lugar de tener dos calibraciones). Por consiguiente, cada posición del área de trabajo (32x66 metros), tendrá una dimensión de 10 puntos de acceso por 44 valores (11 medidas por posición por 4 antenas).
- La nueva matriz de evaluación estará constituida por los valores que se obtuvieron en segunda calibración, concretamente con la última medida por posición que se realizó. Quedando un tamaño de 10 puntos de acceso por 4 valores (1 medida por posición por 4 antenas).

A continuación, se incorporan las soluciones anteriores y se obtendrán unos nuevos resultados, los cuales se analizarán para comprobar los valores obtenidos y estudiar si son válidos para el posicionamiento en interiores.

5.2 Resultados Definitivos

5.2.1 Soluciones adoptadas en las distintas bases de datos

Según el análisis realizado en el subapartado anterior 5.1.3 y la explicación de las soluciones a adoptar para tener una mejora en el Posicionamiento en Interiores, en este subapartado se explicarán en mayor profundidad de manera que quede una imagen completa de la nueva configuración:

- Se han seleccionado las direcciones MAC de los puntos de acceso que presentan un mapa de calor coherente y sin interrupciones o discontinuidades en la emisión de la señal WiFi, para ello consultar el subapartado 5.1.1.1 correspondiente a las gráficas de los mapas de calor.

⊕ SOLUCIÓN 1:

Se dejan de tener en cuenta los puntos de acceso AP 3-1, AP 7-1, AP 9 y AP 10 que tienen este tipo de comportamiento no coherente. La lista de direcciones MAC del software de posicionamiento pasa de tener 14 direcciones MAC a tener 10 direcciones.

- La potencia que transmiten los diferentes puntos de acceso se debe de mantener mientras se realiza el proceso completo de calibración, esto incluye a todas las medidas en el área seleccionada, y también se deben de mantener hasta que se completa la calibración con los dos barridos (para tener diversidad temporal).

Este concepto es importante, ya que las medidas de los dos barridos se unifican en una sola matriz de calibración y con dichos datos se calcula la media, mediana, etc. para una misma posición. Si los valores de potencia varían en el transcurso del proceso de calibración, los datos obtenidos para el posicionamiento serían no válidos.

Sin nuestro conocimiento, mientras se realizaba el proceso de calibración del área de trabajo, los valores de potencia que transmiten los puntos de acceso han sido modificados. Se han realizado estas modificaciones entre las medidas de calibración del barrido 1 y el barrido 2. Por lo tanto, la matriz de calibración no puede estar compuesta por los valores correspondientes a estos dos barridos, ya que la diferencia existente en la potencia recibida para una misma posición es superior a 10 dB. La solución adoptada para este Trabajo Fin de Grado de Posicionamiento en Interiores es la siguiente:

⊕ **SOLUCIÓN 2:**

- La matriz de calibración va a estar formada por 11 medidas por posición x 4 antenas (del dispositivo multisensor) x 1 barrido. Todos estos valores correspondientes a las medidas obtenidas en el primer barrido realizado durante la calibración.
- La matriz de evaluación va a estar formada por 1 medida por posición x 4 antenas x 1 barrido. Estos valores corresponden a la última medida por posición obtenida en el segundo barrido realizado durante la calibración.

A continuación, se muestra una tabla donde aparece explicado el escenario de trabajo con el que se han obtenido los resultados iniciales, los cuales realizan una Localización en interiores totalmente aleatoria, y el escenario de trabajo con el que se han obtenido los resultados definitivos, que se detallarán en posteriores subapartados.

	Resultados Iniciales	Resultados Definitivos
Número de Direcciones MAC	14	10
Base de Datos Calibración	12 medidas por posición x 4 antenas x 2 barridos	11 medidas por posición x 4 antenas x 1 barrido
Base de Datos Evaluación	1 medida por posición x 4 antenas x 1 barrido	1 medida por posición x 4 antenas x 1 barrido

Tabla 5.1. Tabla resumen de datos utilizados para obtener los resultados iniciales y los definitivos.

5.2.2 Base de Datos Evaluación: Cálculos y resultados

Se integran las diferentes soluciones propuestas en el subapartado anterior (ver subapartado 5.2.1), transformándose las bases de datos de calibración y de evaluación.

La base de datos de calibración tiene unas dimensiones de 32x66 metros, en cada posición se tienen 10 puntos de acceso, con 11 medidas por posición por cada una de las cuatro antenas del dispositivo multisensor (44 medidas) (ver Figura 4.6 . Prototipo multisensor con 4 antenas).

La base de datos de evaluación tiene unas dimensiones de 32x66 metros, en cada posición se tienen 10 puntos de acceso, con 1 medida por posición por cada una de las cuatro antenas del dispositivo multisensor (4 medidas).

Se han realizado una batería de pruebas realizadas con diferentes métodos de distancia: Mahalanobis y el método de β - Divergencia, para valores de $\beta= 2$ (conocida como distancia Euclídea), 1, 0'5, 0'3, 0'1 y 0'05. De esta manera se podrá comparar y obtener el método que proporcione mejores resultados, y como consecuencia, mejor posicionamiento en interiores.

Se muestran, a continuación, los resultados que se han obtenido:

5.2.2.1 Resultados precisión en la estimación de la posición según el número de antenas empleadas

- ❖ Distancia Euclídea (β -divergencia, $\beta=2$) con valores de potencia media, 95% probabilidad de error:

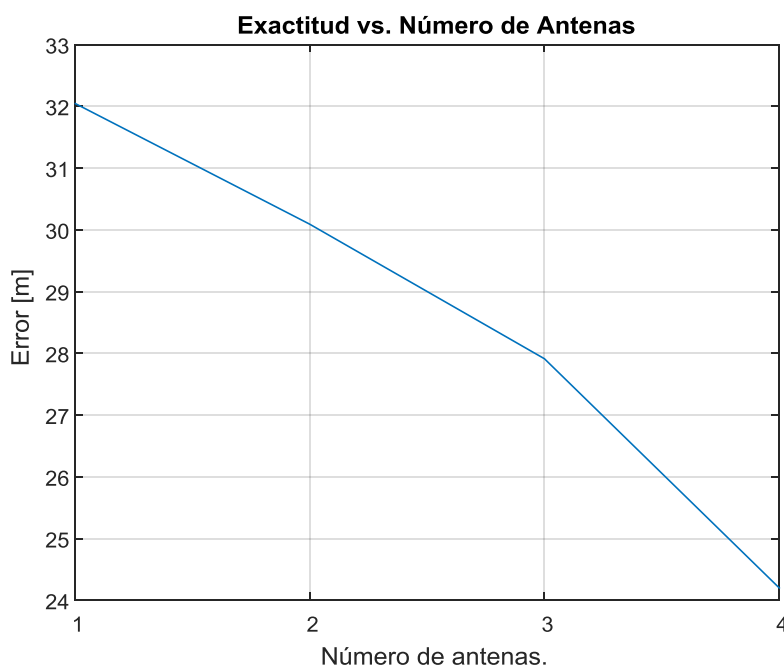


Figura 5.25 . Gráfica precisión vs. Número de antenas – Distancia Euclídea – valores potencia media, 95% probabilidad de error.

En esta gráfica anterior, con distancia euclídea ($\beta=2$), para un 95% de probabilidad de error, el error (metros) de la gráfica de precisión vs. Número de antenas disminuye al aumentar el número de antenas, es decir, cuando se tiene diversidad espacial se obtienen mejores resultados. Se cumple para estos nuevos datos un objetivo propuesto (consultar capítulo 3).

Para un 95% de la probabilidad de error y la utilización de cuatro antenas, el error de precisión de la posición estimada con respecto a la posición real es de 24 metros. Este valor es elevado si tenemos en cuenta las dimensiones de nuestro área de trabajo, por lo que veremos a continuación el resto las gráficas obtenidas para los diferentes métodos de distancia que se han evaluado.

También se representarán las gráficas del error de posicionamiento para 4 antenas haciendo uso de la función de distribución acumulativa (CDF), y del error de posicionamiento para 4 antenas haciendo uso de la función densidad de probabilidad (PDF), ya que estas gráficas son clave para una correcta interpretación.

Para el método con el cual se obtengan mejores resultados se representarán las gráficas de error si se considera 1 antena, 2, 3 o 4 antenas, con el fin de demostrar gráficamente la mejoría existente al aumentar el número de antenas utilizadas del dispositivo multisensor.

- ❖ Distancia Mahalanobis con valores de potencia media, 95% probabilidad de error:

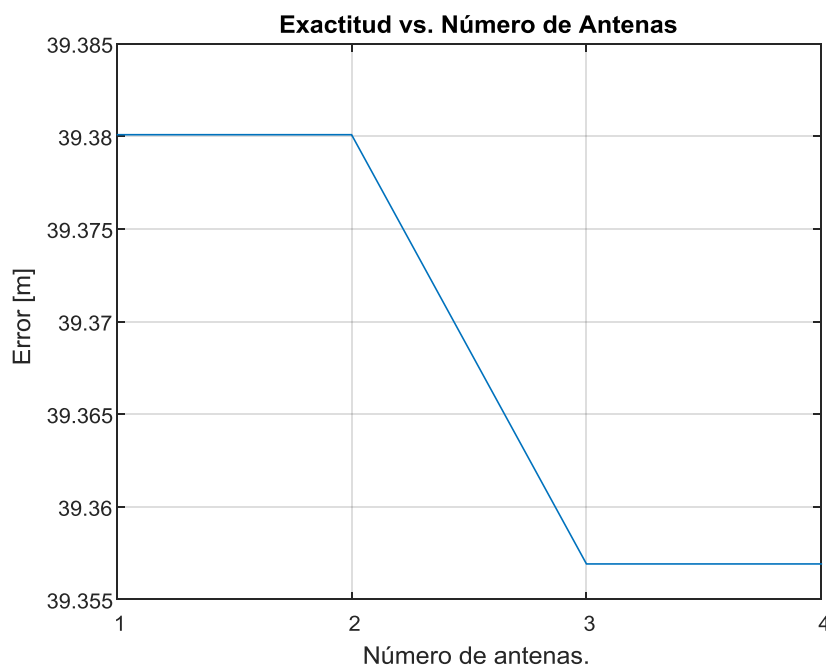


Figura 5.26 . Gráfica precisión vs. Número de antenas – Distancia Mahalanobis – valores potencia media, 95% probabilidad de error.

- ❖ Método de β - Divergencia, para $\beta= 1$, con valores de potencia media, 95% probabilidad de error:

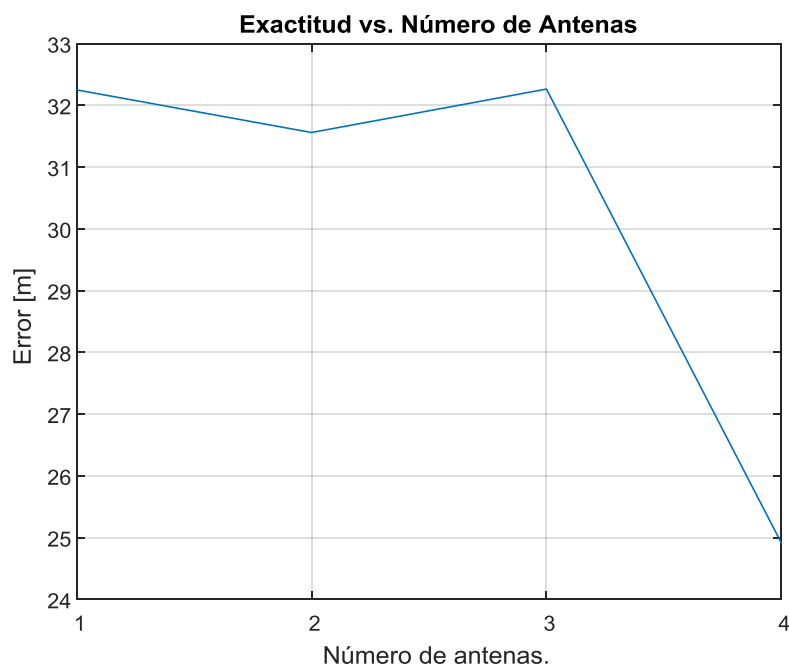


Figura 5.27 . Gráfica precisión vs. Número de antenas – Método β Divergencia, para $\beta= 1$ – potencia media, 95% probabilidad de error.

