



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN

Título del proyecto:

**“ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE
UNA RED DE SENSORES
INALÁMBRICOS BASADOS EN LA
LOCALIZACIÓN DE VEHÍCULOS EN EL
INTERIOR DE APARCAMIENTOS”**

Alba Martínez Pérez

Dr. Francisco Javier Falcone

Pamplona, 20 de Febrero de 2015

Agradecimientos

Quiero agradecer el apoyo de todas las personas que me han ayudado a lo largo de esta etapa final, sin las cuales no hubiera llegado hasta aquí, en especial a Francisco Falcone por haberme dirigido el proyecto final de carrera, haberme dedicado su tiempo y haberme ayudado con los problemas que han ido surgiendo.

De igual manera agradecer a Peio, Erik y Leire, por la ayuda prestada en ciertos momentos.

También me gustaría agradecer, por supuesto a mis padres, por apoyarme siempre en los momentos más duros, por su paciencia y creer en mí a lo largo de todos estos años.

Y por último, a mis amigos, por los buenos momentos y por permitirme desconectar de mis estudios cuando las cosas no salían como debían y mis los compañeros de carrera, por haber compartido tantos momentos.

Resumen

Este proyecto se centra en el estudio de la propagación electromagnética de señales en un entorno exterior, como son los parkings de vehículos.

Se pretende ofrecer tanto nociones básicas de la tecnología RFID/NFC y ZigBee y sus aplicaciones en este ámbito, como un completo estudio radioeléctrico tanto teórico como práctico de diferentes entornos.

Antes del análisis del canal radioeléctrico en los escenarios, se exponen de manera sencilla los conceptos necesarios para comprender los efectos que sufren las señales al propagarse.

Se van a comparar las medidas realizadas en el recinto con los resultados deterministas obtenidos de la simulación por trazado de rayos.

La viabilidad de esta técnica en un ámbito preciso de radiopropagación puede ayudar al despliegue de nuevas soluciones eficientes y rentables aplicadas al estacionamiento de vehículos. (Zona azul).

Abstract

This project focuses on the study of electromagnetic signal propagation in an outdoor environment, such as the parking of vehicles. It is intended to provide both basic notions of RFID / NFC and ZigBee technology and its applications in this field, as a complete theoretical and practical study of different radio environments. Before analysis of the radio channel on stage, simply exposed the concepts needed to understand the effects sustained signals to propagate.

They are going to compare the measurements made on the premises with deterministic simulation results obtained by ray tracing. The feasibility of this technique in a specific field of radio propagation can help the deployment of new efficient and profitable solutions applied to the parking of vehicles. (Blue area).

Índice

1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. OBJETIVOS.....	13
3. ESTADO DEL ARTE.....	15
3.1 Situación actual.....	15
3.2 Tecnologías y características técnicas.....	18
3.2.1 Tecnología de Identificación por Radiofrecuencia (RFID)	18
3.2.1.1. Evolución histórica.....	18
3.2.1.2. Definición de la tecnología.....	19
3.2.1.3. Componentes del sistema	25
3.2.1.3.1. Transpondedores.....	31
3.2.1.3.2. Programadores.....	32
3.2.1.3.3. Lectores.....	32
3.2.1.3.4. Middleware.....	35
3.2.1.3.4. Normalización y regulación.....	37
3.2.1.3.4.1. Estándares.....	37
3.2.1.3.4.2. EPCGlobal.....	38
3.2.1.3.4.3. Legislación.....	39
3.2.1.4. Near Field Communication (NFC).....	40
3.2.1.4.1. Conceptos de la comunicación.....	40
3.2.1.4.2. Modos de comunicación.....	43
3.2.1.4.3. Especificaciones técnicas y protocolos.....	44
3.2.2. ZigBee.....	45
3.2.2.1 Tipos de dispositivos.	48
3.2.2.2. Tipos de dispositivos según funcionalidad.	48
3.2.2.3. Topologías de red.....	49
3.2.2.3.Comparativa.....	50
3.3. Propagación radioeléctrica.....	51
3.3.1 Sistemas de comunicaciones.....	51
3.3.2 Conceptos de Propagación radioeléctrica.....	52
3.3.3. Conceptos básicos sobre ondas electromagnéticas.....	53

3.3.4 Pérdidas de propagación.....	54
3.3.5 Fenómenos de propagación.....	56
3.3.5.1. Absorción y atenuación.....	56
3.3.5.2. Difracción.....	56
3.3.5.3. Dispersión.....	57
3.3.5.4. Reflexión.....	58
3.3.5.5. Refracción.....	58
3.3.5.6. Propagación multitrayecto.....	59
3.3.5.7. Desvanecimientos.....	60
4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	60
4.1 Introducción.....	60
4.2 Definición de los escenarios.....	61
4.3. Simulaciones.....	65
4.3.1 Metodología y parámetros.....	65
4.3.1.1. Software del rayos en tres dimensiones.....	66
4.3.1.2. Modelos de coche.....	68
4.3.2 Resultados de las simulaciones.....	70
4.3.2.1. Escenarios simulados con antena Tx fuera del coche...71	
4.3.2.1.1 Dos coches. Escenario 1.....	71
4.3.2.1.2. Tres coches. Escenario 3.....	75
4.3.2.2. Escenarios simulados con antena Tx dentro del coche...82	
4.3.2.2.1. Dos coches. Escenario 2.....	82
4.3.2.2.2. Tres coches. Escenario 4.....	86
4.4 .Medidas reales in situ.....	91
4.4.1. Instrumentación.....	92
4.4.2. Toma de medidas.....	95
5. BALANCE DE POTENCIA.....	103
5.1 Propuesta de planificación.....	110
6. CONCLUSIONES.....	113
7. LÍNEAS FUTURAS.....	114
8. REFERENCIAS.....	115
9. ANEXOS.....	116
Resultados adicionales.....	116
Código.....	123
Instrumentación y herramientas.....	131

Tabla de figuras

Figura 1. Situación plataforma XALOC.....	16
Figura 2. Vehículos en aparcamientos (SILVA).....	17
Figura 3. Banda de frecuencia utilizadas en RFID (empresa Aetic).....	21
Figura 4. Esquema general del funcionamiento de un sistema RFID.....	22
Figura 5. Esquema de una etiqueta RFID, una antena y un chip con la información.	22
Figura 6. Comparativa entre características de tags pasivos y tags activos (empresa Aetic)	23
Figura 7. Documento de la empresa Aetic.....	24
Figura 8. Esquema de un transponder de RFID.....	26
Figura 9. Ejemplos de etiquetas comerciales.....	30
Figura 10. Impresora RFID Zebra ZM400.....	31
Figura 11. Diagrama de bloques de un lector RFID	32
Figura 12. Lector RFID UHF DL910 y lector portátil IMC9060	35
Figura 13. Estándares ISO/IEC.....	39
Figura 14. Tecnología NFC	42
Figura 15. Modo de comunicación pasivo.....	43
Figura 16. Modod de comunicación activo.	43
Figura 17. Tabla OIS.	46
Figura 18. Velocidad de transmisión y frecuencia de operación en 802.15.4.	47
Figura 19. Topologías de red. Arriba: estrella. Centro: árbol. Abajo: malla.	49
Figura 20. Comparativa tecnologías inalámbricas.....	50
Figura 21. Sistema de comunicaciones.....	51
Figura 22. Onda electromagnética.	53
Figura 23. Características de una onda electromagnética.....	54
Figura 24. Espectro electromagnético.	55
Figura 25. Fenómeno de difracción.	57
Figura 26. Fenómeno de dispersión.....	58
Figura 27. Fenómeno de reflexión.....	58
Figura 28. Propagación multitrayecto.....	59
Figura 29. Suma de fases (a) en fase (b) en contrafase.....	60
Figura 30. Desvanecimiento.	60
Figura 31. Gráfico escenario 1.....	62
Figura 32. Gráfico escenario2.....	63
Figura 33. Escenario 1.	64
Figura 34. Escenario 2.	64
Figura 35. Escenario 3.	65
Figura 36. Escenario 4.	66
Figura 37. Escenario interior en 3D con los rayos lanzados desde un transmisor situado en el centro.....	67

Figura 38. Medidas reales Skoda Octavia.	69
Figura 39. Modelo de coche en Matlab.	70
Figura 40. Representación en 3D con los planos a 1 y 2 metros de altura.	73
Figura 41. Mapas de potencia de 1 y 2 metros de altura.....	74
Figura 42. Radial de Y=22 para la altura de 1 m.....	75
Figura 43. PDPs, fila 34, columna22 a la altura de 1m.	75
Figura 44. Delay Spread, altura 1m.	76
Figura 45. Mapas de potencia a 1 y 2 metros de altura.....	78
Figura 46. Radial central, diagonal superior e inferior a la altura de 1m.	80
Figura 47. PDPs, fila34, columna 22 a la altura de 1m.	81
Figura 48. Delay Spread, altura 1m.	82
Figura 49. Mapas de potencia a 1 y 2 metros de altura.....	84
Figura 50. Radial de Y=31 para la altura de 1m.....	85
Figura 51. PDPs, fila 49, columna 30 a la altura de 1m.	86
Figura 52. Delay Spread altura 1m.	87
Figura 53. Mapas de potencia a 1 y 2 metros de altura.....	88
Figura 54. Radial de Y=31 para la altura de 1m.....	89
Figura 55. PDPs, fila 35, columna 23 a la altura 1m.	90
Figura 56. Delay Spread, altura 1m	91
Figura 57. Escenario de medida.....	92
Figura 58. Analizador de espectros Agilent.	94
Figura 59. Antena Factor.	94
Figura 60. Agilent CSA Spectrum Analyzer N1996A	95
Figura 61. Toma de medidas.	96
Figura 62. Instrumentación utilizada.	97
Figura 63. Analizador de espectros.	97
Figura 64. Situación de toma de medidas.....	98
Figura 65. Escenario 1 medidas.....	99
Figura 66. Escenario 3 medidas.....	100
Figura 67. Escenario 4, medidas.....	101
Figura 68. Gráfica comparación caso 3.	102
Figura 69. Escenario 4, medidas.....	103
Figura 70. Gráfica comparación caso 4.	104
Figura 71. Radioenlace tag-lector.....	106
Figura 72. Gráfica de potencia recibida para diferentes ρ escenario3 simétrico.	108
Figura 73. Gráfica de potencia recibida para diferentes ρ escenario4 simétrico.	108
Figura 74 . Gráfica de potencia recibida para diferentes ρ escenario4 asimétrico.....	109
Figura 75. Gráfica de potencia recibida para Plector 0dBm.....	110
Figura 76. Gráfica de potencia recibida para Plector 5 dBm.....	111
Figura 77 . Gráfica de potencia recibida para Plector 10 dBm.....	111
Figura 78. Gráfica de potencia recibida para Plector 15 dBm.....	112
Figura 79. Gráfica de potencia recibida para diferentes ρ escenario4 asimétrico.....	113
Figura 80. Plano superior parking.	114
Figura 81. Escenario 1 con columna.....	120

Figura 82. Mapas de potencia escenario1.....	121
Figura 83. PDPs	123
Figura 84. Delay Spread escenario 4 resol. 50.....	123
Figura 85. Mapa de potencia resol.50.....	124
Figura 86. Radial columna 22, x fija de 2,2	125
Figura 87. Delay Spread con baja resolución.	126

1. INTRODUCCIÓN

La tecnología como un área de desarrollo del ser humano, busca ofrecer una solución a los problemas cotidianos, tanto individuales como colectivos, mediante la construcción de sistemas, utilizando para ello los recursos en los que la sociedad esta inmensa.

Las nuevas tecnologías inalámbricas se expanden de una forma muy rápida y se incorporan a todo tipo de sectores: telecomunicación, juguetería, hogar, automovilístico, incluso deportivos.

En nuestra sociedad, dichas tecnologías se utilizan más a menudo y, resulta obligatoria, casi imprescindible su utilización.

Haciendo uso de dichas tecnologías, a lo largo de este proyecto, intentaremos implementar estas revoluciones, dando un paso adelante en lo que se refiere a tecnologías outdoor de localización vehicular.

Conforme avanza la tecnología surgen más aplicaciones de localización, las cuales están teniendo un gran éxito en cuanto a control y organización de recursos. Ante el avance imparable de las nuevas tecnologías inalámbricas, se generan nuevos problemas. Se quiere rapidez y eficacia, por lo que es necesario aplicarlas para escenarios como el expuesto en este proyecto, y de una forma más rápida encontrar el vehículo buscado.

La tecnología RFID no está muy asentada en la sociedad actual, pero poco a poco ha ido ganando terreno entre los sistemas de identificación automáticos. Pensado en un origen como sustituto del código de barras, ahora mismo se aplica en numerosos campos y sectores de la industria. Además hay multitud de investigaciones orientadas al uso de esta tecnología en un futuro no muy lejano. Por estos motivos va a ser esta tecnología el estudio de mayor interés en el proyecto.

La tecnología RFID ha surgido gracias a la aportación de numerosos investigadores y gracias a la aplicación de avances en otros campos tecnológicos. Los sistemas de RFID se han ido transformando, en pocas decenas de años, de simples apariciones en artículos de revistas científicas a toda una realidad. En el proyecto se ha expuesto una caracterización inicial de la tecnología, la idea es dar una primera aproximación de los elementos que suelen formar un sistema de RFID, la historia de la tecnología, y los principios básicos de operación en los que se basan estos sistemas.

Debido a la gran libertad que hay en el diseño de estos sistemas, son muchos los parámetros que podemos fijar, necesitamos unos criterios para diferenciar estos sistemas, parámetros como la frecuencia, el rango de alcance, la alimentación, etc. clasifican los sistemas RFID.

En nuestro caso, el sistema RFID va a estar referido a un sistema de estimación de localización de vehículos en aparcamientos, con el que se pretende obtener una lista de las plazas en las que es más probable que se encuentre estacionado un determinado vehículo buscado. En un primer planteamiento el sistema puede constar con: medios de lectura para la captura de datos de los vehículos estacionados en el interior del aparcamiento, a través de una pluralidad de puntos de control.

Una de las preguntas que pueden surgir es ¿por qué localizar dentro de un parking un vehículo? La respuesta es sencilla, creo que muy cotidianamente a podido ocurrir, que en grandes superficies se estaciona un vehículo y después de acabada la actividad (concierto, partido de fútbol, centro comercial, parque de atracciones...) se procede a buscar el vehículo, y ¿Dónde está?, puede que a simple vista no se visualice de una manera sencilla y que no se recuerde el lugar exacto y se demore un gran tiempo el encontrarlo.

Bien, pues este proyecto está basado en dar una solución a este problema, y que el sistema empleado sea capaz de darnos esta información de forma inalámbrica sin tenernos que preocupar por el lugar donde está estacionado el vehículo. Así la localización de nuestro vehículo la realizaríamos de una forma más sencilla, sin dar lugar a pérdidas de tiempo.

El diseño del sistema de localización mediante el uso de RFID en este recinto tiene una amplia complejidad, se trata de un recinto muy amplio y con una gran variedad de materiales, lo que hace a que el comportamiento radioeléctrico sea difícil de predecir, y dificulta la localización del sistema de comunicaciones.

Por lo tanto, gran parte de este proyecto fin de carrera se va a centrar en analizar el comportamiento electromagnético en el recinto, a las distintas frecuencias que pueden ser de interés para un sistema de localización.

2. OBJETIVOS

El objetivo de este proyecto es el conocimiento de la tecnología RFID (Radio Frequency IDentification), así como el diseño de un prototipo de sistema de identificación y la simulación del canal inalámbrico en el que se realiza la comunicación entre los elementos del sistema.

Se centra en el análisis del comportamiento y viabilidad de un sistema inalámbrico de localización de vehículos en parkings de grandes superficies, estudiando aquí la influencia del entorno exterior en la distribución de la energía radioeléctrica en este.

Se pretende dar una visión general de las tecnologías inalámbricas existentes y sus posibilidades de implantación en este ámbito.

Se estudiará este sistema de localización inalámbrico basado en tecnología de comunicaciones RFID, y se realizará un completo estudio radioeléctrico tanto teórico como práctico de diferentes escenarios.

Existen diferentes tecnologías RFID para aplicación a la localización de personas y materiales en función de la precisión que se requiere, estos sistemas son denominados RTLS (Real Time Location System).

Básicamente se puede distinguir entre soluciones que utilizan RFID pasiva (normalmente UHF) en las que la localización se realiza por zonas, o RFID activas (sistemas basados en tecnología Wifi a 2,4 GHz u otros sistemas propietarios a 433 MHz), más precisas y que pueden llegar a facilitar las coordenadas de posición de una persona u objeto ubicados dentro de una zona de cobertura.

En nuestro caso trabajaremos a una frecuencia UHF (Típico 850-950MHz) en el rango de 868 MHz y de alimentación pasiva, es decir las etiquetas no poseen alimentación. El sistema está pensado para leer todas las etiquetas en un su rango de alcance, centrándonos en el análisis de la propagación electromagnética de señales en un entorno complejo.

Debido a las características complejas del canal de RF, es necesario estudiar el efecto del entorno, interferencia y posición de los nodos interiores de la red.

Para ello, se cuenta con los siguientes elementos:

- Medidas empíricas de RF
- Simulaciones sobre modelos empíricos
- Simulaciones sobre trazado de rayos 3D deterministas
- Análisis del impacto de sistemas de posible implantación (RFID/NFC, ZigBee).

La memoria se ha estructurado en cuatro grandes bloques. En el primero se introduce el estado actual de la posible implantación de sistemas inalámbricos aplicados al sector automovilístico y las posibles tecnologías mediante las cuales podría tener cabida con un bajo coste. En el segundo se trata la problemática existente respecto al enlace del canal radioeléctrico por el cual se transmiten las señales electromagnéticas y se generan todos los fenómenos que las acompañan. En el tercero se exponen los escenarios utilizados y se entra en detalle en los resultados obtenidos, tanto de las simulaciones como de las medidas. Y en el cuarto bloque se presentarán las conclusiones sacadas y las futuras líneas de trabajo.

3. ESTADO DEL ARTE

En este apartado se introduce la complejidad del canal radioeléctrico y cómo tratarlo, como se propagan las ondas electromagnéticas y que problemas se encuentran. También se plantearán distintas tecnologías de posible utilización en la localización existentes y qué se tendrán en cuenta para las posibles soluciones.

3.1. Situación actual

Antes de adentrarse en el proyecto, se hizo un estudio de cómo se encuentra este tema en la actualidad, su grado de desarrollo y las investigaciones realizadas en este ámbito.

Actualmente, la utilización de comunicaciones inalámbrica para la localización de vehículos en parkings de grandes superficies no está lo suficientemente desarrollada.

En cuanto a la aplicación de la tecnología RFID en la industria del automóvil, se encuentra que a principios de los 90 aparecieron sistemas RFID con transponders de sólo lectura destinados a la inmovilización de automóviles como un adelanto importante en la seguridad de los vehículos ante posibles robos. Los transponders de estos sistemas eran muy pequeños (cabían en la llave), no necesitaban baterías y eran de solo lectura.

Cada uno de estos transponders disponía de un único y fijo código de seguridad. Su funcionamiento era sencillo, cuando el propietario giraba la llave producía unas señales electromagnéticas que eran las que verificaban la llave y permitían el arranque del motor.

En el sector de la seguridad en el automóvil, también se diseñó un sistema que inmovilizase el vehículo, de modo que cuando el usuario cerraba la puerta con su mando, generaba un código que recibía el coche y que volvía a enviar al transponder del mando a modo de confirmación.

Otra aplicación en los automóviles que cada vez incorporan más, es la tarjeta identificadora que permite que el vehículo se abra sin necesidad de introducir ninguna llave. Sólo necesita que el propietario se acerque lo suficiente al vehículo con su tarjeta para que detecte un transponder, lo confirme y proceda a desbloquear las puertas. Es un sistema más útil que el tradicional “mando a distancia”; en el que había que presionar un botón para abrir el vehículo.

Se encontraron investigaciones en las que implementaban redes de sensores en establecimientos para el aparcamiento de vehículos.

El proyecto XALOC que llevara a cabo la empresa WorldSensing, la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB) y el Centro Tecnológico de Telecomunicaciones de Cataluña (CTT).

Este proyecto XALOC pretende desarrollar una plataforma que esté basada en una WSN (Wireless Sensor Network) capaz de realizar tareas de detección de plazas de aparcamiento libres en exteriores y localización de vehículos.

Gracias a la utilización de dicha información será posible guiar a los conductores hacia las plazas de aparcamiento disponibles dentro del área de interés.

En el pavimento de la calle justo en el centro de las áreas azules y verdes como se muestra en la figura se sitúan los sensores de la red. Estos sensores, denominados nodos, detectan la ausencia o presencia de vehículos y transmiten esta información a un supernodo que actuara de pasarela a Internet.

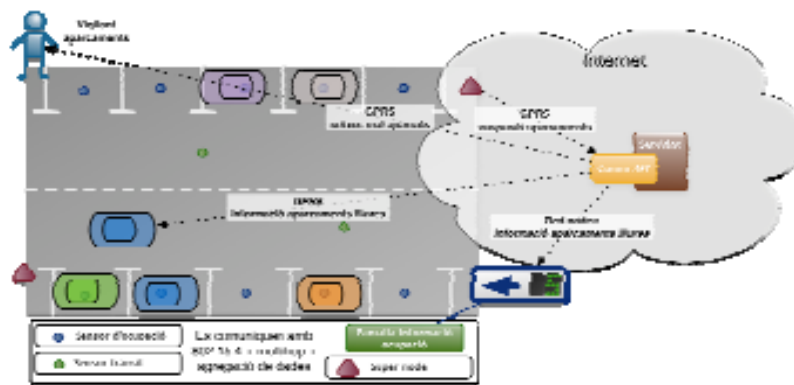


Figura 1. Situación plataforma XALOC

Este supernodo será el encargado de enviar los datos a un servidor central, que los procesa y los envía a paneles indicativos situados en la calle, los cuales tienen la función de mostrar información del estado de ocupación actual de la zona en cuestión.

