

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA
ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA
Grado en Ing. Sist. de Telecom., Sonido e Imagen



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR DE GANDIA

“Diseño e implementación de un sistema
RFID para seguimiento de personas
dependientes en el hogar”

TRABAJO FINAL DE GRADO

Autor/a:

Laura Catalá Adrama

Tutor/a:

Eva Antonino Daviu

Vicente J. Julián Inglada

GANDIA, 2015

RESUMEN

Este Trabajo Final de Grado se basa en el estudio, diseño, montaje y evaluación de un sistema RFID (*Radio Frequency IDentification*) para el posicionamiento de personas dependientes dentro de edificios, a fin de proporcionar un servicio a sus habitantes. El primer paso es entender lo que son los sistemas RFID y estudiar casos de uso existentes. Después, se estudia el funcionamiento de los lectores RFID disponibles y las etiquetas (*Tags*) a rastrear; seguidamente se aprende a configurarlos y se diseña e implementa un programa que pueda establecer una comunicación con los equipos y gestionar los cálculos necesarios lo suficientemente rápido como para realizar un rastreo en tiempo real. Una vez conseguido esto, se busca el método de cálculo de distancias y de coordenadas lo más exacto posible y se corrigen los errores alcanzando la precisión necesaria. Para ello, se realizan continuamente pruebas de rastreo y posicionamiento tanto estáticos como en movimiento.

Palabras clave

RFID, posicionamiento, Sistemas Cliente/Servidor, RSSI

SUMMARY

In this final project a RFID (*Radio Frequency IDentification*) system is studied, designed, implemented and evaluated. The system aims to track and position dependent people in buildings, in order to provide different services to its inhabitants. Firstly, it is needed to understand what RFID systems are, and study real-life use cases. Later, the operation and configuration of the available RFID readers and tags is studied. Once this is accomplished, a computer program is designed and implemented. This computer program must communicate with the RFID equipment and perform the calculations fast enough so that it is possible to track items in real time. Afterwards, errors are corrected and the best formulas for calculating distances and coordinates are found, in order to facilitate the required results and precision. Throughout the process, the system is continuously tested with static and moving tracking and positioning.

Keywords

RFID, positioning, Client/Server systems, RSSI

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y ESTADO DEL ARTE	4
1.1 RFID, IDENTIFICACIÓN Y POSICIONAMIENTO	5
1.2 OTRAS TECNOLOGÍAS DE POSICIONAMIENTO	8
1.3 CÁLCULO DE COORDENADAS	9
2. RFID Y SU FUNCIONAMIENTO	14
2.1 TIPOS DE ETIQUETAS o TAGS	15
2.2 FRECUENCIAS DE TRABAJO	16
2.3 EQUIPAMIENTO UTILIZADO	17
3. PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA	23
3.1 SOFTWARE DESARROLLADO	23
3.1.1 PROTOCOLO	24
3.1.2 PROGRAMA CLIENTE/SERVIDOR	24
3.2 MONTAJE Y CONFIGURACIÓN	26
4. MEDIDAS DE CAMPO Y MEJORAS	28
4.1 ESCENARIO A	28
4.2 ESCENARIO B	31
4.3 ESCENARIO C	39
5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	48
6. BIBLIOGRAFÍA	50

1. INTRODUCCIÓN Y ESTADO DEL ARTE

El objetivo principal de este trabajo es el estudio y puesta en marcha de un sistema capaz de localizar e identificar individuos u objetos mediante tecnología RFID (*Radio Frequency IDentification*, Identificación por Radiofrecuencia). Mediante esta tecnología, será posible realizar la monitorización de personas, robots y otros objetos en varias estancias de un edificio. El propósito fundamental de la tecnología RFID es transmitir la identidad de un objeto (similar a un número de serie único) mediante ondas de radio. Las etiquetas RFID (*RFID Tag*, en inglés) son unos dispositivos pequeños, que pueden ser adheridas a superficies o incorporadas a pulseras, que los objetos a rastrear puedan incorporar fácilmente.

Con este pretexto, los objetivos derivados serán: aprender el montaje de un sistema de RFID (tanto su parte software como hardware), aprender también a realizar cálculos matemáticos de obtención de distancias y de coordenadas, realizar la puesta en marcha del sistema, y finalmente la consecución de posicionamiento de individuos dentro de edificios de la manera más correcta posible mediante pruebas y mejoras.

La metodología seguida en el TFG ha consistido en realizar pruebas de posicionamiento continuamente en diferentes escenarios e ir modificando los procedimientos según si mejoran los resultados. Primeramente se utiliza la fórmula de transmisión para calcular distancias, pero se acaba optando por la caracterización de la influencia del medio mediante pruebas empíricas. En cuanto al cálculo de coordenadas, se utiliza la técnica de trilateración para todas las pruebas.

Para la realización del sistema RFID se han seguido varios pasos. Empezamos desde cero aprendiendo sobre RFID y los casos reales en que se ha aplicado dicha tecnología. Seguidamente se estudiarán los equipos disponibles (Lectores y *Tags*) y se buscará información técnica y sobre el protocolo de comunicación utilizado por estos dispositivos, para posteriormente ponerlos en marcha. El siguiente paso es diseñar e implementar un programa en el que realizar los cálculos necesarios para el posicionamiento, que a su vez debe gestionar toda la información que se va a intercambiar entre todos los *Tags* activos y todos los Lectores que estén trabajando. Finalmente, se pondrá en marcha el sistema y se realizarán trabajos de prueba y mejora del sistema, hasta conseguir buenos ejercicios de posicionamiento y rastreo.

Se realizarán varios montajes en los que experimentar, conformando tres escenarios en tres etapas: un escenario básico, con un montaje primario, en el que realizar los trabajos previos de estudio y diseño que se acaban de explicar, otro más complejo en que ya se pondrán en marcha las primeras pruebas de posicionamiento, y finalmente el

escenario completo con todo el sistema en marcha sobre el que se harán pruebas intensivas de precisión y corrección de errores.

Los problemas encontrados han tenido que ver con los cálculos de las distancias utilizando los valores proporcionados por los Lectores, dado que de ellos no es posible calcular la potencia recibida sino un RSSI, el cual ha habido que relacionar con la distancia para obtener luego una fórmula que proporcione los valores reales de distancia dado un valor de RSSI. Otros problemas tienen que ver con el manejo de hasta seis lectores actuando a la vez y el hecho de que para el cálculo de coordenadas se necesita asignar roles a cada Lector: para poder utilizar la técnica de trilateración, un Lector se corresponde con el eje de coordenadas de esa medida. También, se debe tener cuidado con la forma en que se distribuyen los Lectores en las estancias, de manera que la cobertura sea la correcta para el correcto funcionamiento del sistema: deben haber solapes de cobertura entre los Lectores sin que estos sean excesivamente grandes como para tener que instalar demasiados lectores RFID, ni excesivamente pequeños como para tener problemas en el continuo cálculo de coordenadas.

El sistema RFID resultante de este trabajo tiene como finalidad la representación virtual de los elementos monitorizados mediante la utilización de un lenguaje de agentes inteligentes. Dichos agentes inteligentes formarán una sociedad virtual con la que gestionar las situaciones que transcurran en tiempo real en las estancias del edificio y así proporcionar servicios a los usuarios. El objetivo global de la implementación de este sistema es la supervisión y cuidado de personas dependientes con el fin de aumentar su seguridad y su autonomía.

1.1 RFID, IDENTIFICACIÓN Y POSICIONAMIENTO



Figura 1 – RFID para el cuidado de personas.

El nacimiento de los sistemas RFID lo establecen en el siglo XIX [1] cuando se empezaba a experimentar con los fundamentos del electromagnetismo de la mano

de Michael Faraday y Clerk Maxwell. Esto tiene sentido dado que el nacimiento de los RFID viene derivado de diversos avances tecnológicos. Avanzando en el tiempo, sucede el nacimiento de la Radio con la que se transmitía información a través del espectro radioeléctrico; y el Radar con el que se empezaron a determinar la posición y velocidad de objetos utilizando ondas de radio. El RFID es un sistema que une ambos conceptos. Ya en los cincuenta se utilizaban códigos para transpondedores de larga distancia en los aviones como el IFF ("*Identification, Friend or foe*") y en los sesenta los EAS ("*Electronic Article Surveillance*") que detectan la presencia o ausencia de la etiqueta identificadora de objetos para controlar el robo de artículos en establecimientos. Hoy en día, los RFID se utilizan en muchos ámbitos, como el de transportes para el tracking de objetos o vehículos, el de control de accesos y de seguridad en edificios y p rquines, en cadenas de suministro industrial y comercios, para la administración y control de artículos.

Algunos ejemplos se pueden encontrar en servicios proporcionados por la empresa americana *TransCore* [2]. Dicha empresa ha trabajado mejorando el acceso a p rquines mediante RFIDs con los que se facilita la entrada evitando a su vez colas, mediante la eliminación de la necesidad de bajar la ventanilla para pasar la tarjeta identificativa por la máquina de la entrada. Además, este sistema es fácilmente transferible entre los coches del usuario, a la vez que se controla el uso fraudulento del mismo, dado que un usuario sólo puede entrar una vez, la tarjeta sólo puede volver a usarse una vez el identificado haya abandonado la instalación. Esto es un avance en el acceso de parquin dado que el actual o más extendido método de acceso mediante tarjetas es susceptible a deterioro, requiere más tiempo para la identificación y es más tedioso y caro. De hecho, mediante la gestión de RFIDs, el sistema puede denegar el acceso mediante un sólo clic a los usuarios que por los motivos pertinentes (impago, desvinculación, etc.) ya no puedan hacer uso de las instalaciones. A esto último se podría añadir que las tarjetas con RFID pueden ser fácilmente reprogramadas y utilizadas por nuevos usuarios por muchos años más.

Otro proyecto destacable de esta empresa es la mejora del tránsito de autobuses en ciudades concurridas, como la de Nueva York. En dicha ciudad existe un cruce en el que los autobuses est n autorizados a realizar giros a la izquierda cuando los semáforos est n en rojo. El problema en este caso es que, dado el tamaño del v hculo, el autobús necesita cierto tiempo para realizar dicho giro, pero en algunas situaciones el semáforo no concede tiempos de seguridad suficientes para ello, provocando problemas en dicho tipo de intersecciones. La solución que proporciona *TransCore* es la utilización de RFID en los autobuses, indicándole al semáforo la necesidad de esperar a que el autobús realice el giro completo antes de realizar ningún cambio de la gestión del tráfico aumentando así la fiabilidad y velocidad de los autobuses. De hecho, este sistema ha sido un método de monitoreo del sistema de

autobuses en la ciudad de Nueva York, proporcionando información a tiempo real sobre los autobuses de línea.

Similarmente, se utilizan los RFID en autopistas americanas (*SunPass*) para el peaje electrónico (AET-“*All Electronic Tolling*”), evitando cualquier tipo de gestiones para el pago de peaje en carreteras concurridas. El usuario de las autopistas será identificado sin la necesidad de parar el vehículo (la lectura, pues, se puede realizar a grandes velocidades y distancias), siempre que tenga una pegatina RFID pegada en la parte alta de la luna del coche o en su defecto mediante visión artificial (registrando así el número de matrícula y realizando el cargo oportuno en la cuenta corriente asociada al vehículo).

Sin ir más lejos, en la Universidad Politécnica de Valencia se utilizan los RFID para la gestión y seguridad de los libros en la biblioteca CRAI del Campus de Gandía [3]. En esta biblioteca, mediante los RFID, se hace inventario mucho más cómodamente y se pueden localizar ejemplares mal situados, además de que simplifica el control estadístico de los ejemplares leídos en sala y facilita el proceso de préstamo.

Éstos son ejemplos generales de sistemas reales de RFID. Cuando se trata de RFID para el cuidado de personas, existen trabajos que utilizan la identificación del usuario y su posicionamiento para proporcionar un servicio a personas dependientes. Un ejemplo es el sistema presentado en el trabajo de Ahson, et al., [4] donde utilizan los RFID para ayudar a los mayores. En este caso, se trata de un sistema que avisa al usuario de que es hora de tomarse medicamentos. Una vez el usuario ha recibido el aviso, se dirige a la “Cabina de Medicamentos” que forma parte del prototipo. Allí, el sistema le dirá cuales son y cuántos medicamentos es hora de tomar. Así pues, el sistema de este ejemplo se compone por el subsistema monitor de medicamentos, el subsistema que monitorea al paciente y un PC. El subsistema monitor de medicinas está formado por los botes de medicamentos, unas etiquetas HF RFID adheridas a los mismos (véase Tabla I más adelante), un lector RFID y una báscula que pesa los botes. Si el lector RFID rastrea periódicamente los botes de medicamentos, se puede saber cuándo y qué medicamento ha sido utilizado por el paciente. La cantidad de medicamentos tomada de cada bote se puede saber en comunicación con la báscula. Cuando hay una modificación del valor en la báscula (ésta es monitoreada constantemente), es decir, se han consumido pastillas, tal cosa es comunicada al “Módulo de información” (donde se maneja toda la información). Por otra parte, el subsistema monitor de pacientes utiliza un UHF RFID (que tiene mayor alcance que el HF RFID) para determinar qué usuario necesita tomar los medicamentos y así realizar una gestión personalizada. A su vez, el PC incluido en el prototipo determina cuándo, cuáles y cuántos medicamentos debe tomar el usuario a la vez que gestiona las

interacciones entre el usuario y los medicamentos. El PC es un ordenador el Linux adaptado a las necesidades del sistema.

Ahora bien, para el cuidado inteligente de personas, es el caso del sistema presentado por Zato, et al., [5] donde se crea una organización virtual (VO o “*Virtual Organization*”) utilizando PANGEA (“*Platform for Automatic coNstruction of orGanizations of ontElligent Agents*”). En este ejemplo, mediante el cálculo de potencia de la señal recibida, detectan la proximidad de un usuario a un objeto, en este caso un ordenador, poniendo éste en funcionamiento en caso de que un usuario esté próximo. Cuando un usuario está a cierta distancia del ordenador se presupone que se dispone utilizarlo. Mediante la identificación del usuario se procede a establecer en dicha máquina la configuración idónea para el tipo de discapacidad que presenta el usuario. El sistema se gestiona mediante una sociedad inteligente estructurada de manera jerárquica con una serie de managers distribuidos de manera que el sistema no colapse pudiendo manejarse toda la información oportuna y realizarse todas las comunicaciones internas necesarias.

1.2 OTRAS TECNOLOGÍAS DE POSICIONAMIENTO

A la hora de realizar un posicionamiento preciso, a parte de RFID, se pueden utilizar distintas tecnologías como *Bluetooth* [6], WiFi [7], infrarrojos [8], *ZigBee* [9] o incluso visión artificial, por ejemplo. Sobre RFID se va hablar más y mejor en el siguiente capítulo, en este apartado se van a comentar otras tecnologías.

El funcionamiento de *Bluetooth* es similar al de la telefonía móvil: se instalan celdas *Bluetooth* y el dispositivo enlaza con ellas para realizar una comunicación. Se puede detectar a qué celda *Bluetooth* está conectado el dispositivo a rastrear y con ello realizar un posicionamiento. Esto hace que se necesite integrar un dispositivo con *Bluetooth* al objeto a rastrear, lo cual a veces no es siempre sencillo.

Por otra parte, existen sistemas que utilizan WiFi para posicionar. Mediante WiFi se utiliza una técnica de *Fingerprinting*, es decir, para este posicionamiento en radiofrecuencia se toman muestras de intensidad de señal recibida en puntos clave del edificio en el que rastrear, y esas muestras se compararán con la señal recibida del objeto a posicionar y se realizará una clasificación de entre todas las muestras, para así asociar la nueva medida a la posición donde se tomó la muestra más similar.

A parte de estas dos tecnologías están los infrarrojos. *Infrared Data Association* (IrDA) define un estándar de transmisión por infrarrojos. Un sistema que utiliza infrarrojos está formado por un receptor y un emisor de luz. Por lo tanto, un

sistema de este tipo requiere visión directa y será utilizado en situaciones donde no se requiera de un posicionamiento de alta precisión, dado que determina la posición del objeto a rastrear según el receptor que recibe su señal: se posiciona el objeto en la misma habitación que el receptor. Si se quisiera mayor precisión se pueden instalar más receptores en una misma sala y limitar su campo de recepción evitando solapes, haciendo un barrido de la estancia con varios receptores.

