

Influencia de la presencia de personas en sistemas de posicionamiento indoor mediante Wi-Fi fingerprinting.

January 19, 2017

Ing. Denise Trevisan Troche (dtrevisan@uoc.edu), Dr. Antoni Pérez Navarro (aperezn@uoc.edu).

Universitat Oberta de Catalunya

Resumen

El creciente interés que se observa en la actualidad por las tecnologías de localización de dispositivos móviles se ve respaldado por la gran demanda de servicios basados en localización en diferentes áreas como industria y transporte, servicios sanitarios y de emergencia, logística, gestión de seguimientos, servicios de activación automática, información de tráfico y turismo, etc. Estas demandas se unen al uso masivo de las comunicaciones inalámbricas y los dispositivos móviles, lo que permite la expansión de dichos servicios. Si bien, actualmente se encuentran funcionando varios tipos de sistemas de localización *indoor*, la mayoría son vulnerables a las variaciones en el número de personas presentes. Tanto las mediciones de la radiación Wi-Fi como las del campo magnético presentan problemas. En el caso de la radiación Wi-Fi, el cuerpo humano la absorbe y su potencia varía según el número de aparatos conectados y de personas presentes, por su parte, en el campo magnético se obtienen medidas similares en puntos diferentes, es decir, existe poca variabilidad local aunque la presencia humana no afecta sensiblemente a las medidas del campo magnético.

En este trabajo se han utilizado y adaptado dos sistemas de posicionamiento *indoor*, uno para cada tipo de tecnología, para poder medir y analizar la forma en que se comporta la localización en un ambiente donde varía mucho la cantidad de personas presentes, específicamente el patio de comidas de un centro comercial. Se analiza si se puede utilizar un sistema de localización basado en campo magnético como backup de un sistema basado en Wi-Fi *fingerprinting* cuando una gran cantidad de personas está presente. Se realizó un trabajo de campo de 11 días con el cuál se pudo concluir que el campo magnético no ofrece una suficiente variabilidad para actuar de respaldo del Wi-Fi *fingerprinting*.

Para paliar el efecto negativo de la absorción de las ondas por parte del cuerpo de las personas presentes cuando se utiliza un sistema de localización basado en Wi-Fi *fingerprinting* es necesario establecer el valor del parámetro k del algoritmo KNN (k -vecinos más cercanos) a 11.

Palabras Claves: sistemas de localización, Wi-Fi, campo magnético, KNN, *fingerprinting*

1. Introducción

Conocer la posición de una persona o un objeto es un requisito imprescindible, en varios ámbitos, para la provisión de diversos servicios de importancia para la sociedad. Sin embargo, los sistemas actuales de posicionamiento global no permiten obtener dicha localización en interiores.

Para el posicionamiento *indoor* hay varios mecanismos más o menos fiables, desde sistemas inerciales hasta sensores dedicados, pasando por sistemas basados en comunicación sin cables. Entre estos sistemas, el más común es el que utiliza la red Wi-Fi, que habitualmente emplea como medida la potencia de señal recibida (RSSI, de sus siglas en inglés: *Received Signal Strength Indicator*) de los puntos de acceso (AP, Access Points) presentes en el edificio. El motivo se debe a que las redes inalámbricas cada vez más son utilizadas en sitios públicos (estaciones, hospitales, universidades), en centros de ocio (hoteles, cafeterías, bares). Sin embargo, existen algunos entornos que no poseen redes Wi-Fi, en estos entornos podríamos usar mediciones de campo magnético terrestre en lugar de la potencia de la señal recibida.

Uno de los ámbitos en el que la necesidad de localización de personas en un entorno controlado es fundamental, corresponde, por ejemplo, a la localización de pacientes en los hospitales, en particular, los enfermos mentales, cuya localización reviste una importancia significativa debido a la situación de riesgo permanente en la que se encuentran,

o simplemente para guiar a personas externas que tienen que llegar a un punto de visita. Otro entorno que se podría beneficiar es el de las prisiones, debido a la importancia de conocer la localización de los prisioneros.

Asimismo, el desarrollo de proyectos focalizados en orientar y ayudar a personas con discapacidad visual, o a personas adultas mayores con problemas de orientación, o a enfermos de Alzheimer, para encontrar su camino en entornos desconocidos, contribuiría notablemente a incrementar la independencia de estas personas.

Como se puede ver, hay muchas aplicaciones que se podrían desarrollar para que funcionen en estos entornos interiores y donde la necesidad de la posición en la que se encuentra ya sea una persona, ya sea un objeto resulta de considerable importancia.

Ciertamente, estos ejemplos denotan una clara necesidad de desarrollar sistemas de posicionamiento *indoor*, si bien actualmente se encuentran funcionando varios de estos tipos de sistemas, la mayoría de estos, son vulnerables a fuertes variaciones en el número de personas presentes. Cabe mencionar que, tanto las mediciones de la radiación Wi-Fi como las del campo magnético presentan problemas. En el caso de la radiación Wi-Fi, el cuerpo humano la absorbe; y su potencia varía según el número de aparatos conectados y de personas presentes. Por otro lado, en el campo magnético se obtienen medidas similares en puntos diferentes (poca variabilidad local), pero lo interesante es que la presencia humana no afecta a las medidas del campo magnético.

Basándose en los conceptos generales de la localización *indoor*, se aplica una metodología en la que se utilizan tales conceptos para poder identificar en que medida la absorción de las ondas por parte de los cuerpos de personas presentes afecta a la precisión de la localización de los sistemas, en la zona de estudio: el Shopping del Sol, específicamente el patio de comidas. Se utilizan dos Sistemas de Localización *indoor* de código abierto: el Airplace, para posicionamiento *indoor* basado en Wi-Fi y el Compass-Master, para el posicionamiento *indoor* basado en campo magnético. La solución propuesta comprende el desarrollo de los siguientes procedimientos: revisión bibliográfica para desarrollar el estado del arte, selección del sistema de localización (uno para Wi-Fi *Fingerprinting* y otro para campo magnético) a utilizar y su estudio, la adaptación de los mismos para la captura de datos y la realización de un estudio experimental. Esto se puede resumir en la generación de mapas de localización y verificación de los resultados. Para el efecto, se utiliza un ambiente conformado en su totalidad por *software* libre: el dispositivo utilizado posee el sistema operativo Android, en el cual se instalan los dos sistemas libres ya mencionados y el procesamiento de la información se realiza en un *desktop* con sistema operativo Fedora 24.

La estructura del artículo es la siguiente: en la sección 2 se incluyen los principales objetivos de la presente investigación. La sección 3 incluye un análisis detallado del estado del arte en cuanto a sistemas de posicionamiento empleados en interiores, con especial atención en los sistemas basados en Wi-Fi *Fingerprinting* y los basados en campo magnético. Se presenta la metodología utilizada en la Sección 4. La Sección 5 incluye los resultados de las pruebas realizadas. Finalmente, las conclusiones principales se resumen en la sección 6.

2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es analizar la precisión de la localización, mediante dispositivos móviles, tanto en un sistema de posicionamiento Wi-Fi como en uno basado en campo magnético, para saber cual tiene mejor precisión en un entorno con una fuerte variación de personas presentes.

Para lograr este objetivo habrá que lograr varios objetivos parciales:

- Hacer un estado del arte con sistemas de posicionamiento *indoor*
- Indagar cómo la presencia de personas afecta la precisión de los sistemas Wi-Fi.
- Investigar las características del campo magnético y cómo estas afectan al posicionamiento *indoor* y si esta tecnología puede actuar como backup para mejorar la precisión de un sistema Wi-Fi.
- Desarrollar y/o adaptar un sistema de posicionamiento basado en Wi-Fi y otro basado en campo magnético para llevar a cabo las pruebas.

3. Estado del arte

Muchas veces en la vida diaria conocer la posición del usuario es un requisito imprescindible. Según [1], en el siglo XX con la innovación tecnológica surgida de los estudios del escocés James Clerk Maxwell y del alemán Heinrich Rudolf Hertz sobre teoría electromagnética, fue cuando los sistemas de localización y posicionamiento comenzaron a apoyarse en la electrónica y el electromagnetismo, suponiendo un importante avance en el desarrollo de los mismos.

Así se desarrollan los dispositivos para localización como el radar y el loran utilizados en época de la segunda guerra mundial.

A partir de la puesta en órbita el primer satélite artificial surgen los sistemas de posicionamiento satelitales como TRANSIT [2], Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) [3], GLONASS (ruso) [2] y GALILEO [4]. Dichos sistemas son ineficaces en entornos de interiores debido que se ven afectados por una gran atenuación de la señal recibida [5]. Debido a esto, se han desarrollado sistemas de localización no satelitales basados en [5]: radiofrecuencia, ondas de radio, señales acústicas, u otra información sensorial; utilizados para entornos *indoor*, basados en tecnologías *Wireless* como Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee o RFID. Como ejemplo de un sistema de localización *indoor* se encuentra RADAR, que es uno de los proyectos pioneros en el diseño de sistemas de posicionamiento en redes inalámbricas *indoor*. Fue promocionado por Microsoft Research en el año 2000, por lo que se utilizaron ordenadores bajo Windows 95 y estaciones base con FreeBSD 3.0 [6]. RADAR es el punto de partida para los posteriores estudios que han ido surgiendo. La figura 1 representa una descripción de los actuales sistemas de posicionamiento inalámbricos según [7].

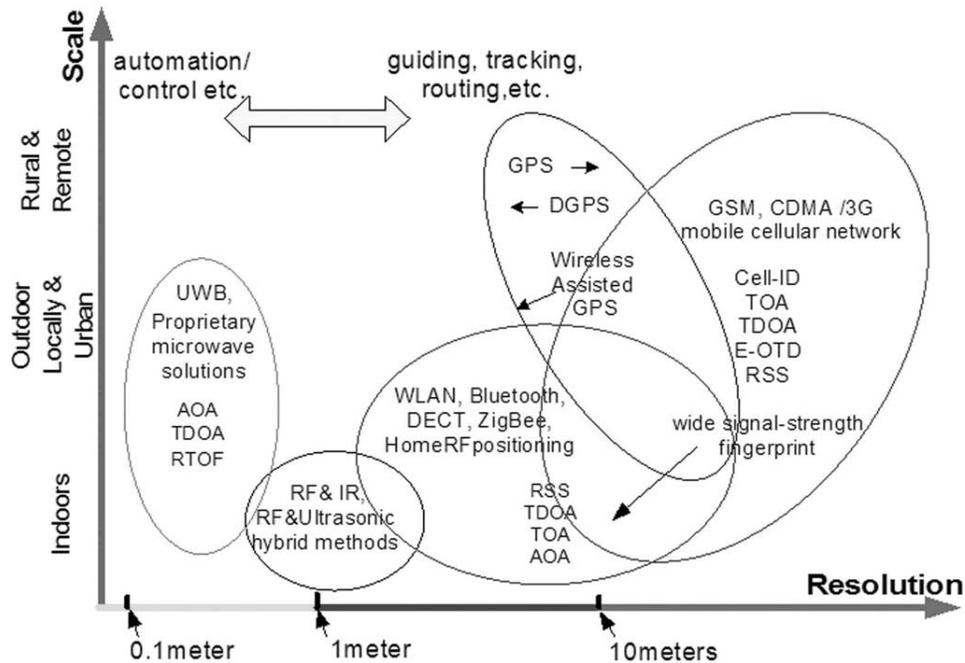


Figura 1: Sistemas de posicionamiento inalámbricos [7]

El creciente interés que se observa en la actualidad por las tecnologías de localización de dispositivos móviles se ve respaldado por la gran demanda de servicios basados en localización en diferentes áreas como industria y transporte, servicios sanitarios y de emergencia, logística, gestión de seguimientos, servicios de activación automática, información de tráfico y turismo entre otras. Estas demandas se unen al uso masivo de las comunicaciones inalámbricas y los dispositivos móviles, lo que permite la expansión de dichos servicios. Los servicios que derivan de la utilización de los sistemas de localización son conocidos como LBS (*Location Based Services*) [8].

Los LBS para *smartphones* requieren saber la ubicación del usuario con el fin de proporcionar información de contexto del usuario. Esa información se puede recolectar fácilmente en ambientes al aire libre mediante el uso de Sistema de Posicionamiento Global (GPS), pero como ya se mencionó, el GPS no funciona en ambientes interiores. Dentro de un edificio, la señal GPS se atenúa y es dispersada por las paredes. Por lo tanto, hay una necesidad de sistemas de localización de detección alternativos que sean capaces de funcionar en los *smartphones* en los ambientes interiores [9].

Según [10], un Sistema de Localización consiste en: unidades móviles, un centro de control, un medio de comunicación para transmitir y recibir información entre las unidades móviles y el centro de control, y un *software* con capacidad de procesamiento de cartografía.

El primer sistema que apareció para la localización *indoor* fue el de marcadores fijos ubicados en distintas partes del edificio. Este sistema consiste en distribuir, en ciertos puntos, marcadores reconocibles por un dispositivo

específico. Un ejemplo de marcador sería un código QR, reconocible por la cámara de un smartphone. La principal ventaja de estos sistemas es que son sencillos y baratos de implantar. Sin embargo, tienen varios inconvenientes: no son sistemas de localización propiamente dichos, ya que no permiten localizar al usuario de forma dinámica; y precisan de la acción del usuario para localizarlo ya que es el usuario quien decide cuándo leer el código [11].

Muchos sistemas de posicionamiento se han desarrollado a lo largo de los años para las estimaciones de localización en interiores como por ejemplo: sistemas de posicionamiento de infrarrojos (IR), sistemas de posicionamiento de ultrasonido, sistemas de posicionamiento de radio frecuencia (RF), sistemas de posicionamiento basados en campo magnético, sistemas de posicionamiento basados en visión, sistemas de posicionamiento de sonido audible, etc. De acuerdo con [12] se pueden clasificar en: tecnologías que requieren infraestructura y en las que no requieren de infraestructura. La primera categoría requiere el despliegue de dispositivos personalizados e instrumentación para detectar el medio ambiente y mejorar la precisión del posicionamiento en interiores, mientras que la segunda hace uso de la información que ya está presente en el medio ambiente.

Así, también las técnicas utilizadas para llevar a cabo sistemas de posicionamiento en interiores son muy variadas, como los sistemas basados en análisis de imágenes de cámaras [13], análisis del movimiento del usuario o análisis de las propiedades de las ondas emitidas por varios dispositivos. Como esta investigación se centra en sistemas de posicionamiento magnéticos y en sistemas de posicionamiento de radio frecuencia (específicamente la tecnología Wi-Fi) nos vamos a centrar en estos.

Existen muchas opciones para proporcionar un servicio de posicionamiento, pero ninguna es perfecta. Los diseñadores de aplicaciones deben dar prioridad a sus necesidades para elegir el sistema más adecuado. Las consideraciones más obvias son la precisión, alcance, frecuencia de refresco, y el costo. Otras consideraciones son: la cantidad de infraestructura, el proceso de calibración, el número total de dispositivos para ser etiquetados de forma simultánea, la robustez del sistema y la inmunidad a las oclusiones [14].

En la actualidad (para la localización *indoor*) existen diferentes tipos de alternativas, algunas que requieren hardware específico muy complejo (sensores, puntos de control, estaciones base...) las cuales resultan muy costosas, como por ejemplo Ubisense TLS [15]; por esta razón nace la localización basada en Wi-Fi. La localización basada en Wi-Fi se inició utilizando la misma idea del GPS pero con señales Wi-Fi, como es el caso de los sistemas PlaceLab [16], o Redpin [17] entre otros. Sin embargo cabe mencionar que GPS usa siempre la técnica TOA (Time Of Arrival), mientras que en un sistema de posicionamiento *indoor* Wi-Fi TOA es solo una de muchas técnicas que puede utilizar. La localización basada en Wi-Fi es factible debido a que, como se menciona en [18], las tecnologías como PDAs, *smartphones*, etc., necesitan conectarse e integrarse con otras infraestructuras, como las redes inalámbricas y por satélite.

Los sistemas de localización *indoor* basados en campos magnéticos y los basados en Wi-Fi mediante técnicas de *fingerprinting* pertenecen a la categoría de los que no requieren infraestructura, por lo que han estado atrayendo la atención de muchos investigadores en los últimos años debido a sus bajos costos de implementación. Cabe resaltar que un sistema de localización Wi-Fi entra en esta categoría solo cuando hace uso de las WLAN's existentes, de no ser así (si se montan las redes Wi-Fi para realizar u optimizar la localización), se considera un sistema que requiere infraestructura.

En [19] se presenta una arquitectura descentralizada, la localización descentralizada basada en el campo magnético es un método sofisticado para el procesamiento directo de muestras de valores del campo magnético en una estación móvil (MS), disminuyendo así o incluso evitando la necesidad de comunicación con una estación base. En contraste con los sistemas de posicionamiento orientado a centrales, que transmiten datos en bruto a una estación base, la localización de interior descentralizada obtiene conocimiento a nivel de aplicación en la estación móvil, por lo que tiene una fuerte posibilidad de aumentar la eficiencia energética y prolongar la vida útil de la estación móvil.

El cálculo de la posición puede llevarse a cabo de diferentes maneras: 1) *Fingerprinting*, 2) Triangulación de potencias 3) Angulación y 4) Métodos heurísticos. Entre todas las posibles tecnologías que se pueden utilizar para el posicionamiento, este trabajo se centra en la de *fingerprinting* basado en campo magnético y Wi-Fi, sin embargo damos una pequeña introducción a todas ellas.

Fingerprinting

La técnica de *fingerprinting* consiste en dos fases, la de entrenamiento y la ubicación [20].

1. La fase de calibración o entrenamiento, radica en construir la base de datos de fingerprints, comúnmente llamado mapa de potencias (radiomap). Se construye la base de datos mediante el dispositivo, de forma que se guarden las potencias de cada AP para cada posición del mapa.
2. La fase de ubicación o estimación, consiste en realizar una medición del RSSI de todos los AP, generando un vector que se compara con los datos almacenados en el radiomap. Luego, a través de un algoritmo, se compara

el vector patron con los almacenados y se determina la posición actual.

Cabe resaltar que se busca una dependencia estadística, la cual comienza con la recogida de datos (o fase de entrenamiento), donde intensidades de señal de todos los puntos de acceso se monitorean desde un conjunto de posiciones físicas conocidas [6].

Para los sistemas basados en campo magnético, se utiliza la misma lógica, la diferencia es que la medida almacenada en la fase de entrenamiento es de la intensidad del campo magnético desde un conjunto de posiciones físicas conocidas. Así también la técnica del campo magnético se puede usar en movimiento.

Triangulación de Potencias

En la técnica de Triangulación de Potencias se toman múltiples puntos de referencia para localizar una posición desconocida. En esta técnica, como se observa en la figura 2, se siguen los siguientes pasos: 1) Con las potencias de tres puntos de acceso que llegan al cliente se crea un sistema de ecuaciones, que representa tres círculos. 2) Se resuelve el sistema de ecuaciones obteniendo un conjunto de puntos, llamados puntos de triangulación. 3) Cada punto de triangulación se considera el vértice de un triángulo. 4) Se forman todos los triángulos posibles y se calculan sus áreas para compararlas. 5) El centro del triángulo con el área más pequeña se toma como estimación de la ubicación del cliente.