- ❖ Método de β - Divergencia, para $\beta= 0.5$, con valores de potencia media, 95% probabilidad de error:

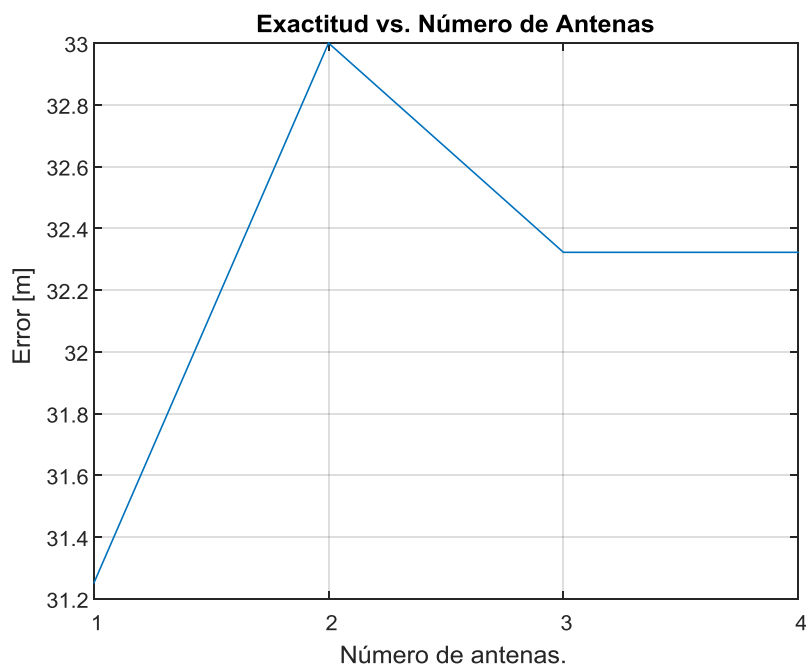


Figura 5.28 . Gráfica precisión vs. Número de antenas – Método β Divergencia, para $\beta= 0.5$ – potencia media, 95% probabilidad de error.

- ❖ Método de β - Divergencia, para $\beta= 0.3$, con valores de potencia media, 95% probabilidad de error:

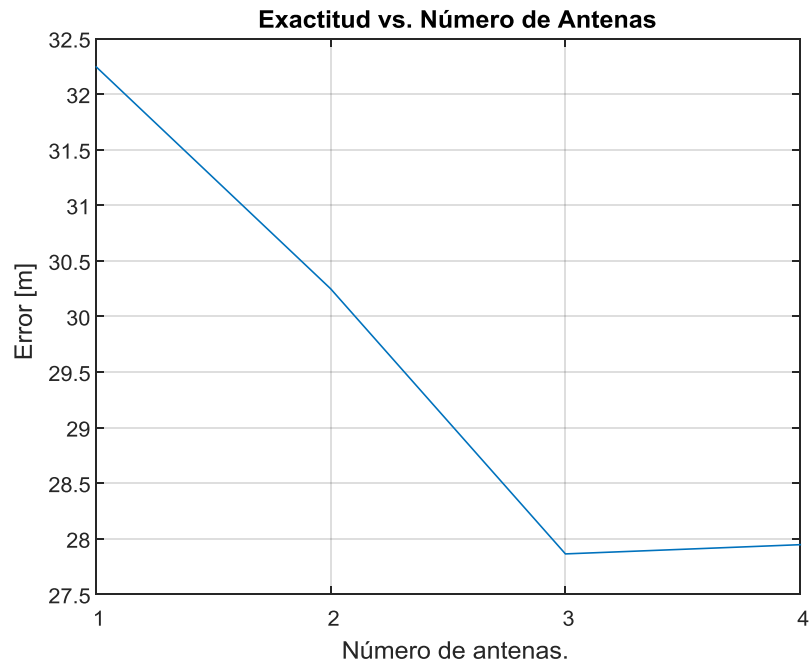


Figura 5.29 . Gráfica precisión vs. Número de antenas – Método β Divergencia, para $\beta=0.3$ – potencia media, 95% probabilidad de error.

- ❖ Método de β - Divergencia, para $\beta= 0.1$, con valores de potencia media, 95% probabilidad de error:

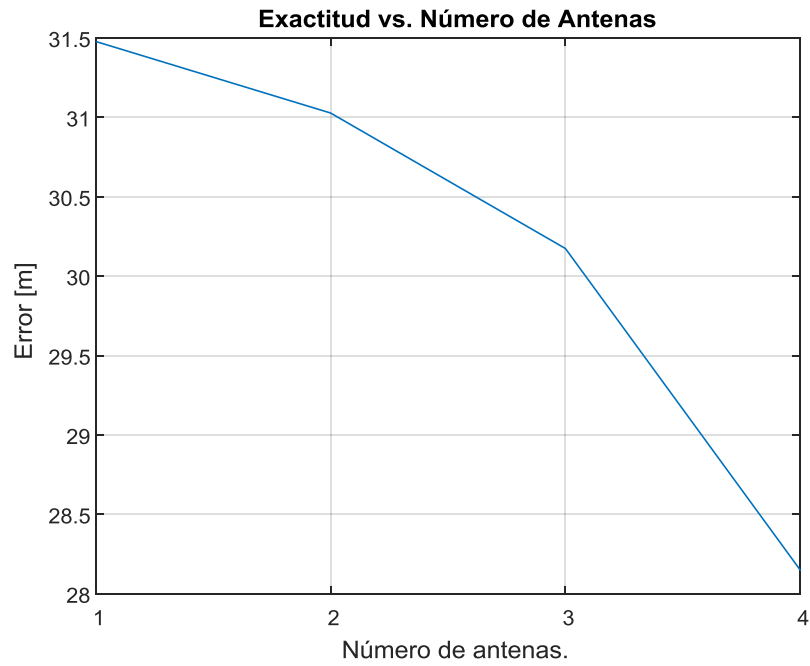


Figura 5.30 . Gráfica precisión vs. Número de antenas – Método β Divergencia, para $\beta=0.1$ – potencia media, 95% probabilidad de error.

5.2.2.2 Resultados Función de Distribución Acumulativa

- ❖ Error de posicionamiento haciendo uso de la función de distribución acumulativa (CDF) ,distancia Euclídea, para 4 antenas, con valores de potencia media:

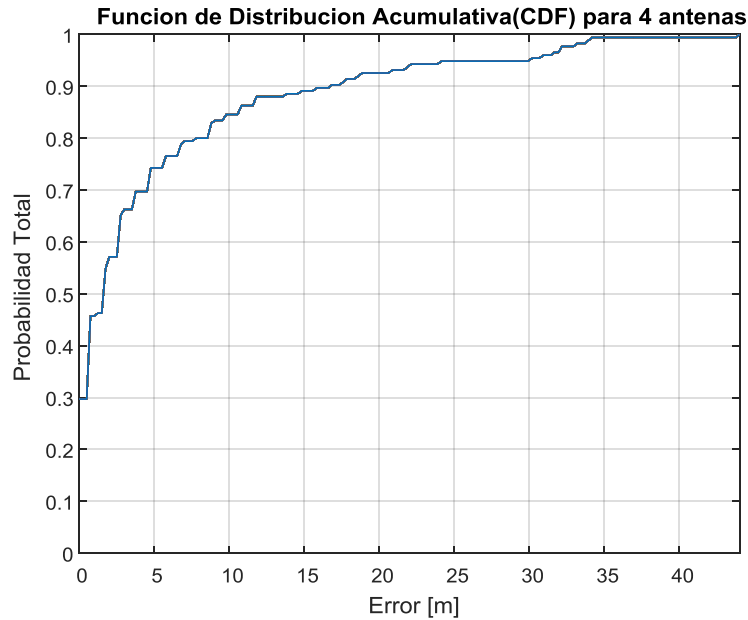


Figura 5.31 . Gráfica Función de Distribución Acumulativa (CDF), distancia Euclídea, 4 antenas.

- ❖ Error de posicionamiento haciendo uso de la función de distribución acumulativa (CDF), algoritmo Mahalanobis ,para 4 antenas, con valores de potencia media:

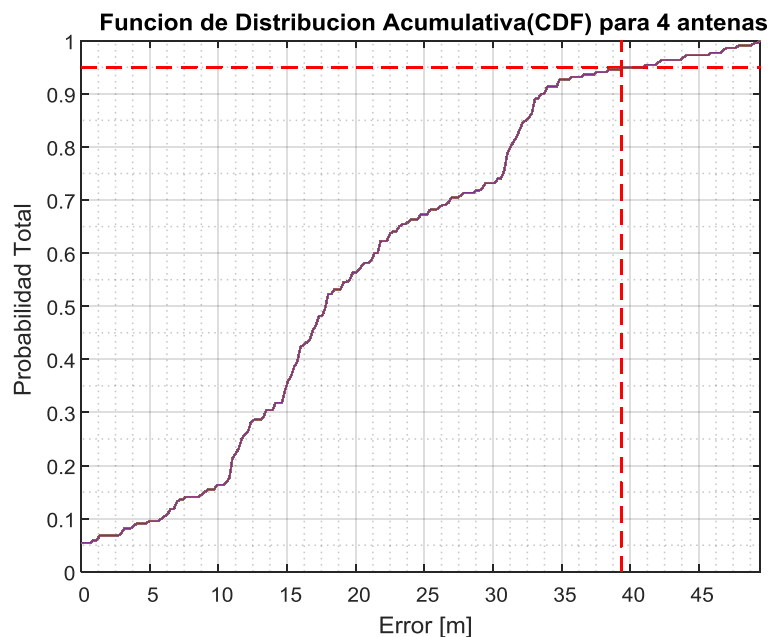


Figura 5.32 . Gráfica Función de Distribución Acumulativa (CDF), algoritmo Mahalanobis, 4 antenas.