Por otra parte, cabe destacar las técnicas de *ZigBee* y Visión Artificial. Se denomina *ZigBee* a un conjunto de protocolos de comunicación para aplicaciones con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de baterías. *ZigBee* es un estándar ideado por *ZigBee Alliance* y es muy utilizado a día de hoy por su sencillez. Por otra parte la Visión Artificial utiliza cámaras de vídeo para recoger imágenes del emplazamiento donde se desea hacer un rastreo, para posteriormente, mediante técnicas de procesamiento de imágenes, identificar un objeto o persona. Esto se puede hacer mediante marcadores visuales o detectando siluetas, color de piel, patrones de caras, etc.

1.3 CÁLCULO DE COORDENADAS

En este trabajo es igual de importante la tecnología seleccionada como los algoritmos utilizados para el cálculo de la posición del objeto o persona a rastrear. En el presente apartado se van a comentar diferente técnicas.

Por una parte está la técnica de **conectividad**, la cual se maneja por proximidad. Esto es: bajo un rango de recepción delimitado para cada receptor, se mide si el objeto a posicionar se encuentra dentro de este rango de cobertura. Cuando esto suceda, se asume que la posición del objeto es la misma que la del receptor, la cual es conocida. Esta técnica no realiza un posicionamiento preciso, sino simbólico.

Por otro lado, existe la **triangulación** que es posiblemente la técnica más conocida, y que realiza un posicionamiento bastante más preciso. Para llevarla a cabo, se instalan unos receptores cuya posición es conocida y se mide el ángulo de recepción de la señal a rastrear. Por ello, es necesario utilizar antenas direccionales en los receptores, las cuales al recibir la señal determinan la dirección con respecto al receptor en la que se encuentra el objeto. Entonces, se traza una recta en dicha dirección y teniendo varios receptores se tendrán varias rectas que interseccionarán en un punto, que es la localización del emisor. Esto se puede conseguir con sólo dos receptores, y la distancia entre ellos es conocida, con lo que se conoce un lado del

triángulo formado. El otro parámetro conocido que se necesita para estimar las coordenadas de posicionamiento son los ángulos que forman las líneas trazadas hacia el emisor con la línea que une a los receptores (ver Figura 2). Seguidamente, se necesitan sencillos cálculos para determinar las distancias entre el emisor y los receptores, para calcular después la posición real del objeto.

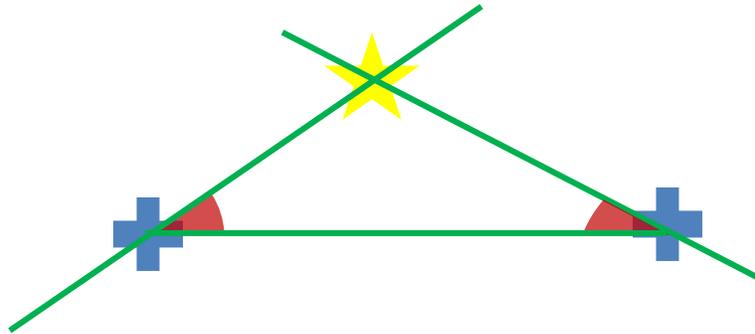


Figura 2 - Triangulación

Similarmente, se encuentra la **trilateración**. Ésta es más adecuada para este proyecto, dado que las antenas a utilizar no son direccionales, por lo que no se pueden manejar ángulos de recepción de señal. La trilateración utiliza, sin embargo, distancias entre el objeto emisor y el receptor de señal, para calcular las coordenadas. Para tal cosa, se necesitan al menos tres receptores, para representar tres esferas con radio la distancia entre emisor y receptor (ver Figura 3). El punto donde se cruzan las tres esferas, es la posición del objeto. Si no se dispusiera de tres receptores, las esferas se cruzarían en dos puntos y se trataría de descartar el punto incorrecto. Si sólo se dispone de un receptor, únicamente se puede conocer el radio en el que encuentra el objeto, y no un punto en concreto.

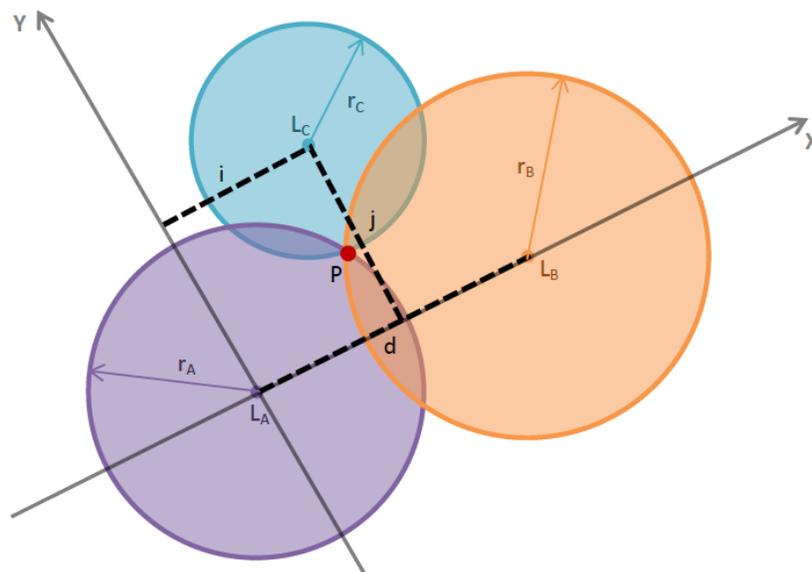


Figura 3 - Trilateración

Para calcular estas distancias (los radios de las esferas) se puede utilizar la fórmula de la ecuación de transmisión (o fórmula de Friis) aprovechando el principio de pérdidas según la distancia, y la potencia de señal enviada y recibida. Así, en la ecuación (1) se tiene que la potencia recibida PW_A es proporcional a la potencia del transmisor PW_p multiplicado por la ganancia del transmisor G_p y la ganancia del receptor G_A , y es inversamente proporcional al cuadrado de 4π por la distancia al punto P, dividido entre lambda (longitud de onda de trabajo).

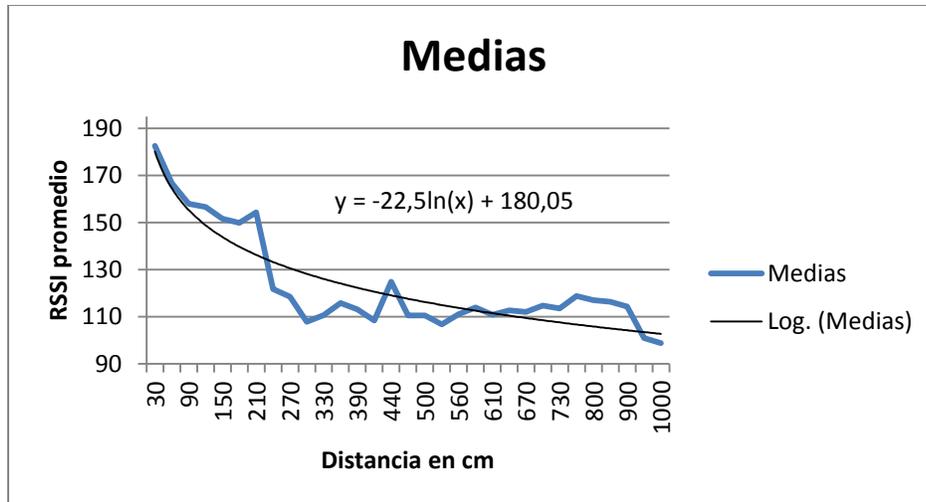
$$PW_A = \frac{PW_p \times G_p \times G_A}{\left(\frac{4\pi \times d_{AP}}{\lambda}\right)^2}; \quad (1)$$

De la ecuación (1) se puede despejar la distancia del receptor al emisor (del lector RFID al punto P, que es el *Tag*) y dicho proceso se puede observar en la ecuación (2).

$$d_{AP} = \frac{\sqrt{PW_p * G_p * G_A}}{\sqrt{PW_A} * \frac{4\pi}{\lambda}} = \frac{\lambda}{4\pi} * 10^{\frac{PW_A - PW_p - G_p - G_A}{20}}; \quad (2)$$

En este proyecto se experimenta con esta fórmula, pero dadas las dificultades ofrecidas por la falta de información del fabricante sobre la relación entre el RSSI recibido y la potencia real, se decide pasar a esta otra técnica: la caracterización de la influencia del medio mediante la representación empírica en una curva de la relación entre la distancia y el RSSI. De dicha curva se saca la línea de tendencia y la fórmula que más se ajuste a ella. De esa fórmula se despeja la distancia y se relaciona con el RSSI recibido.

Con tal de elaborar la gráfica empírica de RSSI vs. distancia, se toman medidas de RSSI alrededor del Lector a caracterizar, en círculos, conociendo en todo momento la distancia al Lector. Entonces, para cada distancia tomada, se obtendrá una gráfica y de todas las muestras se obtendrá la media. De todas las medias se obtendrá una gráfica como esta:



Gráfica 1 - Gráfica ejemplo: Gráfica empírica de RSSI medido vs. Distancia.

De la línea de tendencia se despeja la distancia y se procede a calcular distancias con RSSI. De esta manera tenemos la caracterización empírica de la influencia del medio en la transmisión de señal del *Tag* al Lector.

Con cualquiera de estos dos métodos se obtienen distancias. Una vez obtenidas estas, se procede a realizar cálculos matemáticos para hallar las coordenadas relativas del *Tag*.

En este trabajo se ha utilizado, como se ha comentado, la trilateración. De la Figura 3 sobre la trilateración se obtiene que, para el cálculo de las coordenadas y según las fórmulas que relacionan esferas tangentes, se pueden calcular las coordenadas X, Y, y Z con:

$$r^2 = (x - a)^2 + (y - b)^2 + (z - c)^2; \quad (3)$$

$$x = \frac{d_{AP}^2 - d_{BP}^2 + h}{2h}; \quad y = \frac{d_{AP}^2 - d_{CP}^2 + i^2 + j^2}{2 * j} - \frac{i}{j} * x; \quad z = \sqrt{d_{AP}^2 - x^2 - y^2}; \quad (4)$$

Siendo en la ecuación de la esfera (3) r el radio de la esfera; x , y , y z las coordenadas de la ecuación; y a , b , y c el desplazamiento del centro de la esfera con respecto al eje de coordenadas. Así, para hallar las coordenadas, en la ecuación (4) se tienen las tres esferas de la Figura 3 con la esfera A situada en el centro del eje de coordenadas, la esfera B desplazada del eje a una distancia h en el eje X, y la esfera C desplazada del eje a una distancia i en X y j en Y. De estas tres esferas se busca el punto en el que intersectan P, por lo que se tienen tres ecuaciones y tres incógnitas. Despejando de las fórmulas, se obtienen sus coordenadas X, Y, y Z.

Ahora bien, cuando se tienen sólo dos esferas, el cálculo de X, Y, y Z se complica. Con lo que se obtienen dos puntos de intersección (dos coordenadas Y), dadas por (5):

$$x = \frac{d_{AP}^2 - d_{BP}^2 + h}{2h}; y = \sqrt{d_{BP}^2 - (x - h)^2}; \quad (5)$$

Por otra parte, cuando se tiene sólo una esfera, el cálculo de X, Y, y Z se dificulta tanto que se puede calcular únicamente una esfera.

Llegados a este punto, se han comentado las aplicaciones, tecnologías, y métodos a utilizar en este proyecto. Se procede, entonces, a entrar en el cuerpo del trabajo y a profundizar en los detalles del proceso seguido, de los equipos utilizados y de los cálculos realizados.

2. RFID Y SU FUNCIONAMIENTO

Para entender un poco mejor el funcionamiento de los RFID, en [10] destacan las partes de las que se compone un sistema de este tipo, que son:

- El *Tag* RFID (o etiqueta) que contiene la información identificadora.
- El lector RFID que pueden leer y escribir la información de los *Tags*.
- Las bases de datos que asocian la información identificativa con la información correspondiente a la identidad. Es decir, un listado en el que se indica a qué pertenece cada identificador.

La forma en que interactúan estos componentes sigue casi el orden en que se han presentado, es decir, las etiquetas son leídas por los lectores una vez entran en su rango de visibilidad y se lee en la base de datos la información relativa al objeto o persona que lleva cada *Tag*.

Por su parte, cada *Tag* o etiqueta es adherido o acoplado a objetos o personas a identificar por el sistema. Estas etiquetas están formadas por una antena o elemento acoplado y un circuito integrado. Dicho circuito se estampa en la antena a la hora de fabricar la etiqueta, y ambos son finalmente incluidos en el producto final. El proceso mediante el cual se realiza el estampado o ensamblaje varía según el tipo de *Tag* y el fabricante.

Hay una gran diversidad de etiquetas con diferentes funcionalidades, trabajan a diferentes frecuencias de radio y pueden ser alimentadas con una pequeña batería o recogiendo la energía necesaria desde la señal en radiofrecuencia. En este último caso, la etiqueta depende enteramente del lector para funcionar y son denominadas etiquetas pasivas. Por otra parte, cuando la etiqueta se alimenta independientemente llevando una batería, se le denomina etiqueta activa. Además, una funcionalidad muy distintiva de los *Tags* RFID es la capacidad de almacenar información en la propia etiqueta, es decir, que ésta incluya una memoria interna.

Por otro lado, los lectores RFID son los que se comunican con los *Tags* mediante un canal de radiofrecuencia. El sistema puede complicarse de manera que cuando se trata de más de una etiqueta el lector debe seguir un protocolo que evite colisiones en el intercambio de información. Además, la manera que tienen de comunicarse puede ser en un único sentido o ambos.

También podemos encontrar una gran variedad de lectores RFID en el mercado, dado que, como los *Tags*, pueden funcionar a distintas frecuencias y proporcionar diferentes funcionalidades, tener su memoria interna, un consumo de energía específico

y trabajar con diferentes posibilidades de conectividad. La combinación de estas características hace que el lector pueda ser muy simple o muy complejo.

A su vez, las bases de datos pueden ser útiles cuando no disponemos de la información necesaria en la etiqueta y sea necesario asociar lo que sea leído en los *Tags* a otro tipo de información relevante sita en una base de datos. De esto se desprende que es importante disponer de una conexión segura a la hora de acceder a esta información. Para gestionar este aspecto existen las llamadas ONS (“*Object Naming Service*”) que ayuda al lector de etiquetas a encontrar un grupo de bases de datos con información asociada a un identificador particular. Este sistema es similar al conocido DNS para Internet (“*Domain Naming Service*”) que trabaja con nombres de dominio para agilizar las búsquedas de información.

2.1 TIPOS DE ETIQUETAS o TAGS

Según su fuente de alimentación existen etiquetas pasivas, semipasivas y activas. Además, cada etiqueta tiene un código único de 8 bits que sirve como número identificativo.

Las etiquetas activas disponen de su propia fuente de alimentación a través de baterías. Estas etiquetas pueden tener la capacidad de comunicarse directamente con el lector (útil en situaciones de emergencia, por ejemplo) o con otras etiquetas de su tipo. Gracias a su fuente de energía, pueden hacer uso de mayor potencia y por tanto tienen un mayor alcance.

Por su parte, las *Tags* semipasivas (pese a tener una batería interna) no son capaces de iniciar la comunicación con los lectores u otras etiquetas, aunque pueden disponer de un alto rango de alcance. Es decir, su estado semipasivo significa que sólo están activas cuando un lector inicia la comunicación con ellas, con lo que pudiendo ser leídas a grandes distancias tienen la capacidad de ahorrar energía.

En contraste, las etiquetas pasivas no incluyen su fuente de alimentación, sino que extraen la energía necesaria para su actividad de la señal en radiofrecuencia que les llega del lector. Esta energía es inducida cuando se trata de bajas frecuencias, mientras que cuando se trata de altas frecuencias dicha energía es extraída mediante un sistema capacitivo. Aunque son las *Tags* con menor rango de alcance y no pueden iniciar comunicación con los demás dispositivos, resultan ser las etiquetas más baratas de entre los tres tipos de etiquetas descritos y las más pequeñas.