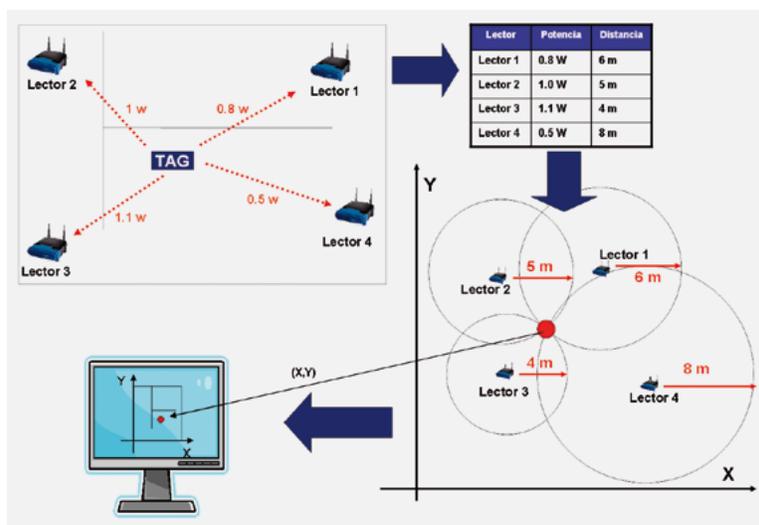


Figura 2: Triangulación de Potencias [1]

Angulación

El ángulo de llegada se define como el ángulo que forma la dirección de propagación de una onda incidente y una determinada dirección de referencia, que se conoce con el nombre de orientación [41]. La antena que posee cada sensor es utilizada para medir el ángulo de llegada.

Métodos Heurísticos

Los métodos heurísticos se pueden utilizar por si solos o como mejora de los dos métodos principales, descartando posiciones de la base de datos para reducir las posibles localizaciones. Los métodos heurísticos más importantes son:

- La Heurística de Proximidad [21], se basa en el punto de acceso más cercano al terminal para determinar su posición. Según la potencia que llega al cliente de cada punto de acceso, se descartan los valores mínimos y se dice que la mayor potencia corresponde al del punto de acceso más cercano al dispositivo. Por lo tanto, se asume que el cliente está en la posición de dicho punto de acceso.

- El método de los KNN [22], se basa en alguna medida de distancia dependiente del contexto que asigna un valor de distancia no negativo entre dos vectores de observación, forma parte de una familia de técnicas de aprendizaje conocida como aprendizaje basado en ejemplos (instance-based learning). El aprendizaje en estos algoritmos consiste simplemente en memorizar los ejemplos de entrenamiento presentados. Cuando una nueva posición se le presenta al sistema de aprendizaje, un conjunto de ejemplos similares se recupera de la memoria para clasificar la nueva posición. Por lo tanto, podemos conocer una ubicación aproximada del usuario. El inconveniente de esta técnica es que requiere un gran número de puntos de calibración para poder hacer las comparaciones.
- La Heurística de Movimiento, el movimiento es una parte importante del contexto de un usuario en un sistema de localización. Es posible clasificar a un usuario como parado o en movimiento basándonos en la fuerza de la señal Wi-Fi. Hay que tener en cuenta que la fuerza de señal de los puntos de acceso hace más picos alrededor de la posición estimada cuando el dispositivo está en movimiento que cuando está parado. También hay que entrenar al dispositivo tanto en movimiento alrededor de una zona como parado en un punto de interés.
- Teoría de Bayes, es una técnica probabilística que mantiene una distribución de probabilidad sobre todas las posibles ubicaciones del entorno. Las técnicas probabilísticas consiguen una precisión superior a las técnicas deterministas a cambio de un mayor coste computacional. La aproximación Bayesiana se suele aplicar en los casos en los que la representación del entorno es en forma de rejillas. Otra alternativa para modelar el entorno es mediante un mapa topológico. En este caso la localización se basa en el hecho de que el dispositivo identifica automáticamente que ha alcanzado un nodo del mapa utilizando alguna información geométrica del entorno.
- Redes neuronales, SVM (*Support Vector Machines*) y árboles de decisión [23], son precisamente herramientas ampliamente utilizadas para problemas de clasificación, así como métodos de aprendizaje, en particular para el aprendizaje de funciones no lineales como es el caso en el problema de localización. Son capaces de aprender, de adaptarse a condiciones variantes, o incluso si se dispone de una colección suficiente de datos, predecir el estado futuro de algunos modelos. El entrenamiento en este caso se utiliza para agilizar el aprendizaje. Se hace memorizar características de los puntos de interés al dispositivo y así reconoce el área de localización en tiempo real.

De entre todos estos métodos, el más sencillo de implementar y que asegura un correcto funcionamiento (y una mayor precisión en entornos de interiores) es el basado en la trilateración de RSS combinada con el análisis del escenario previo que permita realizar un mapa de potencias. De esta forma, la precisión en las medidas dependerá en gran medida del número de puntos existentes en el mapa, de forma que cuántas más medidas previas se realicen, con mayor exactitud se estimará la posición del usuario. Por otro lado, el método teórico empleado para realizar las estimaciones de potencia tiene una gran influencia en la exactitud de las medidas, ya que en entornos de interior, los modelos de canal comúnmente empleados (Rayleigh, COST...) no son los más adecuados, siendo necesario realizar estimaciones RSS con modelos de canal específicos de entornos *indoor* [24].

La tecnología de Radio frecuencias cuando se utilizan en los sistemas de posicionamiento *indoor* proporcionan algunas ventajas como las que siguen:

1. Las ondas de radio pueden viajar a través de paredes y cuerpos humanos más fácilmente, por lo tanto el sistema de posicionamiento tiene un área de cobertura más grande y necesita menos hardware en comparación con otros sistemas
2. Los sistemas de posicionamiento basados en RF pueden reutilizar las tecnologías de RF sistemas existentes, tales como puntos de acceso de WLAN (como es este caso).

Cabe destacar que las técnicas de triangulación y de *fingerprinting* son ampliamente utilizados en sistemas de posicionamiento basados en RF. Para ambientes interiores complicados, la ubicación mediante *fingerprinting* es un método de estimación efectivo, que utiliza características relacionada con la localización como RSS y la información de ubicación de los transmisores para calcular la ubicación de un usuario o un dispositivo [25].

En [26] se describe la propagación y se observa que las condiciones de funcionamiento de los sistemas *Ultra-wideband* (UWB) puede variar en diferentes escenarios de propagación. En concreto, en la propagación exterior se caracteriza típicamente por fenómenos de desvanecimiento plano, mientras que los ajustes de interior pueden implicar la propagación por trayectos múltiples.

Además del posicionamiento en interiores, se puede hablar de la navegación inercial, que es una técnica de navegación autónoma en la que las mediciones proporcionadas por los acelerómetros y giroscopios se utilizan para rastrear la posición y orientación de un objeto con respecto a un punto de partida conocido, la orientación y la

velocidad. Las unidades de medición inercial (IMU, *Inertial Measurement Unit*) típicamente contienen tres ratios de giroscopios ortogonales (*orthogonal rate-gyroscopes*) y tres acelerómetros ortogonales (*orthogonal accelerometers*), que miden la velocidad angular y la aceleración lineal respectivamente. Mediante el procesamiento de las señales de estos dispositivos es posible realizar un seguimiento de la posición y orientación de un dispositivo [27].

Cabe resaltar que la localización en interiores todavía no tiene una precisión razonable para aplicaciones más sofisticadas, tales como precios dinámicos personalizados, la ubicación de productos y anuncios en el contexto de tiendas al por menor (es decir, la localización de artículos en: farmacias, supermercados, zapaterías, tiendas de ropa, etc.) requieren mucho mayor granularidad de la información de ubicación. En tales escenarios, podría haber decenas de diferentes productos de una distancia de un metro desde el usuario, haciendo los sistemas actuales ineficientes. Además, no parece ser una tecnología que pueda proporcionar de forma coherente el mismo error de localización en todos los puntos de evaluación. Todos los sistemas exhiben grandes variaciones de precisión a través de diferentes puntos de evaluación, lo que plantea preocupaciones sobre la estabilidad / fiabilidad de las tecnologías actuales de localización en espacios cerrados [28].

En [29] se describe un conjunto de métricas de evaluación, definidas en el manual *EVARILOS Benchmarking*, que son importantes para la evaluación de la localización en interiores, incluyendo las distintas nociones de exactitud, métricas funcionales, tales como retrasos en la respuesta, y las métricas de implementación, como el tiempo de preparación y la infraestructura necesaria. En este trabajo la métrica a tener en cuenta es la de exactitud.

3.1. Trabajos relacionados

Hasta el momento se habló de los sistemas de posicionamiento en general, en esta sección se describen las dos tecnologías que se han utilizado para llevar a cabo las pruebas, por un lado el posicionamiento *indoor* basado en Wi-Fi *Fingerprinting* y por el otro, el basado en el campo magnético.

En [12] se muestran las ventajas y desventajas en el posicionamiento *indoor* basado en Wi-Fi y en el campo magnético. En general, las principales ventajas de la técnica basada en campo magnético son las siguientes:

1. Ninguna infraestructura necesita ser instalada,
2. Buena precisión en el posicionamiento, y
3. Posicionamiento continuo.

Por el contrario, las principales desventajas son las siguientes:

1. El hecho de que cada muestra discreta tiene sólo tres características,
2. La dependencia de la velocidad de usuario, y
3. La dependencia de la orientación del dispositivo.

Las principales ventajas del método basado en Wi-Fi de huellas digitales incluyen los siguientes:

1. El elevado número de características de cada huella y
2. La buena precisión, incluso utilizando el algoritmo simple y rápido tal como KNN.

Sin embargo, tiene algunas desventajas, tales como:

1. La frecuencia de refresco baja, y
2. El hecho de que los valores de RSSI pueden ser afectados por la presencia de personas en el medio ambiente.

3.1.1. Localización basada en campo magnético.

El campo magnético de la Tierra es comúnmente visto como un gran imán dipolo, que describe los dos polos opuestos comúnmente referenciados como el polo norte y el polo sur. El campo magnético terrestre se origina de las corrientes producidas por hierro líquido de alta conductividad que circula en el interior del núcleo externo de la tierra. El campo magnético que se origina a partir de estas corrientes se llama módulo del campo magnético «M». La singularidad de las variaciones del campo magnético de un lugar a otro en un edificio permite el desarrollo de un algoritmo de estimación de posición teniendo como base al campo magnético. En segundo lugar, dado el hecho de que los campos magnéticos son invariables en el tiempo, es decir, que permanecen constantes durante largos períodos de tiempo, el algoritmo puede utilizar las firmas producidas por las intensidades de campo magnético

a lo largo de cada habitación para localizar a un individuo. En tercer lugar, el módulo de intensidad de campo geomagnético M puede ser modelado como un vector de tres componentes M_x , M_y y M_z [32], lo que nos permite calcular la magnitud del campo como se describe en la ecuación. 1, donde M_x , M_y y M_z son los tres ejes físicos a lo largo de x , y , y z , respectivamente.

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2} \quad (1)$$

La magnitud del campo magnético « M » sobre una superficie se describe como densidad de flujo magnético y se mide en Weber por metro cuadrado Wb/m^2 , Tesla T o Gauss G ($1 Wb/m^2 = 1 T = 10,000 G$). En esta investigación, se utiliza tesla, ya que es la medida oficial definida por el Sistema Internacional de Unidades (SI). El campo magnético « B » puede verse afectado o alterado por objetos naturales o artificiales que causan interferencias. El campo magnético « B » de la superficie de la tierra varía de 25 a 65 mT.

El campo magnético de la Tierra se describe por siete parámetros, como se puede ver en la figura 3. La intensidad total « m » que consiste en el componente « x » al norte, el « y » al este y el « z » en la vertical. La intensidad horizontal « h », que consiste sólo en los componente « x » en el norte y el « y » en el este. La inclinación « i » que describe el ángulo entre « h » y « m ». Y por último, la declinación « d » que describe el ángulo entre el norte magnético y el norte verdadero. Tres de estas características sugieren la viabilidad de la aplicación de un sistema de localización basado en la infraestructura natural del campo magnético de la Tierra [30].

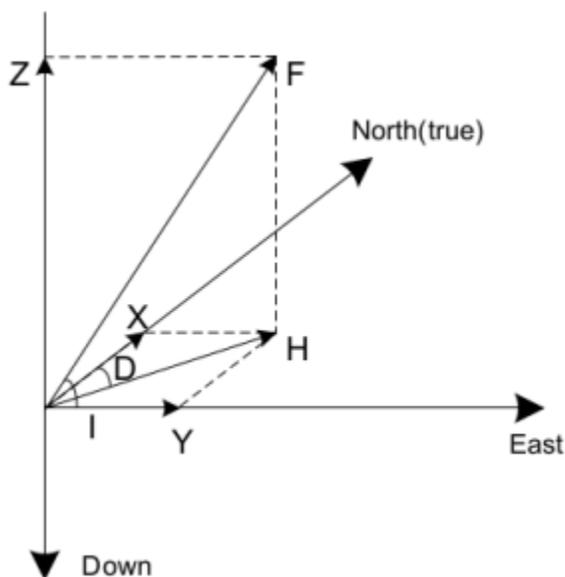


Figura 3: Componentes del campo magnético [34].

La densidad de flujo magnético se puede medir por un magnetómetro para determinar el norte magnético. Es importante señalar que el norte magnético no es el mismo que el norte verdadero. El norte verdadero o el norte geográfico es la dirección en la que el Polo Norte se encuentra a lo largo del eje de rotación de la Tierra. Mientras que el norte magnético se refiere a la posición del polo geomagnético que no se encuentra a lo largo del eje de rotación de la Tierra. El ángulo entre el norte magnético y el norte verdadero se llama declinación magnética (« d ») como ya se describió en el párrafo anterior. La declinación magnética puede diferir de un lugar a otro y no cambia con el tiempo.

La singularidad de las variaciones del campo magnético de un lugar a otro en un edificio permite el desarrollo de sistemas de posicionamiento *indoor* basados en campo magnético. El campo magnético detectado por el dispositivo móvil, es la intensidad total del mismo, denominado módulo del campo magnético que se compone del campo geomagnético, y los campos magnéticos creados por los aparatos y estructuras del edificio. Dado el hecho la forma de la curva del campo magnético se mantiene entre horarios diferentes pero perturbado a nivel local a través del tiempo (figura 4), el algoritmo utilizado por el sistema puede utilizar las firmas producidas por las intensidades de campo magnético a lo largo de cada habitación para localizar a un individuo con una buena precisión. En

tercer lugar, el módulo de intensidad de campo geomagnético «M» puede ser modelado como un vector de tres componentes B_x , B_y y B_z , lo que nos permite calcular la magnitud del campo utilizando los tres ejes físicos a lo largo de x , y , y z , respectivamente [32].

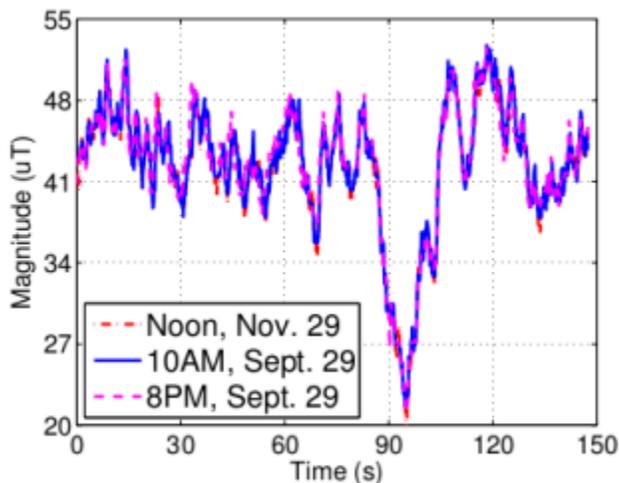


Figura 4: Campo geomagnético cuya forma se mantiene entre horarios diferentes pero perturbado a nivel local a través del tiempo [31].

Para [33] queda claro que cuanto más fuerte se perturba el campo magnético, es mejor para utilizarlo con fines de localización en interiores. Predice que - dado un mapa preciso del campo magnético - una precisión centimétrica o incluso de sub-centímetro es alcanzable en ambientes interiores con el estado actual de las MEMS inerciales y paquetes de sensores magnéticos.

En [30] se observa que la calidad de la localización depende fuertemente del número de componentes que se utilizan. Cuando se utilizan tres componentes, la localización basada en el campo magnético obtiene resultados razonables, sin embargo, cuando se utilizan sólo uno o dos componentes la precisión de los resultados disminuye rápidamente. Por lo tanto, el uso de los tres componentes del campo magnético de la Tierra es crucial para lograr resultados adecuados en la localización. Para utilizar estas tres componentes en una aplicación de localización de la vida real, se debe desarrollar una compensación de la inclinación del magnetómetro. También es crucial determinar la varianza máxima de un magnetómetro en todas las circunstancias. Así mismo [34] menciona la importancia de la cantidad de componentes a utilizar, dice que: «el número de componentes que se pueden utilizar para crear la base de datos de huellas digitales es pequeño, máximo 3, aunque el número podría caer a 2 en muchas aplicaciones». Esto hace que la metodología de toma de huellas no sea muy fiable - a veces el usuario podría estar situado en un edificio equivocado!

IndoorAtlas fue fundada en 2012 por el Profesor Janne Haverinen y otros cuatro doctores en ciencias de la computación, como un spin-off de la investigación realizada en la Universidad de Oulu. La tecnología patentada utiliza magnetómetros incorporados en los teléfonos inteligentes para detectar anomalías en el campo magnético terrestre para ayudar a los usuarios a navegar de forma fiable a través de espacios interiores y es capaz de determinar la ubicación dentro de un edificio con una precisión de 0,1 - 2,0 m. [35].

En [32] se presenta una firma de energía, que es una firma transformada del campo magnético, la cual se vuelve independiente de los patrones de tiempo y caminata. En otras palabras, podemos evitar tener que coleccionar la información del campo magnético en diferentes direcciones para construir un mapa de campo magnético preciso. Esta firma se usa tanto para generar el mapa como para posicionamiento, a la hora de posicionar a un individuo utiliza la distancia de Manhattan modificada, esto se debe a que considera que cuanto más similares son las firmas más pequeña distancia debe haber entre ellos.

[36] presenta el mecanismo MagicFinger, el cual utiliza los tres componentes del campo magnético detectados por los magnetómetros de teléfonos inteligentes para proporcionar un sistema de localización *indoor* robusto y preciso para edificios, sin embargo, cabe resaltar que el dispositivo fue fijado a una altura determinada. Así también propone la detección de los denominados “puntos de referencia” (aquellos que presenten mayor variabilidad en el

campo magnético), de forma que el reconocimiento consistiría en la búsqueda de un patrón de puntos de referencia detectados durante un recorrido.

Se observa el rastreo de posiciones exitoso en diferentes entornos. Una observación interesante es el de un experimento realizado en los ascensores, donde se recogieron las huellas del campo magnético en el interior del ascensor en cada piso y el seguimiento de la ubicación del ascensor cuando se mueve arriba y abajo muestra una predicción exacta de la ubicación del 100% en cada piso. Los experimentos se llevaron a cabo en dos ascensores diferentes en dos edificios diferentes (uno en un edificio de cuatro pisos, y otro en un edificio de seis pisos). [37]

En [38] se presenta un sistema de posicionamiento en interiores con un nivel de precisión de metros que no necesita una infraestructura, que es independiente de la posición del teléfono, que se adapta al usuario, y que es fácil de implementar. Se han llevado a cabo extensos experimentos en usuarios con teléfonos inteligentes, con más de 50 sujetos caminando sobre una distancia total de más de 40 kilómetros. Los resultados muestran que el sistema puede lograr una precisión media de 1,5 m para el caso en-mano y 2 m para el caso en-bolsillo en una zona de pruebas de 31 m x 15 m.