Aunque aquí la problemática es distinta esta empresa está estudiando la posibilidad de aprovechar la plataforma de sensores para poder localizar a los usuarios que quieran encontrar aparcamiento. Para ello, se diseñará un navegador portátil para el usuario que aprovechará las señales de comunicaciones, propias de la red de sensores, con el objetivo de posicionarse dentro del entorno urbano.

Una vez localizado, el navegador se comunicará con el servidor central de XALOC para conocer el nombre de aparcamientos libres en la zona y su ubicación. Acto seguido, se transmitirá toda esta información al usuario y la actualizará periódicamente. Cabe destacar que la tecnología de posicionamiento y localización es totalmente novedosa y ofrece grandes ventajas respecto navegadores convencionales

basados en GPS como son un mejor comportamiento en entornos urbanos, un tiempo de posicionamiento más reducido y mejor cobertura del servicio.

Finalmente se debe comentar el proyecto realizado por otra empresa que abarca innovaciones en este ámbito es, Quality Information Systems, desde su constitución, se ha dedicado a investigar y desarrollar aplicaciones y sistemas relacionados con el control de tránsito de vehículos y lectura automática de matrículas.

Basándose en su tecnología propia y en su know how, Quality ha desarrollado un sistema integral de señalización, guiado y ayuda a la localización de vehículos en aparcamientos, denominado SILVA.

Este sistema denominado SILVA tiene varias funcionalidades.

Por una parte la de señalización y guiado a los usuarios del aparcamiento para facilitar la localización de plazas libres, lo que muchas veces se denominan sistemas Plaza a Plaza.



Figura 2. Vehículos en aparcamientos (SILVA)

Por otra, una novedosa prestación que consiste, en combinación con el sistema de lectura de matrículas de Quality, en una ayuda a la localización de un determinado vehículo buscado en un determinado momento, y que básicamente permite a los responsables del aparcamiento que mediante la introducción de la matrícula del vehículo buscado, el sistema facilite una pequeña lista de las plazas en las que es más probable que se encuentre estacionado el mencionado vehículo.

Se basa en algoritmos de fuzzy logic y redes neuronales, teniendo además en cuenta la lectura de matrículas, distancia del punto de control a la plaza por las distintas rutas posibles, el volumen de movimientos del aparcamiento, la fluidez del tráfico, etc.

Todos estos sistemas aportan unas ventajas claras en el ámbito tratado, estas son: Seguridad, control de plazas reservadas, reducción del tiempo de aparcamiento, reducción de costes, fidelización con el cliente, ahorro de energía y reducción de la contaminación.

3.2. Tecnologías y características técnicas

En este apartado se va a tratar de tecnologías que nos pueden proporcionar resultados de localización. Se van a ver las características principales de dos tecnologías, RFID y ZigBee. Esta tecnología (ZigBee), a pesar de que no se va a tener en cuenta para la solución de localización de este proyecto, se estudiará brevemente como línea futura.

3.2.1 Tecnología de Identificación por Radiofrecuencia(RFID)

3.2.1. 1. Evolución histórica

El origen en procedimientos similares a RFID están relacionados con la II Guerra Mundial, donde el uso del radar para detectar aviones era algo habitual. El problema era que no había manera de distinguir entre aviones amigos o enemigos, pero el ejército alemán descubrió que si los pilotos balanceaban sus alas al volver a la base, la señal de radio reflejada cambiaría, con funcionamiento similar a un dispositivo RFID pasivo.

Fue en 1939 cuando los británicos inventaron el sistema IFF (“Identification Friend or For” o “Identificación Amigo o Enemigo”), una tecnología que servía para identificar aeroplanos utilizada en la II Guerra Mundial. Los primeros equipos electrónicos que se construyeron para la identificación recibieron el nombre de “Transponders” (Equipos que reciben en una frecuencia y transmiten en otra), que estuvo operativa a partir de 1940 conocido con el nombre de MARK I.

En la década de los 60 se implantaría el EAS “Electronic Article Surveillance” (Vigilancia Electrónica de Artículos), un sencillo sistema para detectar robos usando ondas de radio en grandes almacenes, que solo usaba un bit para detectar la etiqueta o no por el lector y hacer sonar una alarma acústica en caso de que pasara una etiqueta sin desactivar. Este método era muy económico y efectivo por lo que su uso se extendió rápido.

Mario Cardullo, en 1973, presentó lo que sería el primer antecesor real del RFID moderno, un transceptor de radio pasivo con memoria reescribible. Este dispositivo estaba potenciado por la señal emisoras y contaba con 16 bits de memoria. Fue demostrado y su objetivo era ser un dispositivo de peaje. Este sistema abría las puertas sin necesidad de llaves, una tarjeta con un transpondedor comunicaba una señal al lector de la puerta que cuando validaba la tarjeta desbloqueaba la cerradura.

El plan de negocio original presentaba usos en los sectores de transporte (identificación de vehículos, sistema automático de peaje, placas vehiculares electrónicas, etc.), banca (cheque electrónico, tarjetas de crédito electrónicas), seguridad (identificación de personal y de ganado vacunado, vigilancia) y cuidados de la salud (Identificación, historial de pacientes), muchos de los campos en los que hoy en día es utilizado el RFID.

Fue en la década de los 80 cuando esta tecnología adquirió una completa implantación, en EEUU se implementó en aplicaciones para transporte acceso y en menor medida en los animales y en países europeos como Francia, España, Portugal e Italia se centraron en aplicaciones industriales y sistemas de corto alcance para controlar animales.

El RFID continuó extendiéndose, en la siguiente década, con el uso en EEUU del peaje con control remoto al paso de los vehículos, en Europa se usaría para billetes electrónicos y el control de acceso. El último gran avance se daría en el sector del automóvil implantándose varias acciones como el sistema de control de encendido y de acceso al automóvil. El éxito de la tecnología RFID hizo que a partir de aquí se aplicara en otros muchos campos.

Actualmente el principal desarrollador y responsable de implantar esta tecnología es AutoID Labs, una sociedad constituida que se conforma de un centenar de empresas, universidades y centros de investigación de todo el mundo cuando se crean los primeros estándares. Estos son los responsables de desarrollar la red EPC (Código Electrónico de Producto) y sus componentes. El EPC es un código único que se graba en el tag RFID y se coloca en cada producto, pudiendo hacer un seguimiento exacto de cada unidad física. Este contendrá el Global Trade Item Number (GTIN), identificación de la empresa y producto del sistema más otros datos adicionales, dándole la identificación única. Este código tiene 96 bits.

El año 2003 marcó un hito e importancia en el desarrollo de la tecnología RFID: Walmart y el Departamento de Defensa (DoD) estadounidense decidieron adherirse a la tecnología RFID. Les siguieron otros fabricantes, como Target, Procter & Gamble y Gillette.

3.2.1.2. Definición de la tecnología

El RFID es una tecnología que haciendo uso de las ondas electromagnéticas es capaz de intercambiar información de identificación mediante diferentes dispositivos, que normalmente se componen de etiquetas o tags que guardan la información del

objeto específico y una antena/lector que se encarga de preguntar y posteriormente recibe la información.

RFID cuyas siglas en inglés significan Radio Frequency Identification (Identificación por radiofrecuencia) es un sistema englobado dentro de los Auto-ID (Auto Identificación) junto con los sistemas de código de barras, identificación ocular, identificación por voz y demás. La característica común de todos estos sistemas es que son capaces de identificar algo automáticamente o sin necesidad de que un humano intervenga en el proceso de identificación.

Es ideal es un sistema flexible, barato, robusto y en definitiva versátil que adquiere el nombre de RFID o identificación por radiofrecuencia.

Acorde diferentes criterios, existen distintos tipos de sistemas RFID.

Según su capacidad de programación:

- Sólo lectura: las etiquetas no pueden ser reprogramadas y se programan únicamente durante su fabricación.
- Una escritura y múltiples lecturas: las etiquetas permiten una única reprogramación.
- De lectura/escritura: las etiquetas permiten múltiples reprogramaciones.

Según el modo de alimentación:

- Activos: si las etiquetas requieren de una batería para transmitir la información, lo que los hace totalmente independientes a la señal transmitida por el dispositivo lector. La distancia de identificación se incrementa muchísimo con respecto de los tags pasivos. El ciclo de vida estará limitado al ciclo de vida de su propia batería.
- Pasivos: si las etiquetas no necesitan batería, por lo que permiten al dispositivo transpondedor trabajar sin necesidad de fuente de alimentación propia, lo que lo hace más económico, de menor tamaño, y con un ciclo de vida ilimitado. Como desventaja está la dependencia con el campo electromagnético generado por el dispositivo lector y por tanto la correspondiente limitación de la distancia de identificación.

Según el rango de frecuencia de trabajo:

- Baja Frecuencia (LF): se refiere a rangos de frecuencia inferiores a 135 KHz.
- Alta Frecuencia (HF): cuando la frecuencia de funcionamiento es de 13.56 MHz.
- Ultra Alta Frecuencia (UHF): comprende las frecuencias de funcionamiento en las bandas de 433 MHz, 860 MHz, 928 MHz.

- Frecuencia de Microondas: comprende las frecuencias de funcionamiento en las bandas de 2.45 GHz y 5.8 GHz.

Banda de Frecuencias	Descripción	Rango
125 kHz - 134 kHz	LF (Baja Frecuencia)	Hasta 45 cm.
13,553 MHz - 13,567 MHz	HF (Alta Frecuencia)	De 1 a 3 m.
400 MHz - 1.000 MHz	UHF (Ultra Alta Frecuencia)	De 3 a 10 m.
2,45 GHz - 5,4 GHz	Microondas	Más de 10 m.

Figura 3. Banda de frecuencia utilizadas en RFID (empresa Aetic)

Según el protocolo de comunicación:

- Dúplex: el transpondedor transmite su información en cuanto recibe la señal del lector y mientras dura ésta.
A su vez pueden ser:
 - o Half dúplex, cuando transpondedor y lector transmiten en turnos alternativos.
 - o Full dúplex, cuando la comunicación se realiza de una forma simultánea. En estos casos el transpondedor transmite a una frecuencia distinta que la del lector.
- Secuencial: el campo del lector deja de transmitir a intervalos regulares, momento que aprovecha el transpondedor para enviar su información. Se hace uso exclusivamente con etiquetas activas, ya que el tag no puede aprovechar toda la potencia que le envía el lector y requiere una batería adicional para transmitir, lo cual incrementaría el coste.

Según el principio de propagación:

- Acoplamiento inductivo: Utilizan el campo magnético creado por una corriente que circula por la antena del lector para alimentar el tag. Opera en el campo cercano y a frecuencias bajas (LF y HF).
- Acoplamiento capacitivo: Utilizan la propagación de radiofrecuencia de la onda electromagnética para alimentar la etiqueta, y esta recibe, modula y envía de nuevo hacia el lector. Opera en el campo lejano y a muy altas frecuencias (UHF y microondas).

Este sistema cumple las cuatro condiciones (flexible, barato, robusto y en definitiva versátil), ya que el tag o receptor puede ser una pegatina con un chip que se sitúa en cualquier parte del objeto a identificar y que siendo pasivo no necesitara ningún tipo de alimentación.

Además su lectura se llevara a cabo mediante radiofrecuencia, lo que implica que no sea necesaria la visión directa entre receptor y emisor.

Se muestra el caso pasivo, es decir el tag es un elemento sin fuente de energía propia, usa la energía que recibe con la petición de información del lector.

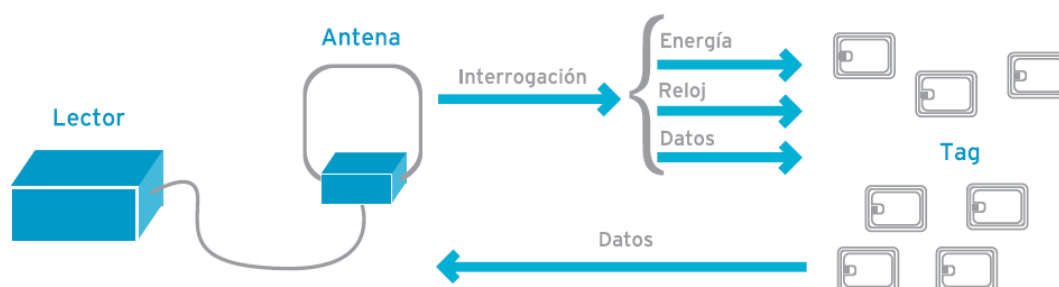


Figura 4. Esquema general del funcionamiento de un sistema RFID.

Como se muestra en la figura 6 los tags más simples están compuestos únicamente por una antena y un chip para la memoria y el circuito mínimo para que funcione.

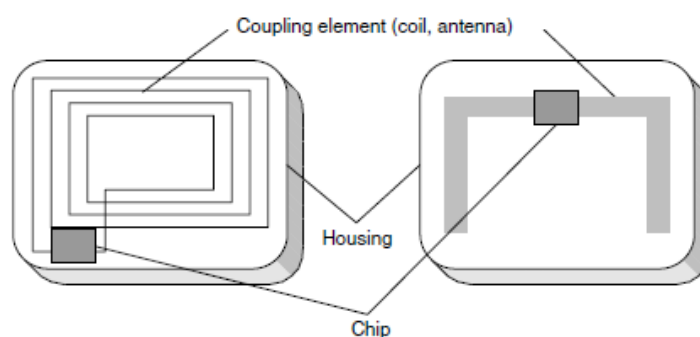


Figura 5. Esquema de una etiqueta RFID, una antena y un chip con la información.

Como se ha visto anteriormente estos tags se pueden dividir en dos grupos, activos y pasivos. La diferencia entre ellos es que las etiquetas pasivas no tienen ninguna fuente de alimentación incorporada y su total alimentación depende exclusivamente del campo electromagnético generado por el lector y los tags activos en cambio, cuentan con una fuente de alimentación interna. La ventaja principal del segundo tipo de tag es que permite comunicaciones a más largas distancias ya que la energía recibida se usa íntegramente para enviar el mensaje y no se desvía parte a alimentar el chip.


A continuación se puede observar una tabla comparativa entre los dos tipos de tags, tags pasivos y tags activos.

Tag Pasivo	Tag Activo
Funciona sin batería	Funciona con batería
Relativamente económico	Relativamente costoso
Ciclo de vida ilimitado	Ciclo de vida limitado por la batería
Poco peso	Mayor peso
Alcance limitado (3 - 5m)	Mayor alcance (100 m)
Sensible al ruido	Mayor inmunidad ante presencia de ruido
Dependencia de la señal del dispositivo lector	Trasmisor propio
Requiere dispositivos lectores potentes	Relaja el requisito de potencia de los lectores
Velocidad de transmisión baja	Velocidad de transmisión alta
Lectura simultánea baja	Lectura simultánea alta
Alta sensibilidad de orientación	Menor sensibilidad de orientación

Figura 6. Comparativa entre características de tags pasivos y tags activos (empresa Aetic)

Este sistema posee un gran número de aplicaciones, entre ellas destacan: gestión de expedición y recepción de productor, servicios de trazabilidad en la cadena de suministro, gestión de tienda inteligente, localización, identificación de personas, seguridad y control de procesos sanitarios. Este gran número de aplicaciones posee multitudes de casos de éxito, tanto nacionales como internacionales. Algunos de ellos se exponen de manera resumida:

Sector: Alimentario y bebidas.
Año: 2006.
Empresa: Grupo Leche Pascual. España.
Estado: Explotación.
Problemática a resolver: Gestión integral de la cadena de abastecimiento de la producción de huevo líquido.
Beneficios aportados: Control automático fiable, seguro y desasistido de la producción; trazabilidad del huevo; visibilidad completa y en tiempo real de todos los procesos y estados de la producción. Información en tiempo real del stock de cada granja permitiendo programar las recogidas. Garantías de calidad de productos.
Evaluación: Positiva, van a integrar la tecnología en otros procesos.
Equipamiento/Solución: Se etiquetan los carros que transportan los huevos de cada una de las granjas. Los camiones disponen de ordenadores con Wi-Fi, GPS y RFID con 3 antenas en el interior del remolque. Mediante Wi-Fi se transmiten los datos capturados en el camión a los sistemas de información de la empresa.
Suministradores: Siemens, Instituto Tecnológico de Castilla-León y Aida Centre.

Sector: Salud.	
Año: 2006 - 2008.	
Empresa: Empresa Pública Hospital Costa del Sol. España.	
Estado: En explotación.	
Problemática a resolver: Identificación de pacientes, mejora y verificación de procesos, localización de instrumental, seguridad.	
Beneficios aportados: Mejora en la identificación de pacientes evitando errores en procesos oncológicos, quirúrgicos y de farmacia, entre otros. Mejoras de seguridad para el personal médico. Localización en tiempo real de equipamiento médico.	
Evaluación: Positiva.	
Equipamiento y descripción de la solución: Tecnología HF y WI-FI. Etiquetas RFID pasivas para identificación y activas para localización. Terminales de mano RFID con Wi-Fi y/o Bluetooth.	
Suministradores: AT4 wireless.	

Sector: Salud.
Año: 2008.
Empresa: Depuy Orthopaedics (división de Johnson & Johnson). EE.UU.
Estado: Implantado.
Problemática a resolver: Mejora en proceso de inventario y trazabilidad de productos en cadena de suministro.
Beneficios: Reducción de entregas de proceso de entrega desde unos ratios iniciales de 10.
Evaluación: Positiva, el RFID ha dado mejor resultado de lo esperado y se ve como solución para otras áreas de la empresa.
Equipamiento: Tag DogBone, solución EasyMonitor.
Suministradores: ODIN Technologies, UPM Raflatac.

Sector: Transporte.
Año: 2008.
Organización: Empresa Municipal de Transportes (EMT) de Málaga. España.
Estado: Prueba piloto.
Problemática a resolver: Pago mediante tecnología NFC.
Beneficios aportados: Este piloto pretende evaluar las posibilidades de pago mediante un dispositivo NFC, básicamente un teléfono móvil. De momento, se han seleccionado 50 usuarios que disfrutan de unas tarifas especiales.
Evaluación: El resultado es muy positivo, los usuarios ven claras ventajas en el uso de NFC, como sistema cómodo, rápido y útil; valoran que sólo con el móvil se puede comprar, pagar y acceder al bus. Si bien es un caso claro de uso de NFC, de momento no parece fácil su despliegue a gran escala debido al escaso número de terminales móviles con interfaz NFC.
Equipamiento y descripción de la solución: Se ha dotado a los participantes (durante el tiempo del piloto) de: <ul style="list-style-type: none"> • Móvil NFC Sony EricssonZ750i • Una SIM NFC especial • Una aplicación especial, para realizar las compras, y consultar los datos de su tarjeta EMT incluida en el móvil.
Suministradores: Indra, Mobipay, Orange, Oberthur.



Figura 7. Documento de la empresa Aetic

Dado el gran número de aplicaciones de este sistema, este proyecto se centra en la capacidad de identificación de un vehículo, haciendo tanto medidas reales como llevando a cabo cálculos teóricos, con el fin de ser capaces de simular un sistema RFID en un entorno teóricamente y que esta simulación sea lo más real posible.

3.2.1.3. Componentes del sistema.

3.2. 1.3.1. Transpondedores.

El transpondedor es un dispositivo cuyo nombre deriva de la fusión de las dos palabras inglesas Transmitter/Responder lo cual explica su funcionamiento. Este dispositivo va embebido en una etiqueta o tag y contiene la información referida al objeto a identificar, que cuando el lector interroga, este la transmite.

Consta principalmente de un microchip y una antena. Además en algunos casos en los que la etiqueta se trata de un tag activo, estas pueden ser más sofisticadas incluyendo una circuitería adicional con funciones características de entrada/salida, tales como registros de tiempo o estados físicos que suelen ser monitorizados mediante sensores adecuados (de temperatura, humedad, etc.).

El microchip incluye:

- Una antena que detecta el campo creado por el interrogador.
- Una circuitería analógica que se de proporcionar la alimentación y realizar la transferencia de datos.
- Una circuitería digital que consta de:
 - Lógica de control.
 - Lógica de seguridad.
 - Lógica interna o microprocesador.
- Una memoria para almacenar los datos. Esta memoria suele contener:
 - Una ROM (Read Only Memory) o memoria de sólo lectura, para alojar los datos de seguridad y las instrucciones básicas de funcionamiento del sistema.
 - Una RAM (Random Access Memory) o memoria de acceso aleatorio, utilizada para almacenar los datos durante la comunicación con el lector.

- Una EEPROM (Electrically Erasable Programmable ROM), para almacenar los datos cargados por el fabricante. Es una memoria no volátil.
- Buffers que soportan de forma temporal, tanto los datos entrantes después de la demodulación como los salientes antes de la modulación. Además actúa de interfaz con la antena.