2.2 FRECUENCIAS DE TRABAJO

Como se ha venido comentando, los diferentes RFID pueden trabajar a diferentes bandas de frecuencia. Dependiendo de la frecuencia, se dispondrá de un rango en que es posible la lectura del *Tag* por parte de un lector RFID, y se determinará el tamaño o tipo de antena con el que se podrá transmitir o recibir a dicha frecuencia. En la Tabla I, se muestran los rangos típicos de frecuencia y su distancia máxima de lectura, además del tipo de etiquetas son las más comúnmente utilizadas para cada uno de los rangos de frecuencias:

Bandas de frecuencia	Frecuencias	Distancia de lectura				Estándar
		Pasivo		Activo		
Baja Frecuencia (LF)	120-140 KHz	< 20 cm	✓	< 1 m		ISO 18000-2
Alta Frecuencia (HF)	13.56 MHz	< 20cm	✓	< 1m		ISO 18000-3
Ultra Alta Frecuencia (UHF)	433 & 868-928 MHz	< 3 m	✓	< 100 m	✓	ISO 18000-7 & 18000-6
Microondas	2.45-5.8 GHz	< 3 m		< 200 m	✓	ISO 18000-4
Banda Ultra Ancha (UWB)	3.1-10.6 GHz	< 10 m		< 200 m	✓	

Tabla I - Bandas de frecuencia para RFID, distancias máximas y estándares [10] [11] [12].

Aunque a frecuencias bajas se necesitan antenas más grandes, las etiquetas activas son siempre más grandes que las pasivas, puesto que necesitan de una batería. Además, se aprecia que a mayores frecuencias mayor alcance. La correcta lectura del *Tag* se realizará a una distancia dentro del rango indicado, con una orientación correcta según la polarización de la antena del receptor/emisor y con la menor cantidad de interferencias posible procedente de objetos y aparatos del entorno. Estas distancias que aparecen en la Tabla I van variando según avanza la tecnología y según el fabricante.

Si se observan las bajas frecuencias (LF: 120-140 KHz), éstas son las menos afectadas por la presencia de agua o por entornos toscos, pero tienen problemas cuando hay varios *Tags* a gestionar. Este último aspecto viene determinado por la velocidad de lectura, que es bajo a estas frecuencias. Las HF (13.56 MHz), sin embargo, son más sensibles a problemas causados por el entorno, pero pueden ser leídas a mayor distancia, son más pequeñas y menos sensibles a aglomeraciones de *Tags*. Para el caso de las UHF (433 & 868-928 MHz), la influencia del medio en la recepción de la señal procedente de las etiquetas brinda problemas dado que es una

banda utilizada comúnmente por otros dispositivos y por la gran distorsión que sufren en las inmediaciones de metales. Utilizando Microondas y UWB (2.45-5.8 GHz & 3.1-10.6 GHz, respectivamente) se pueden alcanzar velocidades de lectura mayores, tienen menos problemas ante la mayoría de obstáculos (excepto por metales y agua), obtienen un menor consumo (la señal es más débil), interfieren menos con los demás aparatos, y ofrecen un mayor alcance de lectura, pero presentan un mayor coste de fabricación.

Además de los estándares ISO [13] vistos en la Tabla I se tienen los estándares de *EPCglobal* [14], y las ISO/IEC 14443 [15] y ISO/IEC 15693 [16] para la banda de alta frecuencia.

En la siguiente tabla (Tabla II), se pueden ver los usos típicos o más extendidos de las etiquetas según su frecuencia:

Bandas de frecuencia	Usos
Baja Frecuencia (LF)	Control de accesos, chips en animales, gestión de prendas en lavanderías, control de productos en comercios.
Alta Frecuencia (HF)	Librerías, equipajes, tarjetas inteligentes,
Ultra Alta Frecuencia (UHF)	Logística en grandes superficies, pago de peaje en autopistas sin parada, control de acceso a párquines.
Microonda y Banda Ultra Ancha (UWB)	Identificación en hospitales, identificación de equipaje y pago de peaje en autopistas sin parada.

Tabla II - Usos de RFID según frecuencia de trabajo [10] [11].

2.3 EQUIPAMIENTO UTILIZADO

Se dispone de un total de seis lectores RFID y de cinco *Tags* activas, los cuales como hemos visto tienen unas características de transmisión que los definen y que son determinantes a la hora de calcular la posición del objeto a rastrear.

2.3.1 CARACTERÍSTICAS DEL TAG

El *Tag* disponible es de la marca SYRIS, en concreto el modelo SYTAG245-2K (véase Figura 4). Se trata de una pequeña unidad de 42mm x 30mm x 10mm, que se alimenta con una única pila de botón del tipo CR2032 de 3V. Dispone de la posibilidad de engancharse con un llavero para su transporte diario.

El *Tag* tiene un identificador de 64 bits (característica principal del mismo), tiene una memoria de 2 kbytes, puede ser configurado por comandos, y tiene un botón de alarma/llamada, el cual, una vez pulsado, transmite la información de dicha situación al receptor de sus mensajes. Además, posee una luz LED parpadeante que indica su estado de funcionamiento. Para más información consultar el ANEXO I.

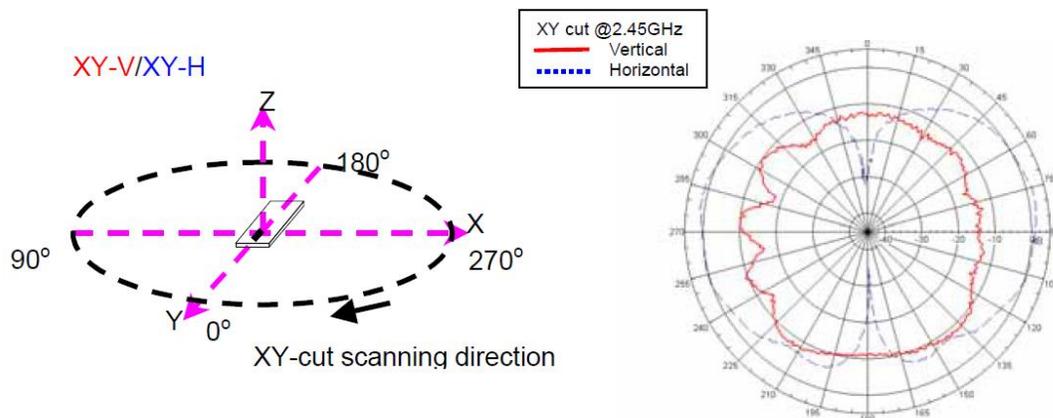
Dichas estas características, cabe pasar a comentar los aspectos más técnicos de estos *Tags*.



Figura 4- *Tag* SYTAG245-2K de SYRIS.

La antena incluida en el *Tag* SYTAG245-2K es de la clase AT7020 Series Multilayer Chip Antenna. Sus dimensiones son de 7.0× 2.0 mm, consume un máximo de 3W, tienen una impedancia de 50 Ω, y su ganancia de pico es de 2dBi (siendo la ganancia media de 0.5dBi). Esta antena trabaja en un rango de frecuencias entre 2400MHz y 2500MHz y tiene una VSWR de 2W como máximo.

Dicha antena tiene diferentes patrones de radiación, con respecto a su orientación y su frecuencia de trabajo. Dado que los lectores RFID van a trabajar en una frecuencia de 2.45GHz, los patrones de radiación se pueden observar a continuación en la Figura 5:



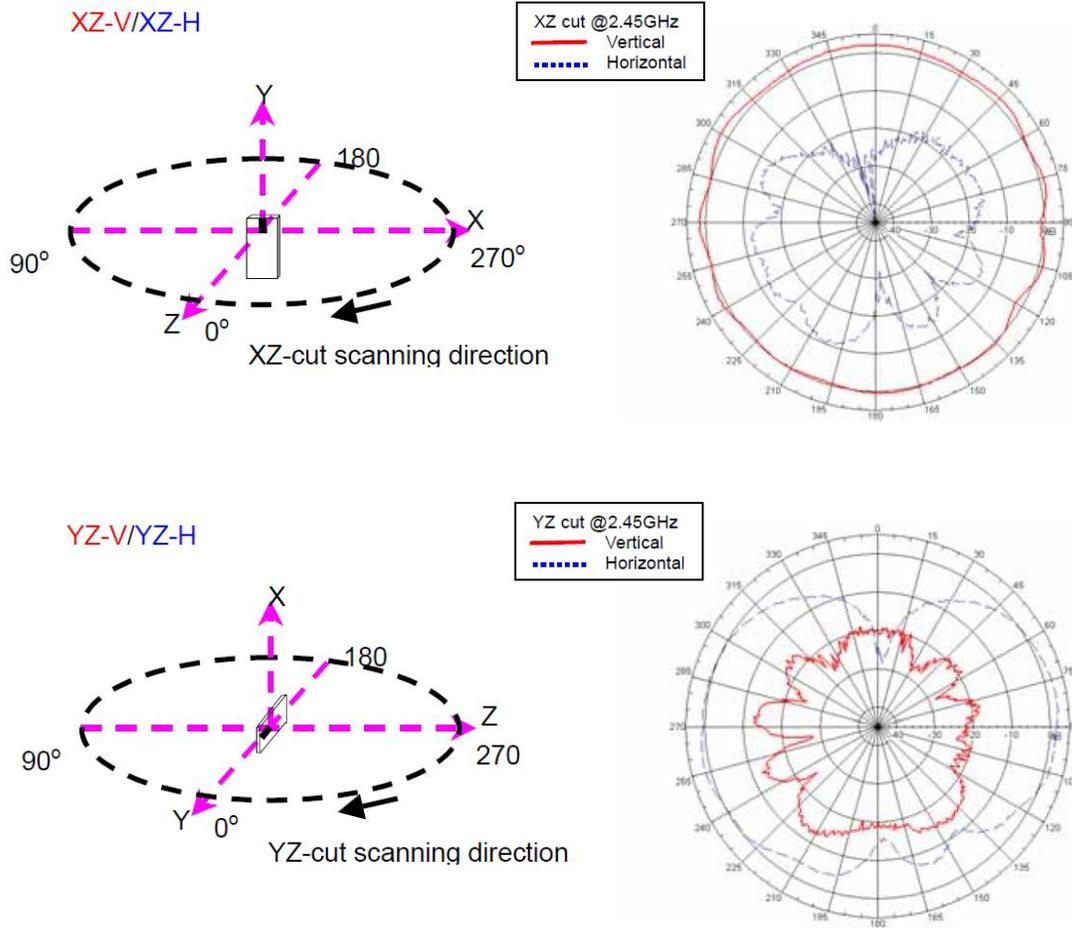


Figura 5 - Patrones de Radiación de la Antena del Tag.

De estos diagramas de polarización se pueden extraer varias particularidades. Se puede observar, por ejemplo, que destaca un diagrama de polarización del resto, con respecto a la polarización vertical. Se trata del caso en que tenemos el *Tag* orientado verticalmente, y realizamos un corte en el plano X-Z. Se puede observar un patrón omnidireccional casi isotrópico. Sin embargo, para la misma situación pero en polarización horizontal, el patrón es más irregular y con forma bilobular. En contraste, los otros dos casos (cuando orientamos el *Tag* horizontalmente) tienen un patrón bilobular con respecto a su polarización horizontal e irregularidades con la polarización vertical.

2.3.2 CARACTERÍSTICAS DEL LECTOR

Los lectores RFID utilizados también son de la marca SYRIS, en concreto el modelo SYRD245-1N mostrado en la Figura 6. Se trata de un lector activo de tamaño 107mm x 188mm x 30mm, que consume 7.5VDC~ 28VDC, y puede leer *Tags* hasta 13m. Trabaja a frecuencias entre 2.4 y 2.48 GHz (su frecuencia de trabajo estándar es de 2.45GHz), y puede ser fácilmente programado.

Para casos de más de un *Tag*, este lector tiene activado un protocolo anticollisiones, evitando así problemas de colapso. Los protocolos de comunicación disponibles son TCP (cliente o servidor) y UDP, siendo además compatible con ICMP, ARP, IP, DHCP y HTTP (véase ANEXO II).



Figura 6 - Lector RFID SYRD245-1N de SYRIS.

Tiene dos tipos de indicadores (véase Figura 7), y dos colores para cada tipo (el verde y el amarillo). Un tipo de indicadores marcan la existencia de un enlace activo, y el otro tipo de indicadores muestran si el lector está encendido y si se está recibiendo datos por parte de un *Tag*.

Cuando existe un enlace activo se enciende el indicador amarillo. Un enlace se activa cuando existe la posibilidad de comunicación entre el lector y un dispositivo (como un ordenador), ya sea a través del conector RJ-45 o el RS232. Si a través del enlace activo se recibe o se envía información, la luz verde correspondiente parpadeará en el momento de la recepción o del envío.

Por otro lado, hay un indicador amarillo que se ilumina cuando el Lector está operativo (encendido y listo para recibir información del Lector). Si parpadea la luz verde, se indica que se está recibiendo o enviando información de o hacia un *Tag* en ese momento.

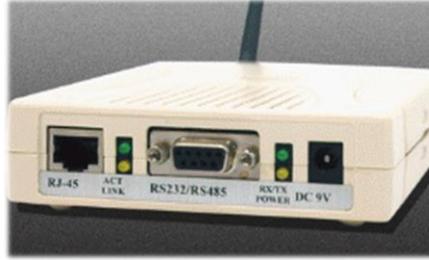


Figura 7 - Indicadores Lector RFID.

La antena del lector es un dipolo que trabaja en un rango de frecuencias entre los 2.4 GHz y los 2.5 GHz, tiene un SWR menor a 2.0, una Ganancia de $2.0\text{dBi} \pm 0.5\text{dBi}$ y una impedancia de 50Ω . El material es TPE (elastómeros termoplásticos) de color negro en el exterior y de cobre en su interior. Puede adquirir hasta tres posiciones con respecto al ángulo que forma con el cuerpo del Lector, que son: 0° , 90° , y 135° . Véase la Figura 8.

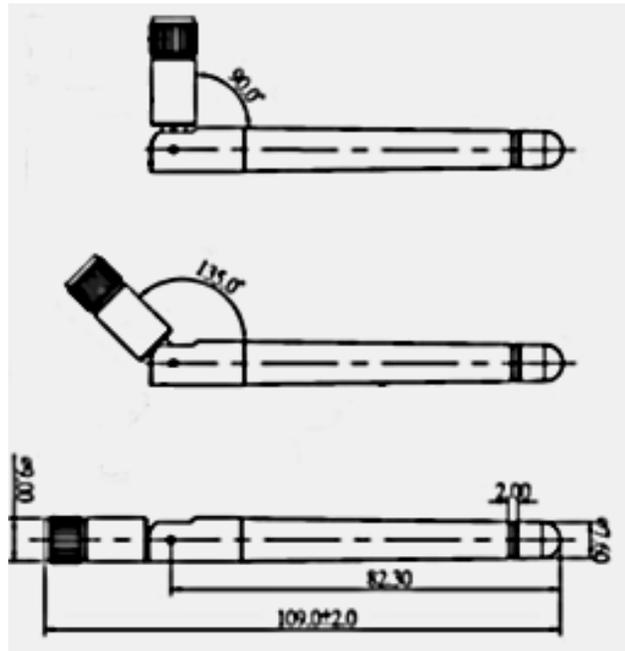


Figura 8 - Forma y Posiciones Posibles de la Antena del Lector.

El patrón de radiación de esta antena es omnidireccional y a la frecuencia de trabajo de 2.45GHz es el que se muestra en la Figura 9. En el plano horizontal, se tiene una ganancia media para la polarización vertical de 1.4dBi , para la polarización horizontal de -26.4dBi . Por otro lado, en el plano vertical se puede observar que la ganancia media en la polarización vertical es de -6.8dBi , y de -0.8dBi en la polarización horizontal, obteniendo una ganancia media total de -0.5dBi .

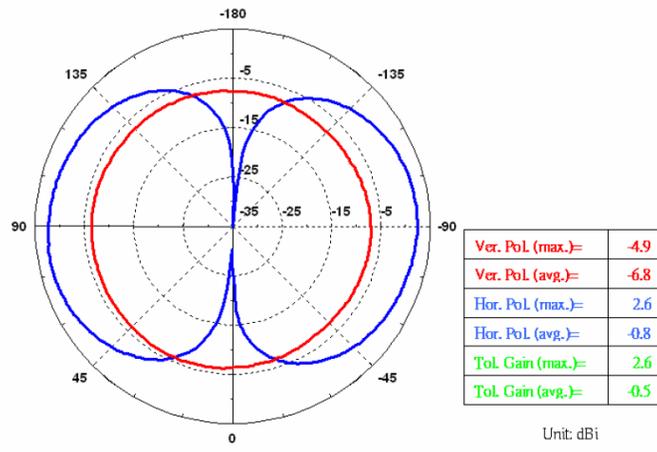
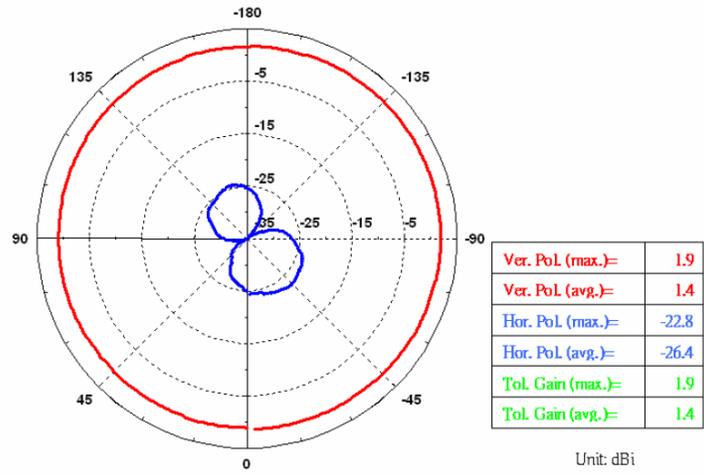


Figura 9 - Patrón de Radiación de la Antena del Lector.

3. PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA

En este apartado se va a explicar cómo se ha procedido a la puesta en marcha del sistema, el software diseñado para tal fin y la forma en que se han configurado los equipos para su manejo y gestión desde un ordenador personal en el que se van a ir calculando las posiciones del objeto a rastrear a través de la información recibida del sistema.

3.1 SOFTWARE DESARROLLADO

Para el funcionamiento de este sistema, ha sido necesario crear un programa en Java que gestione todos los eventos necesarios para calcular la posición del *Tag*, siendo imprescindible poder hacerlo de manera veloz y eficiente. El calculador de posiciones debe poder identificar cada uno de los lectores RFID, su posición, la posición relativa entre ellos, y poder diferenciar entre cada *Tag* y posicionarlo individualmente de manera correcta.

A la hora de diseñar un programa que realice estas operaciones, es necesario saber que el dispositivo desde el que recibir la información para todos los procesos es el lector RFID. Éste tiene varias posibilidades de comunicación por sockets: con el lector RFID trabajando como Servidor TCP, como Cliente TCP, y en modo UDP.

El modo UDP es interesante cuando se quiere que el Lector se comunique con diferentes ordenadores y es indiferente la seguridad o integridad en el envío de mensajes; pero no es lo que se quiere realizar en este trabajo.

El modo de Servidor TCP, por su parte, es válido si quisiéramos conectar a un lector RFID diferentes dispositivos, pero tampoco se trata de eso en este proyecto.

Por tanto, la metodología escogida para trabajar con el lector RFID es el modo Cliente TCP. Así, se necesita un Servidor TCP en el ordenador central, al que los Lectores deben conectarse y al que enviarle la información recibida del *Tag*.

3.1.1 PROTOCOLO

Para establecer la comunicación mencionada, existe un manual de protocolo realizado por la marca SYRIS para los modelos de lector RFID englobados en la serie SYRD245. Con el *Tag* y el Lector disponibles se pueden realizar gran variedad de consultas y modificaciones. Sin embargo, lo necesario en este caso es el ID del *Tag*, y el valor de la potencia con la que el lector RFID recibe su señal.

El protocolo define un formato de mensajes de la forma:

$$\underline{\text{STX} + \text{INS} + \text{DATO}_1, \text{DATO}_2, \dots \text{DATO}_n + \text{BCC} + \text{END}}$$

Siendo BCC:

$$\underline{\text{BCC} = \text{STX} \text{ xor } \text{INS} \text{ xor } \text{DATO}_1, \text{DATO}_2, \dots \text{DATO}_n}$$

En concreto, para la recepción de la información almacenada en el búfer del Lector RFID, la cual contiene el número de serie (ID) del *Tag*, junto con la RSSI (el cual es un indicador del nivel de señal recibido, comprendido entre 0 y 255) y la LQI (que determina la calidad del enlace, también comprendido entre 0 y 255), se utiliza el siguiente mensaje:

$$\underline{\text{STX} + \text{INS} + \text{BCC} + \text{END}} \\ \underline{[01]_{\text{hex}} + \text{"C"}_{\text{char}} + [01 \text{ xor } 63]_{\text{hex}} + [0D]_{\text{hex}}}$$

Se puede observar que la primera parte del mensaje, la cabecera, es el valor 0x01 en hexadecimal, seguidamente se encuentra la instrucción que en este caso es el caracter en ASCII "C", después está BCC cuyo valor es la XOR de las instrucciones anteriores, y finalmente se termina el mensaje con el valor 0x0D en formato hexadecimal (el delimitador).

3.1.2 PROGRAMA CLIENTE/SERVIDOR

La metodología utilizada es la de Cliente/Servidor TCP, como ya se ha introducido anteriormente. En concreto, el Cliente son los lectores RFID y el Servidor estará hospedado en un ordenador personal.

Es necesario gestionar por separado cada *Tag* diferente que los lectores RFID encuentren, y los datos recibidos de los Lectores de tal manera que para cada

Tag se calculen unas coordenadas lo más precisas posible. La forma en que se distribuyen las clases se puede observar en la Figura 10. Primeramente, los Lectores se encienden y, independientemente de la presencia de etiquetas, se intentan conectar a un servidor (inician ellos la comunicación). El servidor gestiona las conexiones (los sockets) y para cada lector crea un objeto de la clase Lector. Por lo tanto, servidores sólo hay uno y lectores pueden haber varios. Los objetos Lector se comunican directamente con los lectores RFID y manejan toda la información que su representado necesita. Los Lectores se comunican con cada *Tag* que entre dentro de su radio de cobertura. Cada Lector no sabe si otro Lector ha visto el *Tag* por lo que llama al Gestor. Gestores sólo hay uno y lo crea el Servidor. El Gestor, entonces, crea una lista de objetos de la clase *Tag* que se va modificando cuando un Lector recibe de un nuevo *Tag* o cuando un *Tag* desaparece del rango de cobertura de todos los lectores. Los objetos *Tag* representan los *Tag* presentes en el sistema, y cada uno tiene un calculador de coordenadas para el que se necesita saber cuántos lectores están recibiendo de este *Tag*. La calculadora de coordenadas, modifica la información de cada *Tag* cuando calcula unas nuevas coordenadas.

Así pues, las líneas continuas representan la creación de un objeto y las líneas de puntos representan el intercambio de información entre objetos. Por otra parte las líneas discontinuas representan la comunicación entre equipos reales.

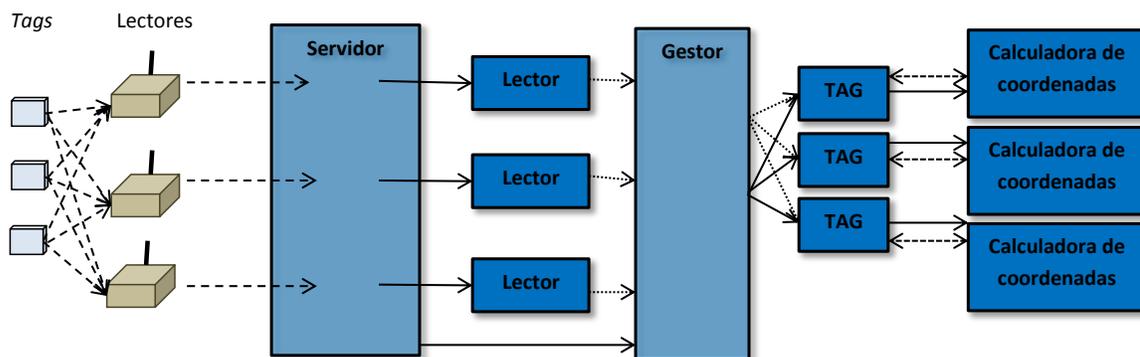


Figura 10 - Diagrama de clases simple.

Por otra parte, el diagrama de flujos (que ya se puede intuir), se representa en la Figura 11. El Servidor, una vez puesto en marcha, queda a la espera de nuevas conexiones. Un lector RFID, cuando empieza a funcionar, envía una petición al servidor. Cuando el Servidor recibe un nuevo cliente, crea un nuevo Lector. Este lector empieza a intentar comunicarse con *Tags*, continuamente. Cuando el lector recibe información de un *Tag*, inmediatamente contacta con el Gestor y le proporciona la información recibida: identificador y RSSI. Si se trata de un nuevo *Tag*, el Gestor lo añade, si no, lo modifica. Cada vez que se modifica un

Tag, se le proporciona información sobre el lector del que se recibe la RSSI y la RSSI en cuestión. Así, un *Tag* tiene una lista de los denominados “lectores activos”, que son los que reciben señal de ese *Tag* y con los que calcular la posición. El *Tag* lleva asociado un objeto Calculadora de Coordenadas personalizado, el cual, con la información sobre el *Tag*, realiza todos los cálculos.

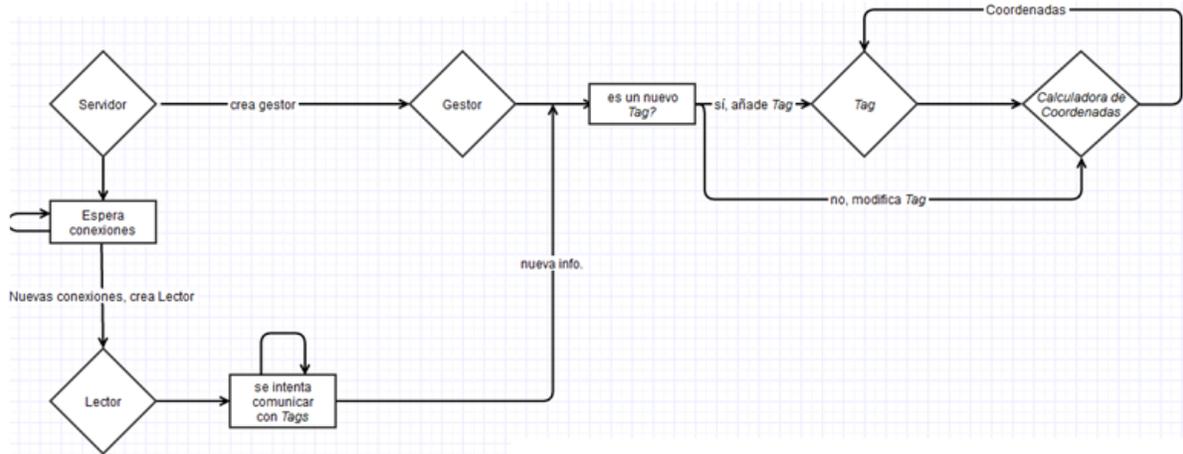


Figura 11 - Diagrama de flujo.

3.2 MONTAJE Y CONFIGURACIÓN

Hasta aquí se ha concretado la parte software del sistema, por lo que en este apartado cabe comentar la parte física del mismo. Se ha comentado que se trata de una configuración Servidor TCP y que se necesita de conexión por cable de los Lectores. En este apartado se va a concretar cómo se ha alcanzado dicha configuración y cómo se ha conseguido hacer funcionar los lectores RFID.

Primeramente, cuando se va a realizar un montaje de estas características, se debe estudiar el escenario. RFID y el cálculo de coordenadas por trilateración, hacen que se puede añadir, quitar o modificar un Lector sin que afecte al resto de equipos. Así pues, se deben instalar los equipos de manera equitativa por toda el área de trabajo y realizar pruebas. Si se detectan deficiencias en alguna zona, se debe considerar el añadir un Lector o modificar la configuración.

Otro aspecto a tener en cuenta, que suele ser más limitante de lo que puede parecer, es la capacidad de conexión que se tienen en el edificio para los RFID. Los RFID, en la configuración para este trabajo, necesitan de un cable Ethernet y de un cable de alimentación. El cable Ethernet es necesario para conectarse a la red y sin el cable de alimentación no encendería. Así pues, se debe disponer de un enchufe

eléctrico libre y permanente para el Lector, además de cableado hasta el *router* de la red a utilizar. La misma red para todos los Lectores y para el servidor.

En cuanto a la configuración de red, se puede observar en la Figura 12 la configuración a utilizar para todos los Lectores para que obtengan direcciones IP validas dentro de la red deseada. Por último, se debe indicar que la configuración es Cliente TCP y la dirección IP del servidor al que comunicarse (véase el ejemplo de la Figura 13).

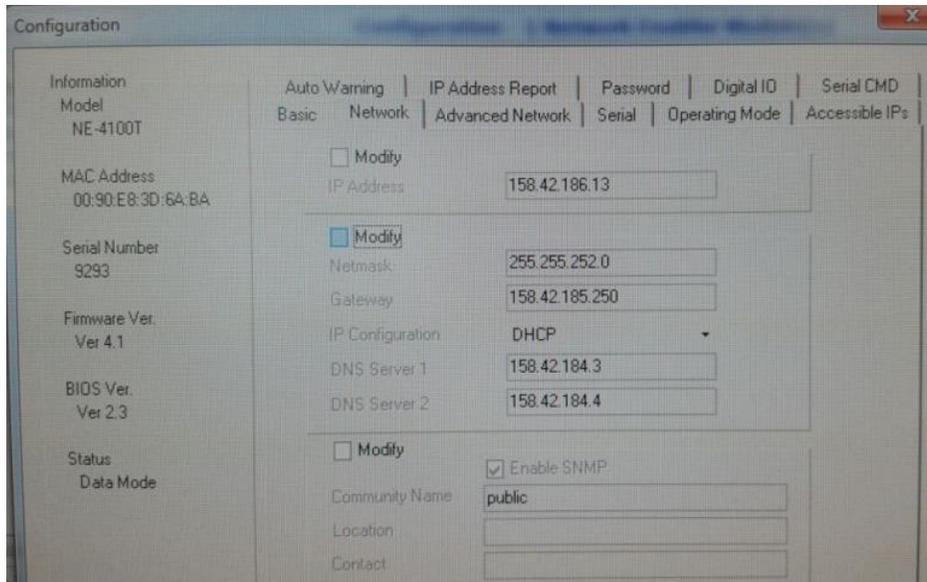


Figura 12 - Configuración de red.

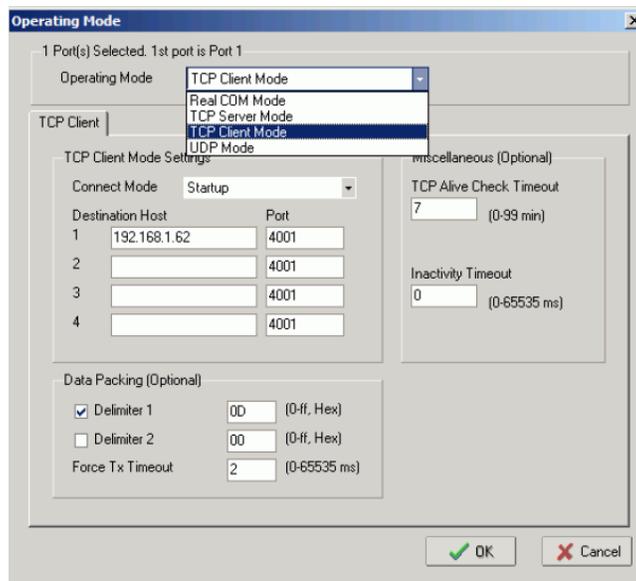


Figura 13 - Configuración TCP.

4. MEDIDAS DE CAMPO Y MEJORAS

En este apartado se discuten las medidas realizadas y el proceso de mejora seguido para la consecución de la máxima precisión posible en el posicionamiento. Se describirán los diferentes montajes realizados y las diferentes pruebas realizadas, para mostrar los resultados en el apartado de y posteriormente discutirlos en el apartado de CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO.

4.1 ESCENARIO A

El primer escenario sobre el que se diseña el software anteriormente expuesto es el de una sala de 1,5m x 2m. En este escenario se aprende a configurar los lectores, el funcionamiento y las opciones del mismo, además de las características y funcionalidades de los *Tag*. En este escenario se aprende todo lo expuesto hasta ahora. También, se implementa el software descrito anteriormente, se lleva a cabo el protocolo de comunicación con los lectores, y se empiezan a observar los primeros problemas y dificultades del sistema con las primeras medidas.

Así pues, la distribución de los lectores en la sala es la siguiente:

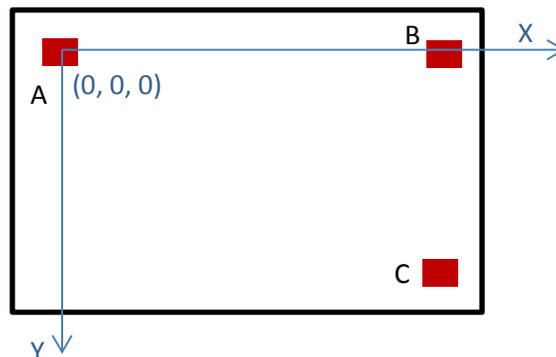


Figura 14 - Distribución del Escenario A.