Magicol de [31] realizó extensos experimentos en tres áreas diferentes: un edificio de oficinas, un estacionamiento en sub suelo y un supermercado. Para estos ambientes Magicol logra una precisión en la localización del percentil 90 de 5 m, 1 m, y 8 m, con respecto a cada edificio, utilizando solamente el campo magnético. La fusión con Wi-Fi conduce a una precisión del 90 percentil de 3,5 m para la localización y 0,9 m para el seguimiento en el entorno de oficina. Cuando se utiliza sólo el magnetismo, Magicol consume 9 veces menos energía en el seguimiento en comparación con el seguimiento basado Wi-Fi.

En [39] se recomienda utilizar el sistema de cuadrículas en lugar de realizar recorridos ya que las muestras estáticas son mucho más estables, también tomar todas las medidas a una misma frecuencia de muestreo (5Hz), y junto al módulo del campo magnético es útil almacenar los valores del acelerómetro. Así también, en el caso de los recorridos se han realizado pruebas aumentando el valor del parámetro k del algoritmo KNN. Con valores de 3 y 5 se observa que aumenta la aparición de estos puntos de referencia, lo que permitiría mejorar la precisión del reconocimiento. Además se ha propuesto el uso de la ponderación de los vecinos encontrados en función de la distancia respecto a la medida del punto a localizar, de forma que se tenga en cuenta no solo a los k vecinos más cercanos, sino que se consideren en proporción a la probabilidad de estar más cerca a la muestra a estudiar. [39]

También es posible implementar un sistema de posicionamiento descentralizado, como se hace en [19] que presenta una arquitectura completa y una implementación de este tipo. Además, introduce una técnica para la sincronización del campo magnético observando los dispositivos móviles con el campo magnético generado de forma artificial a partir de las bobinas. Basados en los relojes de tiempo real y un sistema operativo preventivo, este método permite un control independiente de las bobinas y una asignación adecuada de los campos magnéticos medidos en el dispositivo móvil.

UnLoc, presentado en [40], incluso va un paso más allá, y prescinde tanto de infraestructura como de mapa de firmas. Este sistema se basa en que ciertos lugares en un ambiente interior presentan firmas identificables en una o más dimensiones. Un ascensor, por ejemplo, impone un patrón distinto de acelerómetro en un teléfono inteligente; un corredor-esquina puede escuchar un único conjunto de puntos de acceso Wi-Fi; un punto específico puede experimentar una fluctuación magnética inusual. Así, UnLoc postula que este tipo de firmas existe de forma natural en el medio ambiente, y puede ser concebido como puntos de referencia internas en un edificio. Los dispositivos móviles pueden detectar estos puntos de referencia. Tomando esto como base se registró una media de errores de ubicación de 1,69 m. Por lo tanto, se demuestra que la dificultad de armar una infraestructura no es necesaria, así como la de construir mapas, el sistema calcula simultáneamente las ubicaciones de los usuarios y los puntos de referencia, de manera que convergen razonablemente rápido, para llegar a esta conclusión se evaluaron 3 espacios interiores diferentes, incluyendo el centro comercial North Gate en Durham. Como ya se mencionó, Se logró menos de 2 m de error sin ningún esfuerzo previo de despliegue; de hecho, se usó solo el mapa del edificio para calcular el mapa de campo magnético para su evaluación. Para generar el mapa del campo magnético, se almacenan las muestras de sitios diferentes como puertas, ventanas, etc. que fueron previamente identificados con un número distintivo, cuando el usuario pasa por ese sitio presiona ese número en el teléfono. Como sabemos el mapeo entre el número y el sitio (puertas, ventanas), es capaz de extraer la posición del mapa del campo magnético.

3.1.2. Localización basada en Wi-Fi

Los sistemas inalámbricos se basan en el uso de las ondas electromagnéticas para obtener la localización del usuario con respecto a un punto de referencia conocido [41], así los sistemas de localización *indoor* pueden ser clasificados en función de la información de la señal que intercambian usuario móvil y puntos de referencia. Esta información puede ser el tiempo de llegada (TOA – Time Of Arrival), la diferencia entre tiempos de llegada, el

ángulo de llegada (AOA – Angle Of Arrival) o el nivel de potencia recibida de la señal del usuario móvil a un punto de referencia [1].

En [42] se describe como la Localización *indoor* basada en Wi-Fi se puede dividir en dos categorías principales. Una categoría se basa en la propagación de ondas y utiliza el cálculo de distancias entre los dispositivos móviles y los puntos cuyas coordenadas son conocidas. La segunda, se basa en la cartografía mediante la combinación de mediciones de intensidad de señal y coordenadas geográficas, a lo que se le llama un mapa de intensidad de señal (SS). La localización de un dispositivo móvil con un mapa SS consiste en hacer coincidir una medida con algún punto del mapa SS. El cálculo de las coincidencias de las mediciones puede ser determinista o probabilístico.

En este trabajo se considera una red inalámbrica tipo IEEE 802.11, vulgarmente conocida como Wi-Fi, que presta servicio sobre el escenario de trabajo y que no requiere ningún tipo de modificación para su empleo. Aunque Wi-Fi no ha sido diseñado para el posicionamiento, sus señales de radio pueden ser utilizadas para la estimación de la ubicación utilizando la potencia de la señal recibida (RSS). La mayoría de los sistemas de localización *indoor* mediante redes *Wireless* utilizan ya sea modelos de propagación de la señal de radio [10] o técnicas de localización mediante huellas digitales (*fingerprinting*) [43]. sin embargo, cabe resaltar que UWB ofrece una mejor solución que Wi-Fi especialmente para sistemas de posicionamiento más exigentes como en infraestructuras en permanente construcción, y desplegado rápidamente en caso de emergencia [44].

Los dispositivos (hardware) existentes que se pueden utilizar para conseguir una red inalámbrica Wi-Fi son los siguientes:

- Adaptadores inalámbricos o controladores de la interfaz de red, que son tarjetas de red que cumplen con el estándar 802.11 y que permiten a un equipo conectarse a una red inalámbrica. Los adaptadores inalámbricos están disponibles en diversos formatos: tarjetas PCI, tarjetas PCMCIA y adaptadores USB.
- Puntos de acceso, que permiten a los equipos equipados con tarjetas de red Wi-Fi acceder a una red. El punto de acceso es la unión entre la red y el usuario.

Cada punto de acceso inalámbrico emite una señal que es recibida por los dispositivos en la zona. Estos dispositivos tienen la capacidad de medir la fuerza de la señal. Esta fuerza se convierte en un número, conocido como indicador de intensidad de señal recibida (RSSI). Dispositivos Wi-Fi, tales como teléfonos inteligentes, suelen realizar esta conversión de forma automática con el fin de proporcionar información de intensidad de señal para aplicaciones que se ejecutan en él [45].

Hay tres problemas principales que los sistemas de localización en interiores (ILS) tienen que superar [46]: (1) la reflexión de la señal de los obstáculos, que supone contribuciones de múltiples trayectorias en la radio-frecuencia (RF) de los sensores del sistema de localización; (2) la atenuación de la señal cuando la señal pasa a través de los obstáculos colocados entre la radiofrecuencia de la fuente (RF) y los sensores; y (3) el nivel de ruido, que puede afectar seriamente el rendimiento del sistema, especialmente la precisión para la determinación de la ubicación del transmisor (Tx). Pero también, según [47] otro problema de los sistemas de localización en interiores es el número muy variable de personas presentes, como por ejemplo en centros comerciales y campos universitarios, donde lo más probable es que se tengan diferentes patrones de intensidad de señal en diferentes momentos.

Para proporcionar una estimación de ubicación de grano fino a los dispositivos en el entorno de la LAN inalámbrica mediante la tecnología Wi-Fi, es necesario utilizar algunos algoritmos de posicionamiento sofisticados como la técnica del *fingerprinting* o alguna técnica basada en el modelado de la relación entre la fuerza de la señal recibida desde un punto de acceso y la distancia a este punto de acceso [8].

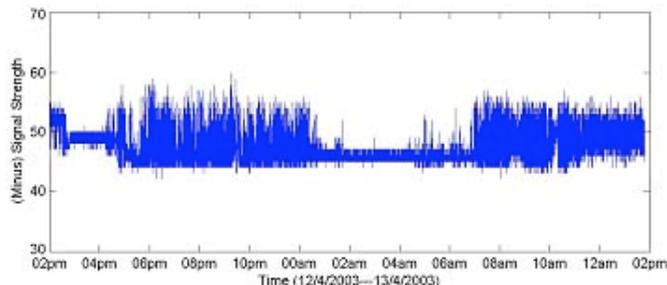


Figura 5: Mediciones de RSS durante 24 horas [52]

Hablando de posicionamiento *indoor*, existen numerosas alternativas (algunas comerciales y otras libres) y estudios de sistemas de posicionamiento en interiores basados en redes Wi-Fi, muchos de los cuales se basan en medidas de RSS combinadas en algunas ocasiones con análisis del entorno previo. Algunas de ellas son:

- Microsoft RADAR [6], basado en un método similar al KNN de análisis del entorno y que emplea modelos de canal WAF (*Wall Attenuation Factor*) y FAF (*Floor Attenuation Factor*) para aplicar el método RSS. Su precisión es de 3-5 m.
- Ekahau [48], basado también en métodos probabilísticos y RSS aumenta la precisión hasta 1 m.
- Google Maps Floor Plan Marker [47], utiliza el *crowdsourcing* para construir un mapa de radio de un edificio determinado. Va de la mano Google Maps Floor Plans que permiten a los usuarios subir fotos de los planos que luego serán procesadas por google, su principal limitación es que no está disponible para todos los países.
- Qubulus [47], parecida a Google Maps Floor Plan Marker pero fuera de línea, no posee la limitación de estar restringido a países.
- PlaceLab [16], de código abierto, que hace uso de bases de datos con información previa y combinada la señal de Wi-Fi con señales de telefonía móvil. Su precisión es de unos 3 m.
- Redpin [17], desarrollado en la ETH Zurich, es un sistema de posicionamiento de código abierto que también construye mapas de radio basado en el *crowdsourcing*.
- AirPlace [49], es un *software* para llevar a cabo localización en interiores utilizando la potencia de la señal recibida de los puntos de acceso Wi-Fi existentes en el entorno. Se trata de un *software* desarrollado en la Universidad de Chipre y distribuido bajo la Licencia GPL version 2.
- Herecast, utiliza un sistema de nombramiento simbólico para reconocer un AP cercano, y mediante una heurística de proximidad, como método principal de localización, sabemos la posición en la que nos encontramos. Es *software* libre.
- Look! [50] es un *framework* de realidad aumentada para Android que cuenta con varios módulos con diversas funciones, entre los que se encuentra un módulo de localización. Este framework ha sido desarrollado por un alumno de la Universidad Complutense de Madrid en el año 2011 y cuenta con licencia GPL v3 y con la posibilidad de ser ampliado.

Hay muchos trabajos en la literatura relativa a los métodos basados en Wi-Fi para los problemas de localización en interiores. Empezando con RADAR, que ha demostrado que es posible localizar y rastrear a los usuarios con un alto grado de precisión. La resolución media del sistema de radar está en el intervalo de 2 a 3 metros [6]. Otro ejemplo en: [51] se presenta el algoritmo SVM que muestra una tasa de error muy baja cuando se utiliza como clasificador, y supera a todas las demás técnicas conocidas hasta el momento. Cuando se usa para la regresión (localización espacial), sus resultados coinciden mucho con la técnica más eficaz, el WKNN.

En [52] se estudia la estabilidad de la RSS en infraestructuras WLAN. Para que la RSS se pueda utilizar debe ser estable y consistente, esto se demuestra en la figura 5, en donde se puede observar que la RSS es bastante estable y constante en el tiempo, con RSS en el intervalo de 45 dBm a 48 dBm (con una media de 47,17 dBm y una desviación estándar de 2.26 dBm). Todos estos resultados son aceptables, debido a que algunos elementos del entorno, como el movimiento de la gente, el ruido del ordenador, y la influencia de otras señales de radio, cambiarán RSS por cantidades del orden de 5 a 10 dBm.

Dependiendo del tipo de algoritmo se observan comportamientos diferentes en la localización dentro tiendas y pasillos. En el caso de KNN y WKNN (*Weighted K-Nearest Neighbor*), la localización es más precisa en pasillos que dentro de tiendas. En el caso de MAP (*Probabilistic A Posteriori Maximum*) y MMSE (*Minimum Mean Square Error*) la precisión es mayor en tiendas, aunque las diferencias de medidas tienda-pasillos son menos precisas que en el caso de KNN y WKNN. En general, los mejores resultados en cuanto a la precisión en pasillos se obtienen con el algoritmo WKNN con valores de K entre 6 y 8. Los mejores resultados dentro tiendas, con MMSE y valores altos de K [21].

En [53] se presenta una versión adaptada utilizando la distancia euclidiana más pequeña para las huellas digitales dentro de entornos donde existen una infraestructura WLAN y se la utiliza para posicionamiento. El algoritmo básico de distancia euclidiana es adaptado a un medio ambiente cambiante en relación al conjunto de estaciones de base

utilizados para la calibración y posicionamiento. Con relación al algoritmo de distancia Euclidiana también [54] presenta una adaptación que permite mejores resultados para puntos de acceso con señales inestables.

[55] propone el método DNRF (*Drift & Noise Removal Filter*), para orientación en dispositivos móviles que proporciona una orientación suave y es menos ruidoso en comparación con brújula digital convencional y le adiciona el bloqueo de Gimbal que hace posible conseguir la orientación en cualquier posición arbitraria.

Según [56] el error en el posicionamiento *indoor* basado en Wi-Fi se debe a la variabilidad de la potencia en general, debido a la presencia de personas alrededor o por la orientación del dispositivo móvil, que provocan cambios en la potencia recibida, que pueden provocar diferencias con los mapas de potencia y con ello, errores de localización.

Para finalizar, en [25] se afirma que el cuerpo humano se compone en más de 70% de agua y que absorbe la señal de radio de 2,4 GHz, por lo tanto, el efecto de reloj de cuerpo humano influye en la precisión de la medición de la localización basada en Wi-Fi.

En este estudio vamos a saber si la condición arriba mencionada afecta lo suficiente como para que sea preferible utilizar una localización basada en campo magnético como respaldo de la localización basada en Wi-Fi *fingerprinting*.

En resumen, las dos tecnologías, Wi-Fi y campo magnético para el posicionamiento son bastante diferentes. El primero se basa en la unicidad de las perturbaciones en el campo magnético producido por los elementos estructurales de un edificio y tiende a ser utilizado cuando el usuario está en movimiento. La segunda, basada en Wi-Fi hace uso de técnicas de huella digital (*fingerprinting*) y tiende a ser más representativa cuando el usuario está parado. En este trabajo se generaron dos bases de datos diferentes para permitir la comparación de estas dos tecnologías en el mismo entorno en que varía mucho la cantidad de personas, de las pruebas se puede constatar que en presencia de personas decae significativamente la precisión en la localización el el sistema basado en Wi-Fi *fingerprinting*. Con el sistema basado en campo magnético se observa que no se ve afectado por la presencia de las personas pero que la variabilidad del módulo del campo magnético no es suficiente para localizar a un individuo de forma unívoca.

4. Metodología y Materiales

¿Qué tecnología de posicionamiento *indoor* utilizar cuando una gran cantidad de personas se encuentra presente en el entorno? es la pregunta en la que se centra esta investigación. En la búsqueda de una respuesta, se opta por una estrategia de diseño y creación, que para la generación de los datos plantea la observación, a partir del previo diseño e implementación de un sistema de posicionamiento *indoor* basado en Wi-Fi y de otro basado en campo magnético.

Se realizan diversas pruebas en días diferentes, en un escenario, específicamente un centro comercial, en el que el número de personas que concurren varía mucho, con el fin de evaluar los sistemas de localización implementados, poniendo especial énfasis en cómo afecta el número de personas presentes. Sus resultados son expuestos en la sección 5.

La metodología de estrategia de diseño y creación esta integrada por una secuencia de pasos consecutivos y mutuamente dependientes, que consiste en:

1. Concebir la idea a investigar.
2. Plantear el problema de investigación.
3. Revisar el estado del arte.
4. Indagar sobre Wi-Fi *fingerprinting* y campo magnético.
5. Seleccionar la plataforma móvil a utilizar para la implementación y su estudio.
6. Implementar la técnica de posicionamiento *indoor* seleccionada en la plataforma elegida.
7. Obtener los datos de prueba.
8. Ejecutar las pruebas.
9. Analizar los resultados,.
10. Redactar el artículo o reporte de investigación,

Los pasos 1 y 2 se ven reflejados en las dos primeras secciones. Los pasos 3 y 4 se corresponden con la sección 3. Los pasos 5, 6 y 7 se presentan en esta sección, mientras que los pasos 8 y 9 en la sección 5 y 6. El presente documento constituye el ultimo paso.

4.1. Materiales

El desarrollo de esta investigación se lleva a cabo íntegramente con herramientas libres, desde el sistema operativo de los diferentes equipos involucrados hasta las aplicaciones de posicionamiento *indoor*. Todos ellos se encuentran a disposición para usos futuros. Durante el proceso de experimentación se han usado tan solo dispositivos móviles para la captura de datos y ordenadores convencionales para el procesamiento de la información. De esta manera, el coste en infraestructuras puede considerarse prácticamente nulo, ya que no requiere inversión en nuevos elementos. En esta sección se describen todos los utilizados.

4.1.1. Dispositivo móvil

Las mediciones se han realizado mediante el teléfono móvil Blu Life One equipado con un procesador de 64 bits de gran alcance con tecnología de Qualcomm Snapdragon de cuatro núcleos de 1,2 GHz con 1 GB de RAM lo que permite funciones multitarea. En relación al almacenamiento de información, cuenta con 8 GB de almacenamiento interno, para expandir su capacidad, posee un slot de tarjeta microSD de hasta 64GB. El Blu Life One está equipado con múltiples módulos de comunicación inalámbrica para conexiones de voz y datos, entre los que se destaca el Wi-Fi 802.11 b/g/n, que se utiliza para almacenar el RSS para la localización *indoor*. Además posee los siguientes sensores: acelerómetro, giroscopio y brújula cuyos valores son captados para la localización basada en campo magnético.

Sistema Operativo Android

Android es un sistema operativo además de una plataforma de *software* basada en el núcleo de Linux. Ha sido diseñado para dispositivos móviles y actualmente esta presente en PDAs, móviles y en Netbooks. Es una plataforma de código abierto e inicialmente fue desarrollado por Google y luego por la Open Handset Alliance.

El anuncio del sistema Android se realizó el 5 de noviembre de 2007 junto con la creación de la Open Handset Alliance, un consorcio de 78 compañías de hardware, software y telecomunicaciones dedicadas al desarrollo de estándares abiertos para dispositivos móviles. Google liberó la mayoría del código de Android bajo la licencia Apache, una licencia libre y de código abierto.

Además, de incluir el sistema operativo, contiene un middleware y distintas aplicaciones ya implementadas. Para desarrollar nuevas aplicaciones Google proporciona el SDK de Android, que contiene todas las herramientas y APIs necesarios.

Las aplicaciones de Android se ejecutan sobre la máquina virtual Dalvik, que es una máquina virtual optimizada tanto para dispositivos móviles, como para su correcto funcionamiento sobre el kernel de Linux. El Android le proporciona todas las interfaces necesarias para desarrollar aplicaciones que accedan a las funciones del teléfono (GPS, llamadas, sms, agenda, entre otras.) de una forma muy fácil en un lenguaje de programación muy popular como es Java.

La versión del sistema operativo Android utilizada en el dispositivo móvil es la 4.2.1, KitKat.

4.1.2. Sistemas de localización

En esta sección se presentan los dos sistemas de localización adaptados y utilizados para las pruebas. En primer término, el sistema de localización Compass Master basado en campo magnético y, a continuación, el Airplace, para la localización basada en Wi-Fi *Fingerprinting*.