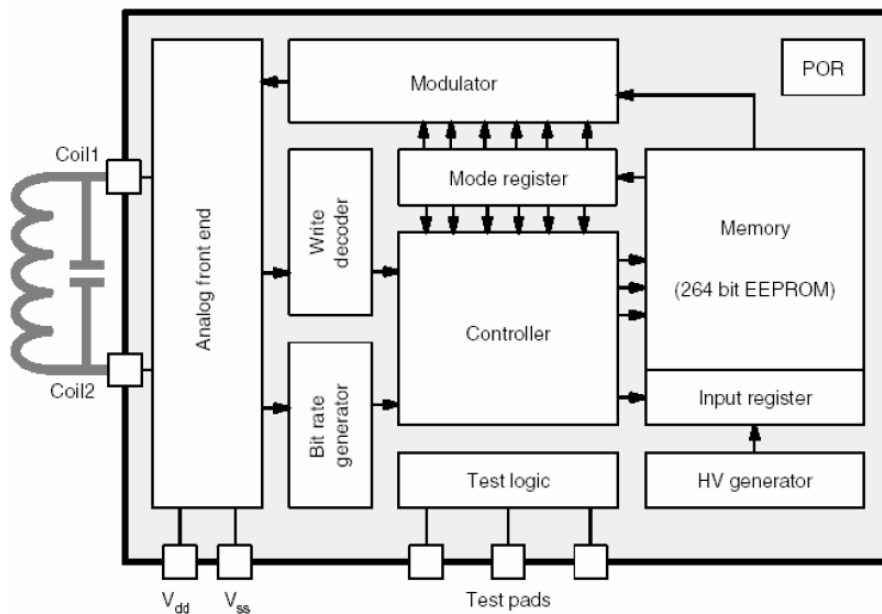


Figura 8. Esquema de un transponder de RFID

La información de la etiqueta se transmite modulada en amplitud (ASK, Amplitude Shift Keying), frecuencia (FSK, Frequency Shift Keying) o fase (PSK, Phase Shift Keying). Es decir, para realizar la transmisión se modifica la amplitud, frecuencia o fase de la señal proveniente del lector. La modulación más usual es la ASK debido a su mayor sencillez a la hora de realizar la demodulación.

En la mayoría de los casos la frecuencia utilizada por el transpondedor, coincide con la emitida por el lector. Aunque, en algunas ocasiones se trata de una frecuencia subarmónica (submúltiplo de la del lector) o incluso de una frecuencia totalmente diferente de la del lector (no armónica).

La antena que incorporan las etiquetas para ser capaces de transmitir los datos almacenados en el microchip puede ser de dos tipos:

- Un elemento inductivo (bobina).
- Un dipolo.

Existen dos modos a la hora de transferir la potencia de la antena del lector a la antena de la etiqueta, para que así ésta pueda transmitir su información de vuelta: acoplamiento inductivo y propagación por ondas electromagnéticas. Estos dos tipos de acoplamiento dependen de si se trabaja en campo cercano o en campo lejano.

Campo cercano: El campo cercano usa magnetismo inductivo entre un lector y un transpondedor. El RFID del lector está generando un campo magnético en sus alrededores, esto es debido a que una corriente alterna atraviesa el bobinado del lector. Así en un tag RFID con una bobina más pequeña que está colocado dentro del rango del lector, la corriente alterna aparece cruzándolo y el campo magnético está afectado por los datos almacenados en el tag. El voltaje es rectificado y potencia el tag. Como es potenciado, los datos son enviados de vuelta al lector usando la modulación conveniente.

Campo lejano: Tags utilizan principios del campo lejano para operar por encima de 100 MHz, típicamente en el rango 865-915 MHz hasta 2,45 GHz Ellos usan principios operativos del acoplamiento retrodispersado. En campo lejano la señal del lector es reflejado y es modulado a una diferencia de potencia alterna para transmitir los datos. El rango del sistema es limitado por la transmisión de energía enviada por el lector.

En el diseño para las especificaciones de las etiquetas RFID hay que tener en cuenta los siguientes parámetros: alimentación o potencia, frecuencia y velocidad de transmisión, modos de programación, forma, dimensiones y los costes.

Alimentación o potencia

En el inicio de la transmisión/recepción de datos de una etiqueta al lector es necesario pequeñas cantidades de energía micro o miliwatios, es decir, que dispongan de una alimentación.

Como se ha mencionado anteriormente según el modo en que estas etiquetas obtienen su energía se clasifican en activas o pasivas.

Las etiquetas pasivas, se alimentan únicamente del campo magnético producido por el lector a la hora de identificar el objeto. La ausencia de una batería hace que este tipo de etiquetas sean mucho más ligeras, pequeñas, flexibles y baratas que los activos. Además, ofrecen un tiempo de vida prácticamente ilimitado. También poseen algunas restricciones, ya que abarcan unos radios de cobertura menores y requieren más cantidad de energía procedente del interrogador para poder transmitir los datos.

Sin embargo, a pesar de estas limitaciones, las etiquetas pasivas ofrecen mejores ventajas en términos de coste y duración.

Existe un tipo especial de etiqueta pasiva que sí incorpora una batería, pero la misión de ésta es alimentar la circuitería interna del microchip. Nunca se utiliza esa energía para transmitir.

Las etiquetas activas, precisan de mayor energía, la cual es suministrada por baterías, con estas se consigue un alcance mayor en cuanto al rango de cobertura, y no necesitan ser alimentadas por el lector como en el caso de las pasivas. Por contrapartida, con la utilización de batería la vida útil de la etiqueta se reduce y el coste es mayor.

Existen dos tipos de etiquetas activas:

- Aquellas que normalmente se encuentran desactivadas (modo reposo) y se activan (despiertan) cuando un lector las interroga. De esta forma se ahorra batería.
- Aquellas que periódicamente envían señales, aunque un lector no las interroge. Con la finalidad de ahorrar batería, trabajan a frecuencias más bajas y con una menor transferencia de datos.

Frecuencia y velocidad de transmisión

Las etiquetas también se pueden clasificar según el rango de frecuencias en el que trabajen, es decir, en que frecuencias se comunicará con el lector:

-**Baja Frecuencia (LF):** se refiere a rangos de frecuencia inferiores a 135 KHz.

-**Alta Frecuencia (HF):** cuando la frecuencia de funcionamiento es de 13.56 MHz, esta banda es la llamada banda industrial, médica y científica (ISM). Tiene alcance de lectura bajo, 30 cm.

-**Ultra Alta Frecuencia (UHF):** comprende las frecuencias de funcionamiento en las bandas de 433 MHz, 860 MHz, 928 MHz. Principal ventaja es que puede ser leída hasta 3m y puede leer varias etiquetas de forma simultánea. RFID Pasivos.

- **Frecuencia de Microondas:** comprende las frecuencias de funcionamiento en las bandas de 2.45 GHz y 5.8 GHz. RFID activos.

Una mayor frecuencia encarece el precio del sistema aunque también significa una mayor velocidad en la transmisión. Uno de los parámetros de diseño más importante a la hora de crear un sistema RFID es elegir el rango de frecuencia, y se deberá adecuar a la aplicación que se desee diseñar.

Opciones de programación

Otra clasificación de las etiquetas se puede dar según el tipo de memoria que incorpore el transpondedor, este puede ser:

-**De sólo lectura.** Son dispositivos de baja capacidad, que se programan en el momento de su fabricación. Normalmente portan un número de identificación o una clave a una base de datos donde existe información referida al objeto, animal o persona a la que van adheridos.

-**De una escritura y múltiples lecturas.** Son dispositivos programables por el usuario, pero una única vez.

- **De lectura y escritura.** También son programables por el usuario pero adicionalmente permiten modificar los datos almacenados en la etiqueta más de una vez. Los programadores permiten la escritura directamente sobre la etiqueta adherida al objeto.

EPCGlobal es la organización de empresas que está específicamente orientada a desarrollar estándares globales para un Código Electrónico de Producto (EPC, Electronic Product Code) y que tiene el objetivo de normalizar la información contenida en las etiquetas RFID.

Forma y dimensiones

Las etiquetas RFID, dependiendo de la aplicación para la que son creadas, pueden tener muy diversas formas, tamaños y carcass protectoras. El proceso básico de ensamblado consiste en la colocación, sobre un material que actúa como base (papel, PVC), de una antena hecha con materiales conductivos como la plata, el aluminio o el cobre.

Posteriormente se conecta el microchip a la antena y opcionalmente se protege el conjunto con un material que le permita resistir condiciones físicas adversas. Este material puede ser PVC, resina o papel adhesivo.

Una vez construida la etiqueta, su encapsulación puede variar de modo que faciliten su inserción o acoplamiento a cualquier material (madera, plástico, piel...). Con respecto al tamaño, es posible desarrollar etiquetas del orden de milímetros hasta unos pocos centímetros. Por ejemplo los transpondedores que se encapsulan en discos o monedas, suelen tener un diámetro de entre 3 y 5 cm. Las etiquetas inteligentes RFID tienen las medidas estandarizadas de 85.72 mm x 54.03 mm x 0.76 mm \pm tolerancias.



Figura 9. Ejemplos de etiquetas comerciales

Coste

El coste de los transpondedores ha ido disminuyendo conforme avanzaba la tecnología.

Algunos factores que influyen en el coste de las etiquetas son del tipo y la cantidad que se adquieran. Cuantas más etiquetas se compren, menor será su precio. Respecto al tipo está claro que cuanto mayor capacidad de memoria y más complicación tenga su circuitería, mayor será su coste. Hay que tener en cuenta también que el encapsulado del transponder puede encarecer el precio de éste, ya que algunas aplicaciones pueden requerir carcasas robustas o de alta tolerancia a las variaciones de la temperatura, debido a las condiciones de trabajo a las que deben funcionar. El encapsulado en dichas circunstancias puede representar una proporción significativa del coste total del transpondedor de hasta un 30% elevando así su coste.

Los tags activos suelen ser más caros que los pasivos, así como los transponders que operan a una frecuencia más elevada son también más caros.

El mínimo precio objetivo actualmente es de unos 5 céntimos de euro por etiqueta, pero este será variable dependiendo de las características mencionadas anteriormente.

3.2.1.3.2. Programadores

Los programadores RFID son los dispositivos que realizan la escritura de información sobre la etiqueta RFID, es decir, codifican la información en un microchip situado dentro de una etiqueta RFID. La programación de las etiquetas se realiza una única vez si las etiquetas son de sólo lectura, o varias veces si son de lectura/escritura.

Es un proceso que generalmente se suele llevar a cabo antes de que el producto entre en las distintas fases de fabricación.

En ocasiones la reprogramación se puede llevar a cabo “en línea”, lo que significa que se reprograma la etiqueta cuando esta está sobre el artículo a identificar. Esto es especialmente interesante si la información contenida dentro de la etiqueta varía en el proceso de producción.



Quitar la etiqueta del artículo para escribir en ella la nueva información reduciría de manera significativa la flexibilidad que ofrece esta tecnología, por lo que combinar las funciones de un programador con las de un lector resulta muy útil para cambiar los datos que guarda el transpondedor sin hacer más lenta la producción.



La impresora RFID es un tipo especial de programador. Existen impresoras con capacidad de lectura/escritura, que permiten programar las etiquetas a la vez que se imprime con tinta información visible. Deben introducirse los datos deseados en la impresora, antes de realizar la escritura de la etiqueta. Una vez escritos, un lector a la salida comprueba la fiabilidad de los datos. Este tipo de programación debe realizarse sobre etiquetas especiales hechas de materiales flexibles y que permiten la impresión en su exterior. Algunos sistemas comerciales con este tipo de etiquetas son fabricados por Zebra y Printronix.

Figura 10. Impresora RFID Zebra ZM400

Por lo tanto, su funcionamiento sería el siguiente: En primer lugar el lector lee un tag y envía la información al Edge Server, quien verifica y filtra los datos por si es una lectura fantasma o simplemente están duplicados. Si son correctos, estos son enviados al Enterprise Server que registra los datos y en caso de que estos requieran una acción, transferirá la información necesaria para que el proceso empresarial se lleve a cabo.

3.2.1.3.3. Lectores

Los lectores de RFID o interrogadores utilizan ondas de radio para leer la información almacenada en la etiqueta. El lector puede enviar a la etiqueta la orden de transmitir la información que tiene almacenada, o bien la etiqueta puede transmitir la información que contiene periódicamente, en espera de que algún lector la detecte. En definitiva, el lector es el dispositivo que proporciona energía a las etiquetas, lee los datos que la etiqueta envía y los envía al sistema de información o base de datos.

Los lectores de radiofrecuencia constan de:

- Una antena.
- Un módulo de radiofrecuencia o controlador.
- Una unidad de control.

Además, el lector incorpora un interfaz a un PC, host o controlador, a través de un enlace local o remoto: RS232, RS485, Ethernet, WLAN (RF, WiFi, Bluetooth, etc.), que permite enviar los datos del transpondedor al sistema de información.

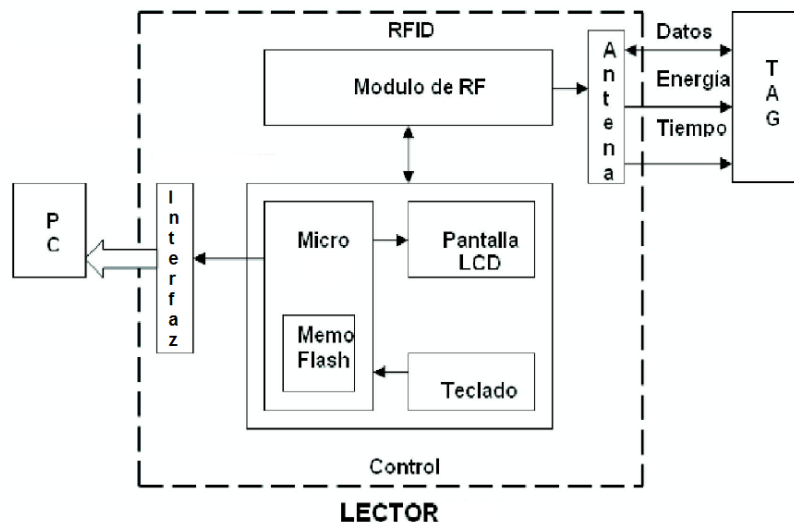


Figura 11. Diagrama de bloques de un lector RFID

El módulo de radiofrecuencia, que consta básicamente de un transmisor que genera la señal de radiofrecuencia y un receptor que recibe, también vía radiofrecuencia, los datos enviados por las etiquetas. Sus funciones por tanto son:

- Generar la señal de radiofrecuencia para activar el transpondedor y proporcionarle energía.
- Modular la transmisión de la señal para enviar los datos al transpondedor.
- Recibir y demodular las señales enviadas por el transpondedor.

La unidad de control, constituida básicamente por un microprocesador, se encarga de realizar las siguientes funciones:

- Codificar y decodificar los datos procedentes de los transpondedores.
- Verificar la integridad de los datos y almacenarlos.
- Gestionar el acceso al medio: activar las etiquetas, inicializar la sesión, autenticar y autorizar la transmisión, detectar y corregir errores, gestionar el proceso de multilectura (anticolisión), cifrar y descifrar los datos, etc.
- Comunicarse con el sistema de información, ejecutando las órdenes recibidas y transmitiéndole la información obtenida de las etiquetas.

Una de las funciones más importantes que debe realizar la unidad de control es gestionar el acceso al medio. Cuando se transmite información mediante una tecnología que no requiere contacto físico, existe la posibilidad de que aparezcan interferencias que provoquen cambios indeseados a los datos transmitidos y, en consecuencia, errores durante la transmisión. Para evitar este problema se utilizan procedimientos de comprobación (checksum). Los más comunes son la comprobación de bits de paridad, comprobación de redundancia longitudinal (LRC, Longitudinal Redundancy Check) y comprobación de redundancia cíclica (CRC, Cyclic Redundancy Check). El número de etiquetas que un lector puede identificar en un instante de tiempo depende de la frecuencia de trabajo y del protocolo utilizado. Por ejemplo, en la banda de alta frecuencia suele ser de 50 tags por segundo, mientras que en la banda de ultra alta frecuencia puede alcanzar las 200 tags por segundo.

La antena del lector es el elemento que da paso a la comunicación entre el lector y el transpondedor. Las antenas están disponibles en una gran variedad de formas y tamaños. Su diseño puede llegar a ser crítico, dependiendo del tipo de aplicación para la que se desee utilizar. Este diseño puede variar desde pequeños dispositivos de mano hasta grandes antenas independientes.

Las antenas del lector son el componente más sensible de un sistema RFID y pueden variar en función de la aplicación concreta. Así, las antenas pueden ser:

- De sobremesa: se incorporan a los puntos de identificación y control o terminales punto de servicio, para la lectura y escritura de las etiquetas.
- De puerta: se disponen en pedestales en el suelo e incluyen elementos de alarma con fines antirrobo y para control de acceso.
- De diseño a medida (góndolas, expositores...). Variar la ubicación de la antena del lector es una de las formas más fáciles de ajuste cuando se localizan problemas de un sistema, y al mismo tiempo resulta una de las tareas más difíciles de llevar a cabo de forma correcta.

El principal aspecto a considerar a la hora de elegir una antena, es el área de cobertura necesaria para la aplicación concreta, de modo que sea lo suficientemente grande para detectar las etiquetas pero lo suficientemente pequeña para evitar lecturas no válidas que pueden afectar y confundir al sistema.

Es importante buscar el acoplamiento óptimo ente ambas antenas (lector y etiqueta) y en caso de que no se pueda controlar la posición de la etiqueta, compensarlo diseñando adecuadamente la antena.

Las pérdidas en la comunicación o la debilitación de la señal puede ocurrir por los siguientes factores:

- a) Pérdidas debido a la proximidad de metales o líquidos
- b) Pérdida del cableado de la antena
- c) Pérdida de señal
- d) Proximidad con otros lectores/antenas
- e) Variaciones ambientales
- f) Interferencia desde otras fuentes RF
- g) Campos de corriente
- h) Refracción de la señal
- i) Diálogos cruzados(diafonía)

Los principales parámetros que caracterizan un lector RFID son:

- Frecuencia de operación. El lector puede funcionar a baja frecuencia, alta frecuencia, ultra alta frecuencia y frecuencia de microondas. Ya existen en el mercado lectores multifrecuencia.
- Protocolo de funcionamiento. Muchas compañías ofrecen soporte multiprotocolo (ISO, propietarios...), pero no admiten todos los protocolos existentes.
- Tipo de regulación que siguen. Por ejemplo, existen distintas regulaciones de frecuencia y de potencia en Estados Unidos y en Europa:
 - La banda de UHF funciona a 902 – 930 MHz en Estados Unidos y a 869 MHz en Europa.
 - La máxima potencia permitida es de 2 Watios en Estados Unidos y 0.5 Watios en Europa.
- Interfaz con el sistema host:
 - TCP/IP.
 - WLAN.
 - Ethernet (10BaseT).
 - Serie: RS 232, RS 485.
- Capacidad para multiplexar muchos lectores:
 - A través de concentradores.
 - A través de middleware.
- Capacidad para actualizar el software del lector on-line:
 - Vía Internet.

- Vía interfaz con el host.
- Capacidad para gestionar múltiples antenas, típicamente 4 antenas/lector.
- Capacidad para interactuar con otros productos de middleware.
- Entrada/salida digital para conectar otros dispositivos tales como sensores externos o circuitos de control adicionales.



Figura 12. Lector RFID UHF DL910 y lector portátil IMC9060

Dependiendo de las necesidades, el lector puede trabajar de tres modos diferentes:

- a) El lector interroga su zona de cobertura continuamente, es decir, emite un campo electromagnético de forma constante. Este modo de trabajo se utiliza cuando se espera que múltiples etiquetas pasen de forma continua por la zona de cobertura.
- b) El lector interroga la zona de cobertura periódicamente en busca de nuevos dispositivos RFID.
- c) El lector interroga la zona de cobertura de forma puntual, sólo cuando debe hacerlo. Este procedimiento se puede llevar a cabo cuando algún otro dispositivo detecta la presencia de una etiqueta, por ejemplo haciendo uso de un sensor.

3.2.1.3.4. Middleware

El middleware se podría definir como el software del lector RFID, es la plataforma existente entre los lectores y los sistemas de información, para gestionar, controlar y enviar datos adquiridos por el hardware RFID.

El middleware tiene muchas funcionalidades y cada desarrollador le añade características y funciones que le proporciona una identidad propia a cada uno de ellos, por eso, a continuación se muestran las funcionalidades de forma genérica:

- **Gestión de dispositivos:** La mayoría de los middleware pueden controlar cualquier tipo de hardware como lectores, tags, sensores, impresoras o dispositivos tipo actuadores. Puede controlar tanto el estado de salud del lector como su funcionamiento y alertar al administrador de cualquier tipo de anomalía.
También pueden incorporar una función para que responda ante el mal funcionamiento activando por ejemplo un segundo lector. Por último también puede ser capaz de actualizar los dispositivos que se le indique.
- **Procesamiento de datos:** La función de lector RFID es la recogida de un gran volumen de datos de forma automática que ofrecen información de lo que está sucediendo. Este proceso lleva implícita la posibilidad de que algunos datos este duplicados y puedan producir una sobrecarga del sistema lo que conlleva a que el sistema de gestión empresarial se ejecute de una forma más lenta.
Además el Middleware es capaz de darle importancia a la información que recibe, configurando alertas según esta, por ejemplo alertando de que un producto está a punto de perderse.