En la Figura 14 se observan, representados como rectángulos rojos, los tres lectores RFID instalados A, B, y C. El eje de coordenadas le corresponde al Lector A, encontrándose en su eje X el Lector B.

A continuación, se procede a configurar los equipos, aplicar el protocolo de comunicación con los Lectores, y el diseño del programa que se va a utilizar durante

el resto de procesos. Así, se consigue realizar una serie de medidas, comprobando las necesidades de diseño y configuración del sistema a utilizar.

Primero, se realizan medidas del valor de RSSI y su variación según la distancia real entre el *Tag* y el Lector que se encuentra realizando las medidas. Para ello, se toma en este caso el lector A, y se recogen los valores de RSSI para distintas distancias (medidas con un metro con respecto a la antena de dicho lector).

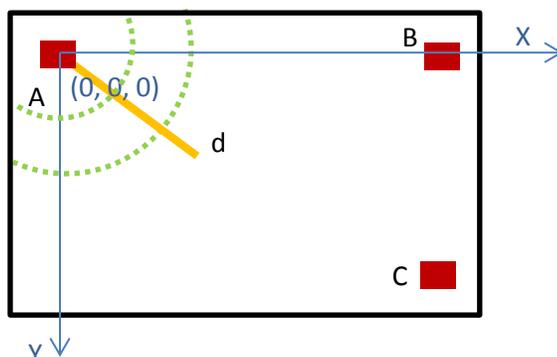


Figura 15 - Radios de medida de RSSI.

En la Figura 15 se puede observar el escenario, en el que se miden para cada distancia d (estas distancias siendo radios, tomadas con desplazamientos en círculo alrededor del Lector) una cantidad de treinta muestras, de las cuales se calcula la media y se obtienen los siguientes resultados mostrados en la Tabla III:

d en cm	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
Media de RSSI	211	186	202	199	193	188	187	178	172	161	178	169	154	167	171

Tabla III - Distancia vs. RSSI.

En la Tabla III se puede observar por primera vez la gran fluctuación que presenta el RSSI con respecto a distancias similares. Es decir, para diferentes distancias, una mayor a otra, pueden coincidir los valores. Se observa, pues, una diferencia representativa únicamente para ciertos rangos de distancias, entre 1cm y 60cm se observa un grupo de RSSIs similares y sólo son diferenciables a partir de los 60cm. Después, entre los 60cm y 140cm se observa otro grupo de RSSI similares. Por tanto, la precisión que se observa en un entorno de estas características es de entre 60 y 70cm.

La siguiente tarea realizada es la primera prueba de posicionamiento. En el escenario descrito, con las condiciones descritas, se intenta por primera vez realizar un posicionamiento estático en tiempo real. En la Figura 16 se puede observar,

representado con un triángulo la posición estimada por el sistema, y con unas cruces (X) en rojo la posición real del objeto. Se puede ver que dicha posición estimada no cambia. Esto se debe a que, utilizando RSSI y la fórmula de transmisión, las distancias calculadas resultan incorrectas y con valores insignificantes en comparación con las distancias entre Lectores. Por tanto, las coordenadas vienen dadas por las distancias entre los lectores, las cuales no cambian porque los lectores no cambian de lugar.

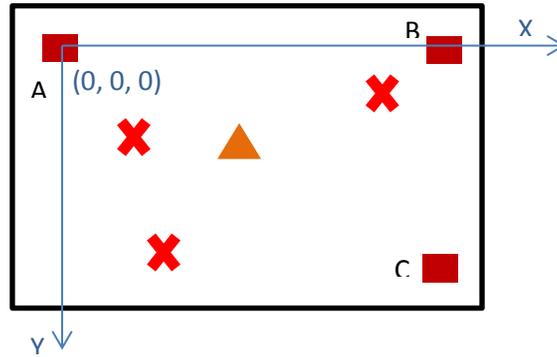


Figura 16 - Escenario A: Prueba de posicionamiento.

La demostración de esta circunstancia, con respecto a la fórmula de transmisión utilizando el RSSI, se puede observar en estos tres ejemplos de cálculo con tres lectores, mostrados en la Tabla IV:

RSSI	Cálculo de distancias					Coordenadas (m)			
	$C1 = \lambda$	$C2 = \frac{\lambda}{4\pi}$	$\frac{PWA - PWP - GP - GA}{20}$	$C4 = 10^{C3}$	$C2 * C4$	$C6 = \frac{d_{AP}^2 - d_{BP}^2}{2 \times 2}$	$C7 = \frac{2^2}{2 \times 2}$	$X = \frac{C6 + C7}{C7}$	Y
163	0,000122041	9,7117E-06	-8,028	9,38E-09	9,11E-14	-1,25346E-26	1	1	0,8125
159	0,000122041	9,7117E-06	-7,828	1,49E-08	1,44E-13				
142	0,000122041	9,7117E-06	-6,978	1,05E-07	1,02E-12				
152	0,000122041	9,7117E-06	-7,478	3,33E-08	3,23E-13	3,85183E-26	1	1	0,8125
154	0,000122041	9,7117E-06	-7,578	2,64E-08	2,57E-13				
155	0,000122041	9,7117E-06	-7,628	2,36E-08	2,29E-13				
158	0,000122041	9,7117E-06	-7,778	1,67E-08	1,62E-13	9,67536E-27	1	1	0,8125
160	0,000122041	9,7117E-06	-7,878	1,32E-08	1,29E-13				
156	0,000122041	9,7117E-06	-7,678	2,1E-08	2,04E-13				

Tabla IV- Primeros posicionamientos.

La fórmula para calcular distancias que se ha explicado en este trabajo, derivada de la ecuación de transmisión, desde el Lector A hasta el punto P se ha visto en (2). En este caso, y dado que el fabricante no nos proporciona el valor de referencia con el que despejar el valor de PWP a partir del RSSI, utilizaremos directamente el valor de RSSI. El valor de GP lo extraemos de las gráficas proporcionadas por el fabricante, en este caso 0.5dBi. Los valores correspondientes al *Tag*, los estimamos de manera similar según las especificaciones del fabricante,

siendo el valor de $G_A = 1,9$ y el valor de $PW_A = 0,04$. Así pues, el resultado de dicha distancia, es tan insignificante, que si la aplicamos a la fórmula para calcular las coordenadas del punto en que las esferas se cruzan, obtenemos un valor que sólo depende de la distancia entre los centros de las esferas (distancia entre lectores). Es decir, en las fórmulas, los valores de distancias de los lectores A, B y C hasta el punto P (d_{AP}, d_{BP}, d_{CP}) son erróneas y muy insignificantes comparados con el valor tanto de h (2m, distancia de A a B), como de j (2m, distancia de A a C -en X-) como de i (1.5m, distancia de A a C - en Y-), los cuales representan distancias entre lectores con respecto los ejes. Cabe recordar que la fórmula para calcular las coordenadas se ha visto en (4).

En la Tabla IV, se observa para el cálculo de las coordenadas, para el caso de la coordenada X, se obtiene el mismo resultado si utilizamos la formula completa que aplicando tan sólo la porción que se corresponde con las distancias entre lectores, $\frac{h}{2h}$ para la coordenada X, y $\frac{i^2+j^2}{2*j} - \frac{i}{j}$ para el caso de la coordenada Y.

La conclusión obtenida con las medidas en este escenario, es que conviene modificar la fórmula utilizada para calcular las distancias ya que no resulta correcta si utilizamos el valor de RSSI. Se debe utilizar dicho valor puesto que no se dispone de información suficiente por parte del fabricante para despejar el valor de potencia real. Además, el sistema está instalado en un espacio demasiado reducido en comparación con la precisión y el alcance del mismo. Sería conveniente trasladar el escenario de pruebas a un entorno más amplio, con más distancia entre lectores.

4.2 ESCENARIO B

El siguiente conjunto de pruebas se realiza en el segundo piso del Departamento de Sistemas Informáticos y de Computación (DSIC) de la Universidad Politécnica de Valencia, en el campus de Vera. Se utilizan los tres mismos lectores, y el mismo *Tag*, con la diferencia de que en este caso existe más separación entre Lectores, y más condiciones del entorno a las que el sistema es sensible. Además, se va a experimentar con otro método para calcular distancias entre un Lector y el *Tag* del que recibe señal, dados los problemas presentados del método anterior.

El escenario de estas pruebas se puede observar en la siguiente Figura 17, sobre un plano a escala 1:100 del segundo piso del DSIC. En este caso, a los tres Lectores que se van a utilizar se les ha llamado D, E, y F.

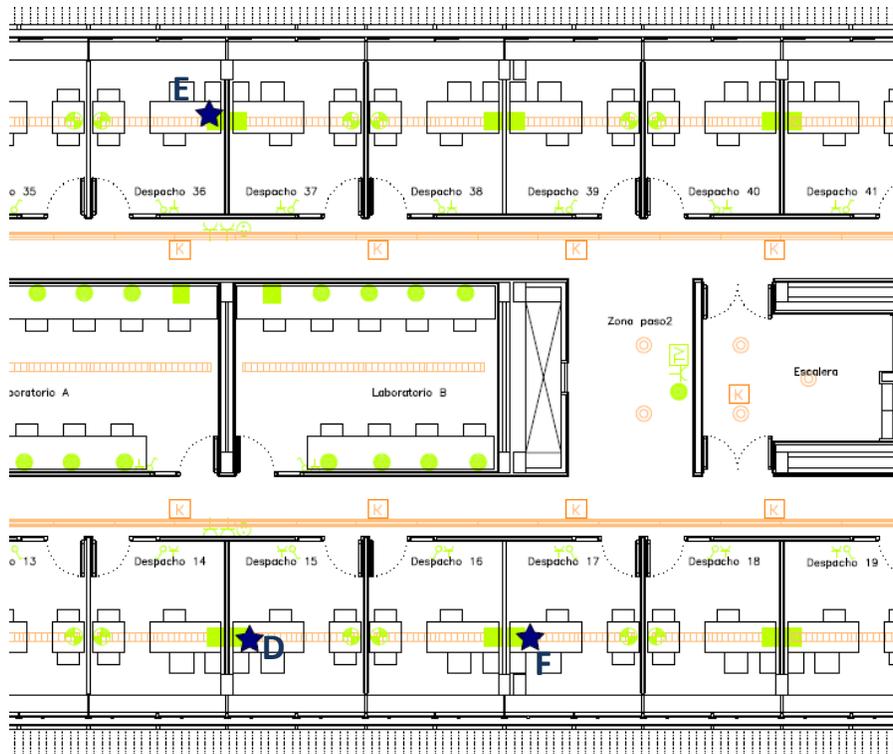


Figura 17 – Escenario B: Segundo piso DSIC con tres lectores marcados en azul.

Se trata de caracterizar la influencia del medio en el sistema mediante la relación empírica entre la distancia y el RSSI recibido, para un lector representativo del sistema. En este caso el lector representativo será D y para el resto de lectores se asumen características similares, dado que son entornos similares de pasillos y despachos contiguos. Aun así, más adelante se explicará que se detectan problemas en un entorno ligeramente diferente al del resto de lectores, el cual será también caracterizado.

Se toman medidas, pues, dentro y fuera de la sala en radios de x cm, como se puede observar en la Figura 18. Durante este proceso, para unas distancias se obtienen más muestras que en otras según van siendo más hostiles las condiciones del entorno, hasta que no se captan lecturas (a partir de los 10 m, en este caso). Las gráficas obtenidas se pueden seguir con detalle en el ANEXO III.

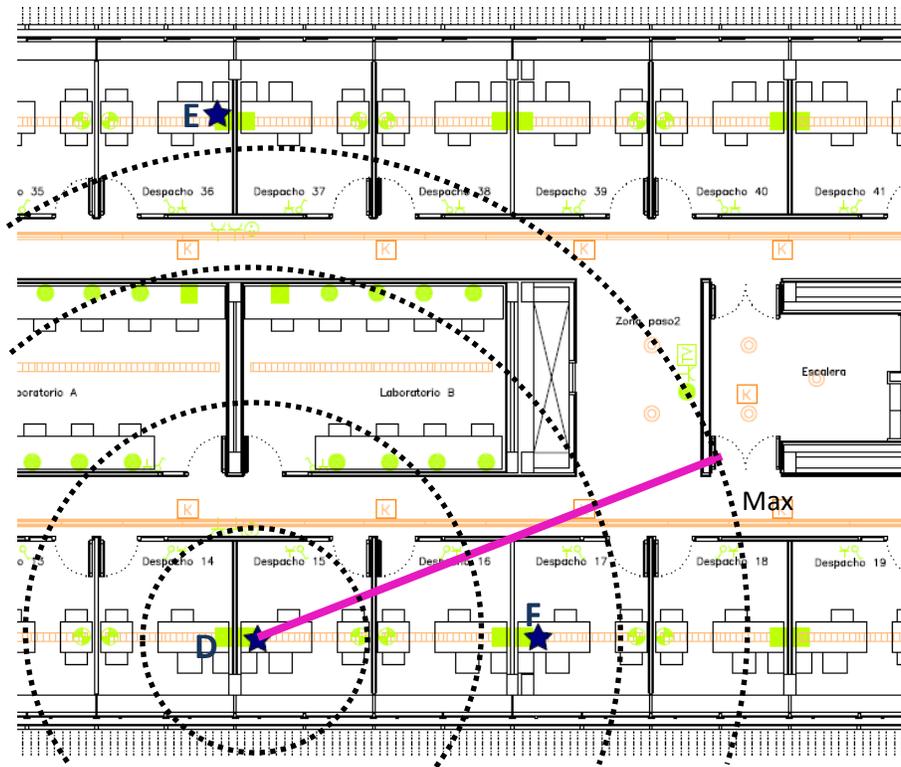
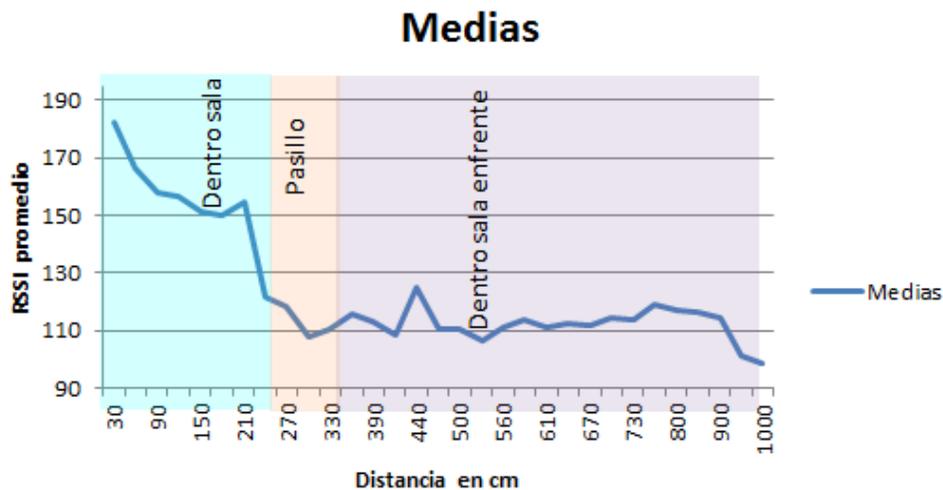


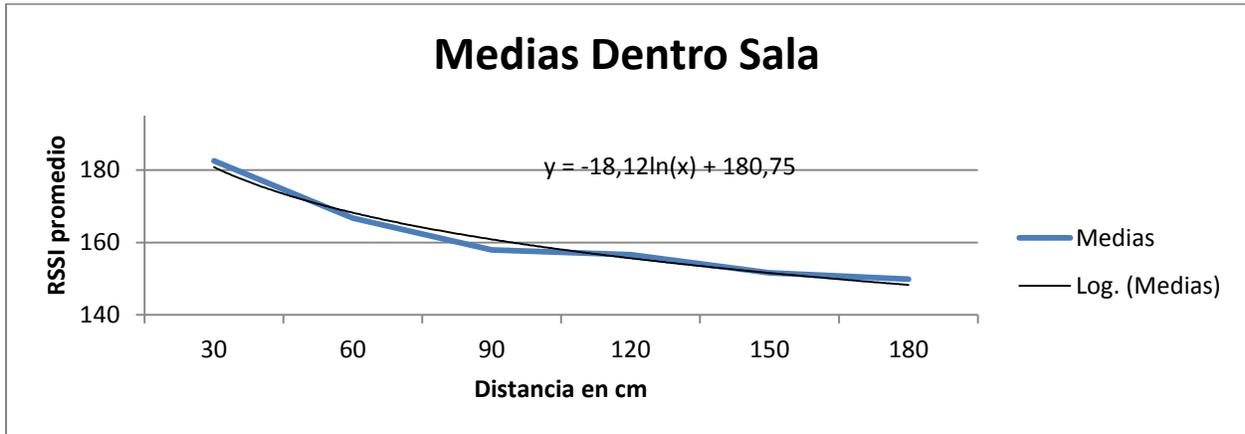
Figura 18- Caracterización del lector D mediante medidas realizadas.