- ❖ Error de posicionamiento haciendo uso de la función de distribución acumulativa (CDF), para 4 antenas, β -divergencia, para $\beta= 1$, con valores de potencia media:

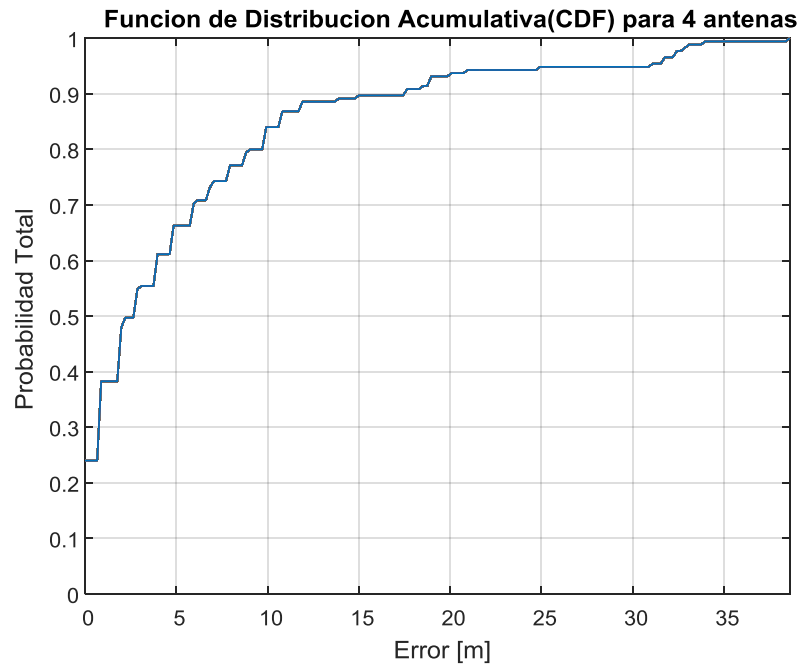


Figura 5.33 . Gráfica Función de Distribución Acumulativa (CDF), β - Divergencia para $\beta=1$, 4 antenas

- ❖ Error de posicionamiento haciendo uso de la función de distribución acumulativa (CDF), para 4 antenas, β -divergencia, para $\beta= 0'5$, con valores de potencia media:

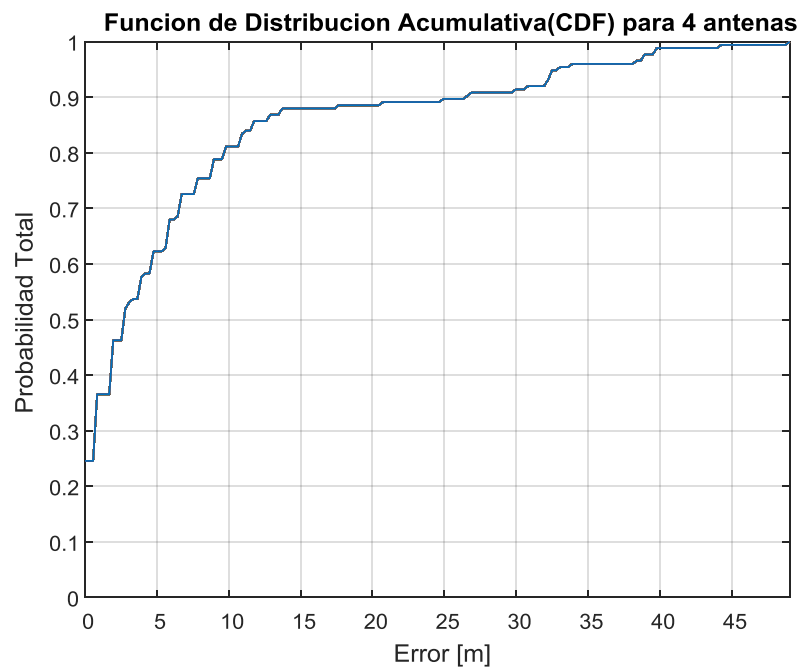


Figura 5.34 . Gráfica Función de Distribución Acumulativa (CDF), β - Divergencia para $\beta=0'5$, 4 antenas

- ❖ Error de posicionamiento haciendo uso de la función de distribución acumulativa (CDF), para 4 antenas, β -divergencia, para $\beta= 0'3$, con valores de potencia media:

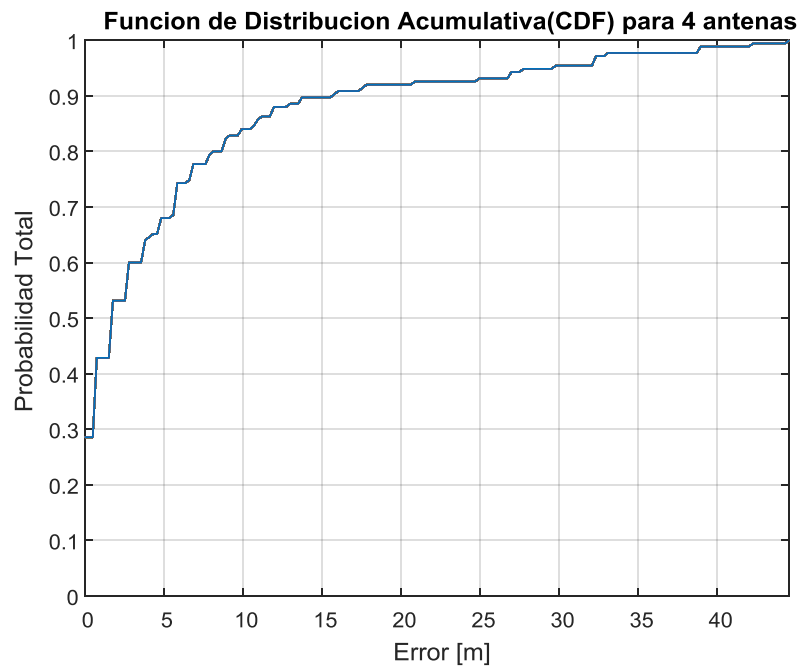


Figura 5.35 . Gráfica Función de Distribución Acumulativa (CDF), β - Divergencia para $\beta=0'3$, 4 antenas

- ❖ Error de posicionamiento haciendo uso de la función de distribución acumulativa (CDF), para 1 antenas, β - divergencia, para $\beta= 0'1$, con valores de potencia media:

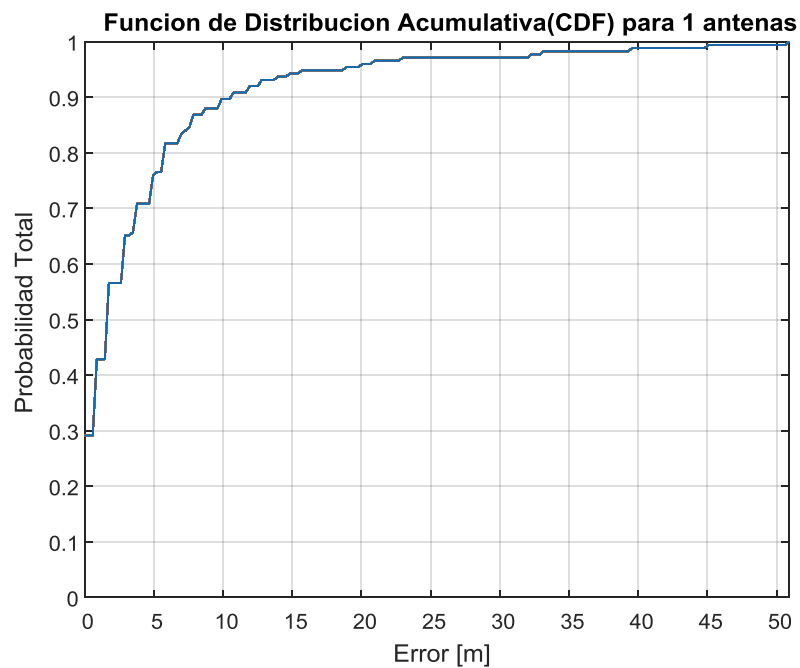


Figura 5.36 . Gráfica Función de Distribución Acumulativa (CDF), β - Divergencia para $\beta=0'1$, 1 antenas

- ❖ Error de posicionamiento haciendo uso de la función de distribución acumulativa (CDF), para 2 antenas, β - divergencia, para $\beta= 0'1$, con valores de potencia media:

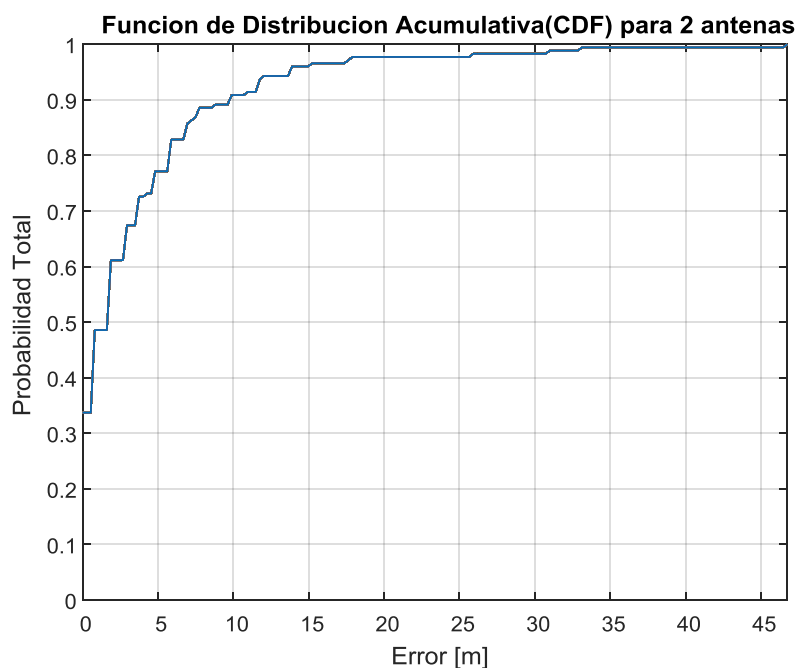


Figura 5.37 . Gráfica Función de Distribución Acumulativa (CDF), β - Divergencia para $\beta=0'1$, 2 antenas

- ❖ Error de posicionamiento haciendo uso de la función de distribución acumulativa (CDF), para 3 antenas, β - divergencia, para $\beta= 0'1$, con valores de potencia media:

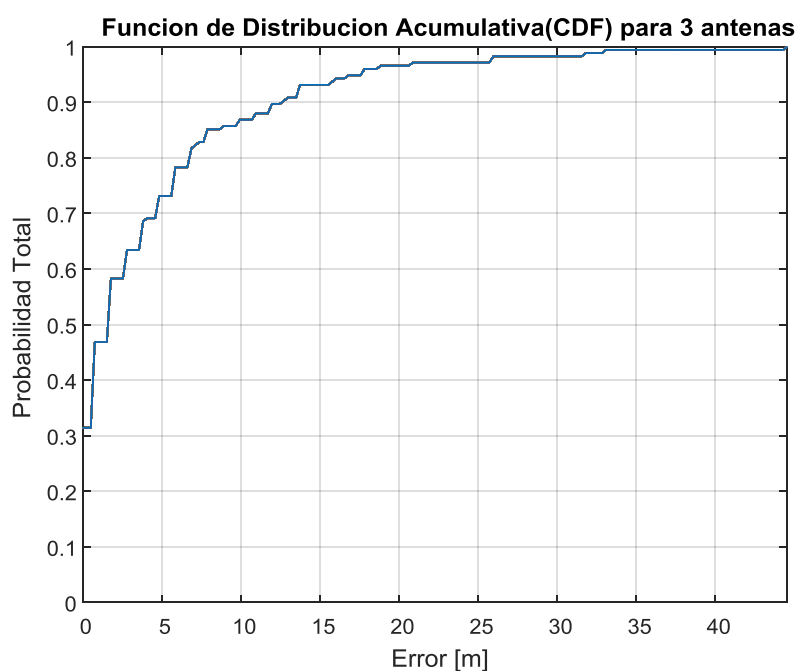


Figura 5.38 . Gráfica Función de Distribución Acumulativa (CDF), β - Divergencia para $\beta=0'1$, 3 antenas

- ❖ Error de posicionamiento haciendo uso de la función de distribución acumulativa (CDF), para 4 antenas, β - divergencia, para $\beta= 0'1$, con valores de potencia media:

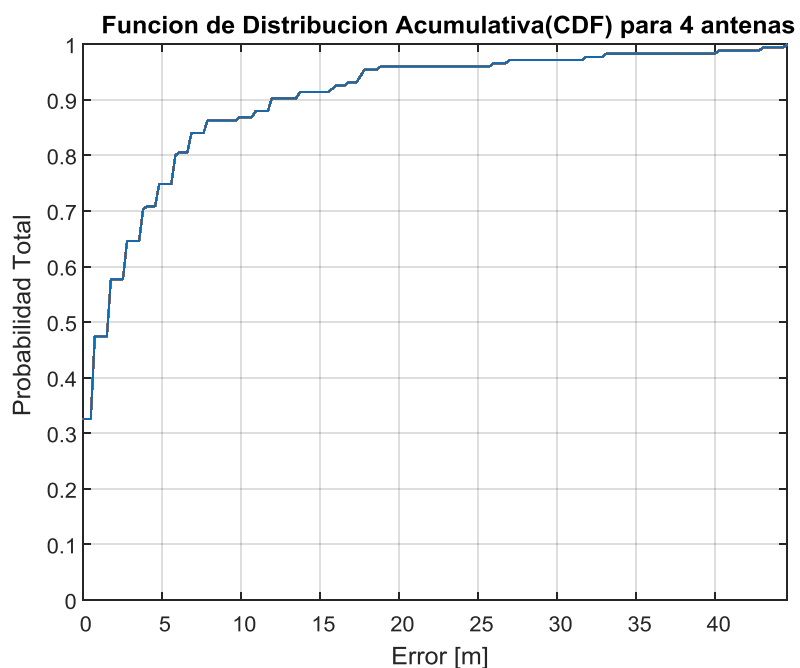


Figura 5.39 . Gráfica Función de Distribución Acumulativa (CDF), β - Divergencia para $\beta=0'1$, 4 antenas