Localización *indoor* basada en campo magnético

Para la localización *indoor* basada en campo magnético se utiliza el sistema Compass Master, desarrollado en [39], que consta de dos elementos: por una parte, el Compass Master en si, una aplicación Android encargada del muestreo de la información, y por otra una serie de scripts Scilab capaces de procesar la información muestreada para realizar cada una de las pruebas.

A continuación se enumeran las principales funcionalidades del Compass Master:

- Capacidad de configurar los parámetros de muestreo (tiempo y frecuencia)
- Posibilidad de elegir los sensores a muestrear (campo magnético, acelerómetros, giroscopio y campo magnético en coordenadas globales)
- Previsualización del campo magnético: El usuario puede usar la aplicación sin necesidad de almacenar las muestras capturadas, visualizando mediante gráficas o diagramas de barras la evolución de los componentes

vectoriales y el módulo del campo magnético. Esta funcionalidad es útil para buscar sobre el terreno zonas que presenten cambios significativos en los valores de los sensores para analizar cómo afectan ciertos aspectos, como la posición en la que se encuentra el móvil, los movimientos del usuario mientras camina, los giros en los recorridos, etc., a dichos valores.

- Permite realizar la captura en dos modos:
 - Recorrido: Se almacenan en una base de datos muestras de los sensores mientras el usuario realiza un recorrido. Se visualiza, en la pantalla, una gráfica con los valores que se van obteniendo del campo magnético; el usuario puede decidir el momento de iniciar y detener la captura de datos.
 - Cuadrícula: Está pensado para tomar muestras de forma sistemática de una zona que previamente se divide en forma de cuadrícula. Antes de iniciar la captura el usuario podrá introducir una serie de datos para definir tanto la forma de la cuadrícula como las propiedades del muestreo (número de filas y columnas de la cuadrícula, frecuencia de muestreo, tiempo de muestreo en cada celda y sensores usados para la captura). Posteriormente, se realiza la captura de los datos de cada celda previsualizando mediante un diagrama de barras los valores del campo magnético. El usuario deberá colocarse físicamente en la posición indicada por la aplicación (fila y columna) e iniciar la captura de cada celda.
- Exportación de datos en formato CSV: Como se ha comentado, la aplicación almacena, en una base de datos, la información de los sensores seleccionados para cada cuadrícula y recorrido muestreado. Toda esta información puede ser exportada a una serie de ficheros en un formato diseñado para facilitar el procesamiento por los scripts de Scilab. El usuario puede elegir el método de envío que desee.

Localización *indoor* basada en Wi-Fi *Fingerprinting*

Para localización *indoor* basada en Wi-Fi *Fingerprinting* se utiliza Airplace, desarrollado en [49], que consta de tres elementos: por un lado dos aplicaciones Android: «RSS Logger» y «Find Me», y por otro un servidor de distribución.

La aplicación «RSS Logger» escanea y almacena el muestreo de datos de ubicaciones específicas en intervalos predefinidos. Las muestras contienen las direcciones MAC y los niveles RSS (en dBm) de todos los puntos de accesos escaneados, así como las coordenadas de la ubicación donde el usuario inició la grabación, es así como se coleccionan las huellas asociadas con la correspondiente ubicación física y luego el radiomap RSS refleja el ambiente interior.

La aplicación «Find Me» se conecta al servidor para bajar el radiomap y los parámetros de los algoritmos. Implementa varios algoritmos basados en *fingerprinting* incluyendo los algoritmos deterministas como KNN y WKNN, así como los algoritmos MAP y MMSE. «Find Me» soporta dos modos de operación:

- Modo Online: provee la información de posicionamiento en tiempo real, luego de bajar el radiomap y seleccionar el algoritmo.
- Modo Offline: simula un gran número de pedidos sucesivos de posicionamiento (un archivo con varios *fingerprinting*'s de RSS almacenados), es útil para cargar *fingerprinting*'s de prueba recogidas a priori (por ejemplo un archivo de log colectado con el «RSS Logger») para evaluar el rendimiento de diferentes algoritmos en función de los siguientes criterios: (1) tiempo de ejecución, (2) precisión de posicionamiento y (3) el consumo de energía.

El servidor de distribución es responsable de la construcción y distribución del radiomap de RSS; con tal propósito, escucha las conexiones de los clientes, que pueden aportar datos RSS recopilados o solicitar el radiomap y los parámetros de los algoritmos para iniciar el posicionamiento. Para crear el radiomap, el servidor analiza todos los logs con *fingerprinting* de RSS disponibles, que pueden ser aportados por varios usuarios, y calcula el valor RSS medio por dirección MAC haciendo un promedio sobre todas las muestras recogidas en cada ubicación distinta. Finalmente, todos los valores promediados se combinan y se almacenan en un único archivo radiomap, de tal modo que cada línea corresponda a los valores RSS medios de una ubicación específica y cada columna a la dirección MAC respectiva.

4.1.3. Equipo de procesamiento

Tanto los scripts Scilab del Compass Master como el servidor de distribución del Airplace se ejecutan en una estación de trabajo basada en Linux, específicamente Fedora 24, instalado en una Dell Inspiron 15R con un procesador Genuine Intel i7-3537U de 2.00GHz, además posee 8GB de memoria y 1 TB de disco.

4.2. Área de Estudio y Captura de Datos

El primer aspecto a tener en cuenta cuando se quiere usar un sistema de posicionamiento es disponer de los mapas del lugar para ubicar al usuario respecto a un sistema de referencia. Así, es necesario disponer de los planos de cada edificio dónde se quiera localizar a un usuario. Una vez obtenidos los planos y antes de que el usuario use la aplicación, es preciso hacer un mapeo de la zona *indoor*, midiendo la intensidad de señales presentes, ya sea de campo magnético, ya sea de Wi-Fi. Como se puede ver, es necesario llevar a cabo un trabajo previo exhaustivo antes de usar la aplicación. Además, la calidad de los planos tiene una influencia directa en la calidad del mapeo y la calibración.

El área analizada corresponde a una zona del Shopping del Sol que se puede visualizar en la figura 6. Una de sus características constituye la alta variación en el número de personas que concurre a la zona y que, justamente, justifica su selección para el análisis. Dicho centro comercial está situado en la Avenida Aviadores del Chaco y Profesor González en la ciudad de Asunción, capital del Paraguay. Fue inaugurado el 19 de octubre de 1995 [57]. Ofrece servicios diversos como bancos, casas de cambio, correo, farmacia, remises, cerrajerías, agencia de viajes, peluquerías, tiendas de ropa, zapaterías, supermercados, así como diferentes opciones gastronómicas.

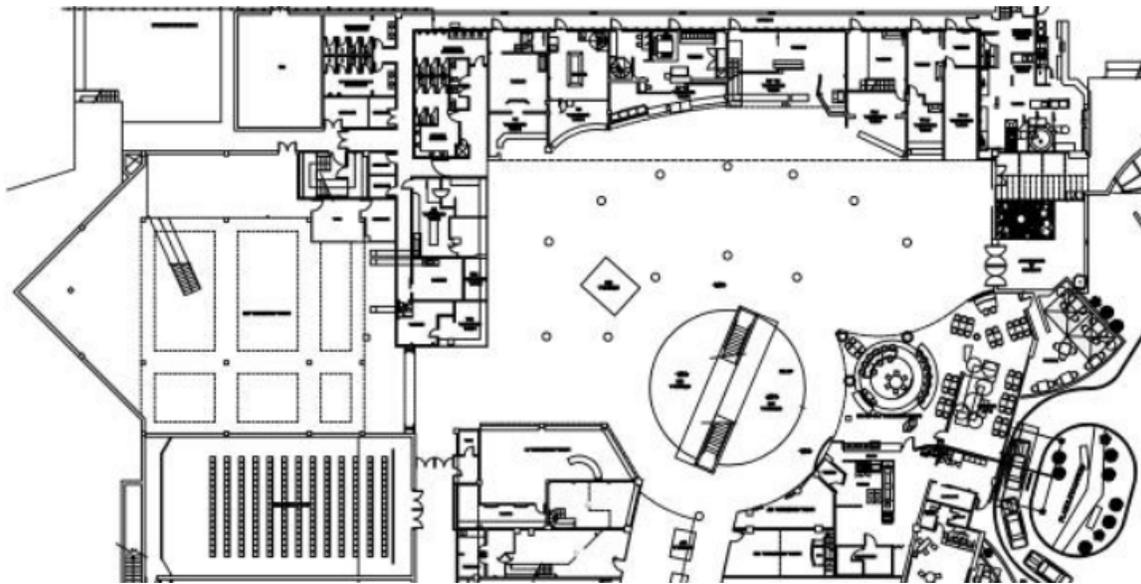


Figura 6: Patio de comidas del Shopping del Sol

En la figura 7 se visualiza el patio de comidas, con unas dimensiones aproximadas de 30 metros de largo, 30 metros de ancho y 5 metros de altura, que se selecciona como área de estudio debido a la concurrencia de personas en horarios específicos lo cual facilita la toma de información.

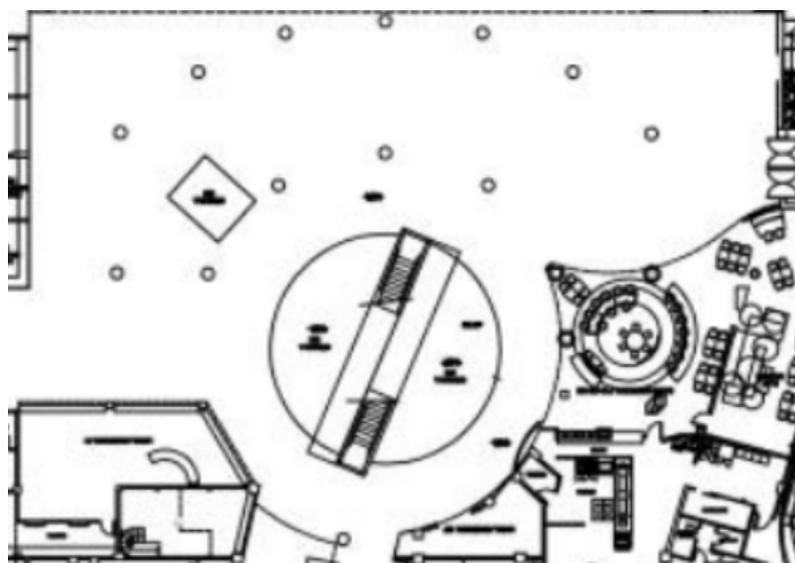


Figura 7: Shopping del Sol

Se realizan diversas pruebas en dicho entorno, se captan los datos correspondientes a un total de 11 días. Las tomas se realizan en dos escenarios, cuando el shopping está prácticamente vacío, esto es, a las 9:00, horario de apertura del shopping y, la otra, cuando hay muchas personas de las diferentes oficinas ubicadas en los alrededores del área que concurren para el almuerzo a las 13:00 horas. Se tomaron fotos en el momento de las tomas a modo de documentar la cantidad de personas, como se puede ver en la figura 8, a la derecha se nota el patio de comidas casi vacío y a la derecha lleno.



Figura 8: Cantidad de personas en el patio de comidas

Los mapas correspondientes a cada tecnología se generan en el primer día de las pruebas como se describen en las sub secciones siguientes.

4.2.1. Mapas del módulo de campo magnético

Se utiliza los magnetómetros incorporados en el teléfono inteligente para detectar el campo magnético, este se graba en una cuadrícula de 7x5 celdas (Figura 9, puntos rojos). La distancia entre las columnas de la cuadrícula, que coincide con la separación entre recorridos verticales, es de 200 cm. así como la distancia entre filas. Todo el proceso se realiza portando el móvil en la misma posición, con la pantalla en paralelo al suelo y orientada hacia

el techo, se capturan las muestras de forma estática. La captura de datos para generar la huella se realiza a una frecuencia de 5Hz. durante 10 seg para cada celda de la cuadrícula.

En el Compass Master se usa en modo cuadrícula y calcula la media del módulo del campo magnético para hallar la huella.

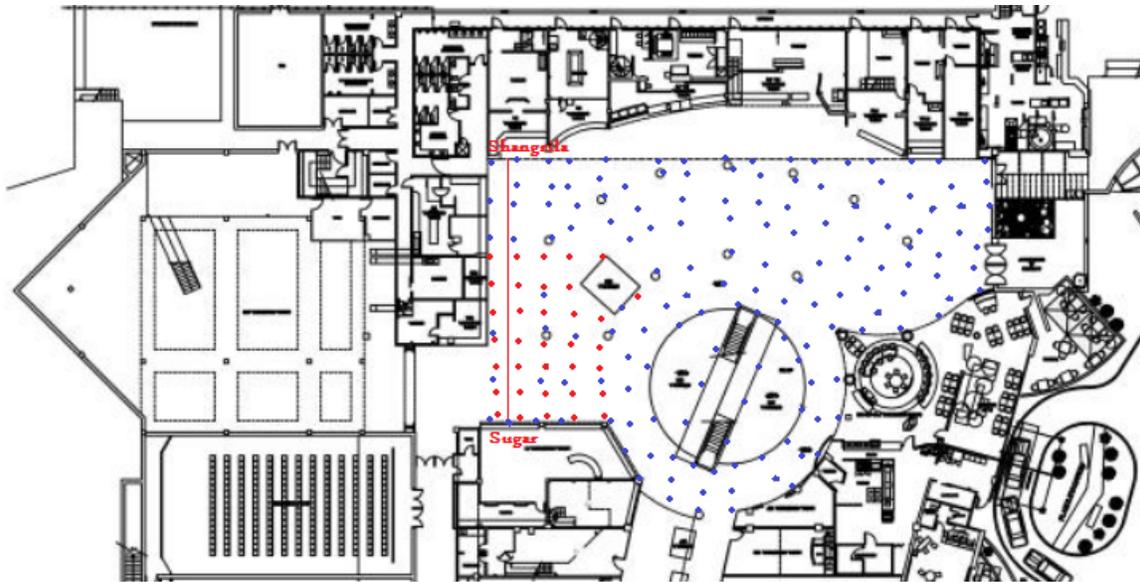


Figura 9: Cantidad de personas en el patio de comidas

4.2.2. Mapa RSSI de las señales Wi-Fi

Se realiza un mapa de la señal Wi-Fi recibida en los nodos relevantes y se captura la señal de los puntos de accesos disponibles en el shopping del Sol. Cuantos más nodos relevantes se definan, más información habrá en el mapa Wi-Fi y más precisa será la medida de localización. Para eliminar los posibles errores en el mapa Wi-Fi, se mide la potencia durante diversos períodos de tiempo. Así, se seleccionan más de 100 nodos sobre la planta del área de estudio. Los puntos iniciales son las estructuras distintivas del plano del patio de comidas, por ejemplo, las columnas, la escalera mecánica, entre otros. A partir de estos puntos principales, se toman otros puntos distantes 3 metros entre si, hasta cubrir completamente el área, lo que se puede observar mirando los puntos azules de la figura 9. Por cada punto, se toman 60 muestras, 30 en el primer muestreo, con 1 segundo de diferencia entre cada toma de RSSI y 30 en el segundo, La diferencia entre el primer muestreo y el segundo es de una hora. En el muestreo de RSS para la generación del mapa, se capturan las muestras de forma estática. Dichas tomas se capturan con «Airplace Logger».

A partir de esto, se utiliza el Servidor de distribución del Airplace que crea el archivo radiomap a partir de los dos archivos que contienen los RSS, el servidor calcula la media del RSS por MAC address promediando todas las muestras colectadas en cada ubicación diferente.

5. Resultados

En esta sección se presentan los resultados de llevar a cabo la metodología presentada en la sección 4 para cumplir el objetivo de este proyecto consistente en analizar la precisión de la localización, mediante dispositivos móviles, tanto en un sistema de posicionamiento basado en Wi-Fi como en uno basado en campo magnético, para saber cual tiene mejor precisión en un entorno con una fuerte variación en el número de personas presentes.

5.1. Resultados del sistema de localización *indoor* basada en campo magnético: Compass Master

A continuación se exponen los resultados utilizando el campo magnético, en sus dos formas: por cuadrícula y por recorrido.

5.1.1. Localización de celdas en cuadrículas

Se crea la cuadrícula de 7*5 para ver la viabilidad de utilizar *fingerprinting* de campo magnético en el sistema de localización. Este mapa se genera con una frecuencia de muestreo de 5.0 Hz durante 10 segundos. En el cuadro 1 se muestra, en cada celda (donde cada celda representa a un punto de la cuadrícula, siendo el valor de la celda ubicada en la fila 1, columna 1, la huella del campo magnético de la cuadrícula en esa posición), el *fingerprinting* resultante de las muestras tomadas en el área de estudio. Se utiliza como característica la media del módulo del campo magnético (se suman los módulos del campo magnético de cada muestra dividido la cantidad de muestras). El cálculo del módulo del campo magnético, se plasmó en la ecuación (1) de la sección 3.

Como se puede observar, en coincidencia con [39], los valores de la media en cada celda son muy cercanos, y por tanto, es difícil identificar de forma unívoca una celda a partir de la medida del campo magnético. Esta poca variabilidad en el módulo del campo magnético también se constata visualmente en la figura 10, donde se observa que los valores están delimitados en la franja de 15 a 25 μT , esta figura posee: en el eje de ordenadas (y) el valor del campo magnético y en el eje de abscisas (x) las celdas de la cuadrícula, en la leyenda se puede observar a que celdas específicamente.

Huellas del campo magnético							
Media	1	2	3	4	5	6	7
1	24.696586	16.971739	18.483829	19.069572	18.44148	22.568059	17.181191
2	19.23304	18.370713	19.586727	16.924981	16.997817	18.602214	19.71484
3	16.758836	17.268994	16.44626	21.037837	17.932175	17.012812	20.386761
4	20.256836	18.007553	27.414818	24.58319	22.363693	21.136555	20.397459
5	19.79146	22.581072	25.969266	13.665385	17.342731	19.964651	14.474438

Cuadro 1: Huellas del campo magnético usando la media

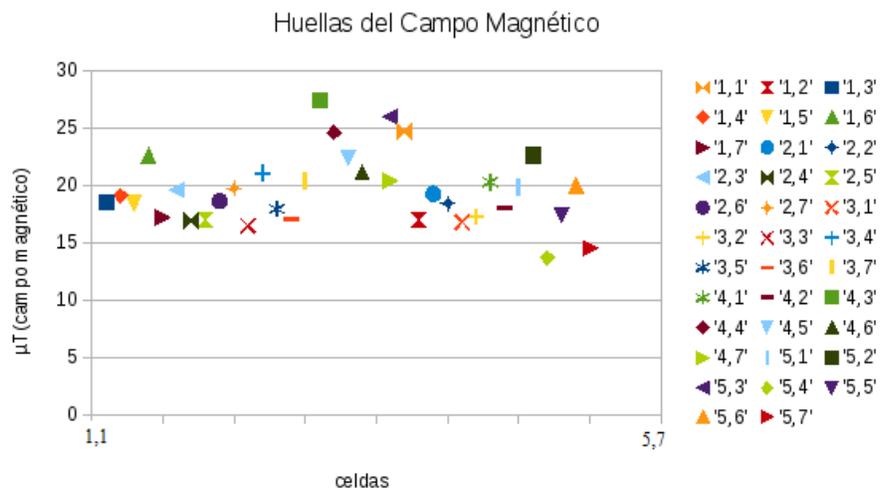


Figura 10: Campo Magnético en área de estudio

Asimismo, en el cuadro 2 se observa la posibilidad de acierto de las localizaciones (la localización o fase de ubicación se realiza mediante el método KNN) calculada para cada celda, para establecer dicha posibilidad se utilizan las propias muestras tomadas para generar la cuadrícula, cuyas localizaciones ya se conocen. Para cada muestra de la celda $C_{i,j}$, donde «i» posee un valor entre 1 y las cantidad de filas; y «j» es un valor entre 1 y la cantidad de columnas, tomada en el instante «t», Así en la cuadrícula generada «i» va de 1 a 7 y «j» va de 1 a 5. Se define la probabilidad de acierto de $PA_{i,j}(t)$ como en (2).

$$PA_{i,j}(t) = \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ si el resultado de la localización es la celda } C_{i,j} \\ 0 \text{ en caso contrario} \end{array} \right\} \quad (2)$$

Por lo tanto, la probabilidad de acierto en una celda puede calcularse como la media de acierto en las muestras de dicha celda como se ve en (2), donde «n» es la cantidad de muestras.

$$PA_{i,j} = \frac{\sum_{t=1}^n PA_{i,j}(t)}{n} \quad (3)$$

En la última fila del cuadro 2 se observa que la posibilidad de acierto es del 12 % que no es suficiente. Sin mencionar que la distribución de los aciertos por celda no es uniforme, detectándose una posibilidad de acierto del 88 % para las muestras de la celda [1,1] frente a un 0 % de las celdas [5,1],[5,2],[5,3],[5,4],[5,5],[5,6],[5,7],[4,2],[4,3],[4,4],[4,5],[4,6],[4,7],[3,6],[2,5], [2,6] y [1,5].