Una vez obtenidas todas las muestras, se procede a calcular la media de RSSI para cada distancia, y se representa la curva que muestra la variación del RSSI a medida que el *Tag* se aleja del Lector. En este caso, al tratarse de un despacho, se han tomado medidas tanto dentro de la sala en la que el Lector se encuentra, como en el pasillo y en la sala de enfrente. Dichas circunstancias se aprecian en la curva resultante, como se puede observar en la Gráfica 2.

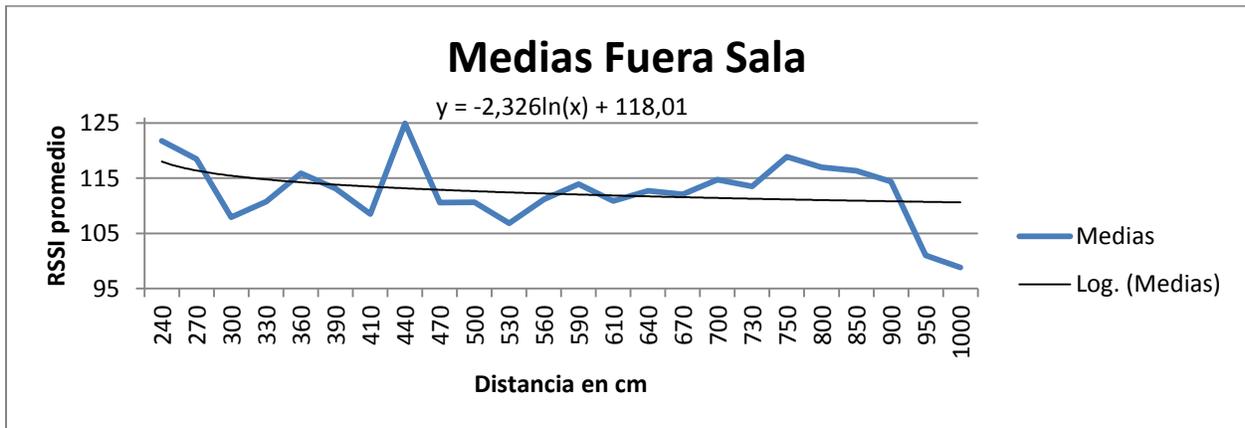


Gráfica 2 - Media de RSSI según la distancia para el Lector D.

Como resultado, es fácilmente diferenciable el nivel de RSSI obtenido dentro de la sala en que se encuentra el Lector, con respecto al recibido si el *Tag* se encuentra fuera (tanto en el pasillo como en la sala de enfrente). Una vez se abandona la sala en que se encuentra el Lector, la curva decae bruscamente. Así pues, se decide representar dos curvas por separado y obtener la relación RSSI-Distancia con dos curvas diferentes: la Gráfica 3 y la Gráfica 4.



Gráfica 3 - Medias dentro de la sala del lector D.



Gráfica 4 - Medias fuera de la sala del lector D.

De las anteriores curvas, se extrae la relación entre el RSSI y la distancia, de la que se puede ajustar la fórmula de la distancia entre el *Tag* y el Lector. Para RSSI mayores que 140, se presupone que el *Tag* se encuentra dentro de la misma sala del Lector, y se utiliza la fórmula de la curva en la Gráfica 3, dada por (6):

$$d_{DP} = 21486,1874379654 \times 0,946307568063429^{RSSI} \times 30 \quad (6)$$

Similarmente, cuando se obtienen valores de RSSI por debajo de 140, se utiliza la fórmula que se extrae de la curva en la Gráfica 4, dada por (7). Esto es así porque

se presupone que, por debajo de dicho valor, el objeto se encuentra en un lugar externo a la sala en la que se encuentra el Lector que recibe señal del Tag.

$$d_{DP} = 1,08144231166755 \times 10^{22} \times 0,650559437013857^{RSSI} \times 30 + 240 \quad (7)$$

Seguidamente, una vez caracterizada y generalizada la influencia del medio en los lectores, se procede a las primeras pruebas de posicionamiento, con tal de detectar posibles problemas y analizar el funcionamiento del nuevo método. En la Figura 19, se observa un ejemplo de posicionamiento en el escenario descrito con las fórmulas descritas. Con una cruz de color rojo se marca la posición real del Tag, y con triángulos de color naranja las coordenadas proporcionadas por el sistema. Dichas coordenadas se pueden encontrar con más detalle en el ANEXO III.

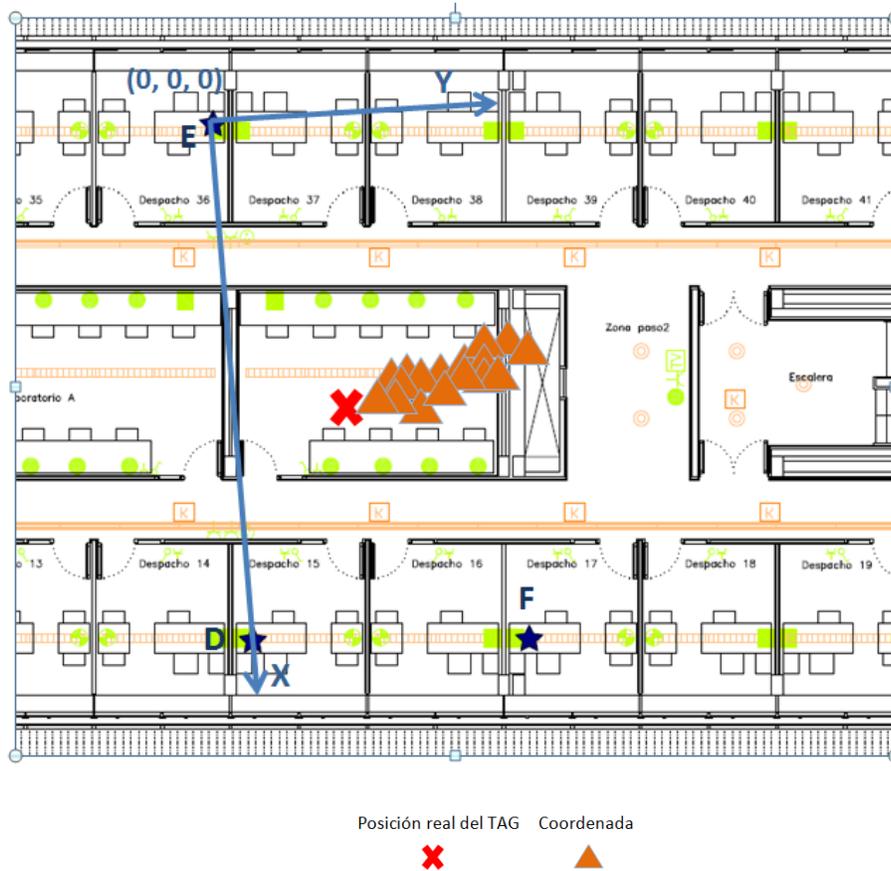


Figura 19 – Prueba de posicionamiento Escenario B.

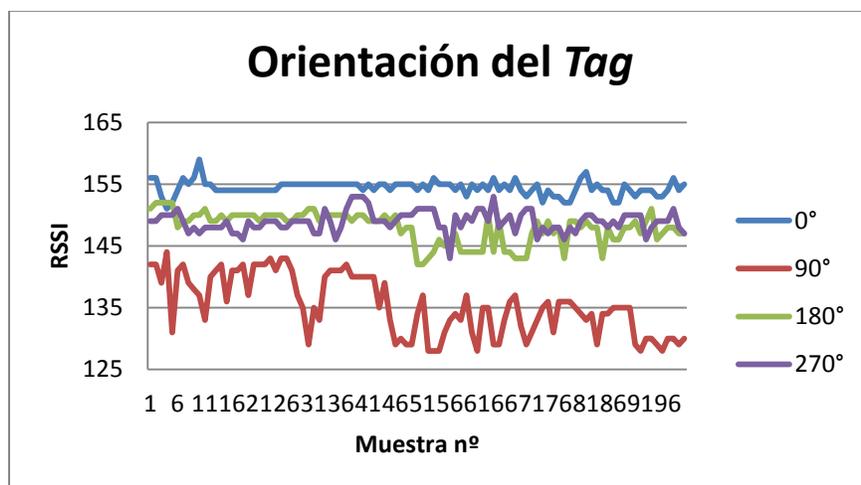
En la figura, se tiene que el proceso de posicionamiento necesita de un pequeño tiempo para lograr una estabilidad: las coordenadas son más precisas a medida que pasa el tiempo, hasta llegar a una precisión límite. Esto es debido a que se necesita de un tiempo (alrededor de un segundo) para que la señal dentro de una

sala se establezca (dadas sus reflexiones y refracciones). Además, en esta fase de pruebas se encuentran dificultades que en el escenario anterior no existían: la posibilidad de no recibir señal de los tres lectores, si no de sólo uno o dos. Por ello, se define para cada *Tag* una serie de “*Lectores Activos*”, es decir, a la hora de calcular el posicionamiento se observa de cuántos Lectores se recibe señal válida del *Tag* y, en su caso, eliminar de dicha lista de “*Lectores Activos*” los Lectores que ya no reciben señal del *Tag* hasta que se vuelva a recibir señal. Es por eso que se definen diferentes fórmulas para el cálculo de X e Y según la cantidad de lectores activos para cada *Tag*.

También, mediante prueba y error, se detecta que la elección del papel de los lectores no es determinante. El hecho de asignar un papel a los Lectores significa que se debe tomar un Lector como eje de coordenadas, otro lector RFID debe estar a cierta distancia del centro de coordenadas en X, y otro debe estar distanciado del centro de coordenadas en X e Y. Dado que, en la fórmula del cálculo de coordenadas, dicho papel se tiene en cuenta, se pueden obtener coordenadas distintas según qué Lector tiene el papel de eje de coordenadas, pero la posición resultante es la misma. Si se toma, por ejemplo, el lector D como eje de coordenadas o si se toma el lector E como eje de coordenadas se obtendrán la misma posición. Un ejemplo de distintos ejes se puede observar en Figura 20. Dicha distribución, junto con la nomenclatura de los lectores, es elegida según el sistema final: se nombra a los lectores alfabéticamente empezando por el lector A, y se distribuyen los roles de manera que pueda ser cada lector el eje de coordenadas al menos una vez (es decir, en este caso se elige la combinación EDF con el lector E como eje de coordenadas dado que más adelante el lector D será eje de coordenadas con la combinación de lectores DBC). Es preferible, en este caso, pensar una lista de posibles combinaciones en lugar de automatizar el proceso de asignación de roles, dado que se quiere testear el prototipo sin caer en problemas de continuos saltos o aleatorización en la asignación de roles. Si no se controla la asignación de roles a los Lectores, se puede estar continuamente cambiando de rol sin la necesidad de tal cosa.

En la gráfica queda de manifiesto que la fluctuación del valor de RSSI puede ser problemática, dando picos en ciertos instantes donde la influencia del medio es más crítica. Esto hace patente la necesidad de un constante refresco del cálculo de la posición y que la influencia del medio puede producir errores. Además, la fórmula utilizada para este prototipo no será útil en otros entornos, como sería el hogar, un hospital, etc. haciendo necesario el cálculo de la curva que relaciona el RSSI con la distancia para cada entorno en el que se desee instalar el sistema.

Otro elemento que se desea probar es la omnidireccionalidad de la antena del *Tag*. Se nos dice que es omnidireccional en las especificaciones técnicas del equipo como se ha visto en el Capítulo 2.3. Sin embargo, en la Gráfica 6 se puede ver que no en todas las posiciones observadas se obtienen los mismos niveles de RSSI. La orientación problemática, por tanto, es para el caso de situar el *Tag* con una orientación de 90° con respecto a la antena del Lector. Esto se deberá tener en cuenta a la hora de adherir el *Tag* al objeto o persona a rastrear, intentando evitar que éste se encuentre a 90° de la antena de los Lectores. También, y debido a la polaridad de las antenas, se debe buscar una posición horizontal del *Tag* (de esa manera la antena queda en vertical) y una posición a 90° de la antena del Lector con respecto al cuerpo del Lector, como se muestra en la Figura 21.



Gráfica 6 - RSSI según la orientación del *Tag*.

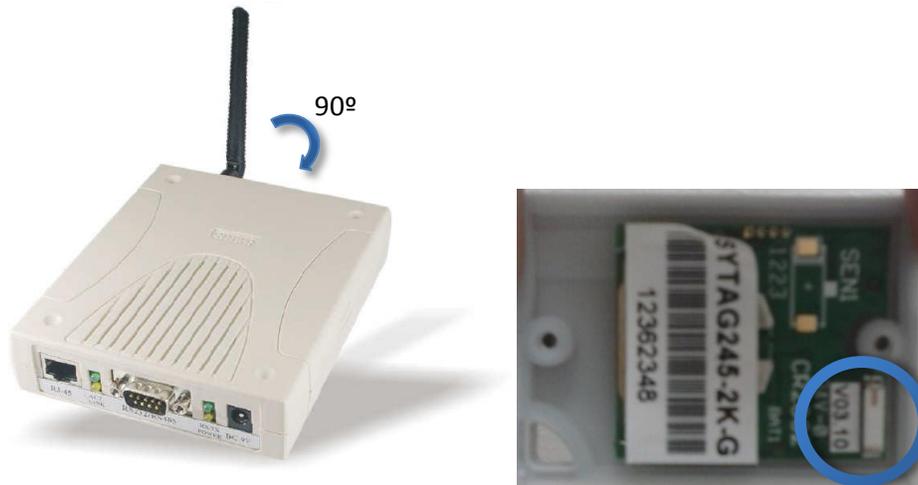


Figura 21 - Orientación según polarización de las antenas.

En este punto ya se está en condiciones para añadir el resto de lectores y poner en marcha una serie de pruebas con la totalidad de lectores disponibles funcionando. Dichas pruebas se exponen en el siguiente escenario.

4.3 ESCENARIO C

El Escenario C es el escenario final de este trabajo. Para dicho escenario, se realiza un despliegue completo de los recursos disponibles: se instalan seis lectores RFID en el segundo piso del DSIC (véase la Figura 22). Se distribuye de tal manera que quede lo mejor repartido posible, en los despachos donde se dispone de infraestructura para tal cosa: cada lector necesita de alimentación y de conexión por cable a la red.

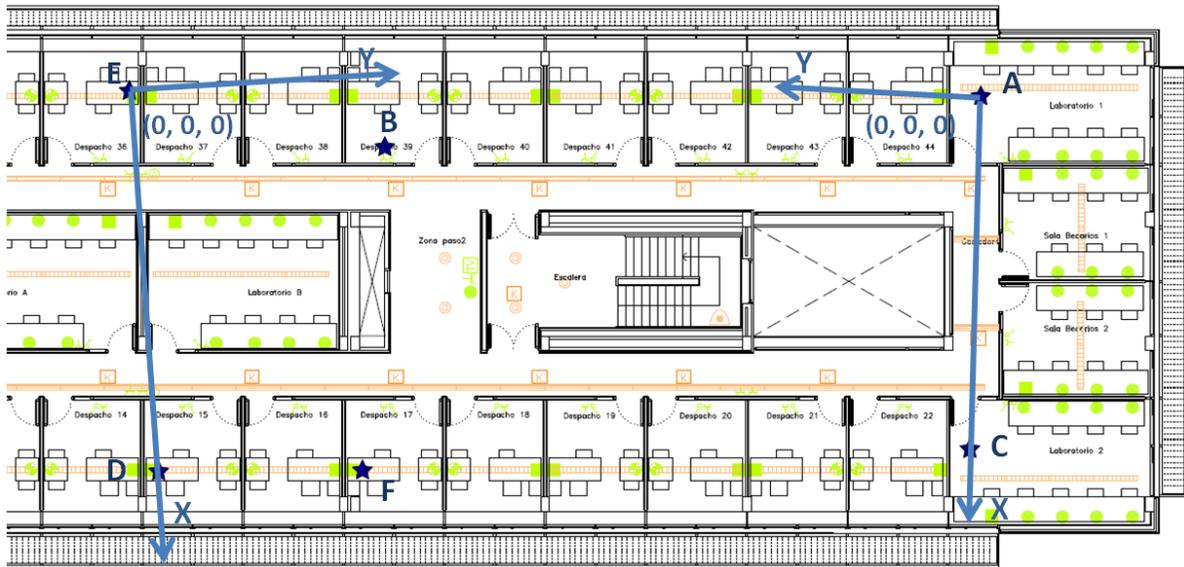


Figura 22 - Los seis lectores en el DSIC (Escenario C).