Para facilitar el filtrado de datos EPCglobal ha configurado una especificación de interfaz de middleware llamada ALE (Application Level Events), que la mayoría de proveedores de middleware usan.

En lo que se refiere a la arquitectura del middleware se diferencian dos grandes bloques, el primero de ellos Edge Server (ubicación local) y el segundo Enterprise Server (Ubicación central).

La primera es la infraestructura situada a nivel local donde se conectan los dispositivos RFID y la segunda se sitúa donde la empresa centraliza sus aplicaciones. Los múltiples Edge servers se conectarían al Enterprise Server que es la encargada de centralizar toda la información.

Por lo tanto, su funcionamiento sería el siguiente: En primer lugar el lector lee un tag y envía la información al Edge Server, quien verifica y filtra los datos por si es una lectura fantasma o simplemente están duplicados. Si son correctos, estos son enviados al Enterprise Server que registra los datos y en caso de que estos requieran una

acción, transferirá la información necesaria para que el proceso empresarial se lleve a cabo.

RFID funciona desde frecuencias de 135 kHz hasta $5,8\text{GHz}$ y con capacidad para interrogar de distancias de 1 cm a 15m . Pero en el caso que nos ocupa se van a emplear el rango frecuencial de 868MHz . Los tags RFID contienen muy poca información, de 16 a 64 kbits y el tiempo de lectura es de 0,5 segundos que para la aplicación de localización que se está buscando está muy bien, a pesar de que hoy en día una memoria con capacidad en el rango de kbits es muy pequeña, ya que se habla de capacidades de Gbits o Tbits, pero para la aplicación que nos ocupa esa capacidad es más que suficiente, porque solo es necesario almacenar un identificador distinto para cada usuario (coche), que puede ser el número de matriculación, por ejemplo.

3.2.1.3.5. Normalización y regulación.

3.2.1.3.5.1. Estándares

Existen numerosos organismos regulatorios que influyen en mayor o menor medida en la estandarización de la tecnología RFID. La ISO (“International Organization for Standardization”) define estándares comerciales e industriales a nivel mundial. La IEC (“International Electrotechnical Commission”), por su lado, promueve la cooperación internacional para la estandarización en los campos de la electrónica y las tecnologías. Ambos organismos definen los estándares ISO/IEC.

Estándares ISO/IEC para RFID	
11784 11785 14223	Contienen la estructura del código de identificación por radiofrecuencia para animales. El estándar ISO 14223 detalla el interfaz aire entre el lector y el transpondedor RFID basado en la condición de compatibilidad según la norma ISO 11784-5.
10536 14443 15693	Definen las características físicas, el interfaz aire y la inicialización, y los protocolos anti-colisión y de transmisión de tarjetas inteligentes (“vicinity cards” y “proximity cards”). Estas tarjetas se pueden utilizar para una o múltiples aplicaciones (control de acceso,

	autenticación de usuarios, prepago).
10374	Especifica todos los requisitos de usuario para la identificación automática de contenedores de carga, incluyendo sistemas de identificación del contenedor, codificación de datos, criterios de rendimiento y seguridad.
15961 15962 15963	Estándares para las técnicas de identificación automática y adquisición de datos para gestión de objetos. Incluyen protocolo de datos, interfaz de aplicación, reglas de codificación de datos e identificación única.
Series 18000	Las normas ISO 18000 1 a 7 definen los parámetros para el interfaz aire en las frecuencias aceptadas de forma internacional: 135 kHz, 13.56 MHz, banda UHF, 2.45 GHz y 5.8 GHz. La norma 18046 se centra en los métodos de prueba de rendimiento de tags y lectores, mientras que la norma 18047 se ocupa de los test de conformidad de los dispositivos. Este estándar es similar al de EPCGlobal

La serie ISO/IEC 18000 se utiliza conjuntamente con otros estándares de capas superiores que definen el resto de funcionalidades. En la siguiente tabla se describen los estándares de esta serie que definen el interfaz aire de un sistema RFID.

18000-1	Parámetros genéricos para el interfaz aire en todas las frecuencias.
18000-2	Parámetros para el interfaz aire para comunicaciones por debajo de 135 kHz.
18000-3	Parámetros para el interfaz aire para comunicaciones a 13.56 MHz.
18000-4	Parámetros para el interfaz aire para comunicaciones a 2,45 GHz.
18000-5	Parámetros para el interfaz aire para comunicaciones a 5.8 GHz.

18000-6	Parámetros para el interfaz aire para comunicaciones desde 860 a 960 MHz. La ISO 18000-6A y B especifican el interfaz aire para RFID pasivas en la banda UHF (900 MHz).
18000-7	Parámetros para el interfaz aire para comunicaciones a 433 MHz.

Figura 13. Estándares ISO/IEC

3.2.1.3.5.2. EPCGlobal

EPCGlobal es una organización sin ánimo de lucro que se creó, apoyada por la industria, para establecer y mantener la red EPCGlobal (“EPCGlobal Network”) como el estándar mundial para la identificación automática de objetos en la cadena de suministro. Por tanto, EPCGlobal define estándares RFID a todos los niveles:

- El formato lógico de los datos contenidos en una etiqueta EPC.
- El protocolo de comunicaciones de los siguientes tipos de etiquetas:
 - Clase 0 a 900 MHz.
 - Clase 1 a 13.56 MHz.
 - Clase 1 para el rango de 860 a 930 MHz.
- Middleware de recogida y tratamiento de datos (“Savant”), incluyendo la comunicación con los equipos de lectura/escritura.
- La especificación PML (“Physical Markup Language”), lenguaje basado en XML que define el formato de la información intercambiada ente componentes dentro de la red EPC.
- La especificación ONS (“Object Name Service”), para la red global, que retiene la información sobre cualquier objeto en el mundo etiquetado con un tag EPC.

El estándar EPC Clase 1 Generación 2 (C1G2) se ha publicado como estándar ISO 18000-6C reconocido internacionalmente para gestión y control de cadenas de suministros. Es, por tanto, el punto de unión entre los estándares ISO y EPC.

3.2.1.3.5.2. Legislación.

Adicionalmente a la regulación del espectro radioeléctrico y a la estandarización de la tecnología, existen otras consideraciones legales a nivel internacional que afectan al desarrollo e implantación global de la tecnología RFID, y que hay que tener en cuenta en los proyectos que incluyan esta tecnología.

Para LF y HF se ve que existe una legislación homogénea en todo el mundo. Sin embargo, en la banda UHF, al estar aún en desarrollo, no se ha llegado a dicha homogeneización.

En Estados Unidos, sin tener en cuenta las leyes individuales aprobadas por los distintos estados que limitan o regulan el uso de la tecnología, la FCC (“Federal Communications Commission”) ha aprobado que los lectores de RFID en la banda UHF puedan operar con una potencia máxima de transmisión de 4 W, el doble que en Europa. El ancho de banda permitido para la comunicación es también mayor que el aprobado en Europa, lo que permite instalar una mayor cantidad de lectores en un mismo espacio (mayor densidad).

Estas restricciones de potencia y ancho de banda de comunicación en Europa se deben a la coincidencia de la banda UHF con la utilizada por los móviles GSM. Actualmente, con la aprobación en 2004 del estándar EN 302 208 de la ETSI, la potencia máxima que pueden utilizar los equipos es de 2 W, en la banda de 865 a 868 MHz. En España ya se ha aprobado su utilización, eliminando la solicitud de licencia que era necesaria previamente.

En otros países también existen diferencias regulatorias. En China, siendo uno de los mercados con mayores expectativas, aún no existe regulación oficial para la banda UHF.

Otras regulaciones que influyen de forma positiva en el desarrollo de RFID son las relacionadas con la seguridad o con la trazabilidad de los productos.

3.2.1.4. Near Field Communication (NFC)

3.2.1.4.1. Conceptos de la comunicación

Este concepto NFC, Near Field Communication (NFC) es un protocolo basado en una interfaz inalámbrica. La comunicación se realiza entre dos entidades (peer-to-peer). El protocolo establece conexión inalámbrica entre las aplicaciones de la red y los dispositivos electrónicos. Este tipo de comunicación se realiza por acoplamiento magnético entre las antenas de espira de dos elementos NFC. Cuando un dispositivo NFC, alimentado eléctricamente, se acerca lo suficiente a otro, el campo magnético creado por el primero es capaz de inducir una corriente en el segundo de tal forma que pueda establecerse la comunicación y, por lo tanto, la transferencia de datos entre ellos.

Existen dos clases de dispositivos NFC:

- **Activos:** Los que son capaces de crear su propio campo de RF utilizando para ello alimentación eléctrica (baterías normalmente). Se corresponden, principalmente, con los smartphones.
- **Pasivos:** Si la alimentación que reciben procede del campo de RF de otro dispositivo. Aquí se incluirían las etiquetas NFC.

A continuación se muestran los diferentes tipos de etiquetas definidos por el NFC Forum:

- Tipo 1: basado en ISO 14443 A. Proporcionado por Innovision Research & Technology (Topaz™). Posee una capacidad de hasta 1 Kb y velocidades de transmisión de 106 Kbps. Son etiquetas de bajo coste.
- Tipo 2: basado en ISO 14443 A. Proporcionado por NXP Semiconductors (MIFARE Ultralight) 12. Posee una capacidad de 0,5 Kb y velocidad similares a las tipo 1. También son de bajo coste.
- Tipo 3: basado en FeliCa13 (que deriva de ISO 18092). Proporcionado por Sony, con capacidades de hasta 2 Kb y velocidades de 212 Kbps. El coste es mayor aunque útil para aplicaciones más complejas.

Dependiendo de la función que realice: enviar o recibir datos, el dispositivo NFC toma una de las siguientes funciones:

- **Iniciador (initiator):** Como su nombre lo indica es quien inicia y controla el intercambio de información (el equivalente al lector en los sistemas RFID).
- **Objetivo (target):** Es el dispositivo que responde a los requerimientos del iniciador.

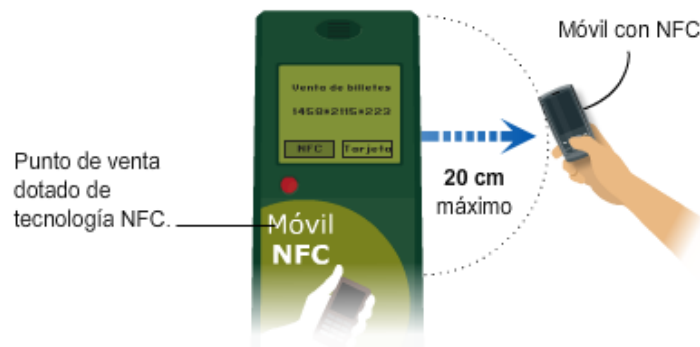


Figura 14. Tecnología NFC

En este aspecto habría que decir que un dispositivo NFC activo puede actuar como iniciador o como objetivo, pero un dispositivo pasivo sólo puede ser objetivo.

La comunicación NFC consta de cinco fases las cuales son importantes ya que tienen una función específica y siempre están presentes en el establecimiento de esta.

Estas etapas son:

- Descubrimiento: En esta fase los dispositivos inician la etapa de rastrearse el uno al otro y posteriormente su reconocimiento.
- Autenticación: En esta parte los dispositivos verifican si el otro dispositivo está autorizado o si deben establecer algún tipo de cifrado para la comunicación.
- Negociación: En esta parte del establecimiento, los dispositivos definen parámetros como la velocidad de transmisión, la identificación del dispositivo, el tipo de aplicación, su tamaño, y si es el caso también definen la acción a ser solicitada.
- Transferencia: Una vez negociados los parámetros para la comunicación, se puede decir que ya está realizada exitosamente la comunicación y ya se puede realizar el intercambio de datos.
- Confirmación: El dispositivo receptor confirma el establecimiento de la comunicación y la transferencia de datos.

En esta tecnología se tiene la capacidad de poder implementar tres configuraciones distintas:

- **Modo lectura/escritura**: En este modo el dispositivo NFC puede leer los cuatro tipos de etiquetas NFC. Cuando se establece esta configuración los dispositivos NFC pueden intercambiar pequeñas cantidades de información como puede ser un texto en claro, una dirección web o un número de teléfono. Este modo tiene compatibilidad de RF (a nivel físico) con la ISO/IEC 14443 y FeliCa.
- **Modo emulación de tarjeta inteligente**: Este modo se utiliza para que el dispositivo NFC actúe como una etiqueta o una tarjeta inteligente (modo de funcionamiento pasivo). En este modo es posible utilizar las características de seguridad avanzadas, lo cual es muy interesante si utilizamos el dispositivo como medio de pago o para el almacenamiento y gestión de todo tipo de entradas y recibos.
- **Modo Peer-to-Peer**: Este modo sirve básicamente para el intercambio de pequeñas cantidades de datos utilizando el protocolo tradicional de NFC. Pero si es necesario un intercambio masivo de información, también se podría utilizar para establecer.

3.2.1.4.2. Modos de comunicación.

El NFC Forum define dos modos de operación entre aquellos que desean establecer la comunicación:

Modo operación pasivo: El dispositivo Iniciador genera el campo electromagnético y el dispositivo destino se comunica con éste modulando la señal recibida. En este modo, el dispositivo destino obtiene la energía necesaria para funcionar del campo electromagnético generado por el Iniciador.

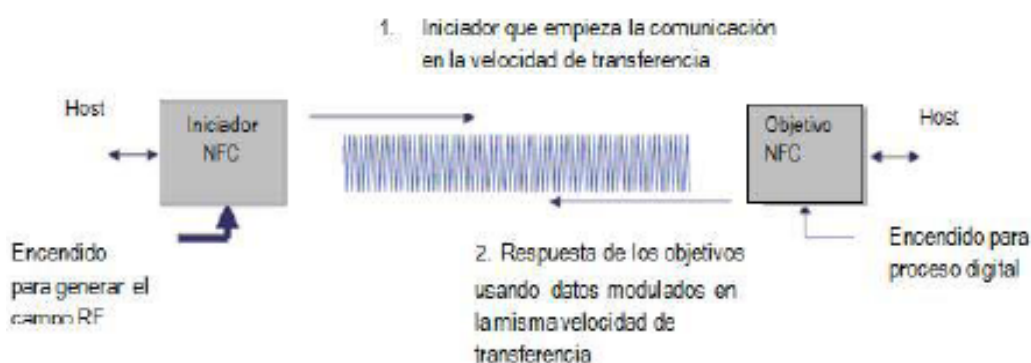


Figura 15. Modo de comunicación pasivo.

Modo operación activo: tanto el dispositivo Iniciador como el destino se comunican generando su propio campo electromagnético. En este modo, ambos dispositivos requieren de una fuente de alimentación para funcionar. Cuando el dispositivo funciona en modo pasivo, el receptor sólo se utiliza para establecer la comunicación y confirmar la recepción de los datos. Sin embargo, en modo activo, se requiere que ambos nodos negocien el intercambio de datos.



Figura 16. Modos de comunicación activo.

Aunque muchas aplicaciones requieren que los dispositivos involucrados sean activos, la combinación de uso activo/pasivo puede ser útil para comunicarse con elementos sin batería como pueden ser las tarjetas sin contactos o las etiquetas RFID que no disponen de fuente de alimentación propia.

3.2.1.4.3. Especificaciones técnicas y protocolos.

Esta tecnología es eficaz en la transmisión de datos en distancias cortas, en tanto que, su alcance máximo es de unos 20 centímetros .

Los dispositivos NFC se pueden comunicar por proximidad, es decir, sin necesidad de haber contacto, con cuatro velocidades de transmisión de datos diferentes: 106, 212, 424 o 848 Kbit/s, aunque esta última no está reflejada en ISO/IEC 18092. Esta limitación se debe a que la tecnología NFC no está orientada a la transmisión masiva de datos, sino a pequeñas comunicaciones entre dispositivos.

La banda de frecuencias utilizada se corresponde con la banda ISM (Industrial, Scientific, and Medical) que está globalmente disponible para su uso, sin restricciones ni necesidad de licencia, lo que representa una ventaja para su implantación ya que el canal de transmisión es libre y no tiene un sobre coste añadido. Concretamente, NFC tiene asignada la banda alojada en los 13,56 MHz, tradicionalmente asociada a las etiquetas RFID. También hay que decir que la mayor parte de la energía de radiofrecuencia se concentra en torno a ± 7 KHz, aunque una vez modulada la señal, el ancho de banda empleado es de 1,8 MHz.

En cuanto a la modulación y codificación utilizada por esta tecnología. En la gran mayoría de las situaciones NFC trabaja con una modulación ASK, cuyo índice de modulación es del 10%, y con una codificación Manchester. Excepto en un caso concreto en el que se produce una variación: cuando la comunicación queda establecida en modo activo y a una velocidad de 106 Kbit/s. Aquí la modulación empleada sigue siendo ASK, pero su índice de modulación cambiaría a un 100%. Sin embargo, para la codificación de línea se emplearía en este caso un código de Miller Modificado. Cabe destacar que el tiempo de configuración que necesita NFC para establecer una comunicación entre dos dispositivos es inferior a los 100ms y que su consumo de potencia es menor de 15mA.

NFC es una tecnología de plataforma abierta estandarizada en la ISO/IEC 18092 y la ECMA-340. Estos estándares especifican los esquemas de modulación, codificación, velocidades de transferencia y formato de la trama de la interfaz RF de

dispositivos NFC, así como los esquemas de inicialización y condiciones requeridas para el control de colisión de datos durante la inicialización para ambos modos de comunicación, activo y pasivo.

También definen el protocolo de transporte, incluyendo los métodos de activación de protocolo y de intercambio de datos.

La interface de aire para NFC está estandarizado en:

-ISO/IEC 18092 / ECMA-340: Near Field Communication Interface and Protocol-1 (NFCIP-1)

- ISO/IEC 21481 / ECMA – 352: Near Field Communication and Protocol-2 (NFCIP-2), que permite la compatibilidad con otras tecnologías como Mifare, FeliCa, RFID, etc.

3.2.2. Zigbee

ZigBee es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos inalámbrico normalizado para Redes de Área Personal o WPAN.

Su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras y fiables, de baja transmisión de datos, bajo ciclo de servicio de conectividad, bajo coste y bajo consumo, como aplicaciones en el hogar de seguridad y automatización.

Los dispositivos provistos de esta tecnología, se alimentan mediante baterías que serían complicadas de recargar o cambiar. De hecho, en muchas aplicaciones el tiempo total que el dispositivo inalámbrico está activo es muy limitado. Por lo que pasa la mayor parte del tiempo en un modo de ahorro de energía llamado sleep mode, pudiendo alargar la vida de la batería hasta varios años.

La tecnología ZigBee se diferencia por su bajo consumo, su topología de red en malla, y su integración fácil (se pueden fabricar nodos con muy poca electrónica).

ZigBee está basado en el estándar IEEE 802.15.4 y desarrollado por la alianza ZigBee, este estándar define la capa física (PHY) y la de control de acceso al medio (Mac), mientras que la alianza ZigBee ha añadido las especificaciones de las capas red (NWK) y aplicación (APL) para completar lo que se denomina la tabla de capas OSI.

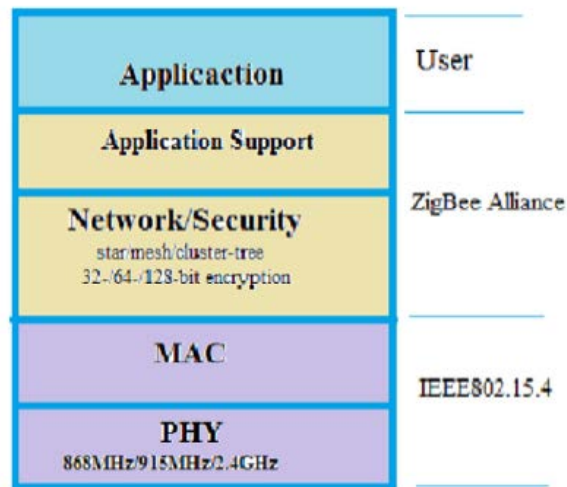


Figura 17. Tabla OIS.

De esta manera, las características del nivel físico de la red están determinadas por la capa física. Por lo tanto, algunos parámetros como la frecuencia de operación, tasa de datos, sensibilidad de receptores y tipos de dispositivos están especificados en la norma 802.15.4.

ZigBee utiliza 3 bandas de frecuencias. La banda de 868 MHz se usa en Europa en varios tipos de aplicaciones, incluyendo las redes inalámbricas de corto alcance. Las otras dos bandas son parte de las bandas frecuenciales de ISM, la banda de 915 MHz se usa principalmente en USA, mientras que la de 2.4 GHz se encuentra disponible en todo el mundo.

La tasa máxima de transferencia es de 250 *kbps*.

	Frequency (MHz)	Number of Channels	Modulation	Chip Rate (Kchip/s)	Bit Rate (Kb/s)	Symbol Rate (Ksymbol/s)	Spreading Method
	868-868.6	1	BPSK	300	20	20	Binary DSSS
	902-928	10	BPSK	600	40	40	Binary DSSS
Optional	868-868.6	1	ASK	400	250	12.5	20-bit PSSS
	902-928	10	ASK	1600	250	50	5-bit PSSS
Optional	868-868.6	1	O-QPSK	400	100	25	16-array orthogonal
	902-928	10	O-QPSK	1000	250	62.5	16-array orthogonal
	2400-2483.5	16	O-QPSK	2000	250	62.5	16-array orthogonal

Figura 18. Velocidad de transmisión y frecuencia de operación en 802.15.4.