5.2.2.3 Resultados Función Densidad de Probabilidad

- ❖ Error de posicionamiento haciendo uso de la función densidad de probabilidad (PDF) para 4 antenas , distancia Euclídea ($\beta=2$), con valores de potencia media:

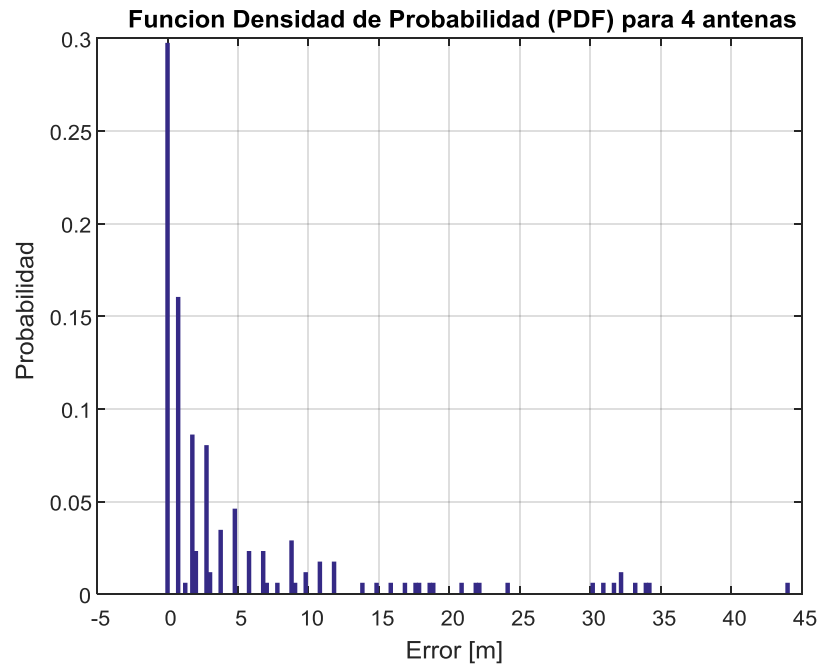


Figura 5.40 . Gráfica Función de Densidad de Probabilidad (PDF), distancia Euclídea ($\beta=2$), 4 antenas.

- ❖ Error de posicionamiento haciendo uso de la función densidad de probabilidad (PDF) para 4 antenas, algoritmo Mahalanobis, con valores de potencia media:

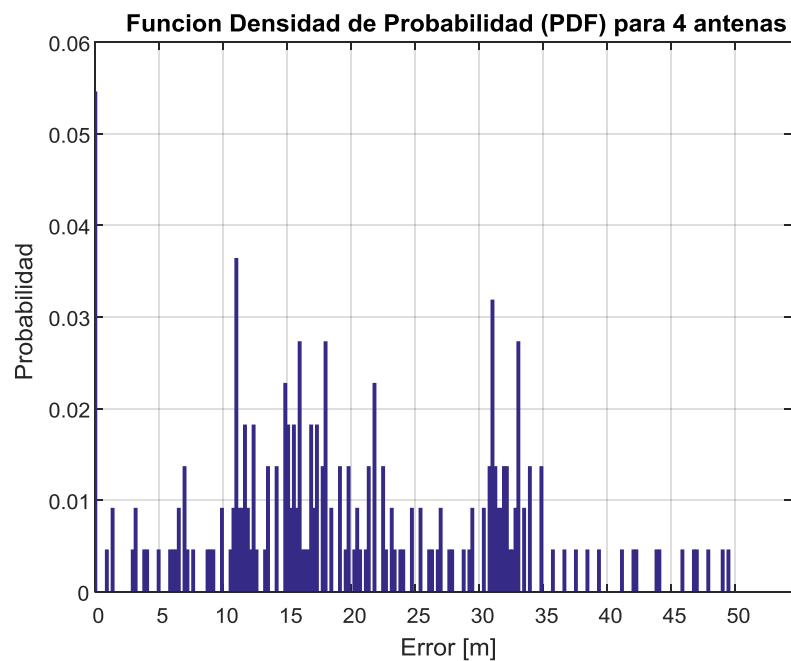


Figura 5.41 . Gráfica Función de Densidad de Probabilidad (PDF), algoritmo Mahalanobis, 4 antenas.

- ❖ Error de posicionamiento haciendo uso de la función densidad de probabilidad (PDF) para 4 antenas, β Divergencia para $\beta=1$ con valores de potencia media:

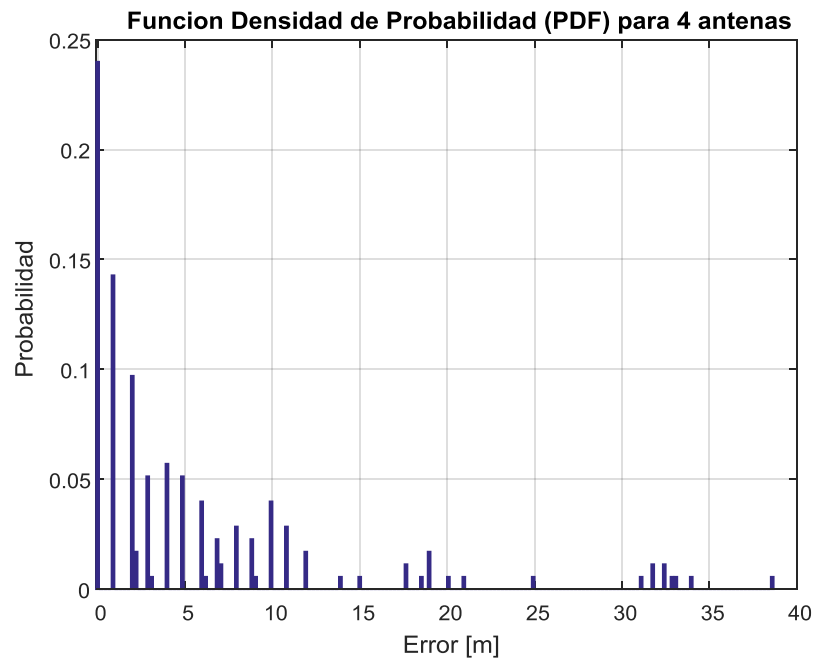


Figura 5.42 . Gráfica Función de Densidad de Probabilidad (PDF), β Divergencia para $\beta=1$, 4 antenas.

- ❖ Error de posicionamiento haciendo uso de la función densidad de probabilidad (PDF) para 4 antenas, β Divergencia para $\beta=0.5$ con valores de potencia media:

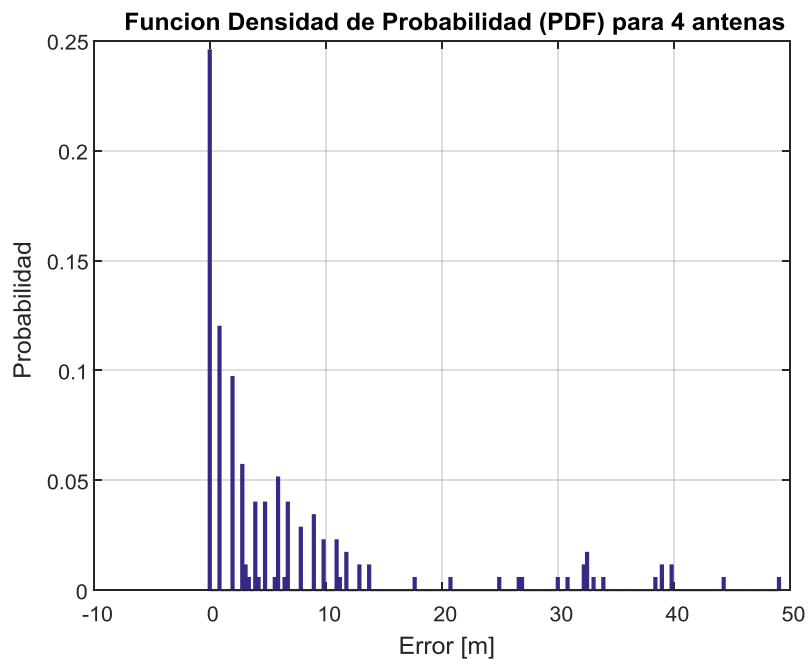


Figura 5.43 . Gráfica Función de Densidad de Probabilidad (PDF), β Divergencia para $\beta=0.5$, 4 antenas.

- ❖ Error de posicionamiento haciendo uso de la función densidad de probabilidad (PDF) para 4 antenas, β Divergencia para $\beta=0.3$ con valores de potencia media:

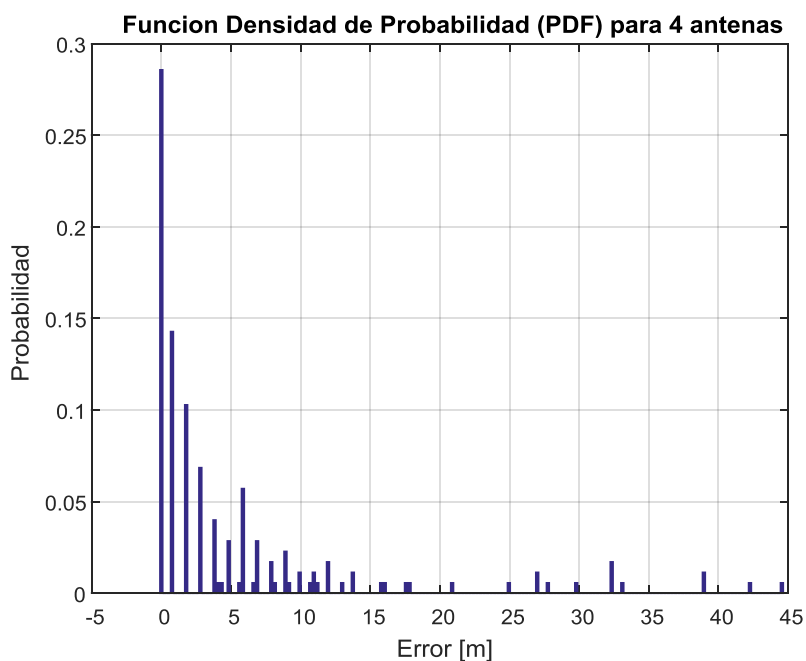


Figura 5.44 . Gráfica Función de Densidad de Probabilidad (PDF), β Divergencia para $\beta=0.3$, 4 antenas.