Sin embargo, en la Figura 23, se observa que no se debe aplicar la fórmula en que se generaliza la influencia del medio utilizando el Lector D para todos los lectores. El medio en que se encuentran los Lectores A y C presentan una dificultad añadida: se encuentran muy cerca de esquinas.

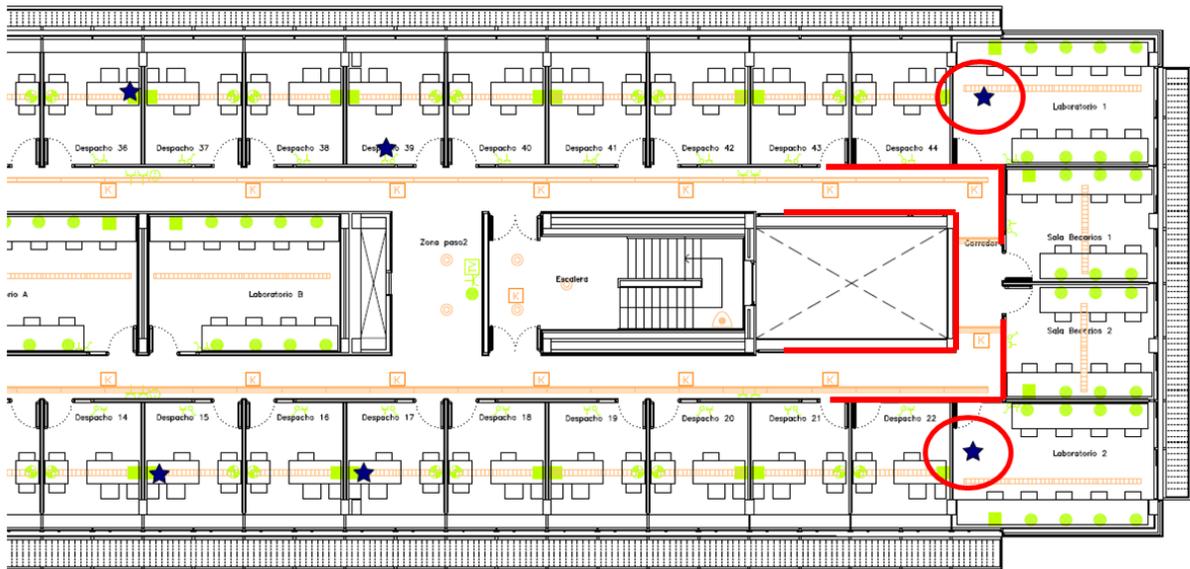
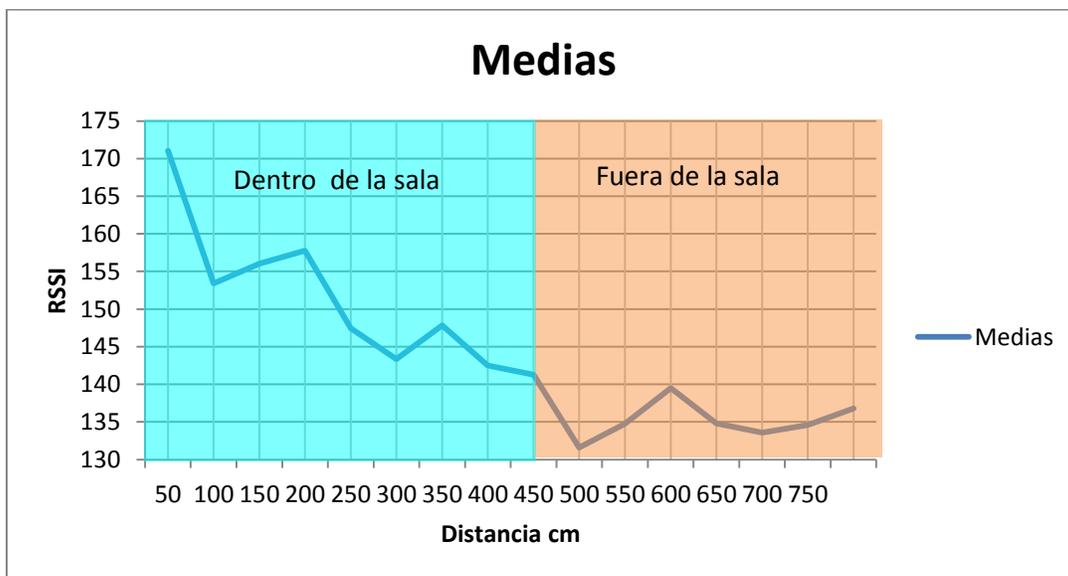


Figura 23 - Caracterización del lector A.

Es por eso que se procede, de manera similar que para el Lector D, a caracterizar la influencia del medio para el Lector A, el cual es igualmente aplicable para el lector C. Así, la caracterización del Lector D es válida para los Lectores B, D, E, y F; y la caracterización del Lector A es válida para los Lectores A y C.

La curva obtenida para dicho Lector se puede observar en la Gráfica 7, donde se aprecia que la curva decae al abandonar la sala y que presenta picos cuando se está cerca de las esquinas del pasillo. De la misma manera que en el apartado anterior, representando los valores para cada muestra, se puede encontrar en el ANEXO IV las gráficas con todos los valores de cada media.



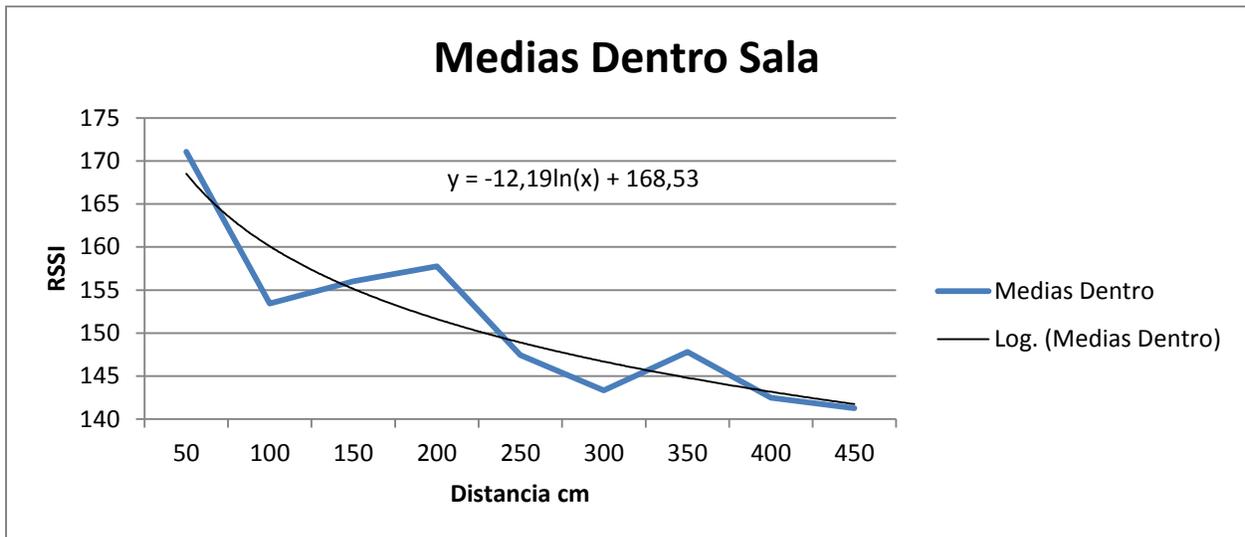
Gráfica 7 - Media de RSSI según la distancia para el Lector A.

De esta curva se extraen dos fórmulas que relacionan la distancia con el RSSI: una se consigue a partir de la curva que caracteriza la influencia del medio cuando el *Tag* se encuentra dentro de la misma sala que el Lector, y la otra fórmula a través de la curva que caracteriza la influencia del medio para cuando éste se encuentra fuera. Dichas curvas están en la Gráfica 8 y la Gráfica 9 respectivamente. De ellas se extrae que la distancia puede ser calculada con el RSSI obtenido de la siguiente manera:

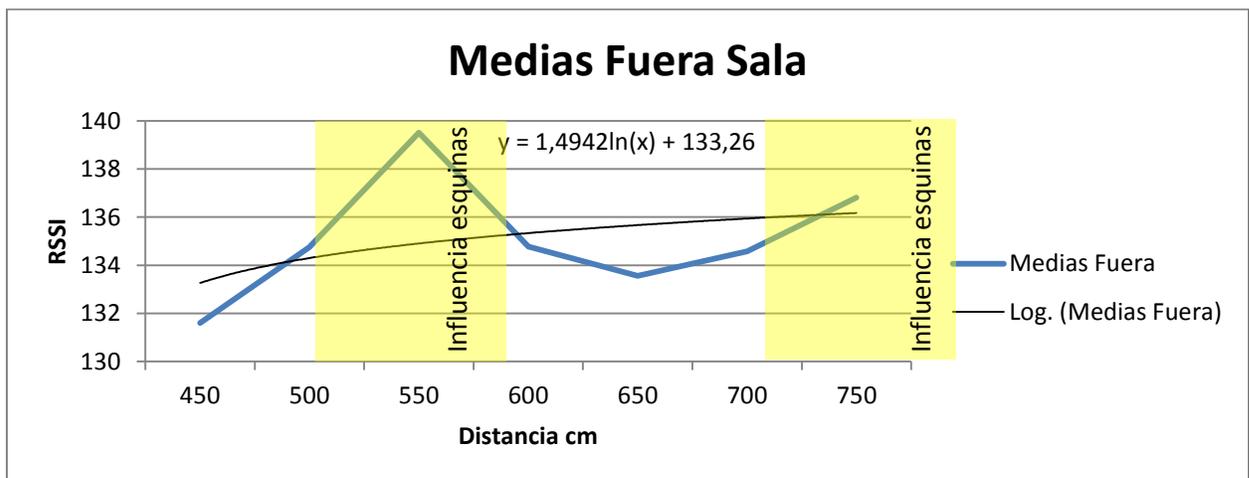
$$d_{AP} = 1009803,79945041 \times 0,921240217305297^{RSSI} \times 50 \quad (8)$$

para un *Tag* dentro de la misma sala que el lector, y para un *Tag* fuera de la sala se tiene que:

$$d_{AP} = 1,85145265063426 \times 10^{-39} \times 1,95278088305151^{RSSI} \times 50 + 450 \quad (9)$$



Gráfica 8 - Medias dentro de la sala del lector A.



Gráfica 9 - Medias fuera de la sala del lector A.

Con todos los cálculos, se procede a probar el sistema, en busca de posibles errores y nuevos problemas. Para ello, se realiza el primer posicionamiento en movimiento a través de los pasillos del departamento. El resultado, se puede observar en la Figura 24 y las coordenadas mostradas en el ANEXO IV.

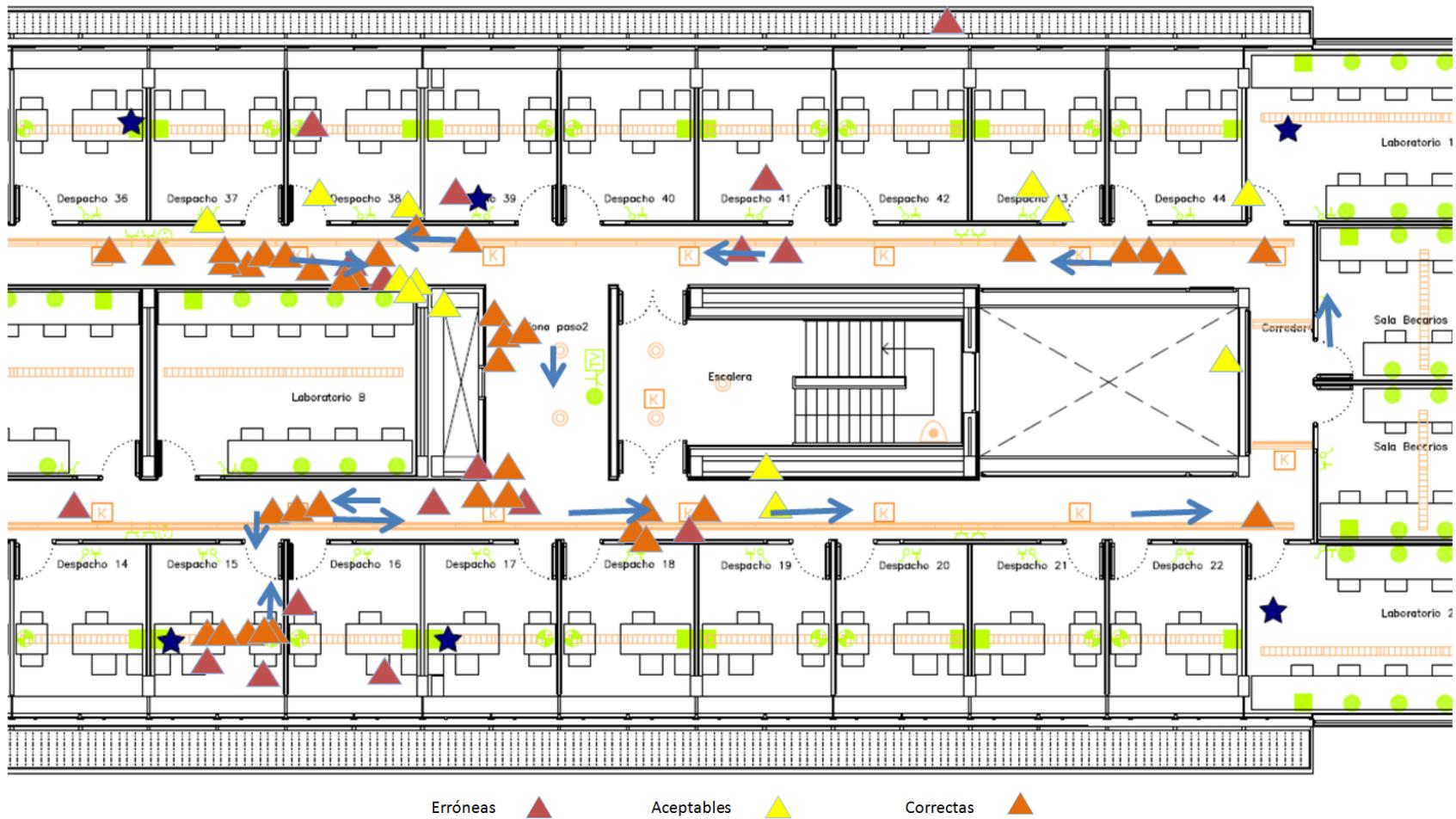
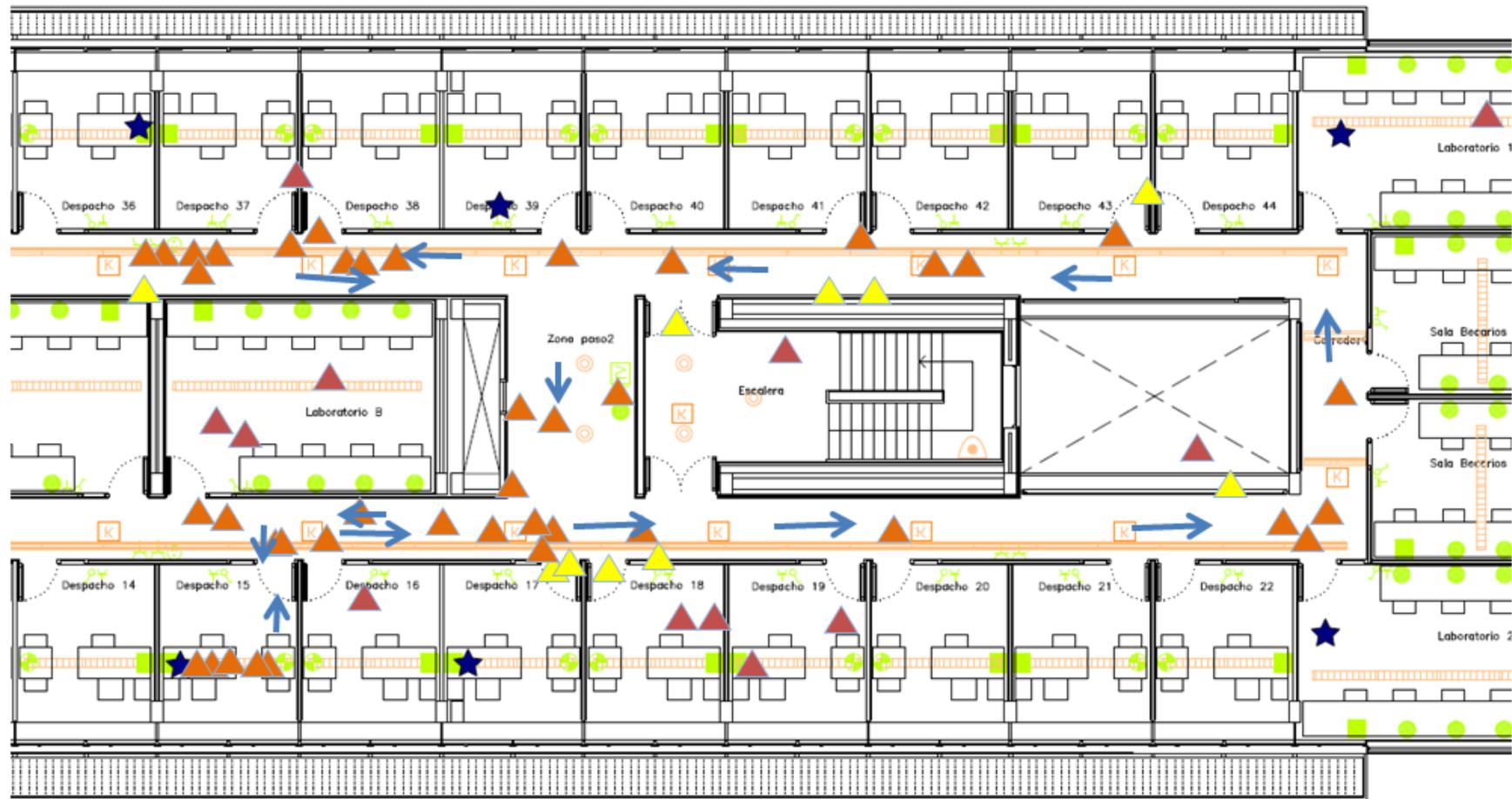


Figura 24 - Primer posicionamiento en movimiento.