Este estándar indica que si un transceptor es compatible con la banda de 868 MHz, también lo será con la de 915 MHz. Por tanto estas dos bandas quedan agrupadas.

Existe una especificación obligatoria para estas bandas de 868/915 MHz y dos especificaciones opcionales. El requisito obligatorio es más fácil de implementar, pero con menor velocidad de transmisión (20 Kbps y 40 Kbps).

Los dispositivos provistos de esta tecnología, se alimentan mediante baterías que serían complicadas de recargar o cambiar. De hecho, en muchas aplicaciones el tiempo total que el dispositivo inalámbrico está activo es muy limitado. Por lo que pasa la mayor parte del tiempo en un modo de ahorro de energía llamado sleep mode, pudiendo alargar la vida de la batería hasta varios años.

3.2.2.1. Tipos de dispositivos.

En una red ZigBee existen tres tipos de dispositivos:

1) Coordinador ZigBee (*Coordinator*, ZC). El tipo de dispositivo más completo. Tiene que existir uno por cada red. Sus funciones son las de encargarse de controlar la red y los caminos que tienen que seguir los dispositivos para conectarse entre ellos. Requiere de memoria y capacidad de computación.

2) Router ZigBee (ZR). Interconecta dispositivos separados en una topología de la red. Ofrece un nivel de aplicación para ejecutar un código de usuario.

3) Dispositivo final (*End Device*, ZED). Tiene la funcionalidad necesaria de comunicarse al nodo padre pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos. De esta manera, este tipo de nodo puede estar dormido la gran mayoría de tiempo, lo que aumenta la vida media de sus baterías. Un ZED tiene unos requerimientos mínimos de memoria y por eso es significativamente muy económico.

3.2.2.1.1 Tipos de dispositivos según funcionalidad.

Basándose en la funcionalidad, se pueden clasificar:

1) Dispositivo de funcionalidad completa (FFD): también conocido como nodo activo. Puede recibir mensajes en formato 802.15.4. Puede funcionar como router o como coordinador, o se puede utilizar en dispositivos de red que actúen de interfaz con los usuarios.

2) Dispositivo de funcionalidad reducida (RFD): también conocido como nodo pasivo. Tiene capacidades y funcionalidades limitadas con el objetivo de conseguir un bajo coste y una gran simplicidad. Básicamente son los sensores y actuadores de la red.

3.2.2.2 Topologías de red.

ZigBee permite tres topologías de red: Topología en estrella, en árbol y en malla, como se muestra en la siguiente figura.

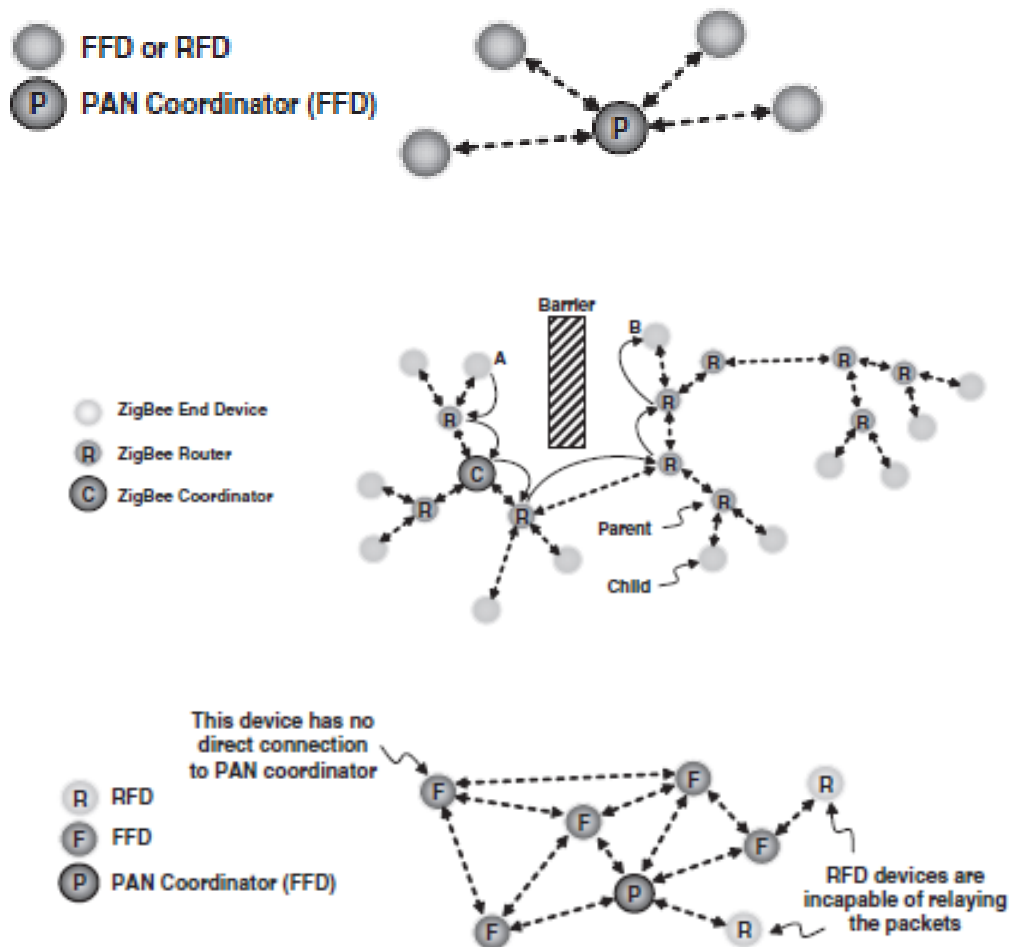


Figura 19. Topologías de red. Arriba: estrella. Centro: árbol. Abajo: malla.

La topología más interesante es la de malla ya que permite que, si en un momento determinado un nodo del camino falla y se cae, se pueda realizar la comunicación entre todos los otros nodos debido a que se rehacen todos los caminos. La gestión de los caminos la realiza el coordinador.

3.2.3. Comparativa

Un resumen comparando las dos tecnologías vistas:

	RFID	ZigBee
Velocidad de transmisión	Muy baja	250 Kbps máximo
Frecuencia de Operación	130 kHz, UHF9, 2,45 KHz	2,45 GHz
Consumo energético	Bajo o nulo	Muy bajo
Número de Dispositivos	Muy alto	Alto

Figura 20. Comparativa tecnologías inalámbricas

Tras el análisis de estas dos tecnologías inalámbricas, se optó por llevar a cabo el desarrollo del proyecto con lectores de transmisión y recepción RFID.

3.3. Propagación Radioeléctrica.

3.3.1 Sistema de comunicaciones

Para ser transmitido un mensaje, se requiere de un sistema de comunicación que permita que la información sea transferida, a través del espacio y el tiempo, desde un punto llamado fuente hasta otro punto de destino, mediante un cable como en el caso de un teléfono o por ondas como en el caso de las radios. En este caso el sistema de transmisión utiliza la transmisión de ondas electromagnéticas, ya que será de forma inalámbrica.

Un sistema de comunicación consta de tres componentes esenciales: transmisor, canal de transmisión y el receptor.

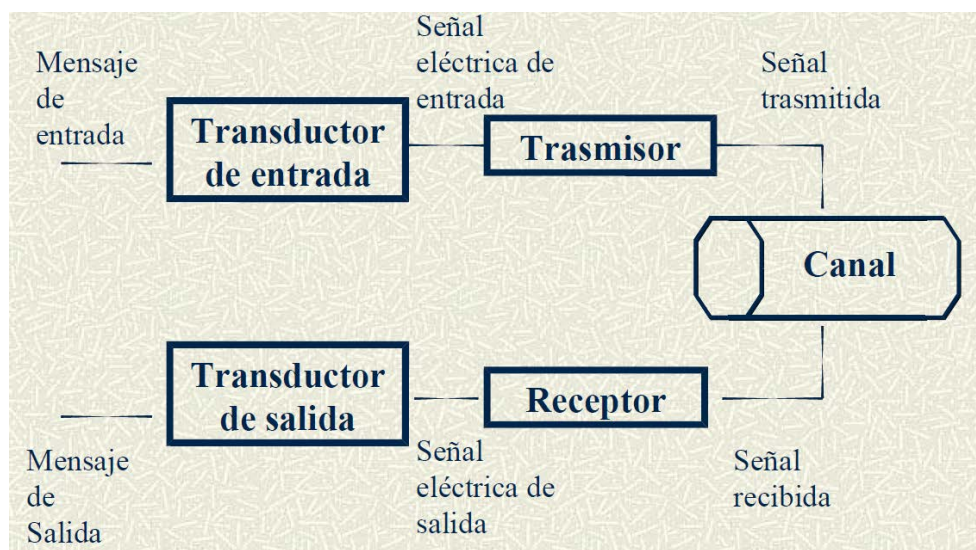


Figura 21. Sistema de comunicaciones.

El mensaje original, producido por la fuente, no es eléctrico. Debe ser convertido en señales eléctricas a través de un transductor de entrada. En el destino, otro transductor de salida cumple la función de transformar nuevamente la señal para que llegue al receptor del modo en el que fue emitido el mensaje.

Mientras viaja por el medio de transmisión la señal se distorsiona por diversas razones que se estudiarán más adelante, pero la principal distorsión sufrida es la atenuación. La idea principal que hay que obtener es que los medios inalámbricos atacan seriamente a la integridad de la señal transmitida, lo que dificulta la interpretación por parte del receptor.

El receptor tiene que desenterrar la información de todos esos ataques.

Para poder interpretar la información a pesar de las dificultades, decimos que es necesaria una relación señal a ruido (SNR) mínima, es una relación entre la potencia de la información útil y la potencia del ruido de fondo.

La potencia se mide en vatios (W) según la nomenclatura internacional, pero para los valores que se manejan habitualmente en telecomunicaciones resulta muy poco práctico porque llegan potencias muy bajas.

Por tanto, se termina expresando la potencia en dBm , calculado de forma:

$$P(dBm) = 10 \cdot \log \frac{P(W)}{1mW}$$

La SNR se obtiene como:

$$SNR = \frac{P_{señal}(W)}{P_{ruido}(W)}$$

Si la SNR que recibimos supera el mínimo necesario para que el receptor la entienda, pasa a demodularla y decodificarla.

Finalmente la información llega hasta el destinatario.

3.3.2. Propagación radioeléctrica

Los sistemas de telecomunicaciones se diseñan para que la señal que llega al receptor cumpla una mínima relación señal a ruido que garantice la correcta recepción del mensaje transmitido. En el caso de las comunicaciones inalámbricas, las ondas electromagnéticas que llevan la información están expuestas a ciertos fenómenos que pueden alterar su propagación, influyendo en la potencia recibida, y por tanto, en la relación señal a ruido.

Por todo ello, para la correcta planificación de un sistema de comunicación inalámbrico, como puede ser un sistema de localización, resulta esencial conocer los factores que pueden alterar la propagación electromagnética en la banda de frecuencia correspondiente. Por lo que entender las características de propagación de un entorno es importante para evitar problemas y para una correcta implementación del sistema.

En este apartado se van a explicar cuáles son estos efectos que se dan en la transmisión inalámbrica.

Las ondas electromagnéticas, son aquellas ondas que no necesitan ningún medio material para su propagación, a diferencia de otro tipo de ondas como las acústicas, y dentro de ellas se incluyen la luz visible, ondas de radio, microondas, rayos x entre otras.

Se propagan gracias a la oscilación de un campo magnético y uno eléctrico, transportando energía por el espacio. Las ondas electromagnéticas son transversales y las direcciones de los campos eléctricos y magnéticos son perpendiculares a la de propagación y entre ellas como se muestra en la siguiente imagen:

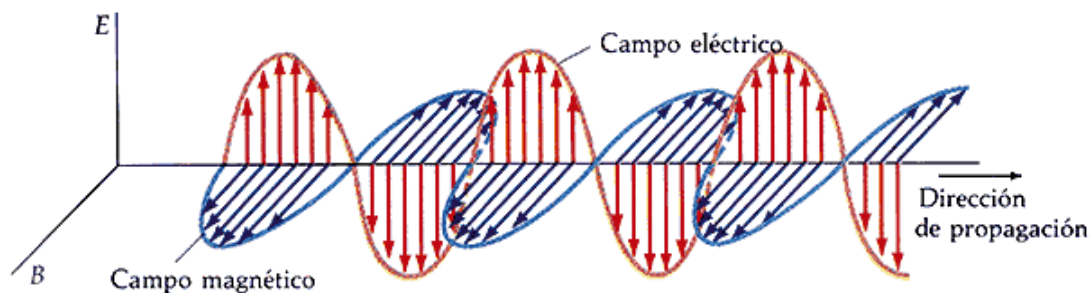


Figura 22. Onda electromagnética.

3.3.3. Conceptos básicos sobre ondas electromagnéticas

En una onda electromagnética, se describen las siguientes características básicas que nos ayudan a definir como es y cuyo conocimiento es necesario para entenderlas y poder trabajar con ellas:

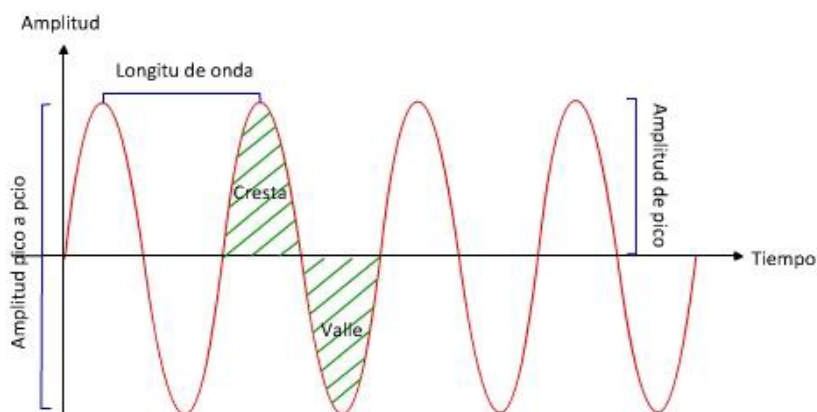


Figura 23. Características de una onda electromagnética.

El valor de pico, es la magnitud de la máxima perturbación que genera la onda electromagnética en el medio. Dicho de otra manera es el valor máximo (valor de pico positivo) o mínimo (valor de pico negativo) que alcanza la señal. Si la señal no tiene componente continua, el valor de pico es la amplitud de esta. La separación entre el valor de pico positivo y el valor negativo toma el nombre de valor pico a pico y para señales sinusoidales es el doble de la amplitud. La amplitud de una señal se mide en Voltios (V), para el caso del valor pico a pico en voltios pico-pico (Vpp).

El periodo de una señal es el tiempo que tarda una señal en completar un ciclo y la distancia entre el punto inicial y final de un ciclo se denomina longitud de onda. La unidad del periodo es el segundo(s). El ciclo de una señal se refiere a cada patrón repetitivo de la onda electromagnética.

La polarización de una onda electromagnética nos dice la dirección del campo eléctrico de esta y su variación con el tiempo. Esta puede ser vertical u horizontal, de tal manera que cuando la polarización es horizontal el campo eléctrico es horizontal y el magnético vertical y cuando es vertical, el campo eléctrico es vertical y el magnético horizontal.

La frecuencia medida en Hz no es otra cosa que la inversa del periodo en segundos ($f=1/T$), el tiempo que tarda en completar un ciclo.

En la siguiente figura se muestra el espectro electromagnético con diversas aplicaciones. En el margen inferior están señaladas las frecuencias en Hz de las mismas. En el margen superior está el valor equivalente en longitudes de onda (λ). Ambas están relacionadas a través de la velocidad de la luz en el vacío ($c=3*10^8m/s$) de forma que:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

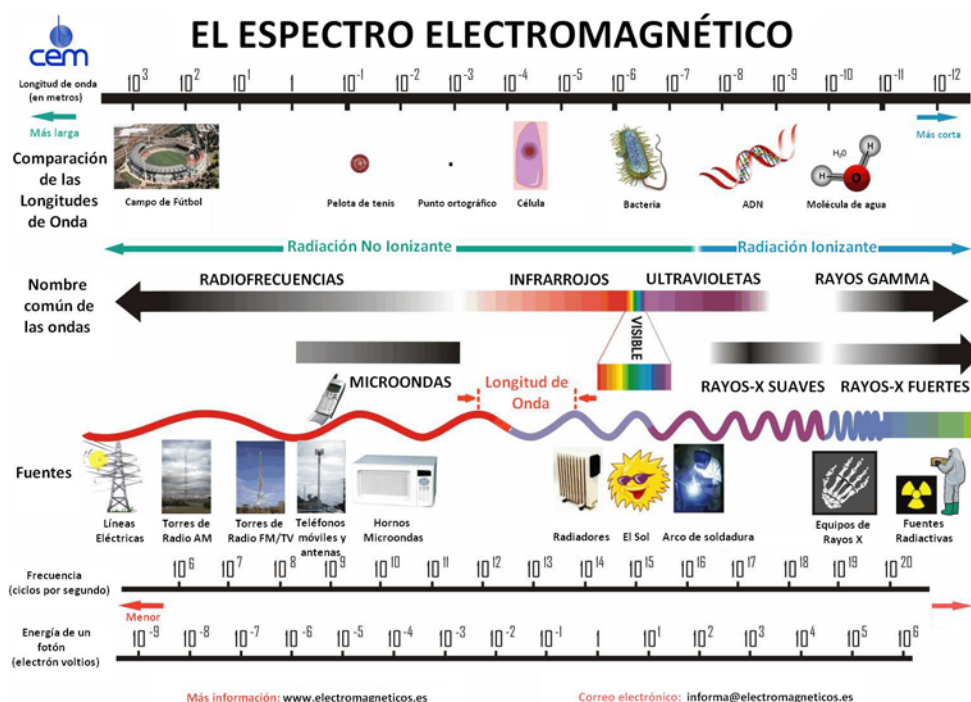


Figura 24. Espectro electromagnético.

Volviendo a la anterior, podemos obtener más información de aplicaciones según bandas frecuenciales. Por ejemplo, hasta 1 GHz separadas se ofrecen todos los servicios de difusión de radio y televisión, además de los servicios de telefonía móvil. Todas estas aplicaciones crean una gran competencia por el uso del espectro, así que está legislado en el cuadro nacional de atribución de frecuencias.

Cuando se habla de modulación, se está hablando de introducir una información variando en el tiempo sobre una de las tres variables vistas del tono puro. El ejemplo más sencillo es el de la modulación en amplitud (AM), que consiste en introducir la información en la amplitud de la señal.

La modulación también puede ser haciendo variar la frecuencia (FM) o la fase de la portadora. En el caso que ocupa a este PFC la información va a ser digital, y va a usar esquemas de codificación y modulación más complejos que los expuestos, ya que son los que marcan los estándares de las tecnologías utilizadas.

3.3.4. Pérdidas de propagación

En el modelo de propagación en el espacio libre más básico, las ondas de radio provienen de una fuente puntual, viajando en todas direcciones en línea recta, llenando todo el volumen espacial esférico de energía de ondas de radio que disminuye en orden de $1/(d)^2$ (o 20 dB por década de aumento de la distancia).

La propagación en el mundo real rara vez sigue este modelo tan simple. Los tres primeros mecanismos básicos de la propagación de radio se atribuyen a la reflexión, absorción, difracción, dispersión y refracción. Estos fenómenos causan distorsiones en la señal y generan pérdidas adicionales en la propagación de la señal. Los fenómenos de la reflexión, dispersión y difracción son muy importantes en las comunicaciones inalámbricas, sobre todo en entornos como los que se van a estudiar en este PFC, puesto que la presencia masiva de objetos, paredes y suelos van a producir estos efectos en gran cantidad.

3.3.5. Fenómenos de propagación

3.3.5.1. Absorción y atenuación

Es el fenómeno de atenuación de una onda electromagnética el que causa la reducción de la densidad de potencia con la distancia a la fuente. El campo electromagnético continuo se dispersa a medida que el frente de onda se aleja de la fuente, lo que hace que las ondas electromagnéticas se alejen cada vez más entre sí. En consecuencia, la cantidad de ondas por unidad de área es menor. No se disipa nada de energía emitida por la fuente sino que el frente de onda se extiende a medida que se aleja de la fuente, sobre un área mayor.

Cuando la señal transmitida penetra en un objeto, la señal se verá atenuada en mayor o menor medida dependiendo de las características de absorción del objeto y la frecuencia de la señal.

La causa de la absorción de las ondas electromagnéticas al viajar por el aire es que el aire está formado por átomos y moléculas de distintas sustancias gaseosas, líquidas y sólidas, que pueden absorber a las ondas electromagnéticas causando pérdidas por absorción.

Cada material tiene asociada una constante de atenuación, α (dB/m). La potencia decrece de manera exponencial y la energía absorbida generalmente se transforma en calor.

3.3.5.2. Difracción

Este fenómeno ocurre cuando el trayecto entre transmisor y receptor se ve obstruido por objetos que tienen esquinas y bordes marcados. Al chocar la onda contra dichos objetos, se producen ondas secundarias que se asumen como nuevos frentes de onda propagándose en el espacio, incluso detrás del obstáculo. La naturaleza de la difracción a altas frecuencias, depende de la geometría del obstáculo, así como de la amplitud, fase y polarización de la onda.

En la difracción se genera una pérdida de potencia de transmisión, donde la potencia de la onda difractada es significativamente menor que el frente de onda que la provoca.