- ❖ Error de posicionamiento haciendo uso de la función densidad de probabilidad (PDF) para 1 antena, β Divergencia para $\beta=0.1$ con valores de potencia media:

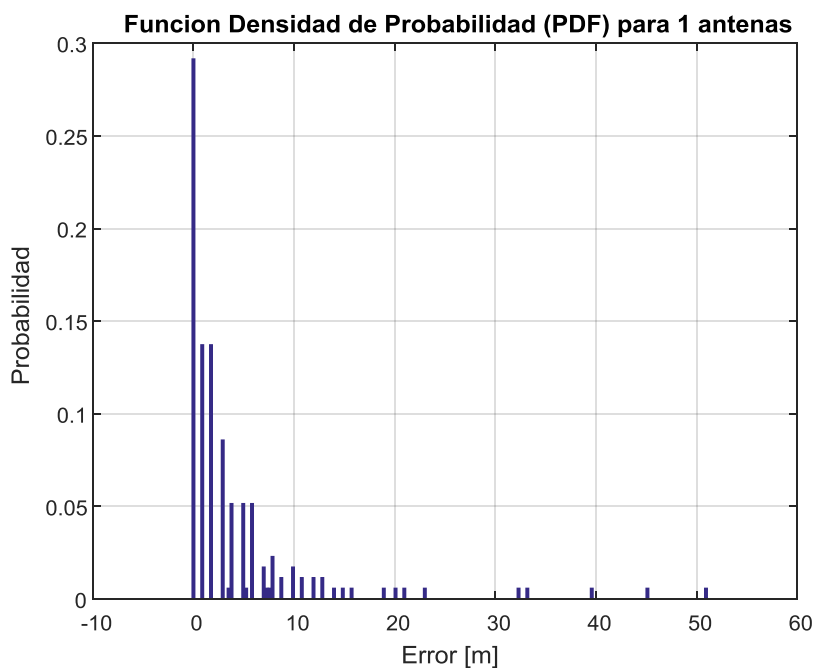


Figura 5.45 . Gráfica Función de Densidad de Probabilidad (PDF), β Divergencia para $\beta=0.1$, 1 antena.

- ❖ Error de posicionamiento haciendo uso de la función densidad de probabilidad (PDF) para 2 antenas, β Divergencia para $\beta=0.1$ con valores de potencia media:

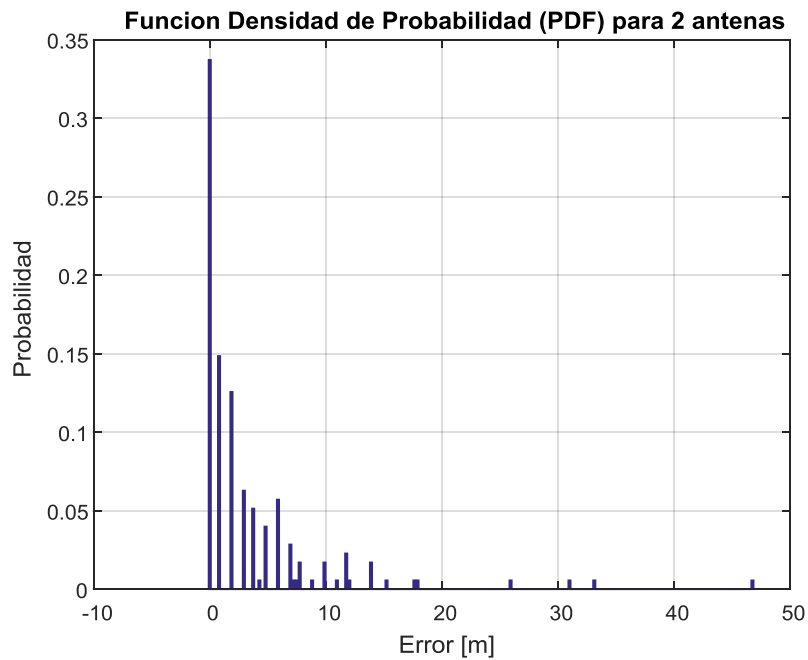


Figura 5.46 . Gráfica Función de Densidad de Probabilidad (PDF), β Divergencia para $\beta=0.1$, 2 antenas.

- ❖ Error de posicionamiento haciendo uso de la función densidad de probabilidad (PDF) para 3 antenas, β Divergencia para $\beta=0.1$ con valores de potencia media:

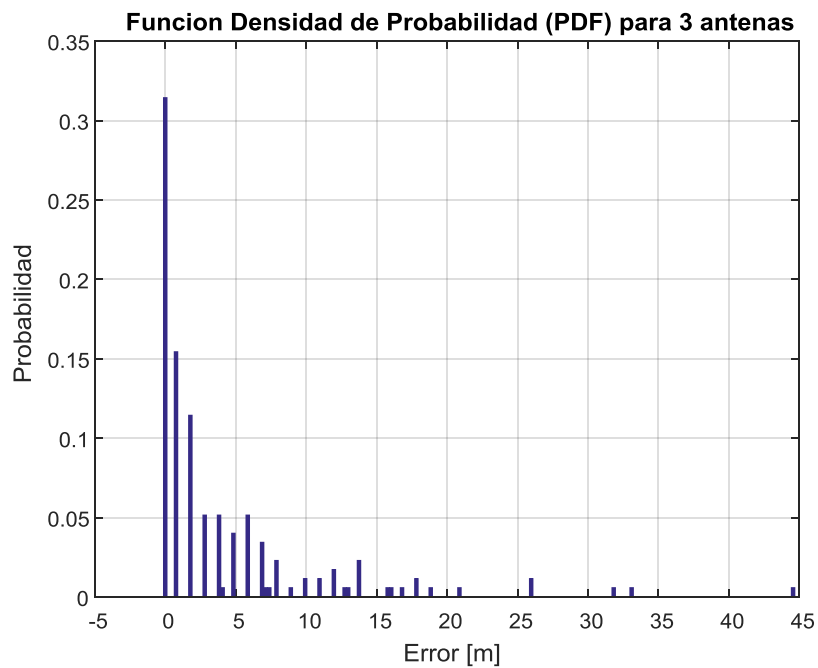


Figura 5.47 . Gráfica Función de Densidad de Probabilidad (PDF), β Divergencia para $\beta=0.1$, 3 antenas.

- ❖ Error de posicionamiento haciendo uso de la función densidad de probabilidad (PDF) para 4 antenas, β Divergencia para $\beta=0.1$ con valores de potencia media:

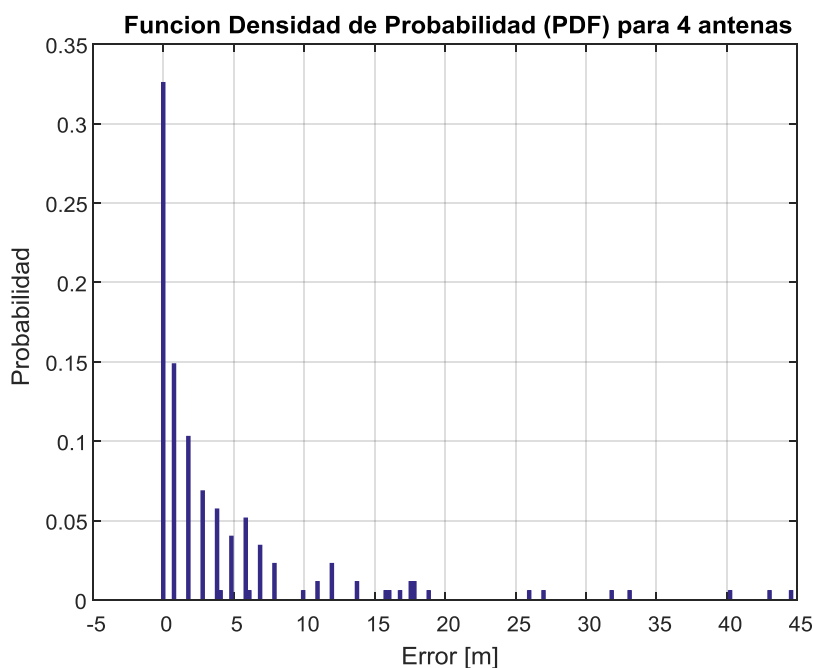


Figura 5.48 . Gráfica Función de Densidad de Probabilidad (PDF), β Divergencia para $\beta=0.1$, 4 antenas.

5.2.3 Resultados Definitivos: Análisis de las gráficas obtenidas.

En este subapartado se va a realizar el análisis de las gráficas obtenidas anteriormente (ver subapartados 5.2.2.1, 5.2.2.2 y 5.2.2.3):

Observando las gráficas de Función de Densidad de Probabilidad (PDF) (ver subapartado 5.2.2.3), para los diferentes métodos de distancias utilizados, se obtienen las siguientes conclusiones, si se observa las gráficas para 4 antenas:

- Con el método de Mahalanobis, el error que se obtiene una gráfica aleatoria, sin ningún valor predominante, esto da una idea de que este método no es el idóneo para posicionamiento y se puede descartar.
- Para $\beta=2$ el error es menor a 12 metros en la mayoría de los casos.
- Para $\beta=1$ el error es menor a 12 metros en la mayoría de los casos.
- Para $\beta=0.5$ el error es menor a 11 metros en la mayoría de los casos.
- Para $\beta=0.3$ el error es menor a 10 metros en la mayoría de los casos.
- Para $\beta=0.1$ el error es menor a 8 metros en la mayoría de los casos.

Para un análisis completo se observan las gráficas que se han obtenido de la Función de Distribución Acumulativa, para 4 antenas:

- Con el método de Mahalanobis para el 95% de las ocasiones el error es de 40 metros.
- Con $\beta=2$ (distancia Euclídea) , para el 95% de las ocasiones el error es de 30 metros.
- Con $\beta=1$, para el 95% de las ocasiones el error está en torno a 30 metros.
- Para $\beta=0.5$, para el 95% de las ocasiones el error está en torno a 30 metros.
- Con $\beta=0.3$, para el 95% de las ocasiones el error está en torno a 30 metros.
- Con $\beta=0.1$, para el 95% de las ocasiones el error está en torno a 18 metros.

Aunque estos valores son muy elevados, para todos los casos se observa este comportamiento en las gráficas de Función de Distribución Acumulativa (CDF), que hace que seamos más positivos en cuanto a unos resultados aceptables de localización. Se tiene la siguiente pauta:

- Una caída verdaderamente abrupta en el valor de error al disminuir la probabilidad de error del 95% al 80%.
- A partir de este punto, se observa una caída más suave del error, dependiendo del valor de β que se esté analizando.

Además de los diferentes métodos de distancias utilizados, estos valores son diferentes dependiendo del número de antenas del dispositivo multisensor que se estén analizando, y para los diferentes valores de probabilidad de error. Por lo tanto, a continuación se ha realizado una síntesis de los resultados obtenidos, para de esta manera tener una visión más clara de los mismos:

5.2.3.1 Resultados Función de Distribución Acumulativa

- ❖ Error de posicionamiento haciendo uso de la función de distribución acumulativa (CDF) ,distancia Euclídea, para 4 antenas, aplicando las diferentes distancias utilizadas, para diferentes valores de probabilidad de error:

	Error (metros) CDF para 4 antenas					
	$\beta=2$	$\beta=1$	$\beta=0.5$	$\beta=0.3$	$\beta=0.1$	mahalanobis
95%	30	30,95	32,8	29,6	17,7	39,36
80%	7,8	9	9,65	8,14	5,85	31,26
70%	4,55	5,95	6,5	5,66	3,8	26,99
60%	2,6	3,92	4,6	2,8	2,63	21,59

Tabla 5.2. Tabla CDF para 4 antenas, y todas las diferentes distancias utilizadas.