Con estas pruebas, se observa que existían errores de programación en cuanto a la fórmula del cálculo de coordenadas, y no se habían tenido en cuenta todas las combinaciones de tríos de lectores posibles (en la asignación de roles), dado que se habían catalogado como imposibles combinaciones que finalmente sí existen.

Una vez añadidas estas combinaciones al cálculo y solventado el problema de formulación en la programación del calculador de coordenadas, se procede a la segunda prueba de posicionamiento en movimiento y se obtiene el siguiente resultado, mostrado en la Figura 25. Las coordenadas se pueden consultar en el ANEXO IV. La diferencia con el ejemplo anterior, es que se reducen los posicionamientos erróneos (considerando todas las combinaciones posibles, el sistema trabaja como se espera). Por ello también se obtienen más y mejores posicionamientos en la zona más crítica del sistema: el fondo del pasillo. Esta parte es crítica dada la lejanía entre lectores obligada por el despliegue físico que estos necesitan y la fórmula de la curva frente esquinas. Cabe destacar que en este experimento, además, existen más resultados correctos a los representados que son similares a los ya mostrados, y más resultados erróneos, que se salen del mapa y son descartables. Todavía queda mejorar el sistema: añadir combinaciones encontradas en esta prueba y comprobar una a una todas las combinaciones encontradas hasta el momento, en busca de errores o problemas.



Erróneas ▲ Aceptables ▲ Correctas ▲

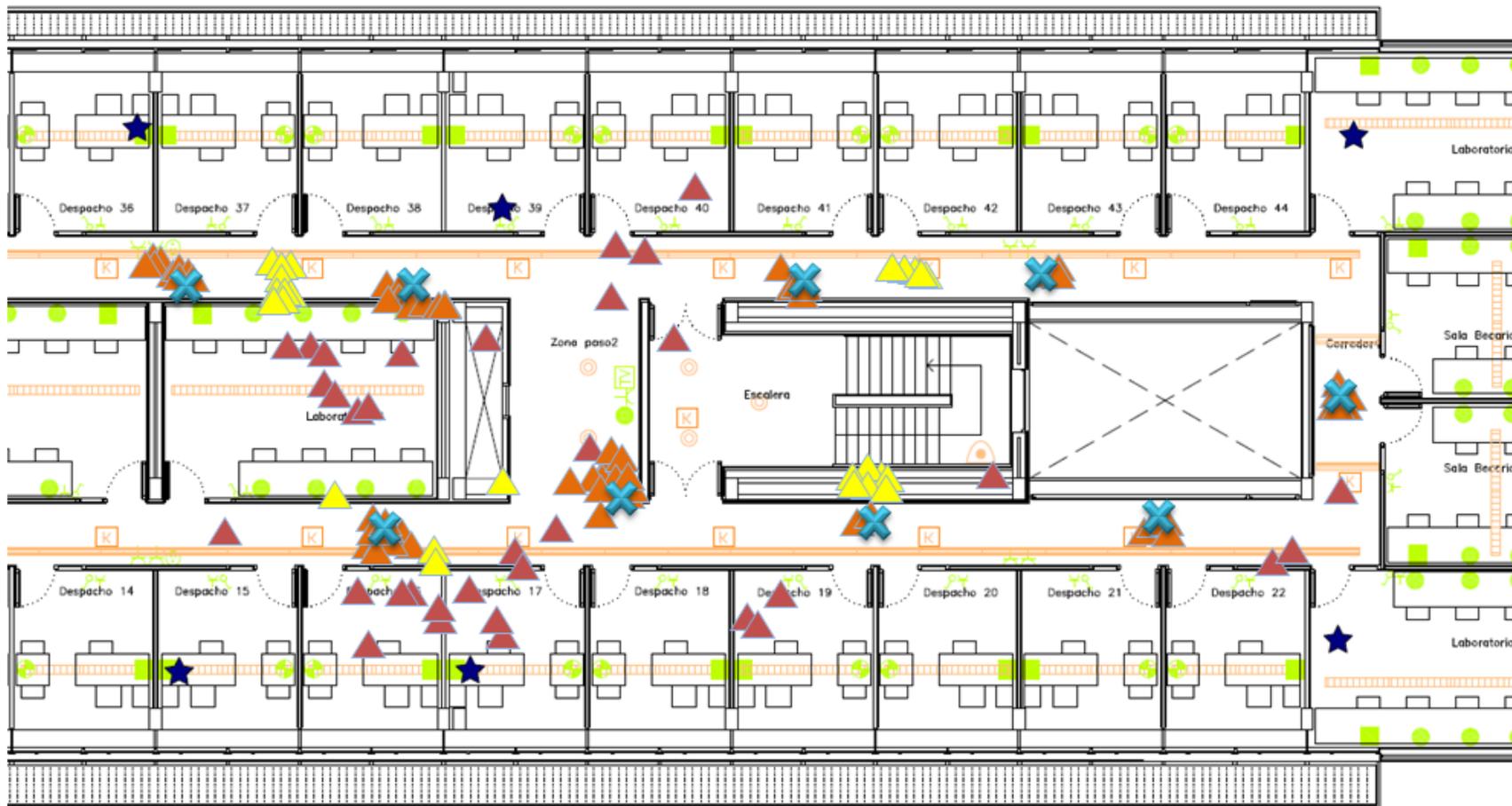
Figura 25 - Segundo posicionamiento en movimiento.

Se realiza un set de pruebas similares. Con todo, las combinaciones finales de Lectores son: ABC, BDF, CFA, DBE, DBC, EDF (ejemplo con el que se ha trabajado en el anterior escenario), ECB, ECB, ECD, FCB, y FBE. Todas ellas son las combinaciones que se han dado en el montaje existente, además de todas las combinaciones posibles de parejas de lectores y de lectores individuales. Se ha buscado que ninguna se repita con otro orden de los Lectores, y además se ha elegido ese orden para cada combinación según la representación del triángulo que forman (evitando formaciones enrevesadas por sencillez y orden).

La siguiente prueba es experimentar en posiciones representativas los resultados que va ofreciendo el sistema en un posicionamiento como los mostrados en los dos ejemplos anteriores. Con más pruebas se busca corrección de errores, comprobación de cálculos y un estudio detallado de tríos y parejas de Lectores. Por ejemplo, un grupo de pruebas se realiza en busca de la correcta asignación de distancias entre Lectores (sin caer en errores de medida teniendo en cuenta qué Lector es el eje de coordenadas y en qué dirección se encuentra el eje positivo de las X y de las Y). Otro grupo de pruebas se realiza para concretar que las fórmulas utilizadas se pueden aplicar a todos los lectores. En caso contrario se debería caracterizar la influencia del medio en el nuevo Lector problemático.

Con todo, la prueba final se puede ver en la Figura 26, donde se muestra con una cruz azul la posición real del *Tag*, con triángulos naranja las coordenadas proporcionadas por el sistema de forma correcta, con triángulos amarillo se representan las coordenadas aceptables, y en rojo las erróneas. Las coordenadas se pueden leer en el ANEXO IV.

Llegados a este punto se observa que los resultados son más que aceptables, que se han solventado las dificultades y problemas encontrados, y que los posicionamientos erróneos son impulsivos, descartables y presentan un error menor que en el primer ejemplo de posicionamiento en movimiento. Asimismo, debido al mayor tráfico de información y, por lo tanto, a un aumento del refresco en los cálculos de coordenadas, se tiene que cuantos más Lectores reciban del *Tag*, más posicionamientos diferentes se obtienen. Esto significa también que cuantos menos Lectores reciban del *Tag*, los posicionamientos erróneos tienen una precisión menor que si se recibe de más combinaciones de Lectores.



Erróneas ▲ Aceptables ▲ Correctas ▲

Figura 26 - Muestreo de un posicionamiento en movimiento.

5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Este trabajo busca el rastreo y posicionamiento de personas dependientes en el hogar, si bien todas las pruebas se han realizado en un ambiente distinto al hogar. Además, cada hogar es diferente en cantidad y tipo de estancias y tamaño. Así pues, se puede proponer como conclusión del trabajo realizado una sucesión de pasos a realizar para implantar en el hogar un sistema similar al descrito en este proyecto:

- Primeramente, se observa la distribución de salas en el hogar y se idea una distribución equitativa de los lectores, teniendo en cuenta estancias problemáticas como son la cocina y el baño. La distribución se realizará buscando una máxima cobertura por parte de los lectores a lo largo de la casa. No se deben instalar lectores innecesarios ni tampoco una cantidad insuficiente de éstos, y se debe tener en cuenta el despliegue físico que estos necesitan.
- Seguidamente, se observa el tipo de las estancias y si se puede generalizar la influencia del medio en la señal del *Tag* para todos o para grupos de lectores. Cuando se elija un número de lectores de referencia, se estudiará su comportamiento y se obtendrá la fórmula que relaciona la distancia con el RSSI obtenido.
- Terminado este proceso, se realizarán pruebas en movimiento y se observará que los resultados son los esperados. En caso contrario, se deberán reconsiderar los puntos anteriores y ajustar de nuevo el proceso.

Los resultados mostrados de este trabajo son interesantes dado que este tipo de sistemas es muy sensible al entorno, y que la influencia del medio en este caso es más drástica que para un hogar en que no están presentes tantos tipos de señal (diferentes WiFis) ni existe tanto ir y venir de personas por pasillos y estancias. De hecho, la influencia del medio se ha debido tener en cuenta en distintos horarios, dado que ésta varía a lo largo del día. Además, cuando se trata de una persona dependiente, suele referirse a personas con cierta reducción en la movilidad, lo que le proporciona al sistema un tiempo adicional para estabilizar los cálculos en comparación con el tiempo y la velocidad de paseo de una persona sin estos hándicaps.

Como trabajo futuro, se ha indicado que este proyecto en su totalidad se quiere integrar en un sistema de visualización. En dicha visualización se utilizará el mapa del departamento DSIC presentado, se gestionarán las coordenadas proporcionadas por el

sistema RFID y se representarán los objetos o personas rastreadas mediante agentes inteligentes. Dichos agentes, junto a otros agentes virtuales, gestionarán los eventos detectados y realizarán acciones conforme a estos eventos. Por ejemplo, un agente virtual puede monitorizar el acceso de una persona no autorizada a cierta zona del edificio, y activar una alarma. El agente puede representar una barrera virtual que el usuario no autorizado no puede cruzar. La zona a la que un usuario podría no estar autorizado a acceder pueden ser las escaleras del edificio, dado que suponen un riesgo de caídas.

Además, sería interesante mejorar la precisión eliminando las medidas impulsivas que inducen a error o utilizando otros métodos como el denominado *Fingerprinting* [17]. Este método se basa en tomar medidas en puntos concretos de las estancias (ver la Figura 27), obteniendo una base de datos de medidas en la estancia (que sería la *huella* de la estancia). Así, cuando se tome una medida a posicionar, se compara esta con las muestras almacenadas y se busca la muestra más similar a la medida tomada. La posición a la que corresponda la muestra, será la posición a la que se asociará la medida tomada y por lo tanto la posición del objeto a rastrear. De hecho, existe una versión del *Fingerprinting* muy interesante para RFID, que consiste en situar unos *Tags* en esos puntos que se quiera tomar como referencia. De esta manera se obtienen medidas a tiempo real de la influencia del medio, dado que esta puede variar a lo largo del día, y realizar clasificaciones de la posición más precisas.

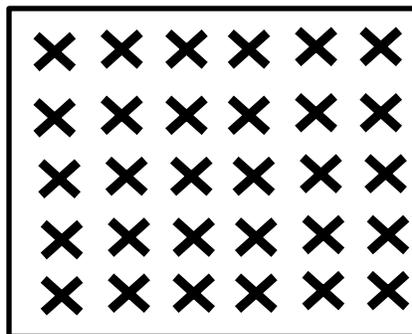


Figura 27 – *Fingerprinting*.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. J. Landt, *Shrouds of Time. The history of RFID.*, Pittsburgh: AIM, Inc., 2001.
- [2] Web, TransCore, <https://www.transcore.com/rfid>.
- [3] C. Dos Santos Perez, A. López González, A. Llodrà Sendra y N. Sastre Miralles, «Com decidir-se per un sistema RFID: l'experiència de la Biblioteca Campus,» de *12 Jornades Catalanes D'Informacion i Documentacio*, Barcelona, 2010.
- [4] S. Ahson y M. Ilyas, *RFID handbook : applications, technology, security, and privacy*, Boca Raton, FL: CRC Press, 2008.
- [5] C. Zato, A. Sánchez, G. Villarrubia, J. Bajo y S. Rodríguez, «integration of a proximity detecton prototype into a VO developed with PANGEA,» de *Management Intelligent Systems*, Springer Berlin Heidelberg, 2012, pp. pp 197-204.
- [6] «IEEE Standard for Information Technology - Telecommunications and Information Exchange Between Systems - Local and Metropolitan Area Networks - Specific Requirements. - Part 15.1: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification,» 2005.
- [7] «IEEE Std 802.11 - 2007 IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements. - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical,» 2007.
- [8] C. D. Knutso y G. Diviney, «Infrared Data Communications with IrDA».
- [9] Z. S. Organization, «ZigBee Specification Document,» ZigBee Alliance, 2006.
- [10] S. A. Weis, «RFID (Radio Frequency Identification): Principles and Applications». *MIT CSAIL*.
- [11] «RFID Frequencies - What you need to know about them,» <http://www.wireless-technology-advisor.com/rfid-frequencies.html>.
- [12] Wikipedia, «Radio-frequency identification,» http://en.wikipedia.org/wiki/Radio-frequency_identification.
- [13] I. O. f. S. (ISO), «ISO/IEC 18000,» de *RFID for Item Management*, 2004.
- [14] EPCglobal, de <http://www.epcglobalinc.org>, 2006.
- [15] I. O. f. S. (ISO), «Contactless integrated circuit(s) cards,» de *ISO/IEC 14443*, 2003.
- [16] I. O. f. S. (ISO), «Contactless integrated circuit(s) cards,» de *ISO/IEC 15693*, 2003.
- [17] C. Serodio, L. Coutinho, H. Pinto y P. Mestre, «A Comparison of Multiple Algorithms for Fingerprinting using IEEE802.11,» de *Proceedings of the World Congress on Engineering 2011 Vol II*, London, UK, 2011.