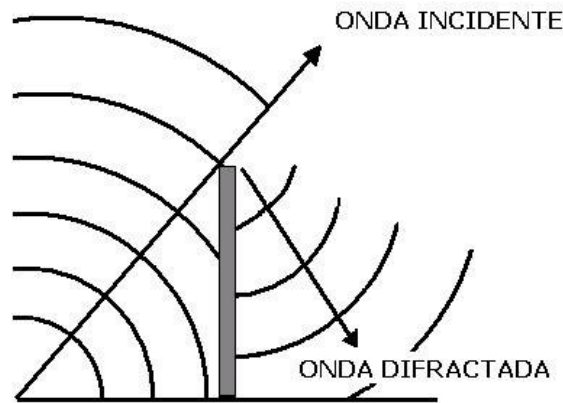


Figura 25. Fenómeno de difracción.

3.3.5.3. Dispersión

La dispersión o scattering, ocurre cuando las ondas electromagnéticas inciden sobre una superficie rugosa. La rugosidad de la superficie es diferente para cada onda, ya que depende de la longitud de onda de la señal incidente. Generalmente, todos los medios son más o menos dispersivos, si la variación en una superficie es mayor que $\lambda/8$, la superficie se considera rugosa y dispersará la señal en varias direcciones.

Si hay muchos objetos en la trayectoria de la señal, y los objetos son relativamente pequeños comparados con la longitud de onda de la señal, entonces el frente de onda propagado se distribuirá en múltiples direcciones, sumándose a las interferencias constructivas y destructivas de la señal.

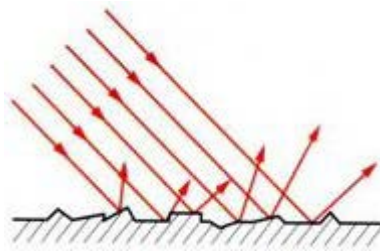


Figura 26. Fenómeno de dispersión.

3.3.5.4. Reflexión

Cuando una onda de radio choca con un obstáculo, parte o la totalidad de la onda se refleja y se observa una pérdida de la intensidad. La reflexión es tal que el ángulo de incidencia equivale al ángulo de reflexión (cuando los elementos son conductores perfectos).

Pero ni siquiera los elementos metálicos van a ser conductores perfectos y, al igual que en los elementos dieléctricos, se generará una onda transmitida (refractada) y una onda reflejada. A diferencia de la onda transmitida, el ángulo que forma la onda reflejada con la normal y el ángulo que forma la onda incidente y la normal, son iguales.

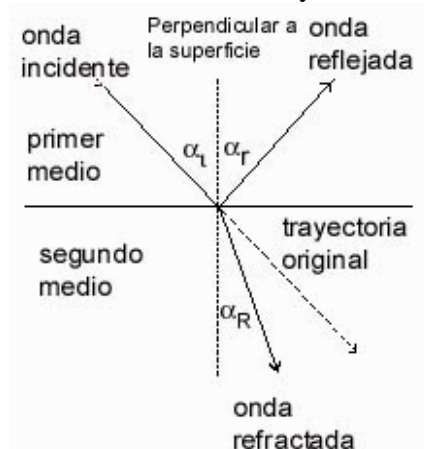


Figura 27. Fenómeno de reflexión.

3.3.5.5. Refracción

La refracción es el cambio de dirección que experimenta una onda al pasar de un medio material a otro. Sólo se produce si la onda incide oblicuamente sobre la superficie de separación de los dos medios y si éstos tienen índices de refracción distintos. La refracción se origina en el cambio de velocidad de propagación de la onda. Cuando un rayo se refracta al pasar de un medio a otro, el ángulo de refracción con el que entra es igual al ángulo en que sale al volver a pasar de ese medio al medio inicial.

3.3.5.6. Propagación multitrayecto

A menudo, el entorno en el que se da la comunicación es un entorno complejo, la señal transmitida puede llegar al receptor por diferentes caminos. Los escenarios que se van a estudiar en este PFC son un claro ejemplo de entornos complejos, puesto que existen elementos que van a interferir en la comunicación, provocando reflexiones, difracciones, dispersión y absorciones de energía. Por lo tanto, los receptores recibirán una señal que se va a componer de la suma de las señales recibidas por diferentes caminos. Cuando la comunicación se da en estas condiciones, se habla de propagación multitrayecto. Este fenómeno juega un papel muy importante en las comunicaciones inalámbricas por los retardos e interferencia que provocan.

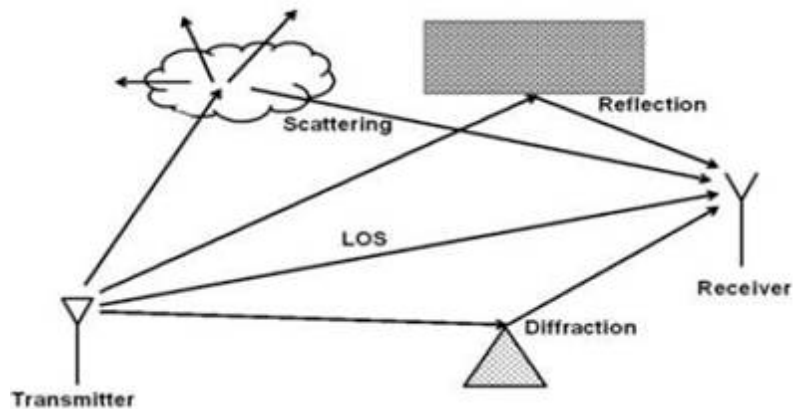


Figura 28. Propagación multitrayecto.

Esto da como resultado que la onda transmitida no recorra un solo camino, sino que esta puede viajar por varios caminos distintos simultáneamente produciendo:

- Una desviación, en cuanto a pérdidas, de la trayectoria principal que es la que se parece a las pérdidas en espacio libre.
- Una modificación de la fase de las diferentes señales recibidas.

- a) Las señales llegan en fase, es decir, diferencia de fase de 0° , por lo que las señales se sumarán constructivamente.
- b) Las señales llegan en contrafase, con una diferencia de fase de 180° , y las señales se sumarán destructivamente.

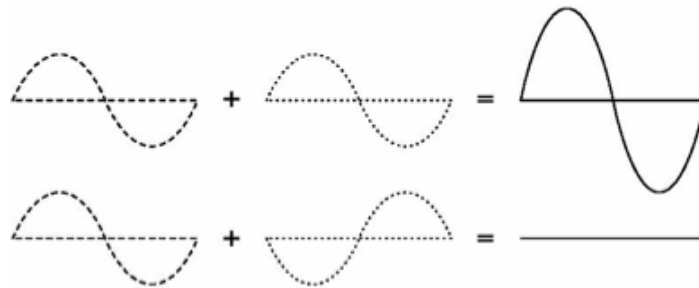
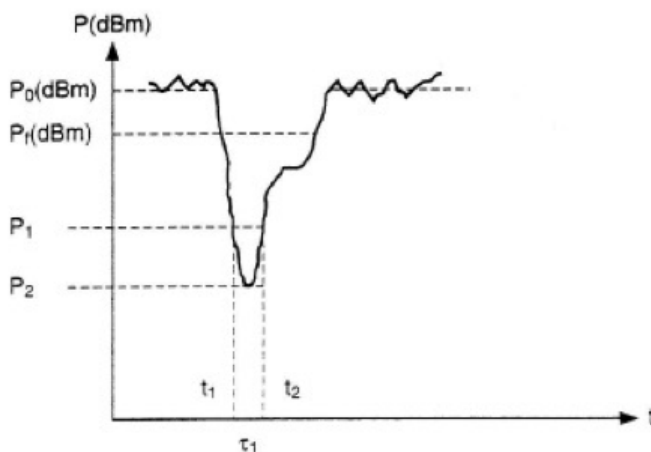


Figura 29. Suma de fases (a) en fase (b) en contrafase

En los casos en los que los radioenlaces sean LOS (figura 27), las reflexiones con los objetos son los efectos que más van a afectar en las medidas. Sin embargo, en los escenarios que no hay visión directa entre antenas (NLOS), la difracción y la dispersión serán los efectos más importantes.

3.3.5.7. Desvanecimientos

El término desvanecimiento se refiere a que la señal transmitida es atenuada debido a la pérdida en el espacio, los obstáculos y la resistencia que debe traspasar durante toda su trayectoria y hasta llegar a su destino. También se puede definir como una variación temporal de la amplitud, fase y polarización de la señal recibida con relación a la señal nominal, debido al trayecto de propagación: multitrayecto, reflexión, difracción y dispersión. Refleja la baja o mala potencia recibida en el terminal receptor, vemos en la siguiente figura:



P_0 es el valor nominal de la señal (en dBm)
 P_2 es el valor mínimo de la señal desvanecida (en dBm)
 t_1 es el tiempo de desvanecimiento (en s.)

Figura 30. Desvanecimiento.

El desvanecimiento multitrayecto es la forma más común de desvanecimiento. Es relativamente rápido y selectivo en frecuencia, causado por la interferencia entre uno o más rayos en la atmósfera.

4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. Introducción

En este apartado se expone detalladamente la parte más empírica del proyecto, es decir, la referida tanto a las medidas realizadas como a los resultados obtenidos mediante simulación de Trazado de rayos tridimensional mediante código Matlab, incluyendo las correspondientes valoraciones respecto a los mismos. En algunas situaciones se comparan las simulaciones con medidas reales.

Para la realización del experimento en un entorno real, se optó por utilizar un sitio práctico, y tener en cuenta todo aquello que pudiera influir en los valores finales con el fin de obtener unos resultados válidos. Tras pensar en varios espacios, la ubicación final fue el parking de deportes de la Universidad Pública de Navarra.



Figura 30. Lugar de toma de medidas.

Toda la actividad experimental se realizó en este lugar, donde se crearon diferentes escenarios correspondientes a distintos casos de estudio. Estos escenarios a tener en cuenta se definen seguidamente para posteriormente poder presentar, por un lado los valores obtenidos en las simulaciones, y por el otro, los obtenidos en las medidas.

Hay que añadir que durante todo el estudio se ha trabajado con la frecuencia de 868 MHz, pertenecientes a la banda ISM (Industrial, Scientific and Medical), de libre uso y muy utilizadas en este tipo de comunicación.

4.2. Definición de los escenarios

Los escenarios medidos han sido dos, aunque en realidad se han dado 4 situaciones diferentes dependiendo donde se colocara la antena transmisora y receptora.

Los dos escenarios son escenarios al aire libre, en el que se sitúan dos o tres coches.

- Escenario 1

Dos coches con la antena receptora dentro de uno de ellos funcionando como lector, y emisora fuera, y viceversa.

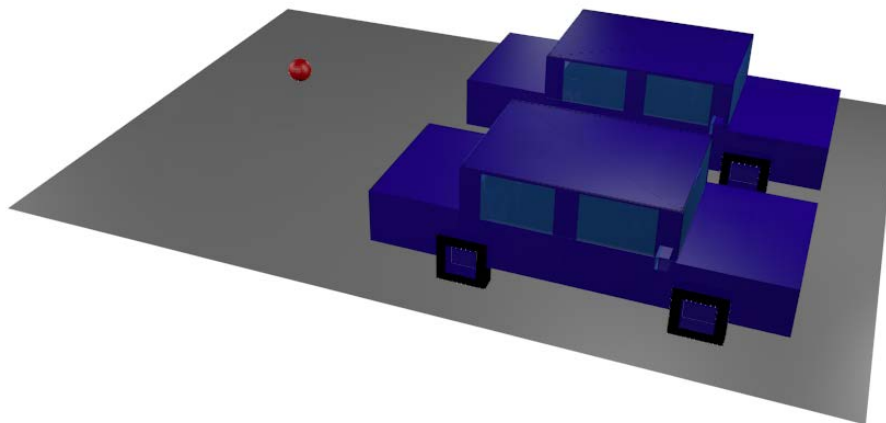


Figura 31. Gráfico escenario 1.

- Escenario 2

Tres coches con una antena transmisora/receptora dentro del coche central, entre ambos y la otra antena transmisora/receptora fuera, tal y como se muestra en los gráficos.

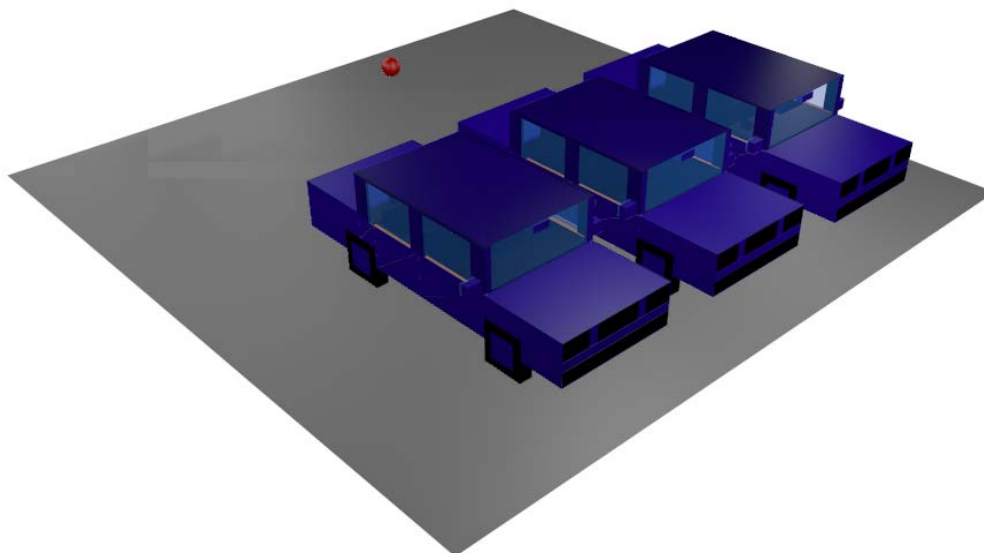


Figura 32. Gráfico escenario2.

Antes de la creación de estos escenarios se realizó una primera toma de contacto. Se realizaron varios escenarios de dos coches y en algunos casos con un pilar para la colocación de la antena a una altura de 4m, a lo que se le vio poca viabilidad por lo que se decidió que posteriormente en todos los escenarios creados se sitúa la antena sin pilar a una altura de 0,7m. Estos escenarios de pruebas de primera toma de contacto se adjuntan en los anexos. En las simulaciones por trazado de rayos se cambiaron la resolución hasta conseguir la idónea buscada en cada caso.

Así podemos ver , como se comenta anteriormente, que dependiendo de la colocación de la antena receptora/transmisora tenemos cuatro situaciones o escenarios diferentes:

Escenario 1:

Dos coches con antena transmisora en el exterior, y receptora en el interior del vehículo.

En este primer escenario se definieron las radiales a usar en las medidas, que debían cubrir todo el espacio correspondiente exterior de los vehículos, y que se siguen utilizando para todas las demás. También se determinaron dos alturas (1 y 2 m) que podrían ser de interés para el ámbito de aplicación, a la hora de obtener niveles de potencia en puntos a esas alturas.

Se puede ver en la figura 33, que en ésta escena se colocaron ambos coches de forma paralela, concretamente en las coordenadas $(x, y) = (3m, 2,5m)$ para uno de los coches y $(x, y) = (3m, 5,5m)$ para el otro, teniendo en cuenta que efectos tales como la reflexión, refracción o difracción influyesen lo menos posible.

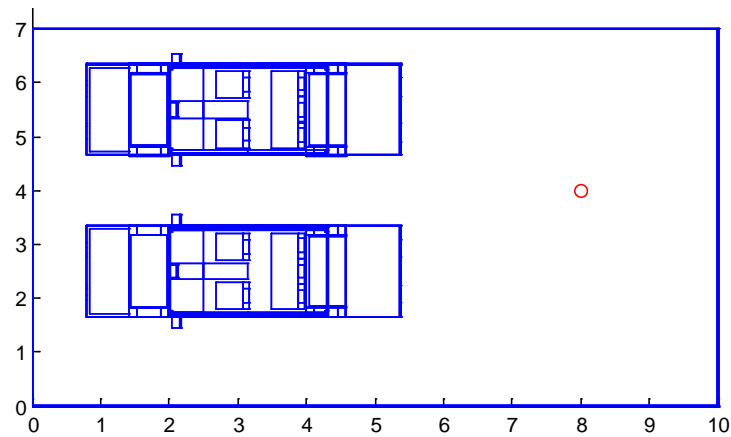


Figura 33. Escenario 1.

Escenario 2:

Dos coches situado uno al lado de otro, la antena transmisora situada en el interior de uno de los coches, y la receptora en el exterior del vehículo.

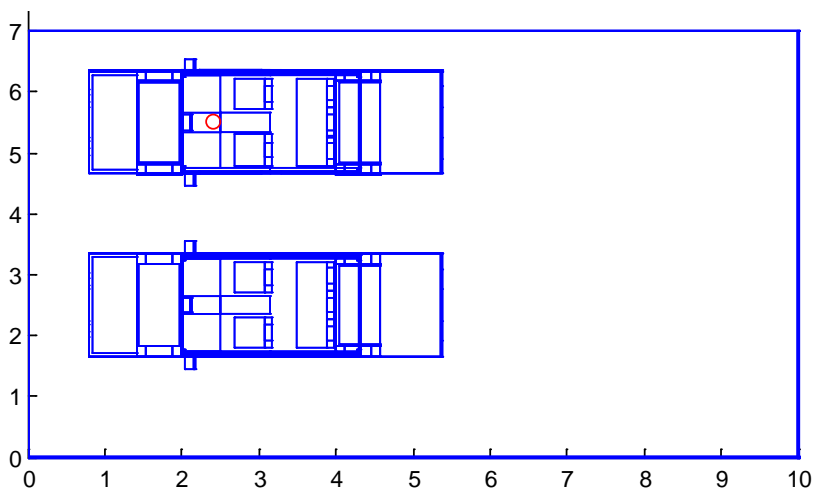


Figura 34. Escenario2.

La colocación de ambos coches para este escenario es la misma que en el caso anterior, al igual que los planos elegidos a 1 y 2 metros para la toma de valores de potencia. La diferencia reside en la colocación de las antenas transmisora/receptoras.

Escenario 3:

Tres coches situados uno al lado de los otros, y la antena transmisora en exterior del vehículo, situada delante del coche del centro y la antena receptora en el interior del vehículo central y en el vehículo situado en la parte inferior del escenario.

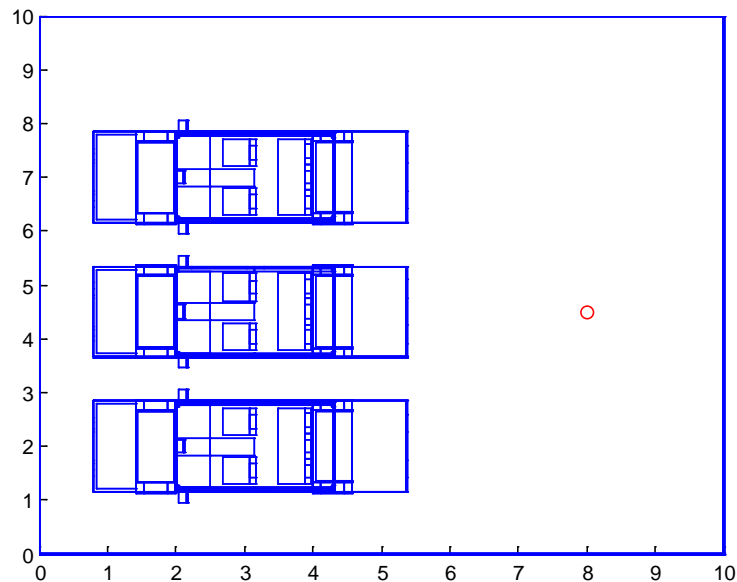


Figura 35. Escenario 3.

Escenario 4:

Tres coches situados unos al lado de los otros, y la antena transmisora en el interior de un vehículo, y la receptora en el exterior en diferentes puntos del escenario, que más adelante se detallan las posiciones concretas de estos.

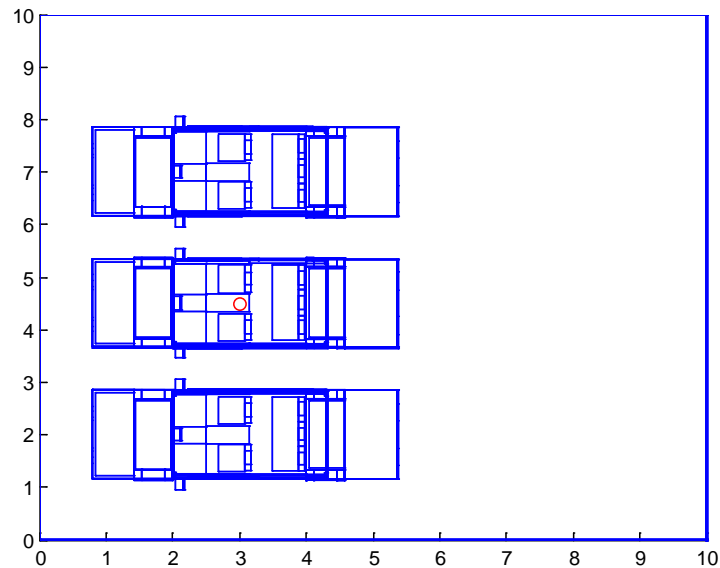


Figura 36. Escenario 4.

De esta forma podremos realizar un estudio del balance de potencia entre lector-coche en los diferentes escenarios, como veremos a lo largo del proyecto.