Probabilidad de acierto por celda							
	1	2	3	4	5	6	7
1	0.8867925	0.245614	0.3653846	0.3076923	0	0.6851852	0.1636364
2	0.037037	0.0784314	0.1304348	0.2321429	0	0	0.1090909
3	0.0638298	0.0377358	0.0909091	0.6346154	0.0697674	0	0.3
4	0.0535714	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0
Media	0.128339169						

Cuadro 2: Probabilidad de acierto por celda usando la media como huella

5.1.2. Localización con recorridos

Como la variabilidad del campo magnético es muy baja utilizando cuadrículas con el proceso estático, se procede a analizar el comportamiento del campo magnético, en movimiento, a lo que llamaremos recorrido. Como recién vimos los valores del campo magnético fluctúan por lo que en este análisis nos centramos en la forma de la curva.

Los recorridos se hicieron a pie procurando mantener la velocidad y la longitud del paso constante, para analizar los recorridos se tomaron 40 tomas, 20 del patio de comidas completo, recorriendo de manera horizontal, luego tres metros vertical y de nuevo horizontalmente, hasta abarcar todo el área en los dos horarios ya mencionados. Las otras 40 muestras fueron para un trayecto particular que abarcaba 10 metros que era para ir de Sugar a Shangrila (dos locales de comida. ver la línea roja de la figura 9). Cabe destacar en las cuadrículas se capturaron los datos de forma estática, evitando realizar movimientos durante la grabación.

En la figura 11, en el eje «x» se ve el tiempo en mili segundos (ms) y en el eje «y» se ve el valor del campo magnético en micro Tesla (μT). se puede ver en rojo el módulo de campo magnético, que es calculado a partir de los otros tres componentes: el componente «x» al norte (en azul), el «y» al este (verde) y el «z» en la vertical (negro).

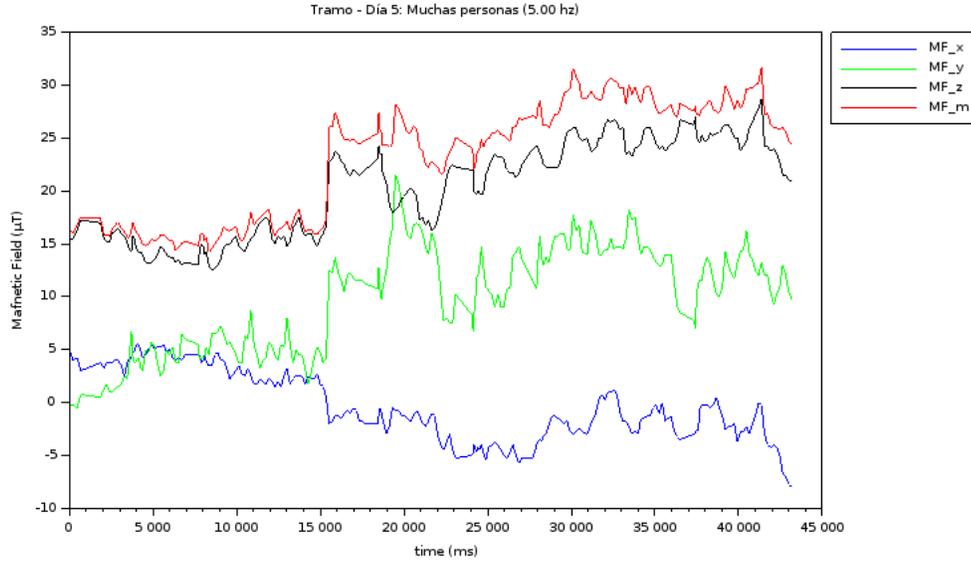


Figura 11: Resultados de Campo Magnético con sus tres componentes

Se tiene una gráfica similar para el resto de los casos y los otros días, sin embargo a partir de ahora se van a utilizar gráficas donde solo se muestran el módulo del campo magnético y como queremos verificar si para un mismo recorrido la forma de la curva se mantiene se van a suavizar y normalizar los gráficos. La curva que representa al módulo del campo magnético **normalizado** se genera en azul y los máximos se marcan con «*» en rojo, se considera que un máximo es un valor que supere 0.7 al módulo del campo magnético **normalizado**.

Para normalizar el módulo de campo magnético se utilizó la ecuación (4) que devuelve un rango [0,1] que a partir de ahora representa al campo magnético, este tipo de normalización se adapta a la concentración media de los valores y no conserva la proporcionalidad lo que nos va a ayudar a identificar si la forma de la curva se mantiene.

$$M = \frac{M - \min(M)}{\max(M) - \min(M)} \quad (4)$$

Para buscar los máximos ha adaptado un script que calcula la derivada discreta de la señal. Los picos superiores serían aquellos en los que el valor de la derivada es 0 y en los puntos inmediatamente anterior y posterior sea mayor y menor que cero respectivamente.

Así también se quitaron las muestras de los primeros 5 segundos y de los últimos 5 segundos, debido a que empíricamente se sabe que las muestras iniciales y finales tienen un comportamiento anómalo, . Además se utilizó la información del acelerómetro y se eliminaron las muestras del campo magnético que coincidían con picos de dicho sensor cuando había movimientos bruscos. El pico se estableció a 10.5 m/s^2 . En la figura 12 se muestra la información del acelerómetro. Se calculó interpolaciones para analizar en el mismo instante las muestras los dos sensores diferentes (acelerómetro y magnómetro). Para evitar máximos locales debidos a ruidos se usa spline directo, que interpola en forma exacta los valores de intensidad de los pixels.

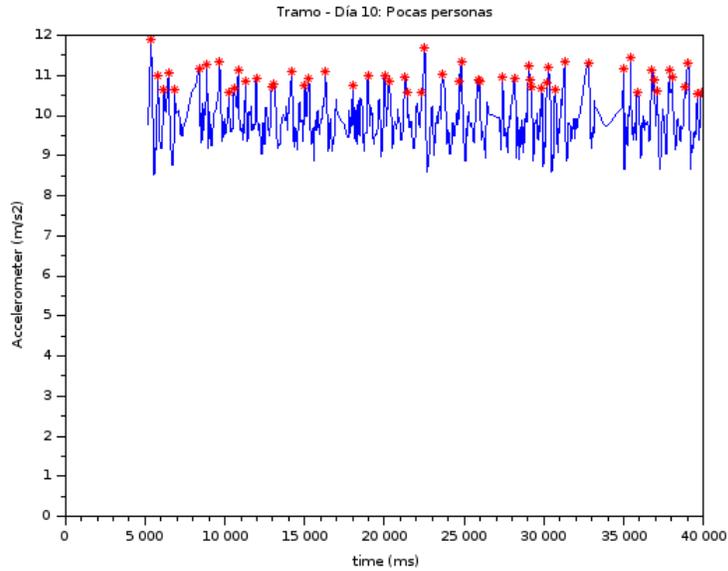


Figura 12: Picos del acelerómetro en el día 10 a las 9:00

Si se mira la figura 13, la curva de la izquierda es de los datos que fueron obtenidos a las 9:00 de la mañana en el primer día de toma de puntos en el shopping (esa es la hora de apertura con el patio de comidas vacío) , a la derecha vemos la segunda curva donde se puede observar que la forma de la curva es muy diferente. Esta segunda curva fue tomada el mismo día que la primera pero a las 13:00, una hora en el que el patio de comidas es muy concurrido.

A partir de ahora vamos a comparar el tramo de 10.000 a 30.000 ms, se selecciona este tramo debido a que, como ya se mencionó las tomas iniciales y finales suelen tener comportamientos inusuales, por lo que se elige un tramo central, se recuerda que los puntos máximos se consideran todos los puntos cuyos valores normalizados son mayores a 0.75 . Para la curva de la izquierda no existen máximos, mientras que para la curva de la derecha tenemos 7 máximos.

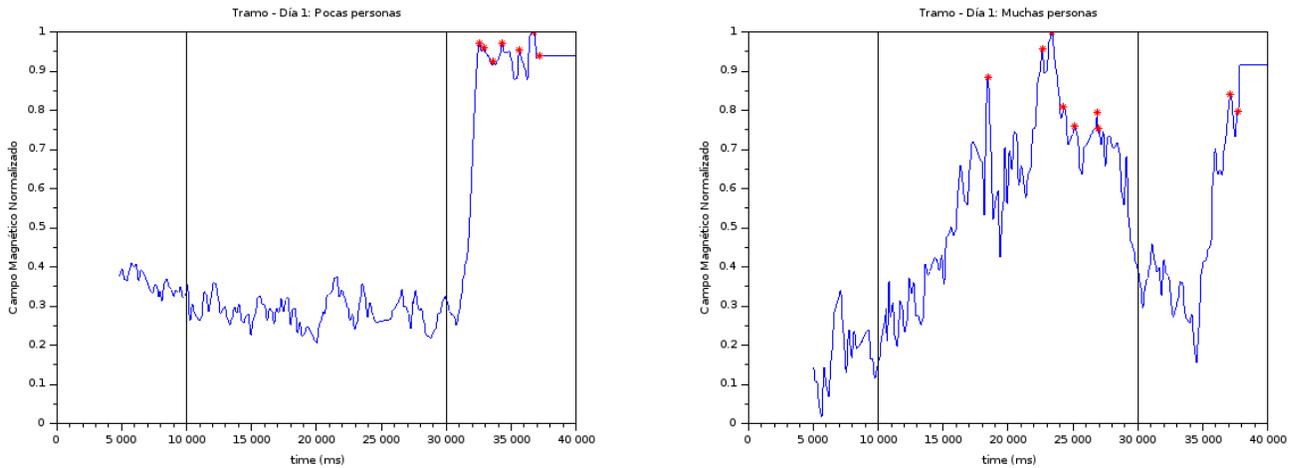


Figura 13: Día 1: Resultados de Campo Magnético

Las curvas obtenidas el segundo día se pueden observar en la figura 14. Los horarios de las tomas son los mismos, a la izquierda a las 9:00 y la de la derecha a las 13:00. Para la gráfica de la izquierda existen 17 máximos mientras que para el de la derecha hay 12. Así mismo si comparamos el día 1 con el día 2, vemos que para el horario de la mañana en el primer día no hay máximos mientras que para el segundo hay varios, a la tarde se dan máximos en ambas curvas, pero no de igual cantidad, en una presenta 12 y en la otra 7.

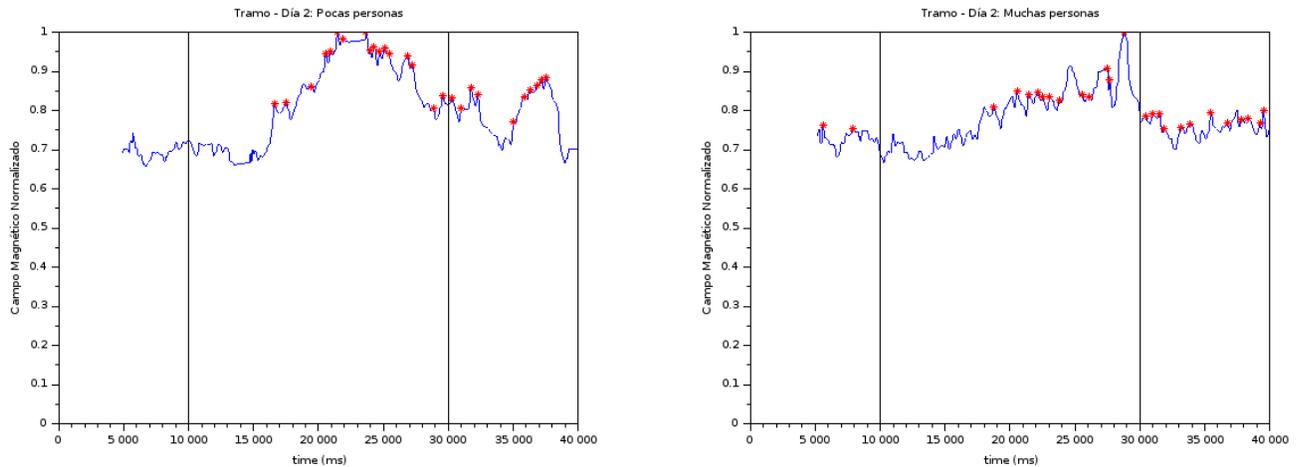


Figura 14: Día 2: Resultados de Campo Magnético

En el tercer día, figura 15, se presentan 17 máximos en la curva de la izquierda, en la de la derecha existen 24 máximos. Hasta el momento no se mantiene la cantidad de máximos y tampoco se ve que se mantengan algún patrón entre las curvas de la mañana ni en las de la tarde, por ejemplo no se observan que hay más máximos a la mañana que a la tarde o viceversa

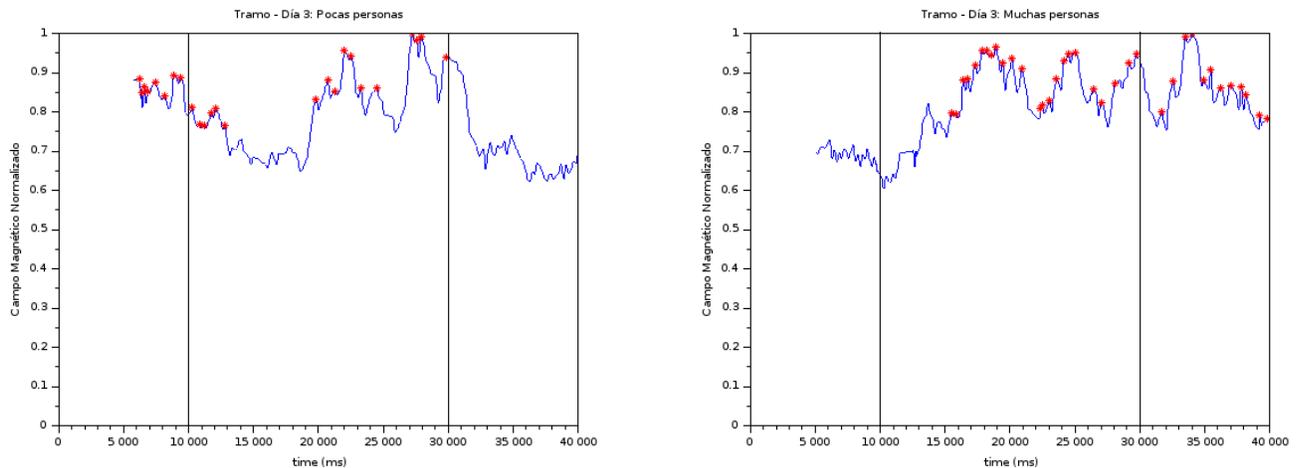


Figura 15: Día 3: Resultados de Campo Magnético

Si se observa la figura 16, cuarto día, en la curvas de la izquierda se presentan 21 máximos, mientras que para la curva de la derecha hay 1 solo.

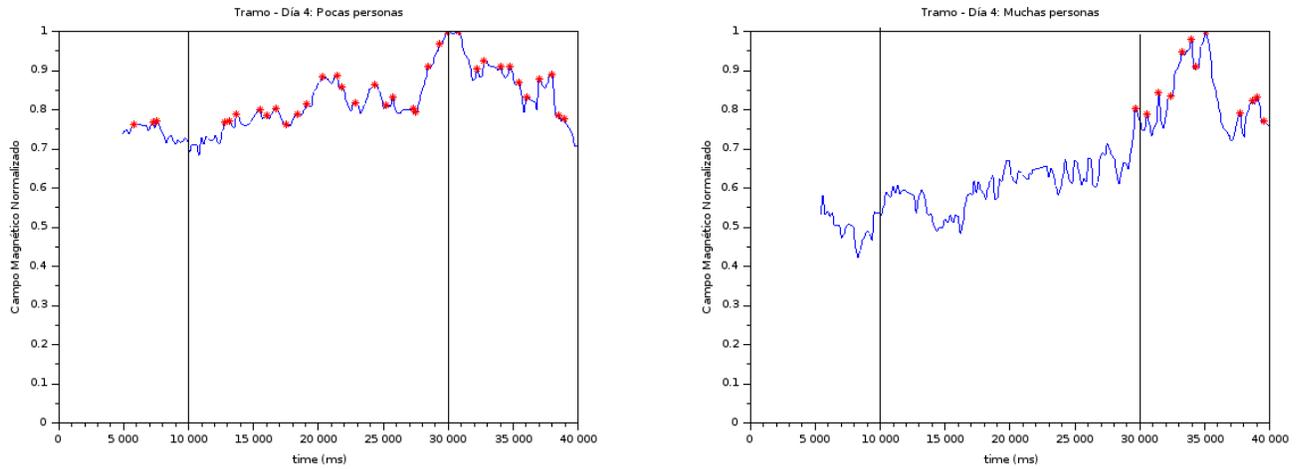


Figura 16: Día 4: Resultados de Campo Magnético

En el quinto día (figura 17), para la curva de la izquierda existen 23 máximos y en la de la derecha 14. Con respecto al día anterior en el horario de la tarde hubo un solo máximo a diferencia de este día en el que 14. De mañana tienen valores cercanos, 23 y 21.

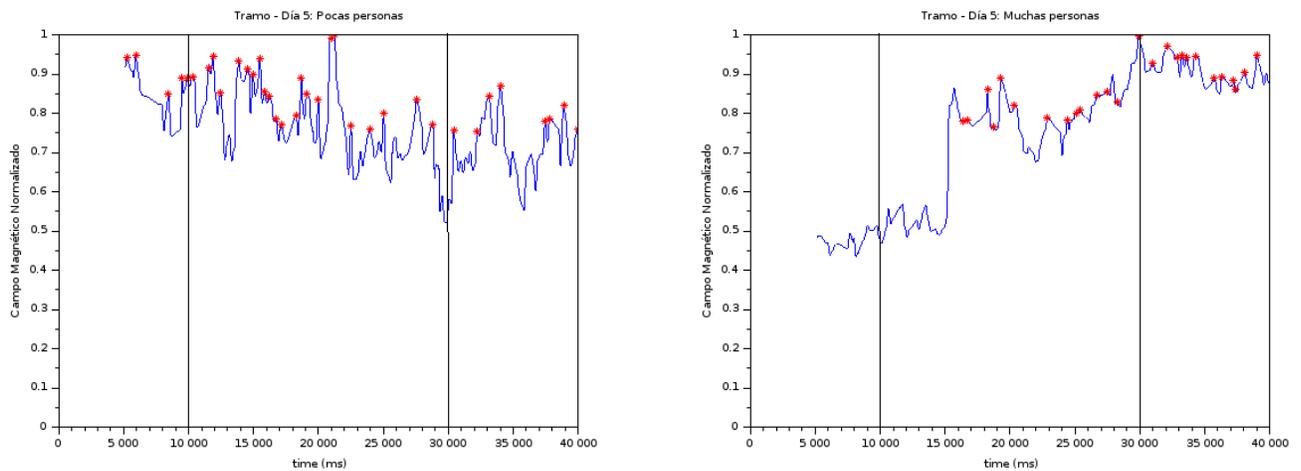


Figura 17: Día 5: Resultados de Campo Magnético

En las curvas la figura 18, que se muestran el resultado para el sexto día, para la curva de la izquierda existen 26 máximos, y en la de la derecha hay 28, la cantidad de máximos en este caso es bastante cercana.