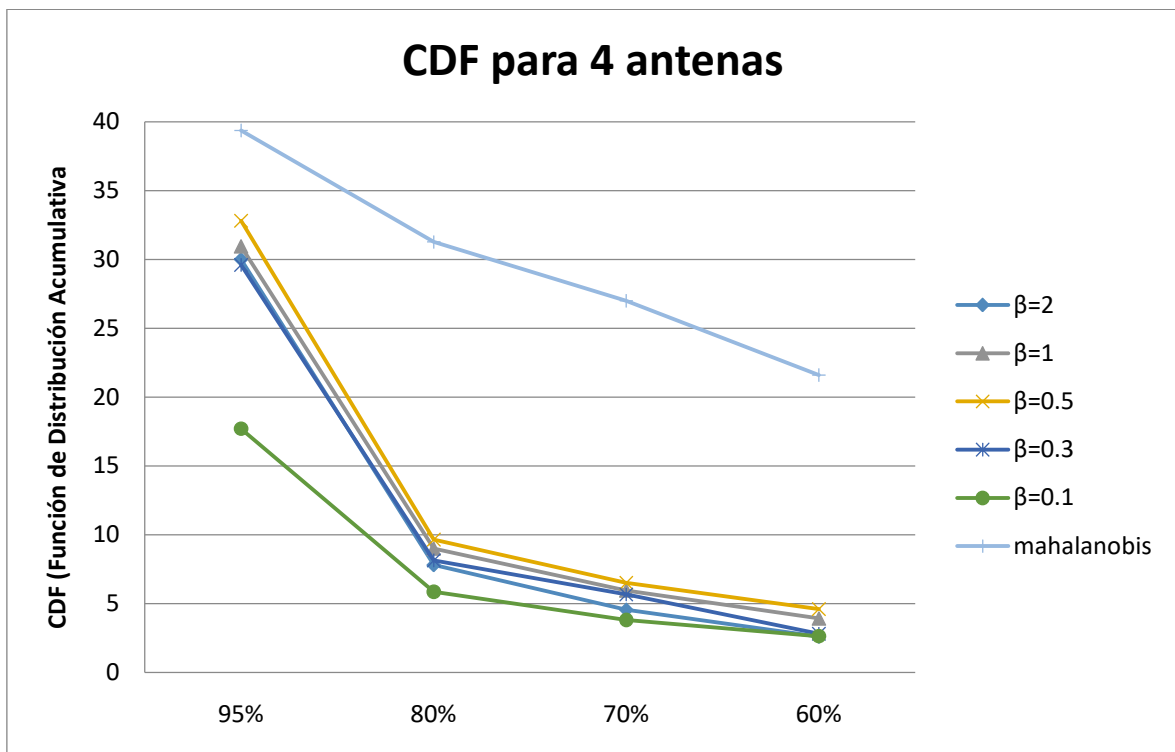


Figura 5.49 . Gráfica CDF para 4 antenas y todas las diferentes distancias utilizadas

Con las gráficas anteriores, se pueden obtener más claramente los resultados y elaborar las conclusiones:

- Los mejores resultados se obtienen para $\beta = 0'1$.
- Al aumentar el número de antenas utilizadas en el dispositivo multisensor se obtiene una mejoría en los resultados, se puede comprobar en la gráfica de precisión en la estimación de la posición (ver Figura 5.30). Con este resultado, se cumple un objetivo propuesto (ver capítulo 3).
- Para una probabilidad de error del 80% este disminuye considerablemente con respecto al error del 95%, quedando en torno a 6 metros.

Aunque los resultados son favorables, no concuerdan con lo esperado, ya que se confiaba que el error fuera algo inferior, con el objetivo de permitir una localización más exacta en interiores. Si se analiza el método utilizado para la localización, se puede llegar a la justificación de estos resultados:

El error que se calcula corresponde a un determinado recorrido realizado en la zona de trabajo con respecto a la matriz de calibración, por lo que a la hora de estimar una posición, este método no tiene en cuenta la posición actual para estimar la siguiente, de esta manera, la siguiente posición estimada podría ser una posición lejana e incorrecta.

Por consiguiente, con el propósito de solucionar este problema y obtener valores de error menores, se va a incluir un algoritmo que tiene en cuenta la posición actual para estimar la siguiente posición. Para ello, tendrá implementada memoria en el sistema de localización. Este algoritmo es conocido por el nombre de DSW, Dynamic Space Warping (ver subapartado 2.1.1.6.).

En el subapartado siguiente se estudiarán los resultados obtenidos de error en la precisión del posicionamiento al incorporar el algoritmo DSW en la estimación de la posición.

5.3 Resultados obtenidos con el cálculo del algoritmo DSW

En este subapartado se comprobará si existe una mejoría en los resultados obtenidos con respecto a la Localización en interiores al incorporar el algoritmo DSW (Dynamic Space Warping) al código software de Posicionamiento. Para ello se cogerá el método de distancia que mejores resultados haya obtenido: β -Divergencia, donde $\beta = 0.1$.

A continuación se analizan las gráficas obtenidas para la Función Densidad de Probabilidad (PDF) y para la Función de Distribución Acumulativa (CDF):

- ❖ Error de precisión de posicionamiento haciendo uso de la función densidad de probabilidad (PDF) con DSW para 1 antena, β Divergencia para $\beta=0.1$ con valores de potencia media:

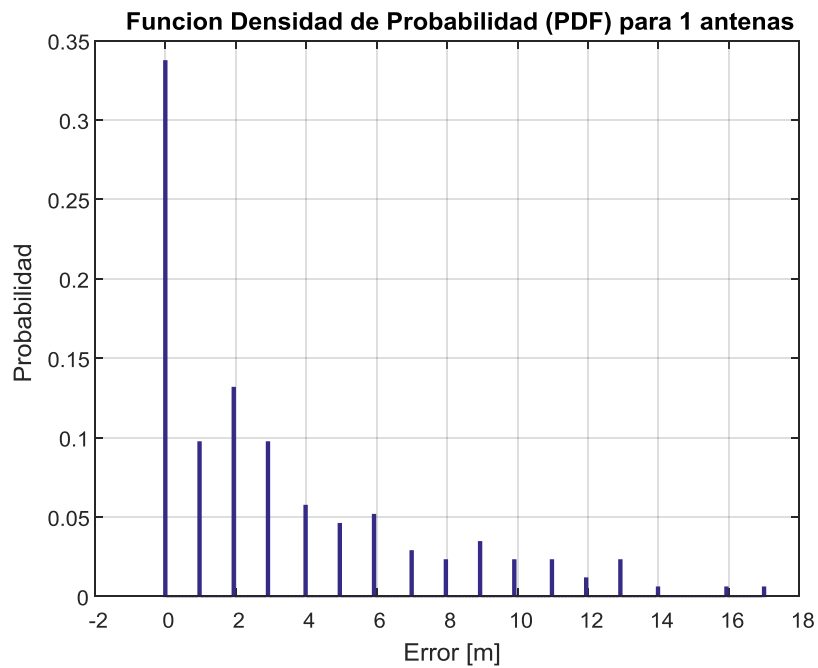


Figura 5.50 . Gráfica Función de Densidad de Probabilidad (PDF) con DSW, β Divergencia para $\beta=0.1$, 1 antena.

- ❖ Error de precisión de posicionamiento haciendo uso de la función densidad de probabilidad (PDF) con DSW para 2 antenas, β Divergencia para $\beta=0.1$ con valores de potencia media:

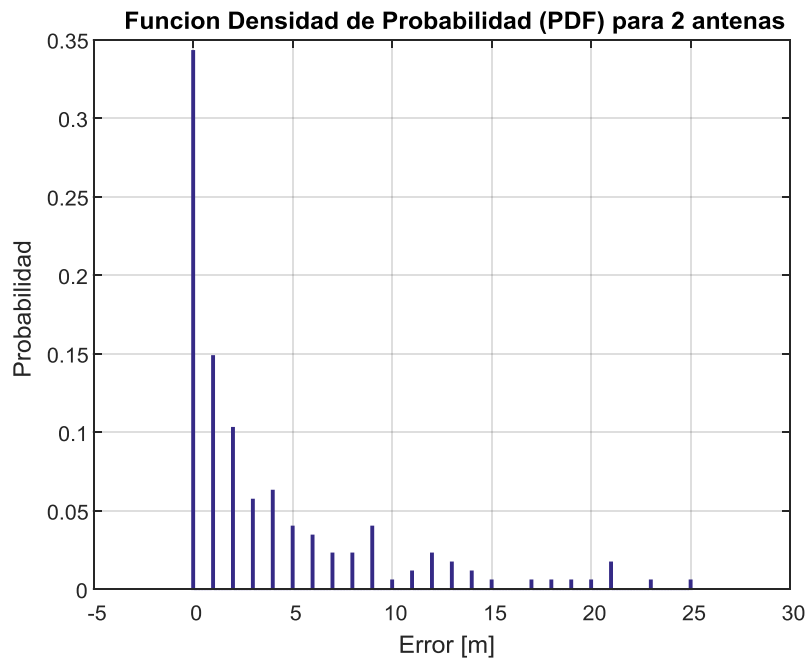


Figura 5.51 . Gráfica Función de Densidad de Probabilidad (PDF) con DSW, β Divergencia para $\beta=0.1$, 2 antenas.

- ❖ Error de precisión de posicionamiento haciendo uso de la función densidad de probabilidad (PDF) con DSW para 3 antenas, β Divergencia para $\beta=0.1$ con valores de potencia media:

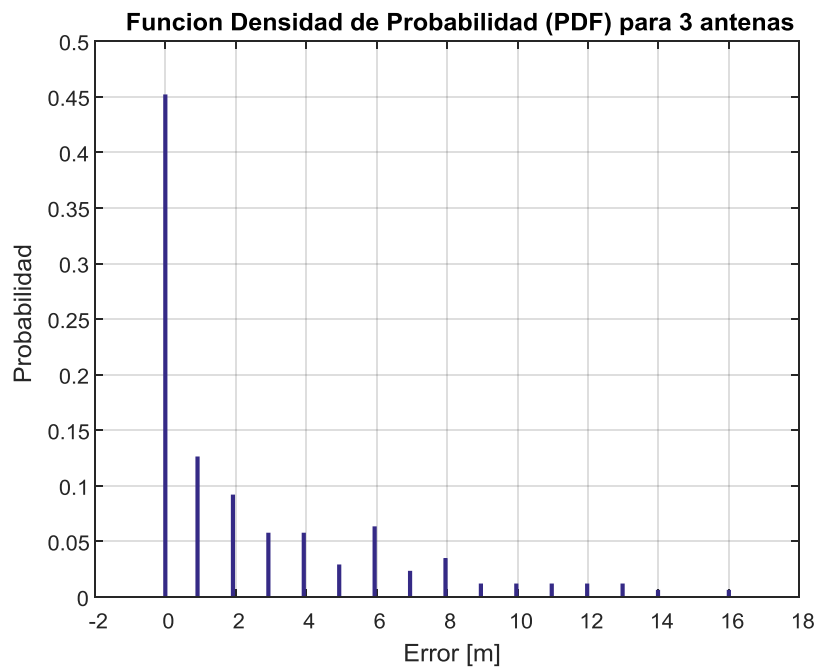


Figura 5.52 . Gráfica Función de Densidad de Probabilidad (PDF) con DSW, β Divergencia para $\beta=0.1$, 3 antenas.

- ❖ Error de precisión de posicionamiento haciendo uso de la función densidad de probabilidad (PDF) con DSW para 4 antenas, β Divergencia para $\beta=0.1$ con valores de potencia media:

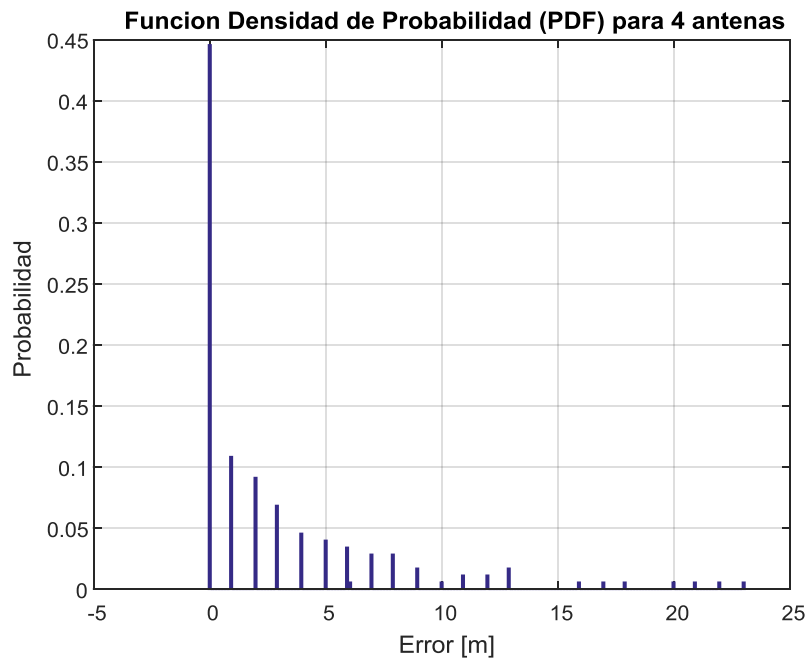


Figura 5.53 . Gráfica Función de Densidad de Probabilidad (PDF) con DSW, β Divergencia para $\beta=0.1$, 4 antenas.