4.3. Simulaciones

4.3.1 Metodología y parámetros

En el momento de llevar a cabo estimaciones de potencia en el interior y en el entorno vehicular, se ha realizado un conjunto de simulaciones mediante un código desarrollado por la Universidad Pública de Navarra con la herramienta Matlab, en el que se aplican técnicas de lanzamiento de rayos tridimensional y que esta basado en el algoritmo de Ray-Launching. Mediante el cual el frente de onda generado por el transmisor se discretiza con un cierto ángulo, que va aumentado de manera discreta, generando así los rayos correspondientes.

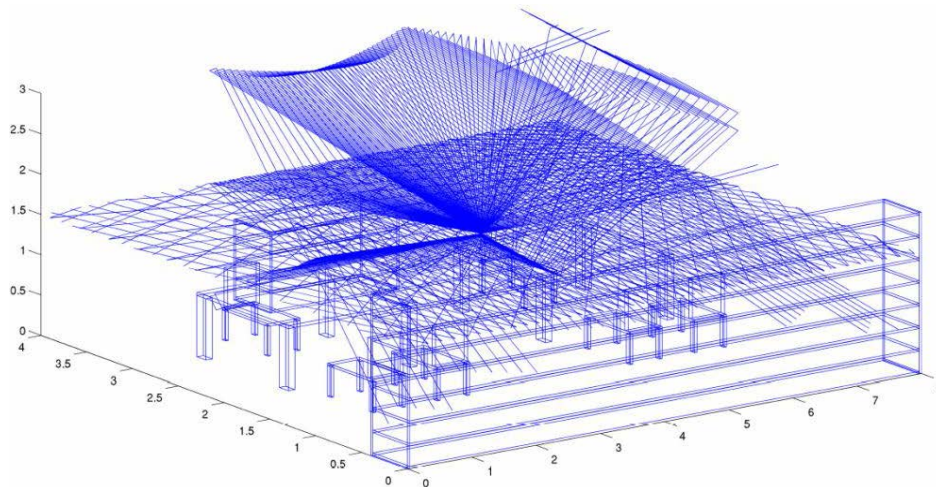


Figura 37. Escenario interior en 3D con los rayos lanzados desde un transmisor situado en el centro.

En este, cada rayo se computa individualmente, y el campo eléctrico de cada punto del escenario es la suma de todas las contribuciones de los rayos que los atraviesan.

Al calcular la potencia recibida en cada punto del espacio, pueden crearse mapas de potencia a una altura fija.

Este método tiene en cuenta la reflexión (fenómeno donde los rayos son rebotados), refracción (fenómeno en el cual los rayos atraviesan la superficie de un obstáculo) de los rayos, que son unos fenómenos clave en la propagación.

De este código se a utilizado un modelo de coche simplificado que gracias a él se puede observar la potencia en su interior así como la forma de interacción con su entorno.

En el caso del presente proyecto, se han realizado simulaciones teniendo en cuenta las frecuencias usadas por la tecnología inalámbrica que más se adapta en cuanto a prestaciones para este caso de estudio (RFID a 868 MHz).

Por ello diferenciaremos los distintos valores obtenidos: potencia, radiales, DelaySpread, PDPs o retardos de potencia.

4.3.1.1. Software del rayos en tres dimensiones

El algoritmo posee las siguientes ventajas:

- Recreación de una propagación multirrayo realista.
- Modelado en 3D de los diferentes tipos de escenarios a estudiar.

- Caracterización y modelado de cualquier tipo de objeto (coches ,ventanas, paredes, etc.) mediante su forma tridimensional y su constante dieléctrica.
- Duración de la simulación de un rayo determinado caracterizable mediante número de rebotes y retardo máximo.
- Modelado de reflexión, refracción y difracción.
- Cálculo de las interacciones entre los rayos y los objetos teniendo en cuenta la polarización de la onda.
- Modelado de cualquier tipo de transceptor.
- Duración de la simulación de un rayo determinado caracterizable mediante número de rebotes y retardo máximo.
- Análisis del escenario extrayendo parámetros tales como campo eléctrico, potencia, señal/interferencia, retardo potencia, dispersión, etc.

Además, cabe destacar que para realizar todas estas funciones, el software divide el escenario en cuboides iguales y de menor tamaño, proporcionando tras los cálculos, el valor de potencia que encierra cada uno de ellos. Cada uno de los denominados cubos funciona como una antena receptora. De esto dependerá la resolución del escenario de tal manera que, a mayor resolución los cuboides serán más pequeños, y viceversa.

Sin embargo, este código presenta algún que otro inconveniente ligado a las características de Matlab que introducen un nuevo reto a la hora de implementar objetos. Alguno de estos inconvenientes es que solo es posible trabajar con cubos y no con superficies curvas ni con ángulos. Si bien esto le da una gran simplicidad a la hora de construir los escenarios sin perder mucha exactitud, cuando se implementa elementos complejos implica un problema de inexactitud.

Relacionado con la simulación, es igual de importante determinar el número de rayos que se emiten. La problemática es que a una mayor densidad de rayos aumenta también el tiempo de procesado, pero una emisión muy baja de rayos puede generar vacíos de potencia en el escenario, ya que no ha pasado ningún rayo por algún cuboide concreto.

También, se añade el problema de la resolución, ya que es necesario que haya una correspondencia entre el tamaño del escenario y la resolución escogida, ya que dependiendo de esta puede dar problemas por divergencia de código.

Una vez se ha simulado el escenario, se obtiene una celda de tamaño ($Resx * Resy * Resz$) y cada elemento de esta celda, posee una matriz con la información de cada uno de los rayos que ha pasado por esa localización.

4.3.1.2. Modelos de coche

El diseño del modelo de coche con código en Matlab, está basado en un vehículo específico, el Skoda Octavia.

Como se ha comentado anteriormente existe la limitación de que no puede adoptar formas redondeadas por lo que, las medidas se aproximan lo máximo posible al modelo real. Un aspecto a destacar es la no inclinación de las lunas delantera y trasera que influirá significativamente en las simulaciones.

Por otro lado, a cada parte del coche se le asigna un material:

- Carrocería, motor, llantas: metal con conductividad $37.8 \cdot 10^6$.
- Maletero y puertas con cámara de aire: aire con conductividad cero.
- Luna delantera, luna trasera, ventanillas, espejos retrovisores: cristal con conductividad de 0.11.
- Asientos, salpicadero, bandeja trasera, caucho de ruedas e interior en general: polipropileno con conductividad de 0.11.

Las dimensiones reales del vehículo son las siguientes:

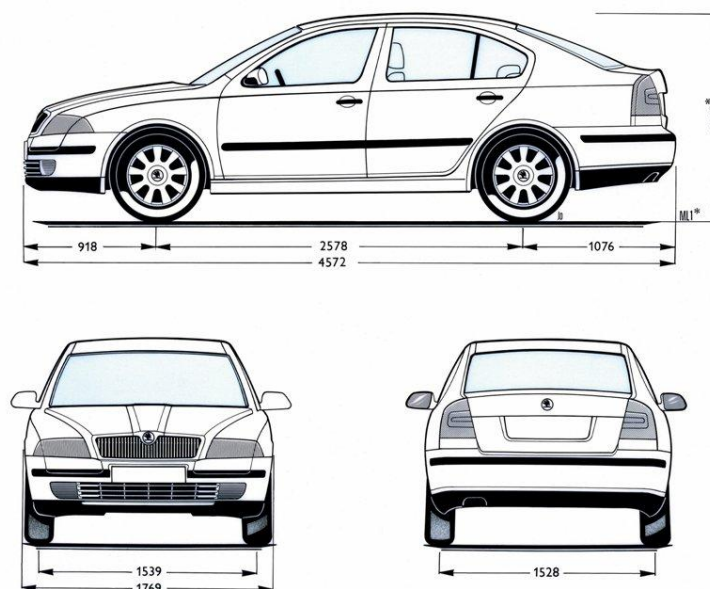


Figura 38. Medidas reales Skoda Octavia.

Mientras que el modelo de coche en código Matlab, presenta la forma siguiente:

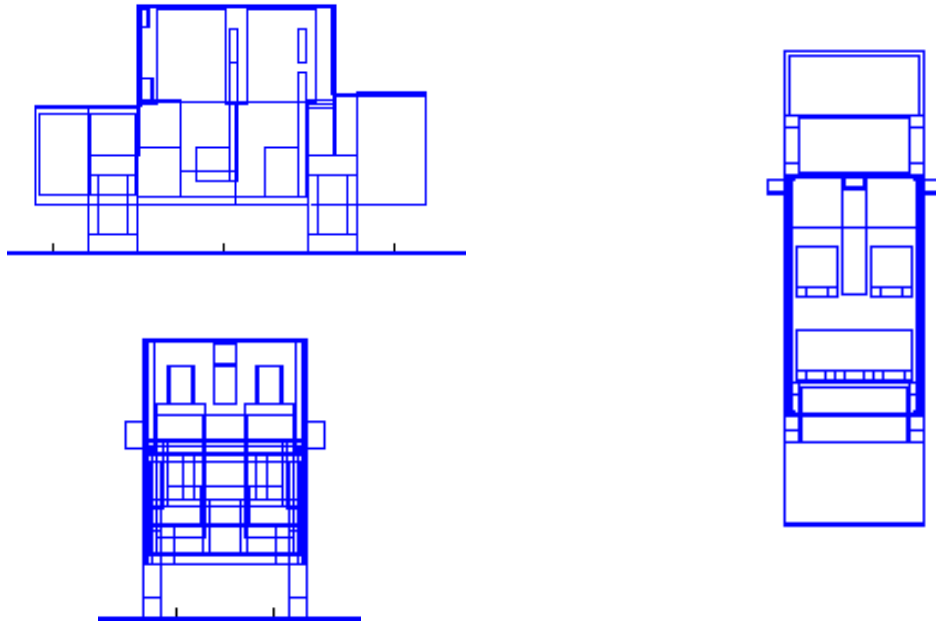


Figura 39. Modelo de coche en Matlab.

La función queda definida de la siguiente manera:

```
function coche = fabricacoche (x0,y0,z0,posicion)
```

Donde (x_0,y_0,z_0) es el punto central donde se desea situar el coche y posición puede variar de 1 a 4 (giros de 90°).

Para conocer el código en Matlab, consultar el Anexo.

4.3.2 Resultados de las simulaciones

En este apartado se va a tener en cuenta parámetros obtenidos en las simulaciones como son: potencia, radiales, DelaySpread y PDPs (retardos de potencia). Se explica brevemente en qué consisten la obtención de estos parámetros.

Mapas de potencia

Con el fin de conseguir el valor del campo eléctrico en cada uno de los cubos, se realiza la suma de los campo incidentes de todos los rayos que atraviesan ese cuboide, obteniéndose así el campo eléctrico en cada unos de los puntos de recepción y por consiguiente el nivel de potencia recibida en escala lineal.

Esa potencia resultante se convierte a escala decibélica para una mejor visión de los resultados.

Radiales

Mediante este parámetro se puede obtener el comportamiento de una forma aproximada del canal radioeléctrico, para ello se han obtenido curvas de potencia en función de la distancia para unas alturas determinadas, en forma de radiales para todo el volumen del escenario de simulación, que representan para cada una de las secciones de altura y anchura, la potencia a lo largo del escenario.

Partiendo de estos datos se obtiene así, la potencia de la señal transmitida desde la antena transmisora hasta los distintos puntos de recepción a lo largo del escenario. Pudiendo apreciarse los elementos que producen atenuaciones en el espacio, así como donde se encuentra la antena.

Delay spread

Diferencia entre el tiempo de llegada de la última componente de multitrayecto y la primera componente de trayectoria múltiple, que nos muestra cómo la interacción de los rayos con las diferentes características del entorno, producen variaciones en el mapa de retardo potencia, según los distintos puntos de recepción.

PDPs

Los niveles de retardo potencia, nos indican la potencia de los rayos en los puntos de recepción en función del tiempo, según los rayos directos o según aquellos

que provienen de una reflexión frente a los diferentes obstáculos como pueden ser las ventanas y demás componentes del escenario.

En cuanto a los resultados de las simulaciones, se clasifican en:

5.3.2.1. Escenarios con antena transmisora fuera del coche y lector dentro.

5.3.2.2. Escenarios con antena transmisora dentro del coche y lector fuera.

4.3.2.1. Escenarios simulados con antena transmisora fuera del coche.

4.3.2.1.1. Dos coches. Escenario 1

El escenario creado para la simulación queda según se ha definido anteriormente en cuanto posicionamiento de los vehículos (apartado 5.2), al aire libre y con los parámetros de la tabla siguiente a tener en cuenta para su simulación.

Tamaño del escenario	10 m. x 7 m. x 4 m	
Frecuencia	868 MHz	
Resolución del escenario	Cuboides de 0.1 x 0.1 m	
Antena	Altura respecto al suelo	1m (altura del coche 1,4m)
	Potencia	10 dBm
	Directividad	Omnidireccional

Una vez realizada la simulación se recogen los parámetros obtenidos de esta para este escenario que se muestran a continuación:

Mapas de potencia

Se escoge como alturas a representar en las gráficas de potencia recibida, la de un metro y la de dos metros. La de un metro para conocer cómo recibiría un dispositivo dentro del coche (aproximadamente altura del salpicadero) y la de dos metros por tratarse de una altura superior a la altura del vehículo y también a la altura de colocación de la antena.

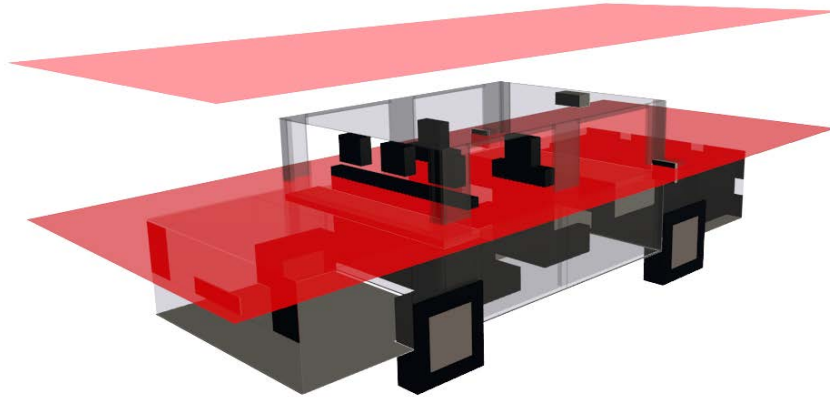
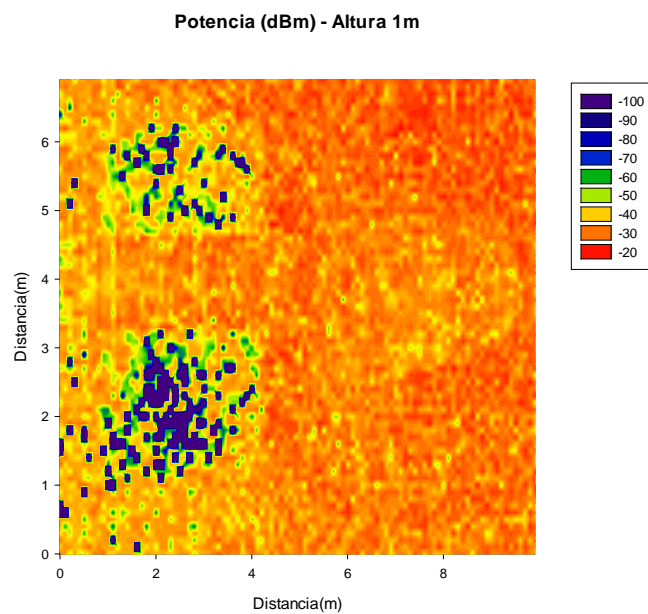


Figura 40. Representación en 3D con los planos a 1 y 2 metros de altura.

La elección de estas alturas para la representación de los distintos parámetros ha sido la misma en todos los escenarios tratados.



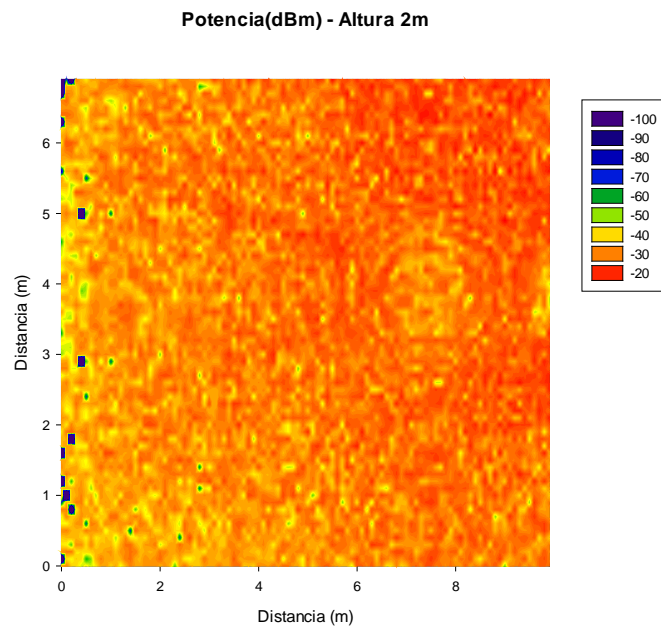


Figura 41. Mapas de potencia de 1 y 2 metros de altura.

Como se observa, a la altura de 2 metros la cobertura de potencia recibida en el área próxima al coche es óptima, ya que no se interpone la estructura metálica del vehículo por estar el plano de corte superior a la altura de este. Por el contrario en el plano $h=1\text{m}$ vemos que los niveles de potencia en el interior del coche descienden considerablemente, debido a la estructura metálica que origina fenómenos de propagación que se producen en el interior de este.

Radiales

Representación de una de las radiales en el plano a 1 metro de altura y con la Y fija a 2,2 metros (columna 22).

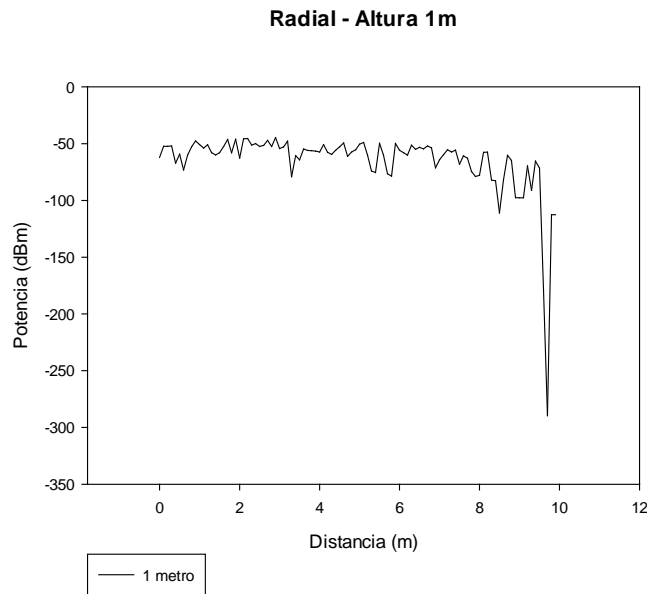


Figura 42. Radial de Y=22 para la altura de 1 m.

Se observa que la potencia recibida a lo largo de la línea elegida para esta radial en este caso, se mantiene prácticamente constante, oscilando con algunas variaciones que se deben a los fenómenos de propagación multitrayecto.

PDPs

Retardos tomados de la fila 34, columna 22 a una altura de 1 metro, este punto es elegido en el interior de uno de los vehículos.

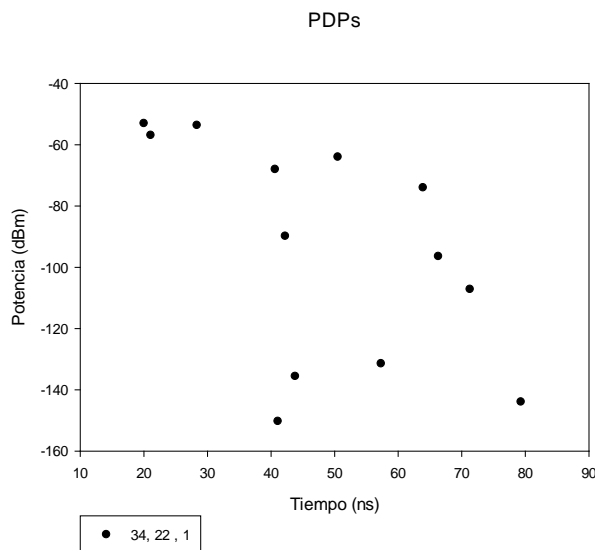


Figura 43. PDPs, fila 34, columna22 a la altura de 1m.

Se puede observar, la potencia con la que van llegando los rayos en ese punto del espacio conforme va pasando el tiempo. Se ve una clara tendencia a que conforme el tiempo avanza la potencia de los rayos va disminuyendo, este comportamiento es lógico, ya que los primeros rayos que pasen al interior del vehículo son aquellos directos o menos influenciados por los fenómenos de propagación, mientras que conforme el tiempo avanza los rayos recibidos son más probable que provengan de reflexiones, difracciones etc, y por lo tanto contengan niveles de potencia menores.

Delay spread

Representación del gráfico en 3D de los retardos que sufren los rayos en la propagación, en todo el escenario.