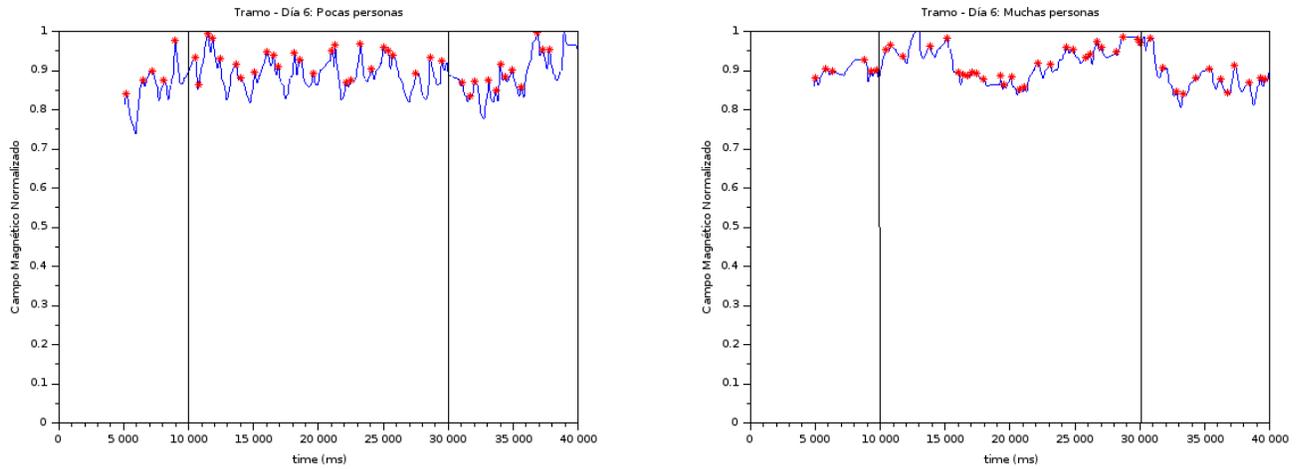


Figura 18: Día 6: Resultados de Campo Magnético

En el séptimo día, figura 19, la curva de la izquierda se tiene un solo máximo y en la de la derecha 10. Con respecto al día anterior varía mucho la cantidad de máximos, teniendo mucho menos en este día en ambos horarios.

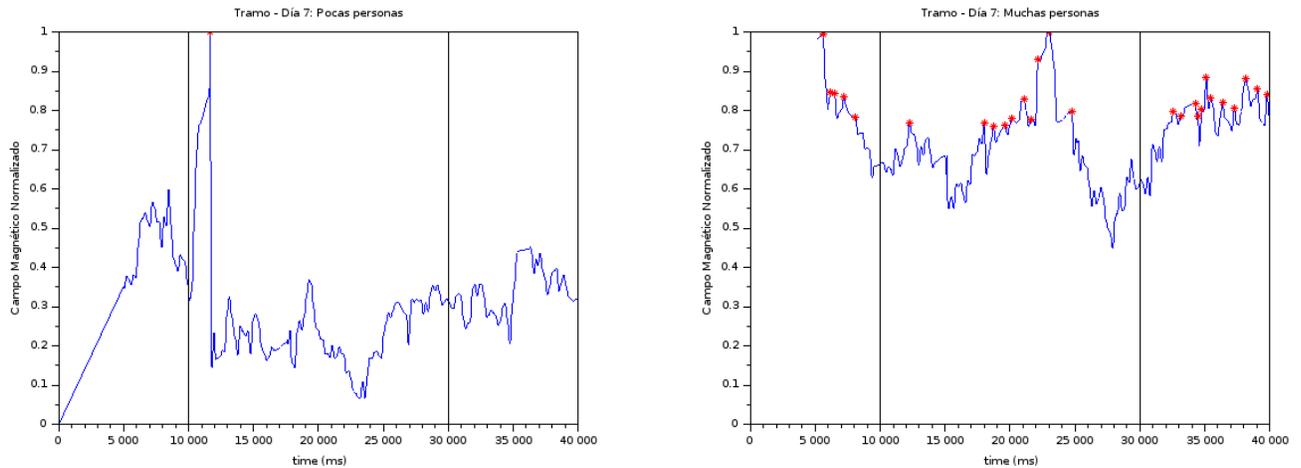


Figura 19: Día 7: Resultados de Campo Magnético

La figura 20, en la curva de la izquierda se presentan 29 máximos, mientras que en la de la derecha 10, para la mañana entre este día y el anterior hay mucha diferencia en la cantidad de máximos, pero para la tarde ambos días presentan igual cantidad de máximos.

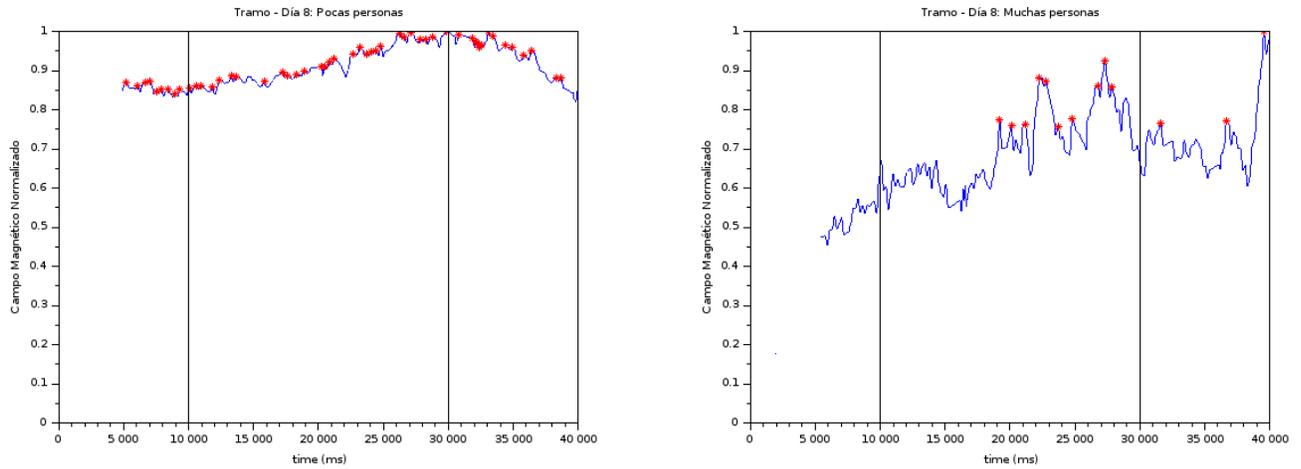


Figura 20: Día 8: Resultados de Campo Magnético

El noveno día, figura 21 se presentan 7 máximos a la mañana versus 31 máximos a la tarde, el día 9 a las 13:00 es el día que más número de máximos presenta, en contra parte a la mañana solo se observan 7, otro día que presenta 7 máximos es el primero en el horario de la tarde.

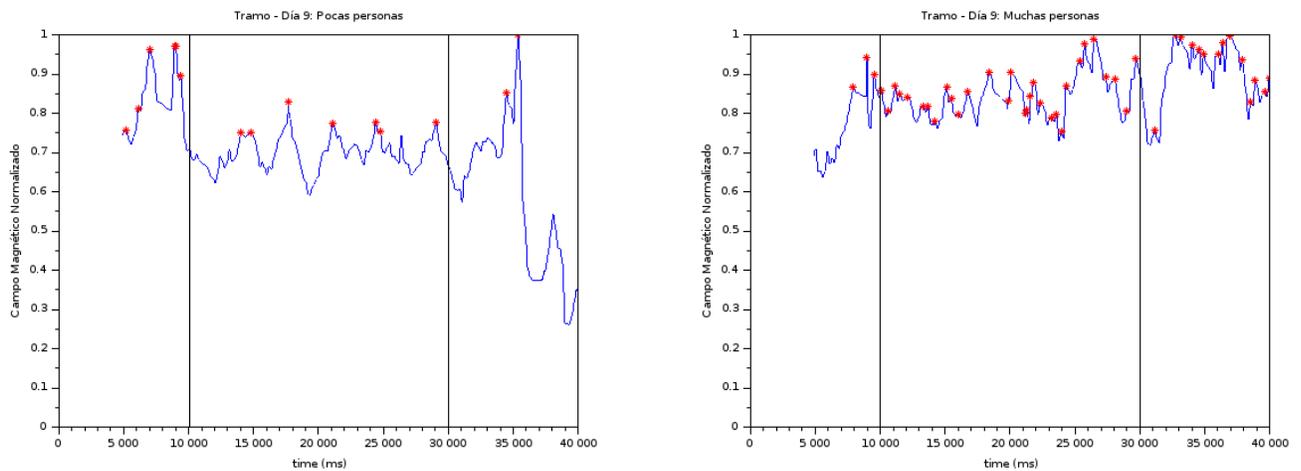


Figura 21: Día 9: Resultados de Campo Magnético

La figura 22, que tiene los datos de el último día analizados, en la curva de la izquierda se tiene 31 máximos al igual que el día anterior a la tarde (curva de la derecha, figura 21), en la curva de la derecha se tiene 13 máximos.

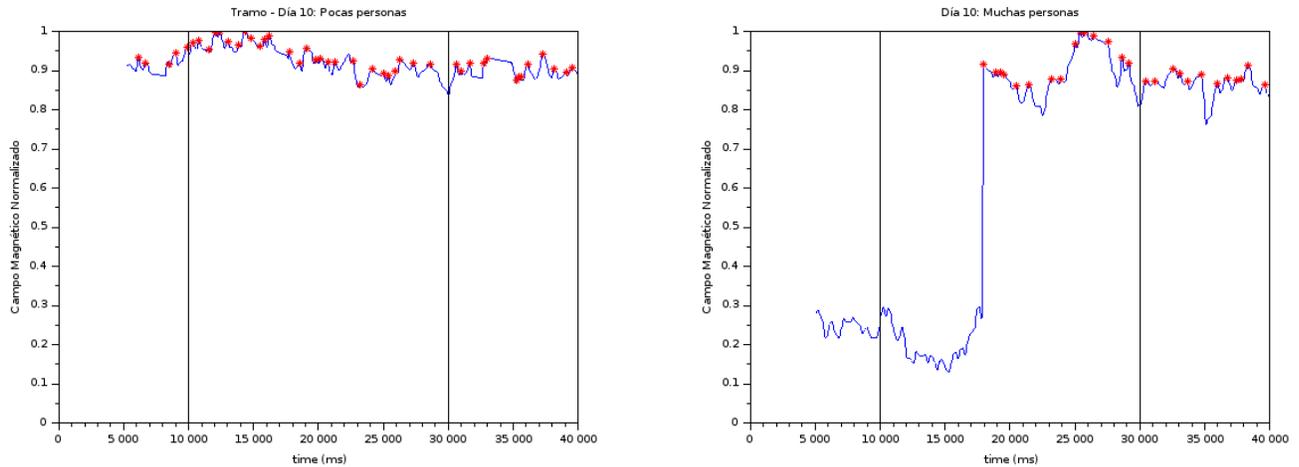


Figura 22: Día 10: Resultados de Campo Magnético

En resumen, la cantidad de máximos en el tramo definido no es la misma, muchas veces ni siquiera están presentes, y cuando están presentes también varía la cantidad. Este comportamiento no uniforme se da en los diferentes horarios, y diferentes días. Los resultados del análisis del recorrido de todo el patio de comidas presenta el mismo comportamiento, no se mantienen los máximos. Por ejemplo y ya sin plasmar todos los gráficos, si observamos la figura 23, en la curva de la izquierda que representa al día 1 a las 9:00 tenemos 50 máximos en el tramo de 200.000 a 350.000 ms (eligiendo siempre tramos centrales), mientras que en la curva de la derecha (día 6 a las 13:00 hs) tenemos 7 máximos.

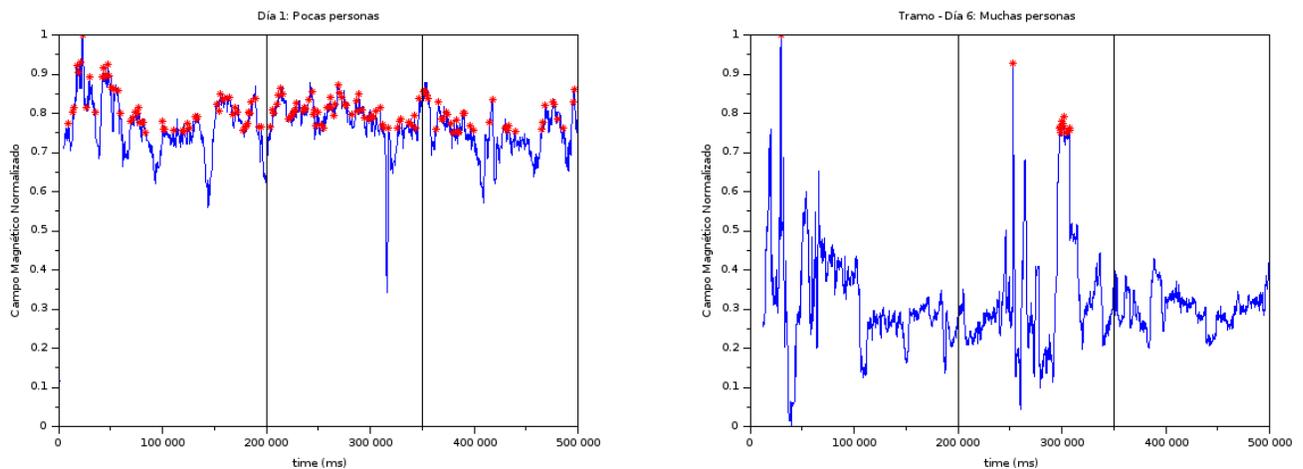


Figura 23: Campo magnético de la totalidad del patio de comida

Si bien se supone que hay una singularidad en las variaciones del campo magnético (en los diferentes lugares de un edificio) y que estas son invariables en el tiempo, el principal inconveniente de usar los valores del campo magnético es que el sistema es vulnerable al entorno en tiempo real así como a propios movimientos que el usuario realiza teniendo en mano el dispositivo móvil, ya sea cambio de velocidad, de dirección o algún movimiento involuntario por parte del usuario.

5.2. Resultados del sistema de localización basada en Wi-Fi *Fingerprinting*: Airplace

En la localización realizada con el Airplace Tracker se realizan escaneos de las potencias Wi-Fi, en tiempo real, de cada uno de los puntos de acceso existentes. Se determina, mediante el algoritmo determinista KNN, cuál es el nodo relevante (nodo del radiomap) más parecido al nodo a localizar. También nos muestra la precisión en el posicionamiento, desplegando el error de posicionamiento promedio pertenecientes a las potencias Wi-Fi actuales. Los Nodos relevantes son las tomas realizadas cuando se generó el mapa RSS.

En el cuadro 3 se muestran los resultados del error promedio obtenido en los diversos días del trabajo de campo para diferentes valores de «k», a las 9 de la mañana, esto es, en presencia de pocas personas. En las columnas figuran los días y en las filas el valor de k asignado; por ejemplo, el valor contenido en la celda ubicada en la fila 1 y en la columna 4, representa un error promedio de 8,11 metros usando un valor de k=1 en el algoritmo KNN correspondiente al cuarto día del trabajo de campo a las 9:00 hs. La última fila representa el error promedio mínimo conseguido para los diferentes valores de k; dichos errores son señalizados con negritas en las celdas correspondientes para mejorar su visualización e identificación en la tabla, a modo de ejemplo, si se analiza el primer día, se encuentra que el valor de la k es 5, es decir, con k=5 se minimiza el error promedio para ese día en particular.

Tomas de las 9:00 horas (pocas personas presentes)										
k/días	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	6.4	5.84	2.12	8.41	5.7	5.75	7.27	7.5	11.33	10.22
2	5.89	6.59	3.06	6.76	5.4	6.51	6.62	6.94	11.03	9.1
3	6.53	5.73	4.49	6.61	5.26	5.96	6.5	6.68	8.59	8.45
4	5.97	5.2	5.62	6.51	5.31	5.65	6.47	6.58	6.77	8.14
5	5.4	5.9	3.77	6.51	5.39	6.93	6.36	6.49	5.7	7.05
6	5.61	5.85	3.27	6.57	5.46	8.51	6.36	6.51	5.63	6.2
7	6.94	5.8	3.61	6.33	5.39	8.86	6.33	6.38	5.47	6.32
8	6.47	5.72	4.11	6.13	5.37	8.78	6.36	6.34	5.55	6.41
9	6.77	5.1	4.81	6.01	5.55	8.39	6.47	6.36	5.85	6.43
10	6.39	5.11	5.06	6.06	5.69	8.78	6.47	6.4	5.66	6.6
11	6.2	5.19	5.55	6.08	6.08	8.6	6.43	6.38	6.17	6.79
12	6.42	5.91	5.28	6.07	6.07	8.61	6.45	6.36	5.7	7.15
13	5.66	6.91	5.48	6.17	6.17	8.83	6.54	6.44	5.98	7.47
14	5.25	6.88	5.42	6.23	6.23	9.42	6.58	6.5	6.41	7.81
15	5.82	6.32	5.68	6.29	6.29	9.38	6.65	6.58	6.68	7.99
MIN	5.4	5.1	2.12	6.01	5.26	5.65	6.33	6.34	5.47	6.2

Cuadro 3: Error promedio de posicionamiento

En el cuadro 4 se muestran los resultados del error promedio obtenido en los diversos días de la captura de datos utilizando diferentes valores de «k», a las 13 de la tarde, horario de almuerzo, es decir, con presencia de muchas personas. De igual manera que en el cuadro anterior, las columnas representan los días y las filas el valor de «k»; por ejemplo, la celda ubicada en la fila 4 y la columna 10 representa un error promedio de 9,38 metros con un valor de k=4 en el algoritmo KNN, en el décimo día a las 13:00 hs; también, la última fila contiene el menor error promedio alcanzado en un día en particular, por ejemplo 7,6 metros en el décimo día, que corresponde a la k=12.