- ❖ Error de precisión de posicionamiento haciendo uso de la función densidad de probabilidad (PDF) con DSW para 1 antena, β Divergencia para $\beta=0.1$ con valores de potencia media:

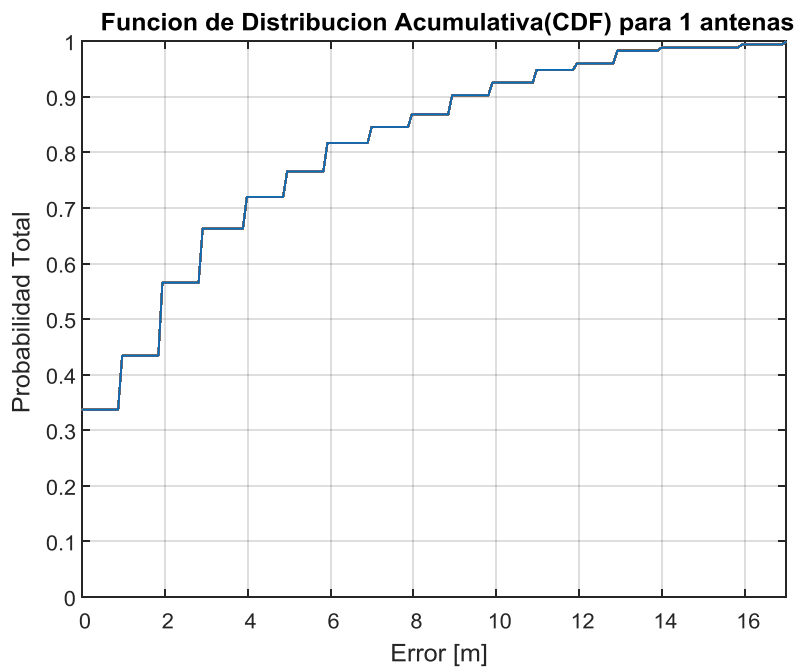


Figura 5.54 . Gráfica Función de de Distribución Acumulativa (CDF) con DSW, β Divergencia para $\beta=0.1$, 1 antena.

- ❖ Error de precisión de posicionamiento haciendo uso de la función densidad de probabilidad (PDF) con DSW para 2 antenas, β Divergencia para $\beta=0.1$ con valores de potencia media:

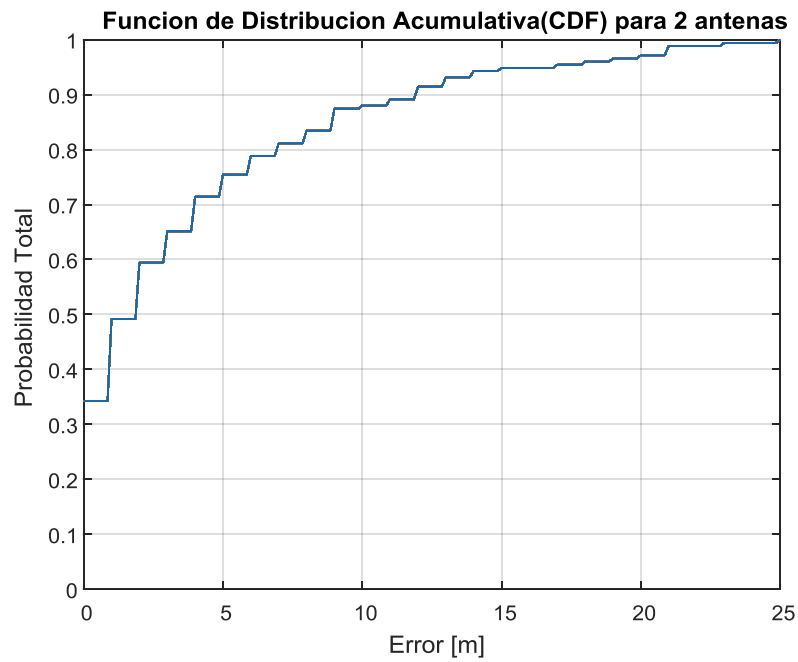


Figura 5.55 . Gráfica Función de Distribución Acumulativa (CDF) con DSW, β Divergencia para $\beta=0.1$, 2 antenas.

- ❖ Error de precisión de posicionamiento haciendo uso de la función densidad de probabilidad (PDF) con DSW para 3 antenas, β Divergencia para $\beta=0.1$ con valores de potencia media:

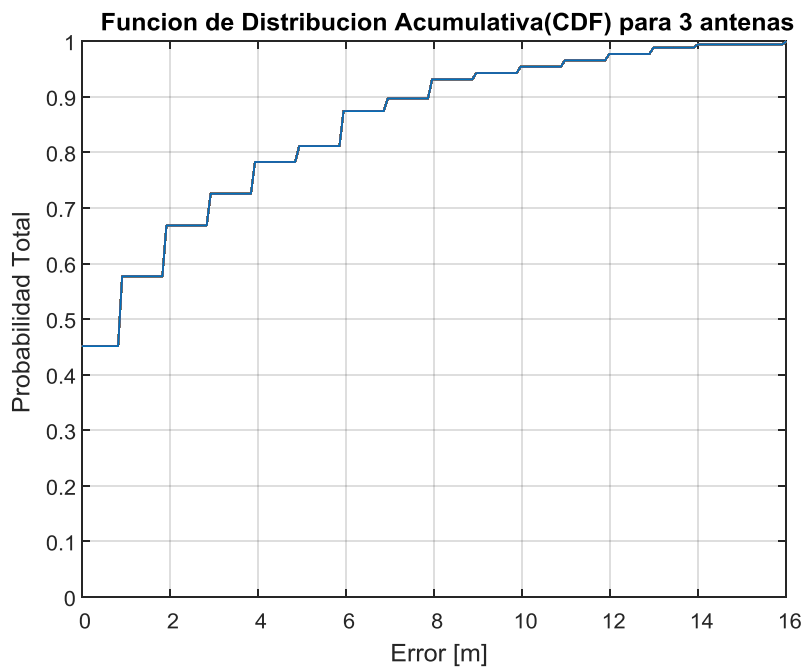


Figura 5.56 . Gráfica Función de Distribución Acumulativa (CDF) con DSW, β Divergencia para $\beta=0.1$, 3 antenas.

- ❖ Error de precisión de posicionamiento haciendo uso de la función densidad de probabilidad (PDF) con DSW para 4 antenas, β Divergencia para $\beta=0.1$ con valores de potencia media:

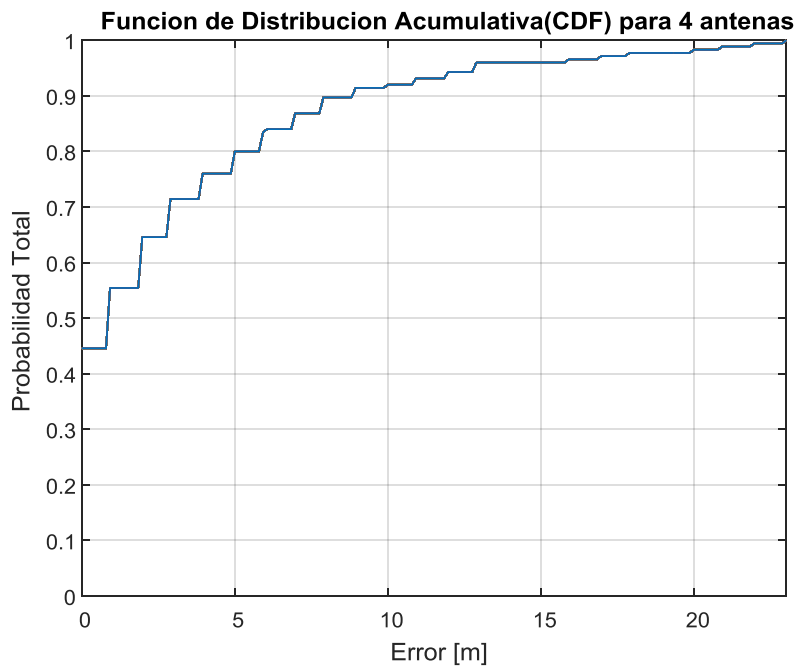


Figura 5.57 . Gráfica Función de Distribución Acumulativa (CDF) con DSW, β Divergencia para $\beta=0.1$, 4 antenas.

Observando las gráficas anteriores, se deduce que la aplicación del algoritmo DSW sí mejora sustancialmente el valor del error, mejorando por tanto la posición estimada y la Localización en interiores. Si comparamos los valores obtenidos para antes y después de aplicar el algoritmo DSW con 4 antenas se han obtenido los siguientes resultados:

- Para el 95% de probabilidad de error se ha pasado de tener 18 metros de error a tener 12 metros.
- Para el 80% de probabilidad de error se tenían 6 metros y ahora el error es de 5 metros.
- Para el 70% de probabilidad de error 4 metros era el resultado antes de aplicar DSW y en torno a 3 metros después de aplicarlo.
- Para el 60% de probabilidad de error se ha pasado de 3 metros a un error de 1'9 metros.

Se han elaborado unas tablas y unas gráficas donde se detallan estos resultados, particularizando según el número de antenas utilizadas, para diferentes valores de probabilidad de error:

- ❖ Error de posicionamiento según el número de antenas utilizadas del dispositivo multisensor haciendo uso de la función de distribución acumulativa (CDF) para 4 antenas, aplicando β -Divergencia (para $\beta= 0'1$) y DSW, para diferentes valores de probabilidad de error:

	Error (metros) CDF para 4 antenas	
	sin DSW	con DSW
95%	17,7	12,8
80%	5,85	4,95
70%	3,8	2,86
60%	2,63	1,9

Tabla 5.3. Tabla CDF para 4 antenas, aplicando β -Divergencia (para $\beta= 0'1$) y DSW.

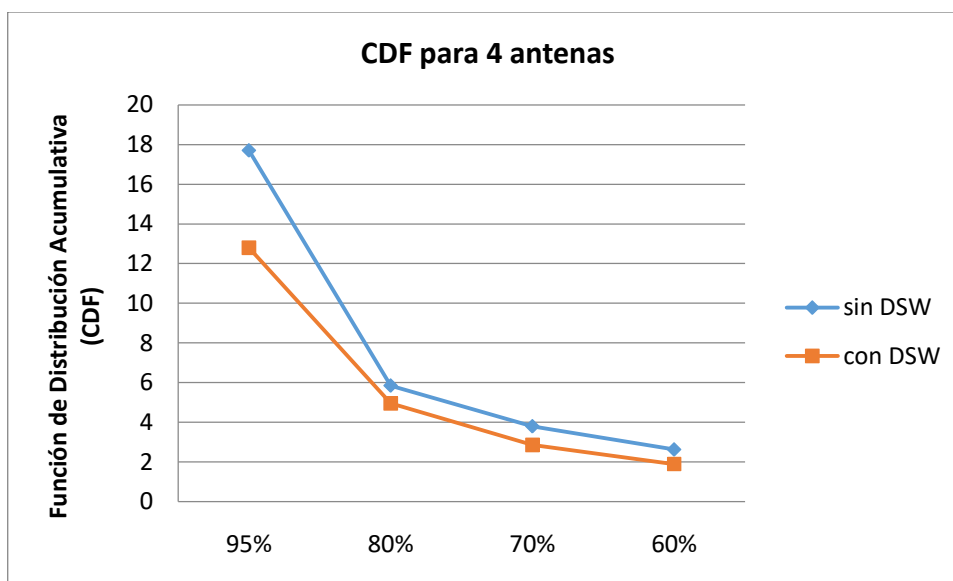


Figura 5.58 . Gráfica CDF para 4 antenas sin aplicar DSW y con DSW

Las conclusiones más relevantes de este capítulo 5 se detallan a continuación:

La implementación del algoritmo DSW ha sido todo un éxito, se han conseguido importantes mejoras en la precisión de la localización, como se puede observar en la figura anterior.