Tomas de las 13:00 horas (muchas personas presentes)										
k/días	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	8.48	9.02	7.47	11.64	7.92	10.52	10.83	9.98	8.74	12.21
2	9.03	10.1	7.06	10.29	7.1	9.61	9.37	9.39	8.68	10.09
3	8.85	7.68	7.71	9.83	6.59	9.34	9.26	9.2	8.95	10.15
4	9.22	7.29	6.83	9.21	6.21	9.23	8.61	8.88	8.72	9.39
5	8.58	6.31	6.53	9	6.09	9.28	8.27	8.78	8.42	8.73
6	8.03	7.21	5.89	8.7	6.11	9.11	8.19	8.6	8.21	8.28
7	7.65	6.38	6.63	8.69	6.09	9.11	8	8.33	7.84	8.14
8	7.82	6.18	6.94	8.67	6.2	9.28	7.87	8.09	7.71	7.95
9	8.44	5.95	6.39	8.53	6.2	9.31	7.75	7.85	7.65	7.77
10	8.42	7.05	6.47	8.49	6.26	9.36	7.63	7.69	7.6	7.77
11	8.42	7.28	6.72	8.56	6.25	9.27	7.54	7.59	7.58	7.64
12	8.5	6.65	6.47	8.64	6.4	9.29	7.57	7.48	7.52	7.6
13	9.08	6.26	6.06	8.62	6.39	9.37	7.52	7.47	7.53	7.74
14	9.65	5.98	5.8	8.69	6.49	9.33	7.55	7.47	7.61	7.7
15	10.07	6.24	5.64	8.64	6.65	9.37	7.58	7.43	7.65	7.68
MIN	7.65	5.95	5.64	8.49	6.09	9.11	7.52	7.43	7.52	7.6

Cuadro 4: Error promedio de posicionamiento

Con miras a facilitar el análisis de los resultados, se generan los gráficos correspondientes a los cuadros 3 y 4. Para cada una de las figuras se presentan dos días: los días impares a la izquierda y los pares a la derecha. En el eje «y» se representa el error promedio en metros y en el «x» el valor de «k» utilizado en el algoritmo. Cada día tiene dos curvas, la curva roja es la que se forma a las 13:00, es decir, con una concurrencia de una gran cantidad de personas y una curva azul que representa el otro caso.

En la figura 24 se puede ver que la cantidad de personas presentes en el entorno afecta al posicionamiento *indoor*; en ambas gráficas, la curva roja está por encima de la curva azul, lo que indica que existe un mayor error. Para el primer día, el menor error en el posicionamiento para el caso de las 9:00 se da con k=5 y para las 13:00 con k=7; para el segundo día, con k=9 y k=15 respectivamente.

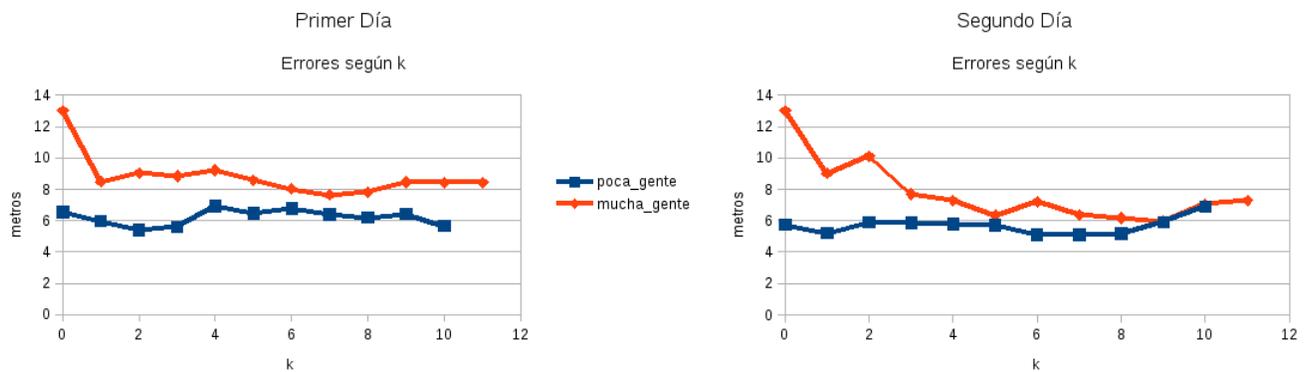


Figura 24: Error promedio según el valor de k utilizado en el primer y segundo día

Al observar la figura 25 se constata que la curva roja está más elevada que la azul para ambos días; con ello se ve, una vez más, que el error promedio aumenta en presencia de un mayor cantidad de personas. En el tercer día, el mejor valor para el posicionamiento en el primer caso se da con k=5 y para el siguiente con k=15; de manera similar, en el cuarto día se da con k=9 y k=10 respectivamente.

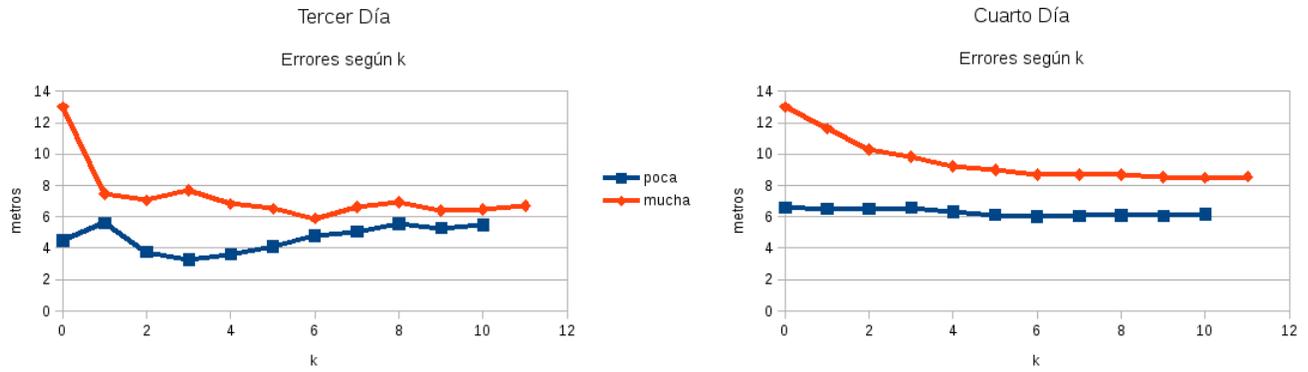


Figura 25: Error promedio según el valor de k utilizado en el tercer y cuarto día

En la figura 26 se puede ver nuevamente como la cantidad de personas presentes en el entorno afecta al posicionamiento *indoor*; en ambas gráficas la curva roja está por encima de la curva azul, lo cual señala que existe un mayor error. Para el primer día el menor error en el posicionamiento para el caso de las 9:00 se da con $k=3$ y para las 13:00 con $k=7$, para el sexto día con $k=4$ y $k=7$ respectivamente.

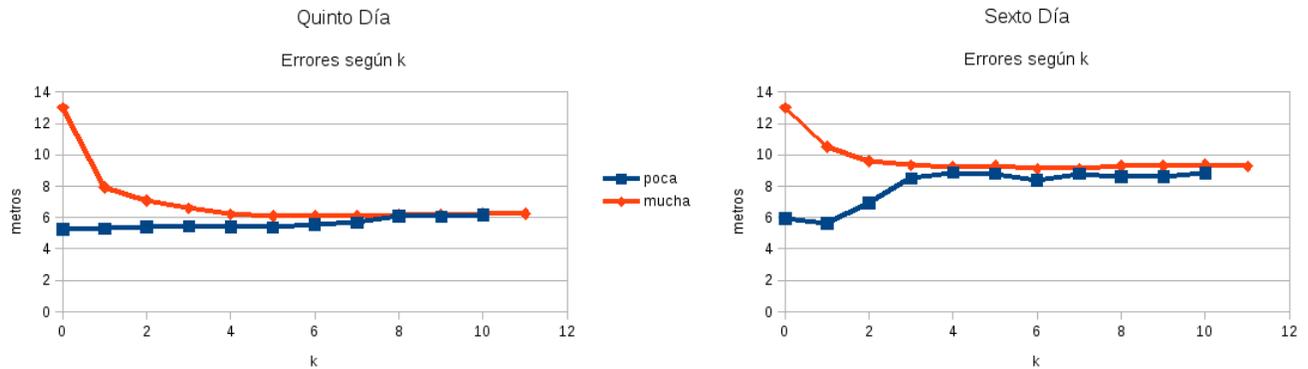


Figura 26: Error promedio según el valor de k utilizado en el quinto y sexto día

Al observar la figura 27 se constata que la curva roja para ambos días está más elevada; se denota, una vez más, que el error promedio aumenta en presencia de mayor cantidad de personas. En el séptimo día el mejor valor para el posicionamiento en el primer caso se presenta con $k=7$ y para el siguiente con $k=13$; de manera similar en el octavo día se da con $k=8$ y $k=15$ respectivamente.

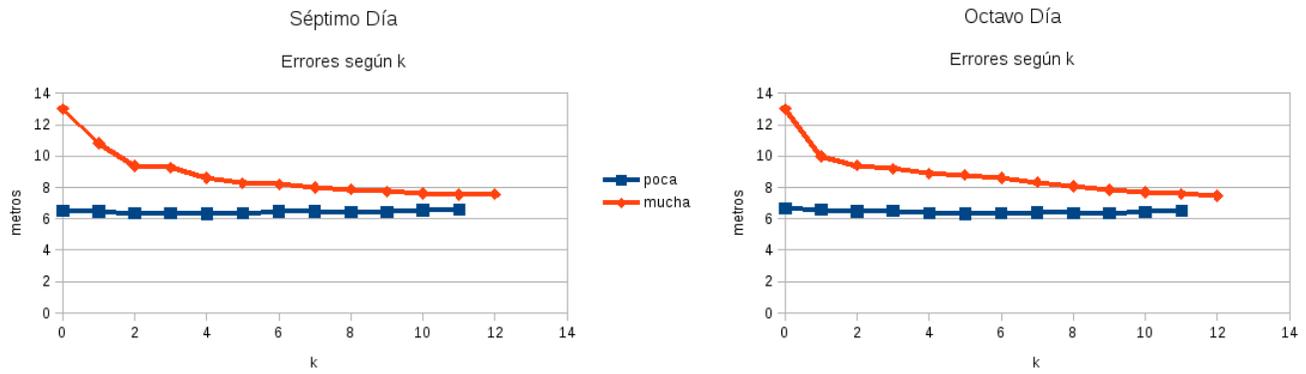


Figura 27: Error promedio según el valor de k utilizado en el séptimo y octavo día

En la figura 28 se puede ver nuevamente como la cantidad de personas presentes en el entorno afecta al posicionamiento *indoor*, en ambas gráficas la curva roja está por encima de la curva azul indicando que existe mayor error. Para el primer día, el menor error en el posicionamiento para el caso de las 9:00 se da con $k=7$ y para las 13:00 con $k=12$. Para el décimo día con $k=6$ y $k=12$ respectivamente.

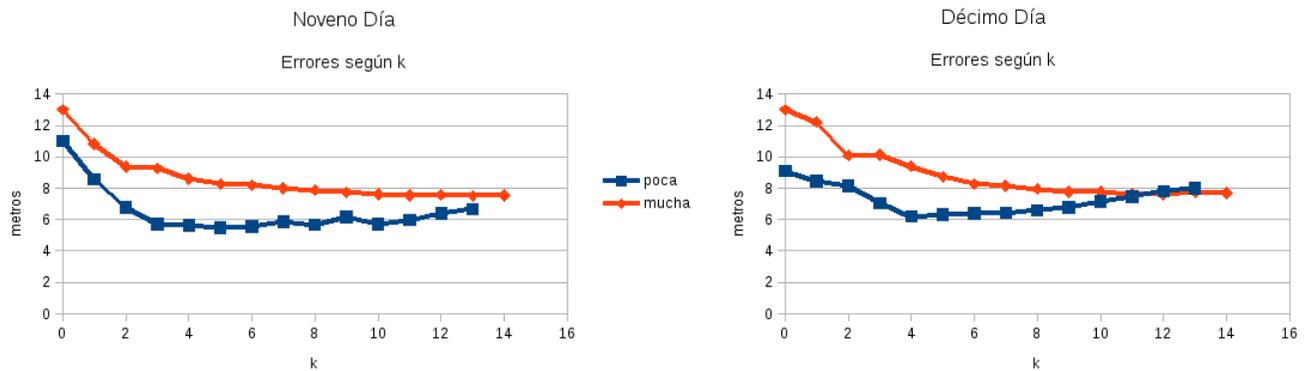


Figura 28: Error promedio según el valor de k utilizado en el noveno y décimo día

Se expone, complementariamente, la figura 29 donde se visualizan a la izquierda los errores obtenidos a las 9:00 en los 10 días y a la derecha los errores obtenidos durante ese lapso de tiempo a la hora del almuerzo. Si se observa la gráfica de la izquierda, se puede ver que los valores no convergen a un solo valor de «k». De manera similar, la gráfica de la derecha no converge a un único valor de «k».

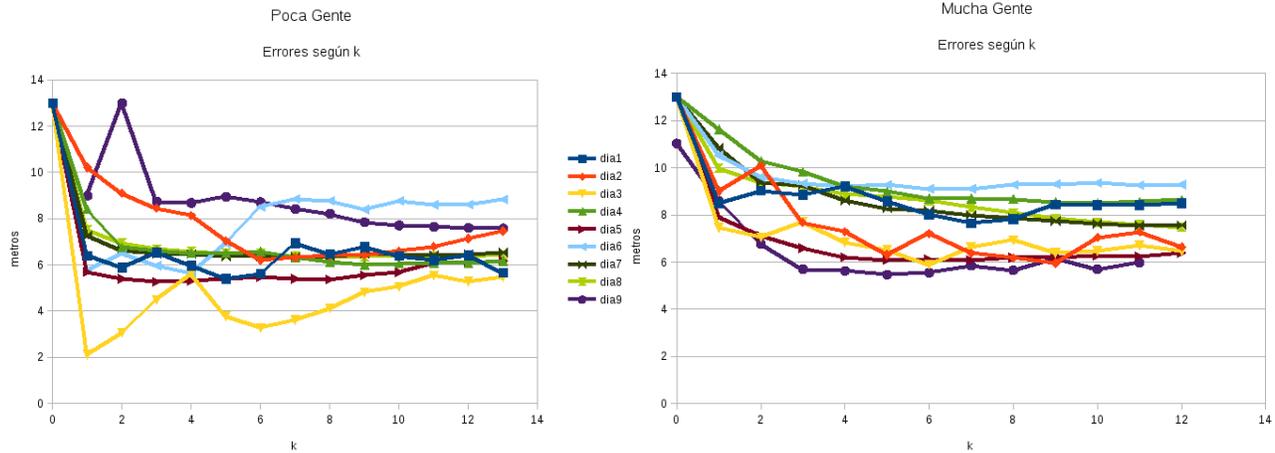


Figura 29: Errores Promedio según la k utilizada

Sin embargo, se considera que cualquier error promedio que varíe en menos de 0.2 metros del mínimo, es un valor que se puede utilizar como posible «k». El método para seleccionar la k apropiada consiste en elaborar un cuadro, el 5, en el que las filas representan el valor de «k», las columnas los días y en cada celda figura la diferencia absoluta entre el error promedio mínimo para ese día y el error promedio para esa «k». Las celdas de la última columna contienen la frecuencia de las diferencias menores a 0.2 metros que se presentan en los días de estudios; la «k» a utilizar es la moda. Así, en presencia de pocas personas debemos utilizar un valor de k=8, debido a que en 6 de los 10 días tiene una diferencia de error menor a 0.2 metros con el mínimo.

Diferencia con el mínimo en cada día, tomas de las 9:00 horas (pocas personas presentes)											
k/días	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Cant.
1	1	0.74	0	2.4	0.44	0.1	0.94	1.16	5.86	4.02	2
2	0.49	1.49	0.94	0.75	0.14	0.86	0.29	0.6	5.56	2.9	1
3	1.13	0.63	2.37	0.6	0	0.31	0.17	0.34	3.12	2.25	2
4	0.57	0.1	3.5	0.5	0.05	0	0.14	0.24	1.3	1.94	4
5	0	0.8	1.65	0.5	0.13	1.28	0.03	0.02	0.23	0.85	4
6	7.39	0.75	1.15	0.56	0.2	2.86	0.03	0.17	0.16	0	4
7	1.54	0.7	1.49	0.32	0.13	3.21	0	0.04	0	0.12	5
8	1.07	0.08	1.99	0.12	0.11	3.13	0.03	0	0.08	0.21	6
9	1.37	0	2.69	0	0.29	0.39	0.14	0.02	0.38	0.23	4
10	0.99	0.01	2.94	0.05	0.43	3.13	0.14	0.06	0.19	0.4	3
11	0.8	0.09	3.43	0.07	0.82	2.95	0.1	0.04	0.7	0.59	4
12	1.02	0.81	3.16	0.06	0.81	2.96	0.12	0.02	0.23	0.95	3
13	0.26	1.81	3.36	0.16	0.91	3.18	0.21	0.1	0.51	1.27	2
14	0.15	1.78	3.3	0.22	0.97	3.77	0.25	0.16	0.94	1.61	1
15	0.42	1.22	3.56	0.28	1.03	3.73	0.32	0.24	1.21	1.79	0

Cuadro 5: Selección de k en presencia de pocas personas

En el cuadro 6 se presenta el escenario correspondiente al horario del medio día, es decir, con muchas personas en el entorno. Para el efecto, se recurre al método previamente descrito para el caso anterior, Así, en presencia de muchas personas se utiliza un valor de k=11, debido a que en 7 de los 10 días tiene una diferencia de error menor a 0.2 metros con el mínimo.

Diferencia con el mínimo en cada día, tomas de las 13:00 horas (muchas personas presentes)											
k/días	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Cant
1	0.83	3.07	7.36	3.15	1.83	1.41	3.31	2.55	1.22	4.61	0
2	1.38	4.15	1.83	1.8	1.01	0.5	1.85	1.96	1.16	2.49	0
3	1.2	1.73	1.42	1.34	0.5	0.23	1.74	1.77	1.43	2.55	0
4	1.57	1.34	2.07	0.72	0.12	0.12	1.09	1.45	1.2	1.79	0
5	0.93	0.36	1.19	0.51	0	0.17	0.75	1.35	0.9	1.13	2
6	0.38	1.26	0.89	0.21	0.02	0	0.67	1.17	0.69	0.68	2
7	0	0.43	0.25	0.2	0	0	0.48	0.9	0.32	0.54	3
8	0.17	0.23	0.99	0.18	0.11	0.17	0.35	0.66	0.19	0.35	5
9	0.79	0	1.3	0.04	0.11	0.2	0.23	0.42	0.13	0.17	5
10	0.77	1.1	0.75	0	0.17	0.25	0.11	0.26	0.08	0.17	6
11	0.77	1.33	0.83	0.07	0.16	0.16	0.02	0.16	0.06	0.04	7
12	0.85	0.7	1.08	0.15	0.31	0.18	0.05	0.05	0	0	6
13	1.43	0.31	0.83	0.13	0.3	0.26	0	0.04	0.01	0.14	5
14	2	0.03	0.42	0.2	0.4	0.22	0.03	0.04	0.09	0.1	5
15	2.42	0.29	0	0.15	0.56	0.26	0.06	0	0.13	0.08	6

Cuadro 6: Error promedio de posicionamiento

En el cuadro 7 de 4 filas y cuyas columnas corresponden a los días, se muestra la diferencia entre el óptimo y la k seleccionada: la primera fila representa el error promedio utilizando k=11, la segunda posee los valores de error promedio mínimo hallado para cada día, en la tercera está la diferencia entre las dos primeras filas y la última fila muestra el promedio de las diferencias correspondientes a los 10 días. Al observar la tercera fila se nota que las diferencias entre los errores promedio mínimo y los errores promedio utilizando k=11 son en su mayoría menores a 0.2 m, la mayor excepción se da el segundo día en el que se tiene un error de 1.85 m; los otros dos días poseen un error menor al metro. En promedio se tiene una diferencia de 0.385 m.

Tomas de las 13:00 horas (muchas personas presentes)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Error Promedio, k=11	8.42	7.28	6.72	8.56	6.25	9.27	7.54	7.59	7.58	7.64
Error Promedio Mínimo	7.65	5.95	5.64	8.49	6.09	9.11	7.52	7.43	7.52	7.6
Diferencia	0.77	1.33	0.83	0.07	0.16	0.16	0.02	0.16	0.06	0.04
Diferencia Promedio	0.385									

Cuadro 7: Error promedio de posicionamiento

Por último, se calcula en cuánto mejora la precisión del Wi-Fi Fingerprinting utilizando los valores de k apropiados, es decir, los seleccionados mediante el método descripto. Las primeras 10 filas del cuadro 8 corresponden a los días estudiados; la primera columna contiene el error promedio en la localización para k=8 a las 9 de la mañana; la segunda presenta el error promedio para k=11 a las 13:00 horas y la diferencia entre las dos primeras columnas figura en la tercera; la cuarta columna contiene el error promedio para k=1 en presencia de pocas personas; en la quinta columna se presenta el error promedio para k=1 en presencia de muchas personas y la última posee la diferencia entre la cuarta y quinta columnas. En la última fila (promedio), la celda ubicada en la columna tres contiene la diferencia promedio del error entre los dos escenarios con los valores de «k» apropiados; la columna 6 de la misma fila contiene la diferencia promedio del error entre los dos escenarios, pero con el valor de k=1. Finalmente, la diferencia entre ambos promedios representa la mejoría en la precisión del Wi-Fi Fingerprinting cuando se utilizan los valores de k apropiados. Por lo tanto, la diferencia en la precisión es de 1.561 metros, entre ambos escenarios, al utilizar los valores de k apropiados; mientras que con un valor de k=1, la diferencia en la precisión es de 3.145 metros, obteniéndose una mejoría de 1.584 metros.

Diferencia de Precisión						
	Poca k=8	Mucha k=11	Diferencia	Poca k=1	Mucha k=1	Diferencia
1	6.47	8.42	1.95	6.4	8.48	2.08
2	5.72	7.28	1.56	5.84	9.02	3.18
3	4.11	6.72	2.61	2.12	7.47	5.35
4	6.13	8.56	2.43	8.41	11.64	3.23
5	5.37	6.25	0.88	5.7	7.92	2.22
6	8.78	9.27	0.49	5.75	10.52	4.77
7	6.36	7.54	1.18	7.27	10.83	3.56
8	6.34	7.59	1.25	7.5	9.98	2.48
9	5.55	7.58	2.03	11.33	8.74	2.59
10	6.41	7.64	1.23	10.22	12.21	1.99
Promedio			1.561			
Diferencia						3.145
						1.584

Cuadro 8: Error promedio de posicionamiento

Ante lo expuesto, se plantea que si se escoge un valor adecuado de k se puede paliar el efecto negativo que produce la presencia de personas en el entorno para la localización *indoor*. Sin embargo, se resalta que no se logra disminuir el error promedio para el escenario con muchas personas al mismo nivel que cuando existen pocas personas presentes en el ambiente, en la mayoría de los casos.

6. Conclusiones

Como culminación del presente trabajo se presentan a continuación las conclusiones finales y propuestas para trabajos futuros.

6.1. Conclusiones Finales

Este proyecto surge con el objetivo de estudiar la precisión de la localización tanto en un sistema de posicionamiento Wi-Fi como en uno basado en campo magnético, para saber cual tiene mejor precisión en un entorno con una fuerte variación de personas presentes.

En el presente artículo se expone un detallado análisis del estado del arte de los sistemas de posicionamiento de interiores; se ha estudiado su evolución histórica y se ha profundizado aún más en las dos tecnologías específicas utilizadas y analizadas en el proyecto.

En primer término, es necesaria una calibración previa para ambas tecnologías, además de la disponibilidad de los planos correspondientes a los edificios; tales planos requieren de una preparación previa para funcionar con las aplicaciones de manera a lograr la localización del usuario.

Los resultados generados al estudiar el comportamiento de la localización en interiores basada en campo magnético permiten concluir que el campo magnético no ofrece suficiente variabilidad local como para estimar la posición concreta de un objetivo en ninguna de sus dos formas, tanto por cuadrícula como por recorrido. Si bien la presencia de personas no afecta al campo magnético, la variabilidad, como ya se mencionó, es muy baja y por lo tanto este tipo de sistemas no se puede utilizar como backup de un sistema de localización que utiliza Wi-Fi *Fingerprinting* (por lo menos, para este escenario en particular). Además, en el comportamiento de los recorridos, se debe tener en cuenta que las variaciones en el campo magnético motivadas por el movimiento y el cambio de orientación del móvil que se producen inevitablemente durante los movimientos del usuario al caminar, estos cambios perturban de manera notable la forma de la curva introduciendo comportamientos anómalos en el campo magnético.

Con relación al Wi-Fi *Fingerprinting* para analizar la precisión del sistema de localización, en los dos casos estudiados, se ha verificado que el error de la medida está por encima de los 3 metros en casi todos los puntos analizados. Dicho error aún es demasiado elevado como para que el sistema sea útil en la mayoría de los casos, sin embargo lo que se pretende responder es si afecta o no la presencia de las personas a la localización basada en Wi-Fi *Fingerprinting*, la respuesta es si y la diferencia es mucho más del metro.

Se ha determinado que la elección del parámetro «k» del algoritmo KNN en sistemas de localización basados en Wi-Fi *Fingerprinting* es una buena alternativa para conseguir una mejor precisión en la localización en interiores cuando existe una gran variación en la concurrencia de personas. Sin embargo, se resalta que no se logra disminuir el error promedio al mismo nivel que cuando existen muy pocas personas presentes en el ambiente. La diferencia de precisión cuando hay mucha gente es en promedio de 2.419, y utilizando un valor adecuado de «k» se introduce una mejora promedio de 0.500 metros, teniendo una diferencia en precisión de 1.912 metros.

6.2. Trabajos Futuros

Una posibilidad que podría considerarse en futuros trabajos consiste en reiterar el análisis, pero con la generación de un mapa RSS para cuando hay alta concurrencia de personas y utilizar este mapa a la hora de hacer la localización *indoor* en horarios con muchas personas presentes y otro mapa RSS para cuando hay baja concurrencia de personas y utilizarlo, también, a la hora de hacer la localización *indoor* en horarios con pocas personas presentes. La aplicación podría almacenar los dos tipos de mapas, uno para cada caso. Así a la hora de realizar la localización, la aplicación utilizaría el mapa correspondiente según la hora; estos parámetros deberían ser configurables, para adaptarse a cualquier tipo de lugares, donde el comportamiento de la presencia de la gente no sea similar.

Referencias

- [1] Observatorio Regional de la Sociedad de la Información. (2009). Sistemas de Localización y de posicionamiento. Junta de Castilla y León. ORSI
- [2] Satellite navigation. Retrieved August 11, 2016, from https://en.wikipedia.org/wiki/Satellite_navigation
- [3] Global Positioning System. Retrieved August 11, 2016, from https://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System
- [4] Sistema de navegación Galileo. Retrieved August 11, 2016, from https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_navegacion_Galileo
- [5] Namiot, D. (2015, March). On Indoor Positioning. *Journal of Open Information Technologies*, 23-26
- [6] Bahl, P., & Padmanabhan, V. (n.d.). RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system. *Proceedings IEEE INFOCOM 2000. Conference on Computer Communications. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (Cat. No.00CH37064)*. doi:10.1109/infcom.2000.832252.

- [7] Liu, H., Darabi, H., Banerjee, P., & Liu, J. (2007). Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems. *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. C IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 37(6), 1067-1080. doi:10.1109/tsmcc.2007.905750
- [8] Das, S., & Sadhukhan, P. (2014). Performance evaluation of a LBS system delivering Location-Based Services using wireless local area network. *2014 Applications and Innovations in Mobile Computing (AIMoC)*. doi:10.1109/aimoc.2014.6785524
- [9] Nuaimi, K. A., & Kamel, H. (2011). A survey of indoor positioning systems and algorithms. *2011 International Conference on Innovations in Information Technology*. doi:10.1109/innovations.2011.5893813
- [10] Thomas, F., & Ros, L. (2005). Revisiting trilateration for robot localization. *IEEE Trans. Robot. IEEE Transactions on Robotics*, 21(1), 93-101. doi:10.1109/tro.2004.833793
- [11] Descamps-Vila, L., Pérez-Navarro, A. & Conesa, J. (2013). Integración de un sistema de posicionamiento indoor en aplicaciones SIG para dispositivo móvil. VII Jornadas de SIG libre. -Universidad de Girona (España)
- [12] Torres-Sospedra, J., Montoliu, R., Mendoza-Silva, G. M., Belmonte, O., Rambla, D., & Huerta, J. (2016). Providing Databases for Different Indoor Positioning Technologies: Pros and Cons of Magnetic Field and Wi-Fi Based Positioning. *Mobile Information Systems, 2016*, 1-22. doi:10.1155/2016/6092618
- [13] Mulloni, A., Wagner, D., Barakonyi, I., & Schmalstieg, D. (2009). Indoor Positioning and Navigation with Camera Phones. *IEEE Pervasive Comput. IEEE Pervasive Computing*, 8(2), 22-31. doi:10.1109/mprv.2009.30
- [14] Casas, R., Cuartielles, D., Marco, A., Gracia, H. J., & Falco, J. L. (2007). Hidden Issues in Deploying an Indoor Location System. *IEEE Pervasive Comput. IEEE Pervasive Computing*, 6(2), 62-69. doi:10.1109/mprv.2007.33
- [15] Woźniak, M., Odziemczyk, W., & Nagórski, K. (2013). Investigation Of Practical And Theoretical Accuracy Of Wireless Indoor Positioning System Ubisense. *Reports on Geodesy and Geoinformatics*, 95(1). doi:10.2478/rgg-2013-0011
- [16] Sohn, T., Griswold, W. G., Scott, J., Lamarca, A., Chawathe, Y., Smith, I., & Chen, M. (2006). Experiences with place lab. *Proceeding of the 28th International Conference on Software Engineering - ICSE '06*. doi:10.1145/1134285.1134351
- [17] Bolliger, P. (2008). Redpin - adaptive, zero-configuration indoor localization through user collaboration. *Proceedings of the First ACM International Workshop on Mobile Entity Localization and Tracking in GPS-less Environments - MELT '08*. doi:10.1145/1410012.1410025
- [18] Aloqaily, M., Ridhawi, I. A., Karmouch, A., & Agoulmine, N. (2009). A location-aware user tracking and prediction system. *2009 Global Information Infrastructure Symposium*. doi:10.1109/giis.2009.5307076
- [19] Kasmi, Z., Norrdine, A., & Blankenbach, J. (2015). Towards a Decentralized Magnetic Indoor Positioning System. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 15(12), 30319-30339. <http://doi.org/10.3390/s151229799>
- [20] Descamps-Vila, L., Perez-Navarro, A., & Conesa, J. (2014). RSS and Sensor Fusion Algorithms for Indoor Location Systems on Smartphones. *Connecting a Digital Europe Through Location and Place Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*, 197-214. doi:10.1007/978-3-319-03611-3_12
- [21] García-Villalonga, S., & Pérez-Navarro, A. (2015). Influencia del número de usuarios en sistemas de localización en interiores basados en Wi-Fi. *Universidad Oberta de Catalunya*
- [22] Roos, T., Myllymäki, P., Tirri, H., Misikangas, P. & Sievänen, J. (2002), A Probabilistic Approach to WLAN User Location Estimation., *International Journal of Wireless Information Networks (IJWIN)*. 9 (3) , 155-164.
- [23] Avallone, C., & Capdehourat, G. (2011). Posicionamiento indoor con señales de Wi-Fi. Proyecto final del curso de posgrado Tratamiento Estadístico de Señales
- [24] Bose, A., & Foh, C. H. (2007). A practical path loss model for indoor Wi-Fi positioning enhancement. *2007 6th International Conference on Information, Communications & Signal Processing*. doi:10.1109/icics.2007.4449717
- [25] Gu, Y., Lo, A., & Niemegeers, I. (2009). A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials IEEE Commun. Surv. Tutorials*, 11(1), 13-32. doi:10.1109/surv.2009.090103

- [26] Foerster, J. (n.d.). The effects of multipath interference on the performance of UWB systems in an indoor wireless channel. IEEE VTS 53rd Vehicular Technology Conference, Spring 2001. Proceedings (Cat. No.01CH37202). doi:10.1109/vetecs.2001.944566
- [27] Woodman, O. (2007). An introduction to inertial navigation. UCAM-CL-TR-696. Technical Report .University of Cambridge, Computer Laboratory.
- [28] Lymberopoulos, D., Liu, J., Yang, X., Choudhury, R. R., Handziski, V., & Sen, S. (2015). A realistic evaluation and comparison of indoor location technologies. Proceedings of the 14th International Conference on Information Processing in Sensor Networks - IPSN '15. doi:10.1145/2737095.2737726
- [29] Haute, T. V., Poorter, E. D., Lemic, F., Handziski, V., Wirstrom, N., Wolisz, A., & Moerman, I. (2016). Demonstration Abstract: Platform for Benchmarking RF-Based Indoor Localization Solutions. 2016 15th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN). doi:10.1109/ipsn.2016.7460670
- [30] Vandermeulen, D., Vercauteren, C., & Weyn, M. (2013, October). Indoor localization Using a Magnetic Flux Density Map of a Building. AMBIENT 2013, The Third International Conference on Ambient Computing, Applications, Services and Technologies.
- [31] Shu, Y., Bo, C., Shen, G., Zhao, C., Li, L., & Zhao, F. (2015). Magicol: Indoor Localization Using Pervasive Magnetic Field and Opportunistic Wi-Fi Sensing. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 33(7), 1443-1457. doi:10.1109/jsac.2015.2430274
- [32] Galván-Tejada, C. E., Carrasco-Jimenez, J. C., & Brena, R. (2013). Location Identification Using a Magnetic-field-based FFT Signature. Procedia Computer Science, 19, 533-539. doi:10.1016/j.procs.2013.06.071
- [33] Angermann, M., Frassl, M., Doniec, M., Julian, B. J., & Robertson, P. (2012). Characterization of the indoor magnetic field for applications in Localization and Mapping. 2012 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN). doi:10.1109/ipin.2012.6418864
- [34] Li, B., Gallagher, T., Dempster, A. G., & Rizos, C. (2012). How feasible is the use of magnetic field alone for indoor positioning? 2012 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN). doi:10.1109/ipin.2012.6418880
- [35] IndoorAtlas pioneers its location technology with passion. Retrieved August 11, 2016, from <http://www.oulu.fi/cse/node/17798>
- [36] Carrillo, D., Moreno, V., Úbeda, B., & Skarmeta, A. (2015). MagicFinger: 3D Magnetic Fingerprints for Indoor Location. Sensors, 15(7), 17168-17194. doi:10.3390/s150717168
- [37] Chung, J., Donahoe, M., Schmandt, C., Kim, I., Razavai, P., & Wiseman, M. (2011). Indoor location sensing using geo-magnetism. Proceedings of the 9th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services - MobiSys '11. doi:10.1145/1999995.2000010
- [38] Li, F., Zhao, C., Ding, G., Gong, J., Liu, C., & Zhao, F. (2012). A reliable and accurate indoor localization method using phone inertial sensors. Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing - UbiComp '12. doi:10.1145/2370216.2370280
- [39] Pérez-Navarro, A., & Ortega-González, A. (2016). Posicionamiento indoor mediante fingerprinting usando el campo magnético, para el Hospital Parc Taulí de Sabadell. Universidad Oberta de Catalunya. Proyecto Final de Máster
- [40] Wang, H., Sen, S., Elgohary, A., Farid, M., Youssef, M., & Choudhury, R. R. (2012). No need to war-drive. Proceedings of the 10th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services - MobiSys '12. doi:10.1145/2307636.2307655
- [41] Mautz, R. (2012, February). Indoor Positioning Technologies. Venia Legendi in Positioning and Engineering Geodesy. Habilitation Thesis submitted to ETH Zurich
- [42] Cypriani, M., Lassabe, F., Canalda, P., & Spies, F. (2010). Wi-Fi-based indoor positioning: Basic techniques, hybrid algorithms and open software platform. 2010 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation. doi:10.1109/ipin.2010.5648232

- [43] Yim, J., Jeong, S., Gwon, K., & Joo, J. (2010). Improvement of Kalman filters for WLAN based indoor tracking. *Expert Systems with Applications*, 37(1), 426-433. doi:10.1016/j.eswa.2009.05.047
- [44] Ingram, S., Harmer, D., & Quinlan, M. (n.d.). UltraWideBand indoor positioning systems and their use in emergencies. *PLANS 2004. Position Location and Navigation Symposium (IEEE Cat. No.04CH37556)*. doi:10.1109/plans.2004.1309063
- [45] Shala, U., & Rodriguez, A. (2011). Indoor positioning using sensor-fusion in android devices. School of Health and Society, department computer science embedded systems. Ph.D. thesis
- [46] Álvarez, J. L., López, Y. Á, Gómez, M. E., & Andrés, F. L. (2011). Evaluation of an RSS-based indoor location system. *Sensors and Actuators A: Physical*, 167(1), 110-116. doi:10.1016/j.sna.2011.02.037
- [47] Hansen, R., Thomsen, B., Thomsen, L. L., & Adamsen, F. S. (2013). SmartCampusAAU – An Open Platform Enabling Indoor Positioning and Navigation. 2013 IEEE 14th International Conference on Mobile Data Management. doi:10.1109/mdm.2013.62
- [48] Site Survey with Planner. Retrieved August 11, 2016, from <http://www.ekahau.com/>
- [49] Laoudias, C., Constantinou, G., Constantinides, M., Nicolaou, S., Zeinalipour-Yazti, D., & Panayiotou, C. G. (2012). The Airplace Indoor Positioning Platform for Android Smartphones. 2012 IEEE 13th International Conference on Mobile Data Management. doi:10.1109/mdm.2012.68
- [50] Bellón, S., Creixell, J., & Serrano, A. (2011). Look!: Framework para Aplicaciones de Realidad Aumentada en Android. Proyecto de Sistemas Informáticos - Universidad Complutense de Madrid
- [51] Brunato, M., & Battiti, R. (2005). Statistical learning theory for location fingerprinting in wireless LANs. *Computer Networks*, 47(6), 825-845. doi:10.1016/j.comnet.2004.09.004
- [52] Wang, Y., Jia, X., Lee, H.K., Li, G.Y. (2003). An indoor wireless positioning system based on WLAN infrastructure. 6th Int. Symp. on Satellite Navigation Technology Including Mobile Positioning and Location Toy Piezas: 1 Services. 22–25.
- [53] Gansemer, S., Pueschel, S., Frackowiak, R., & Grossmann, U. (2010, January). Improved RSSI-based euclidean distance positioning algorithm for large and dynamic WLAN environments. *Int. J.Comput*, 9(1), 37-44.
- [54] Lee J., Yoon C., Hyunjae P., & So J. (2013). Analysis of location estimation algorithms for Wi-Fi fingerprint-based indoor localization. *The 2nd international conference on software technology*, vol 19, pp 89–92
- [55] Ayub, S., Bahraminisaab, A., & Honary, B. (2012). A Sensor Fusion Method for Smart phone Orientation Estimation. 13th Annual Post Graduate Symposium on the Convergence of Telecommunications, Networking and Broadcasting.
- [56] Regueiro Senderos, C. (2014). Error en el posicionamiento indoor en dispositivos móviles. Universidad Oberta de Catalunya. Proyecto Final de Máster
- [57] Shopping del Sol. Retrieved December 14, 2016, from <http://www.shoppingdelsol.com.py/shopping>