En la estimación de las posiciones, gracias al comportamiento de filtro paso bajo que presenta el algoritmo DSW, se evitan grandes saltos de distancia de la posición actual a

la siguiente, de esta manera, la posición estimada corresponderá a una posición cercana a la posición actual, evitando posiciones incoherentes y reduciendo de esta manera el error.

La mayor mejoría de los resultados al aplicar el algoritmo DSW se obtiene para valores altos de probabilidad de error. Se ha pasado de tener un error de 18 metros para el 95% de la probabilidad de error, a 12'8 metros aplicando el algoritmo DSW. Por lo tanto, ha disminuido el error en torno a los 6 metros.

Se ha mejorado el valor de error para valores más bajos de probabilidad de error, aunque no ha sido tan destacado como en el punto anterior, sí que permite precisar mejor la posición. Se ha pasado de un error de 3 metros a 1'9 metros al aplicar el algoritmo DSW.

Por consiguiente, la mejoría en los resultados aplicando el algoritmo DSW es de gran relevancia, por lo que se hace necesaria la ejecución de este algoritmo conseguir el objetivo deseado: "Posicionamiento en interiores".

6 CONCLUSIONES

La localización en interiores mediante el proceso de calibración del espacio requiere una gran cantidad de trabajo de campo, son muchas horas las que han sido necesarias para completar la calibración del área delimitada.

Es de gran relevancia el funcionamiento coherente de los puntos de acceso para garantizar que la localización se realice de manera correcta. Asimismo, la potencia transmitida por los puntos de acceso no puede variar durante el proceso de toma de medidas (calibración y evaluación).

Se han tenido en consideración diferentes métodos de cálculo de distancias con el objetivo de obtener el método que consiga los mejores resultados para el estudio de localización en interiores, además de realizar un análisis exhaustivo de los mismos. Los diferentes tipos de distancia analizados son:

- Mahalanobis.
- β -Divergencia
 - o $\beta=2$ (distancia Euclídea).
 - o $\beta=1$.
 - o $\beta=0'5$.
 - o $\beta=0'3$.
 - o $\beta=0'1$.

Por tanto, partiendo de lo comentado anteriormente se detallan, a continuación, los resultados obtenidos:

El error disminuye si se trabaja con diversidad espacial (ver Figura 5.30) . Gracias a la utilización del dispositivo multisensor, con el que se aumentan el número de potencias de señales recibidas para una posición el valor medio será un valor más exacto. Con este resultado, se cumple un objetivo propuesto (ver capítulo 3).

La distancia de Mahalanobis es el algoritmo de cálculo de distancias con el que peor resultados se obtienen, siendo el método de β - Divergencia para $\beta=0'1$, el método con el que se obtienen mejores resultados. Para $\beta=0'1$, el error en metros de la posición estimada con respecto a la real está en torno a 18 metros, 6 metros, 4 metros y 3 metros para una probabilidad de error del 95%, 80%, 70% y 60% respectivamente.

Estos resultados no se acercan a la precisión que se estaba buscando, por lo tanto, se realizó un análisis del método mediante el cual se estimaban las posiciones.

Las posiciones estimadas son los valores correspondientes a la base de datos de evaluación. Estos se tomaron siguiendo un determinado recorrido en la zona de trabajo. Por lo tanto, para estimar una posición, se debe de tener cuenta la posición anterior, de manera que la posición estimada tenga un valor coherente y no sean posiciones muy alejadas del recorrido.

Con el propósito de obtener valores de error menores, se ha desarrollado un algoritmo que tiene en cuenta la posición actual para estimar la siguiente posición. Este algoritmo es conocido por el nombre de DSW, Dynamic Space Warping (ver subapartado 2.1.1.6.), y es una variante para tres dimensiones (2 para la superficie de localización y la tercera corresponde al tiempo) del algoritmo DTW (Dynamic Time Warping). Para cada marco temporal, el coste actual de cada posición se calcula usando algoritmos métricos diferentes (en nuestro caso β -Divergencia, para $\beta = 0'1$).

Se ha logrado una gran mejoría del error obtenido tras la incorporación del algoritmo DSW (ver Tabla 5.3 y Figura 5.58). Estos son de una gran relevancia en términos de estimación de la posición, mejorando considerablemente la precisión en el posicionamiento gracias al comportamiento de filtro paso bajo que presenta el algoritmo DSW, con el cual se evitan grandes saltos de distancia de la posición actual a la siguiente estimada, evitando posiciones incoherentes y reduciendo de esta manera el error.

Concretamente, para valores altos de probabilidad de error, el error ha disminuído sobre 6 metros al aplicar el algoritmo DSW, y aunque, para valores más bajos de probabilidad de error, la disminución del error es menor, se ha establecido la precisión en la localización en torno a los 2 metros.

Se puede concluir afirmando que se ha logrado, por lo tanto, valores de precisión de error que son todo un éxito en localización en interiores.

6.1 Líneas futuras

Gracias a las características técnicas de la nueva ubicación, se pueden aprovechar las funcionalidades de los puntos de acceso instalados en el área de trabajo e incorporar en el proceso de localización la banda frecuencial de 5GHz, que es .

Otra línea futura ambiciosa sería desarrollar una aplicación que proporcione rutas de recorridos en tiempo real por el Campus Científico-Tecnológico de Linares, para facilitar el tránsito por el campus universitario a los nuevos estudiantes, personal del mismo, visitantes, etc. Para ello se tendría que combinar la localización en interiores que se ha desarrollado en este Trabajo Fin Grado con la localización en exteriores proporcionada por el sistema de posicionamiento global (GPS).

7 PLANOS



Figura 7.1 Plano zona de trabajo proyecto localización en interiores.

8 ANEXOS

❖ Función principal de la funcionalidad Localización en interiores.

```
function [] = funcionalidad_tfg_main( )
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%      Alicia Lopez Justicia          %
%      Trabajo Fin de Grado          %
%      Posicionamiento Indoor        %
%      2.017                          %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% FUNCIONALIDAD_TFG_MAIN
% Funcion principal de llamada para la funcionalidades
% desarrolladas en el TFG de Posicionamiento Indoor.

%% DECLARACION DE VALORES GLOBALES
tam_x = 32;
tam_y = 66;
antenas = 4;

%% VALORES SELECCIONABLES.
% TIPOS DE DISTANCIAS.
beta = 0.1;
opdist = 1; % algoritmo euclidean
% opdist = 2; % algoritmo mahalanobis
% TIPOS DE VALORES.
opmap = 1; % mean
% opmap = 2; % median
% PORCENTAJE DE PROBABILIDAD DE ERROR.
loc = 0.95; % porcentaje de probabilidad de error, en decimal (no
porcentaje).

%% VALORES APLICACION ALGORITMO DSW
reset_values=[1 18;2 18; 2 60; 32 1]; % 'x' 'y' inicios de trayectorias.
rec = load('recorridos_alice.mat');
recorrido = rec.recorrido; % valores 'x' 'y' indican cual ha sido la
trayectoria completa

%% 1. Obtencion de mapas de calor
%% -----
% a) a partir de la bbdd de calibracion en dBm
% usar estos dos parametros para obtener los primeros valores con
% puntos de acceso deficientes. 14 puntos de acceso

% matriz_calibracion = load('calibracion_dBm_tfg.mat');
% nombres_ap={'AP 4 - 1';'AP 4 -2'; 'AP 6 -1'; 'AP 2';
% 'AP 3 - 1'; 'AP 3 - 2'; 'AP 6 - 2'; 'AP 1'; 'AP 9';
% 'AP 5 - 1'; 'AP 5 - 2' ; 'AP 7 - 1'; 'AP 7 - 2'; 'AP 10';};
%% -----
% b) parametros para obtener los valores con los
% puntos de acceso que emiten de manera coherente. 10 puntos de acceso:

matriz_calibracion = load('new_dBm_calibration.mat');
nombres_ap={'AP 4 - 1';'AP 4 -2'; 'AP 6 -1'; 'AP 2';'AP 3 - 2';
'AP 6 - 2';'AP 1';'AP 5 - 1'; 'AP 5 - 2' ;'AP 7 - 2'; };
%% -----
```

```

mapa_calor_main(tam_x, tam_y, antenas, matriz_calibracion, nombres_ap );

%% 2. CALCULOS ESTIMACION POSICION
% se cargan las matrices de evaluacion y calibracion en unidades
lineales
A = load('new_calibration.mat');
B = load('new_evaluation.mat');
ref = A.ref;
rcv_eval = B.rcv_eval;

%% 2.1 Obtencion de graficas de resultados
% CDF (funcion de distribucion acumulativa) para 1, 2, 3 y 4 antenas.
% PDF (funcion densidad de probabilidad) para 1, 2, 3 y 4 antenas.
%
for nant = 1:antenas
    drawCDF2( ref, rcv_eval, nant, opdist, opmap, loc, beta );
    drawPDF2( ref, rcv_eval, nant, opdist, opmap, beta );
end

%% 2.2 Grafica de Precisión vs numero de antenas
comparison ( ref, rcv_eval, antenas, opdist, opmap, loc , beta );

pause;
%% 3. APLICACION DEL ALGORITMO DSW
% PARA LA MEJORA DE LOS RESULTADOS DE POSICIONAMIENTO EN INTERIORES.

for nant = 1:antenas
    drawCDF2_DSW( ref, rcv_eval, nant, opdist, opmap, loc, beta,
reset_values, recorrido );
    drawPDF2_DSW( ref, rcv_eval, nant, opdist, opmap, beta,reset_values,
recorrido );
end

comparison_DSW ( ref, rcv_eval, antenas, opdist, opmap,loc, beta,
reset_values, recorrido );

pause;
close all;
clear;
clc;
end

```

9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] P.A.Daza, (2013, marzo 26) ¿Por qué Apple se disputa el desarrollo de un GPS para interiores? [Online]. Available: <http://cnnspanol.cnn.com/2013/03/26/por-que-apple-se-disputa-el-desarrollo-de-un-gps-para-interiores/>
- [2] F.J.Bris, “Multisensor Wireless positioning system” M.S.thesis, Dept. Ing. Telecommun., Jaén Univ. Jaén, España, 2015.
- [3] A.Butterfield and G.E.Ngondi, “A dictionary of Computer Science”, Oxford University Press.
- [4] G.R.Hiertz, P.Dee, L.Stibor, X.Pérez and B.Walke, “The IEE 802.11 Universe”, IEEE Commun. Mag., January, 2010.
- [5] P.Roshan, J.Leary, “802.11 Wireless LAN Fundamentals”, Cisco Press, 2003.
- [6] J.D.Domingo, C.Cerrada, E.Valero and J.A.Cerrada. “ Indoor Positioning System Using Deth Maps and Wireless Networks”, Research Article, Dept. Ing. Soft., UNED, Madrid, Hindawi Publishing Corporation, Journal of Sensors Volume, 2016.
- [7] “IPIN 2017 Eighth International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation” [En línea]. Disponible en: <http://www.ipin2017.org/> [Accedido en: 08- October- 2017].
- [8] “Indoor Positioning – Examples of use”, Infsoft July 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.infsoft.com/examples-of-use> [Accedido en: 08- October - 2017].
- [9] “Indoor Positioning – Partner Program”, Philips System. [En línea]. Disponible en: <http://www.lighting.philips.com/main/systems/themes/led-based-indoor-positioning/indoor-positioning-partner-program> [Accedido en: 08- October - 2017].