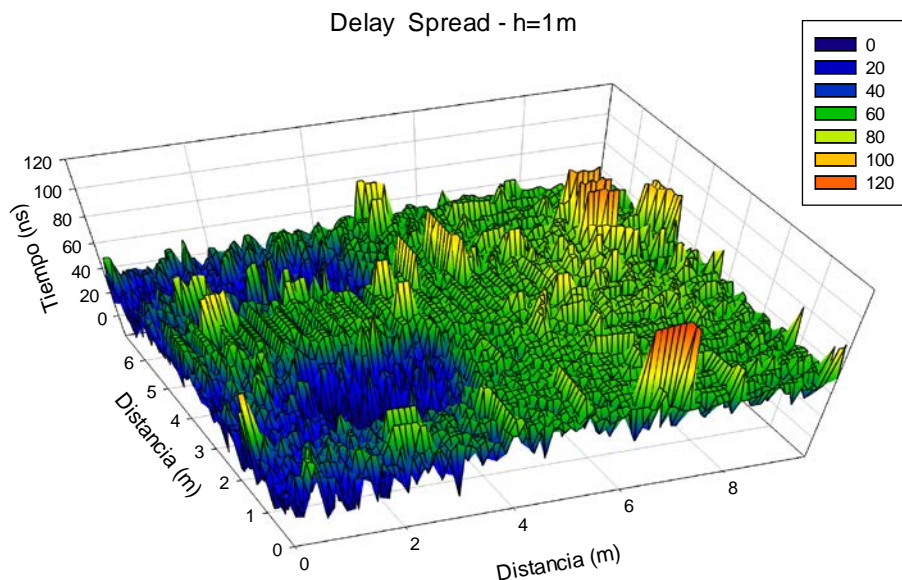


Figura 44. Delay Spread, altura 1m.

Se observa que la diferencia de tiempo de los rayos en el interior de los vehículos es menor que en el exterior, esto se debe principalmente al fenómeno de reflexión aunque también influye otros fenómenos, ya que por la estructura metálica del vehículo en el interior de este es menor la cantidad de rayos reflejados que en el exterior y por lo tanto la diferencia de tiempo disminuye.

4.3.2.1.2. Tres coches. Escenario 3.

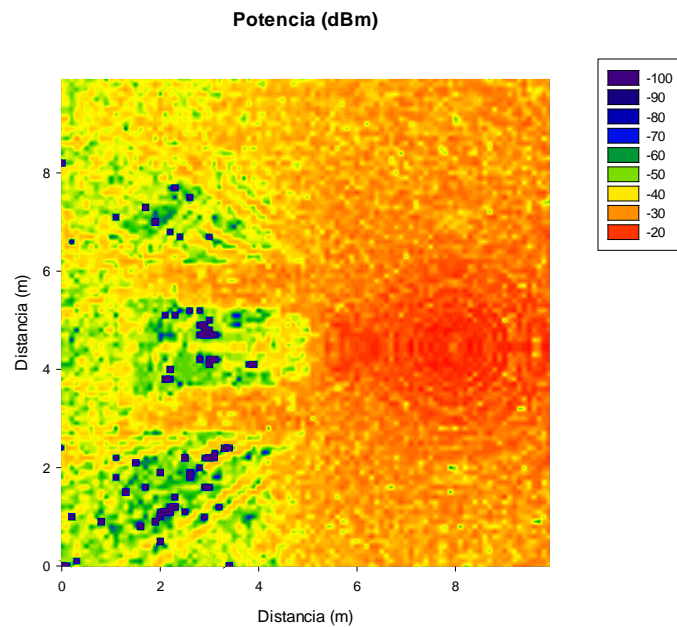
Al igual que en el caso anterior la antena transmisora también se encuentra en el exterior del vehículo y ha sido definido anteriormente (apartado 5.2) al aire libre y con los mismos valores de simulación recogidos en la tabla del apartado anterior, con la

diferencia a tener en cuenta de que en este caso se procede a la introducción de un vehículo más.

Una vez realizada la simulación se recogen los parámetros correspondientes como resultado de esta para ser interpretados. Se prevee que el comportamiento en este caso será muy similar al caso anterior, por la similitud en la colocación de la antena transmisora.

Mapas de potencia

Se escoge como alturas a representar en las gráficas de potencia recibida, la de un metro y la de dos metros.



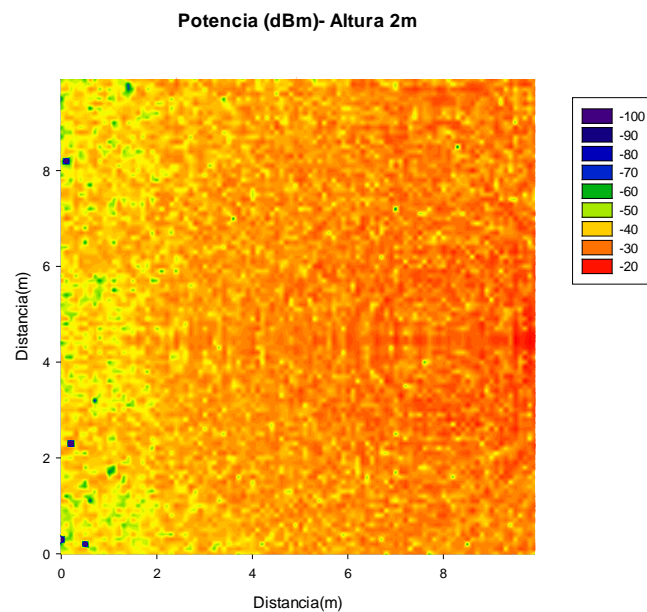


Figura 45. Mapas de potencia a 1 y 2 metros de altura.

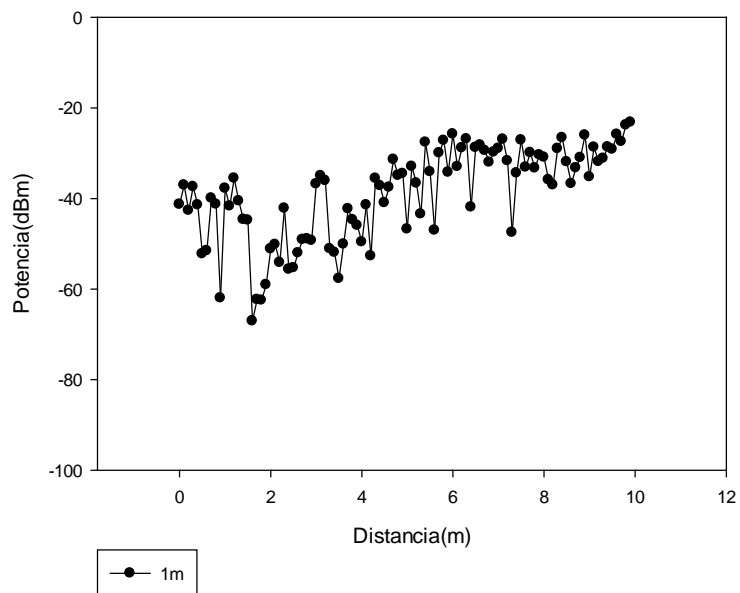
Se puede observar que ocurre lo mismo que en el caso anterior, a la altura de 2 metros la cobertura de potencia recibida en el área próxima a los coches es prácticamente ideal, en cambio en el plano de altura 1m vemos que los niveles de potencia en el interior de los coches descienden considerablemente debido a la presencia de estos.

Radiales

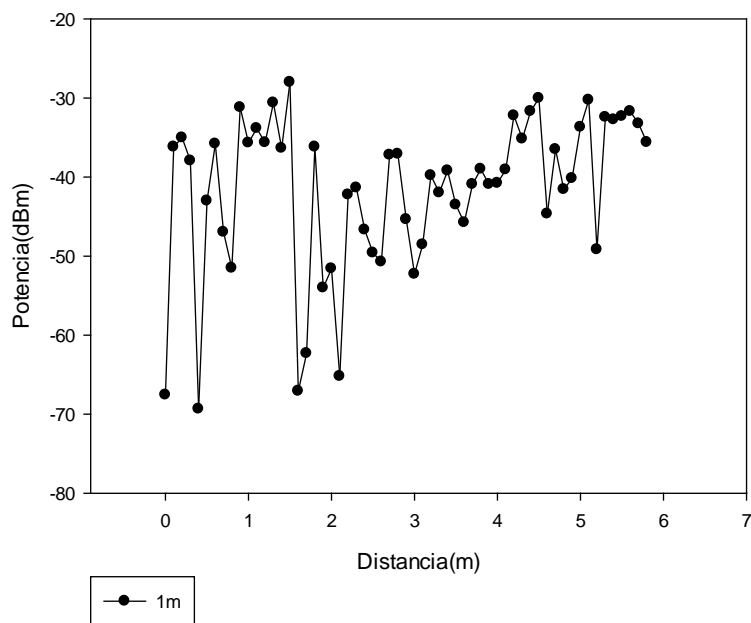
Se representan tres de las radiales en el plano a 1 metro de altura, de la antena transmisora a cada uno de los vehículos que componen el escenario.

Para la representación de la radial central se mantiene la Y fija a 4,5 metros (columna 45), mientras que las otras dos radiales se realizan cogiendo los valores de la matriz de resultados, tales que vayan de la posición del salpicadero del vehículo hasta donde se ha colocado la antena transmisora, y así conocer la potencia a lo largo de ese camino entre los dos puntos de unión.

Radial- Altura 1m



Radial diagonal superior



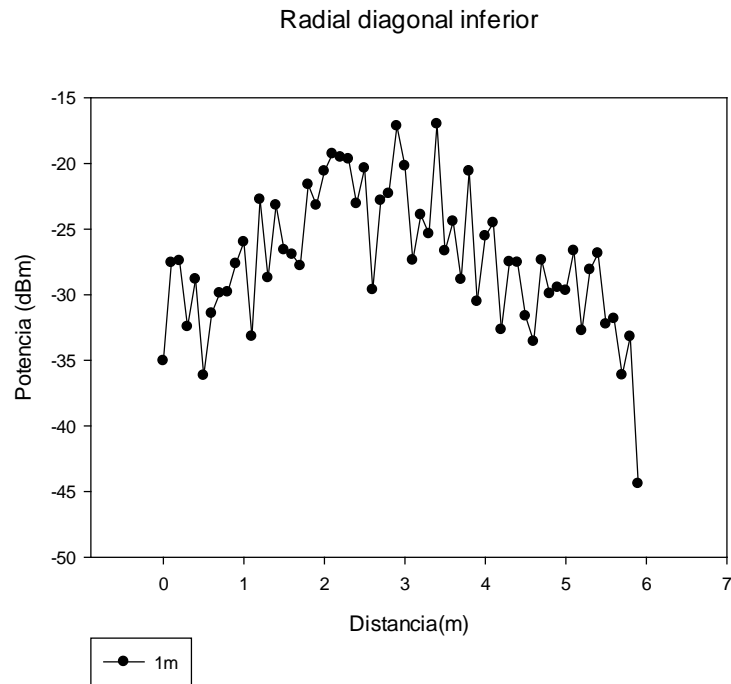


Figura 46. Radial central, diagonal superior e inferior a la altura de 1m.

Se observa que la potencia en los tres gráficos va disminuyendo conforme los puntos del espacio están más cerca de los vehículos. Esta tendencia se debe principalmente a los fenómenos de propagación, principalmente a la atenuación. También se observa en ambas radiales diagonales las pequeñas variaciones entorno a la tendencia seguida, esto es debido principalmente a la propagación multitrayecto, que en estos dos casos influye de una manera mas significativa.

PDPs

Retardos tomados de la fila 39, columna 18 a una altura de 1 metro.

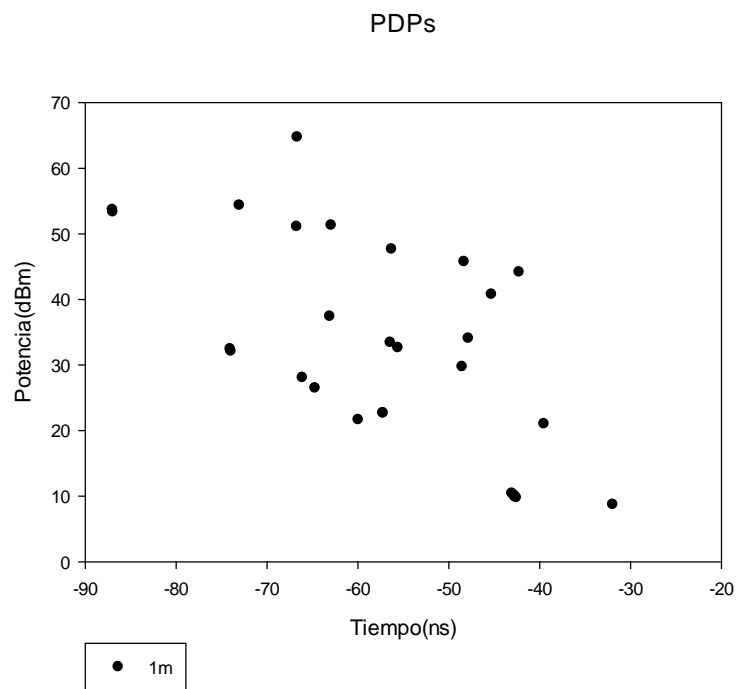


Figura 47. PDPs, fila34, columna 22 a la altura de 1m.

Por tratarse de un punto elegido en el interior del vehículo, el comportamiento experimentado se observa que es el mismo que en el apartado anterior y por lo tanto los fenómenos influyentes en este también son los mismos.

Delay spread

Representación del gráfico en 3D de los retardos que sufren los rayos en la propagación.

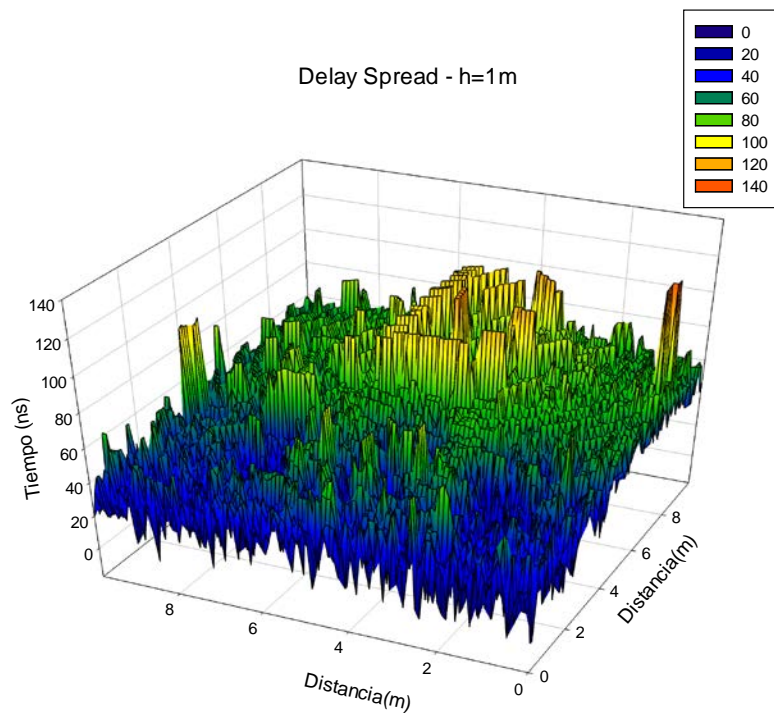


Figura 48. Delay Spread, altura 1m.

Se observa claramente igual que en el caso anterior que las diferencias de tiempo en el interior de los vehículos son menores que en el exterior. Se puede ver en este caso, en las proximidades de la antena transmisora que estas diferencias de tiempo son bastante elevadas, esto es debido a la poca influencia que tienen los fenómenos de propagación en esos puntos.

4.3.2.2. Escenarios simulados con antena transmisora dentro del coche.

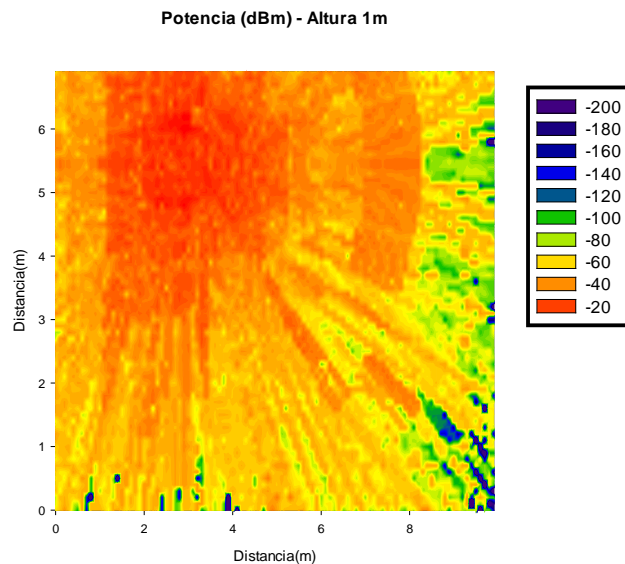
4.3.2.2.1. Dos coches. Escenario 2.

De la misma manera que los casos anteriores este escenario también ha sido definido anteriormente (apartado 5.2) al aire libre y con los mismos valores de simulación recogidos en la tabla del apartado anterior, con la diferencia a tener en cuenta de que en este caso la antena transmisora está situada en el interior de uno de los vehículos.

Una vez realizada la simulación se recogen los parámetros correspondientes como resultado de esta para ser interpretados.

Mapas de potencia

Se escoge como alturas a representar en las gráficas de potencia recibida, la de un metro y la de dos metros.



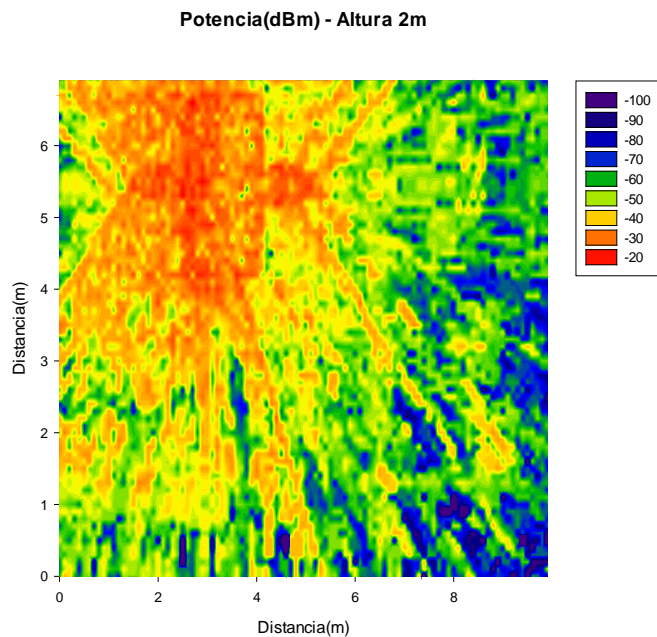


Figura 49. Mapas de potencia a 1 y 2 metros de altura.

Se observan que los niveles de potencia para la altura de 1 metro son más adecuados en todo el escenario que para la de dos metros. Esto se debe a que cuando el plano de corte está a dos metros de altura, el techo del vehículo genera pérdidas de potencia ya que hace que este obstáculo agudice los fenómenos de propagación, y por lo tanto la potencia disminuya en comparación con el plano a 1 metro, donde el techo aún no incorpora la influencia.

En el mapa de potencia de altura un metro se puede ver la presencia de divergencia de código existente.

Radiales

Representación de una de las radiales en el plano a 1 metro de altura y de la Y fija a 3,1 metros y la x varía a lo largo del eje.

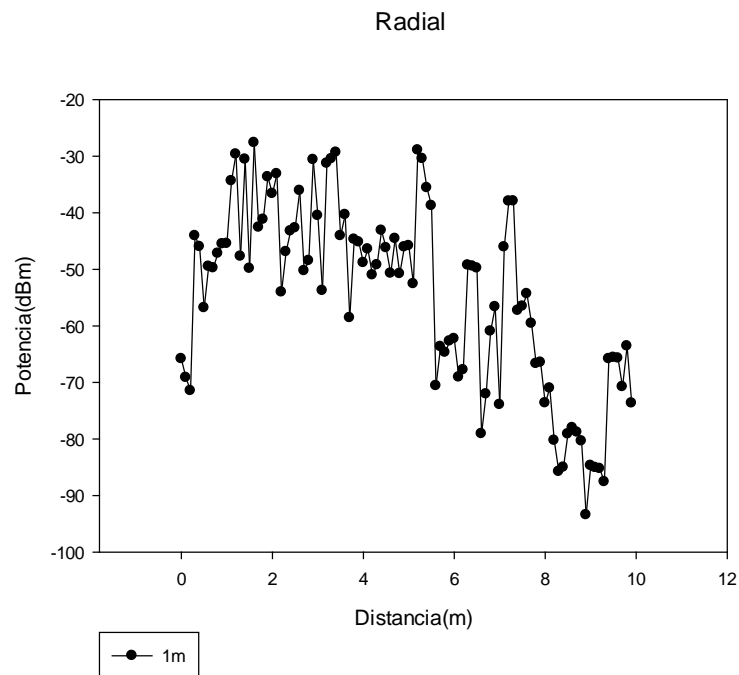


Figura 50. Radial de Y=31 para la altura de 1m.

En esta radial se observa la tendencia de que conforme se aleja de la antena transmisora la potencia va decayendo muy notablemente. Se producen variaciones debido a la propagación multirrayecto.

PDPs

Retardos tomados de la fila 49, columna 30 a una altura de 1 metro. Punto situado en el interior del vehículo.

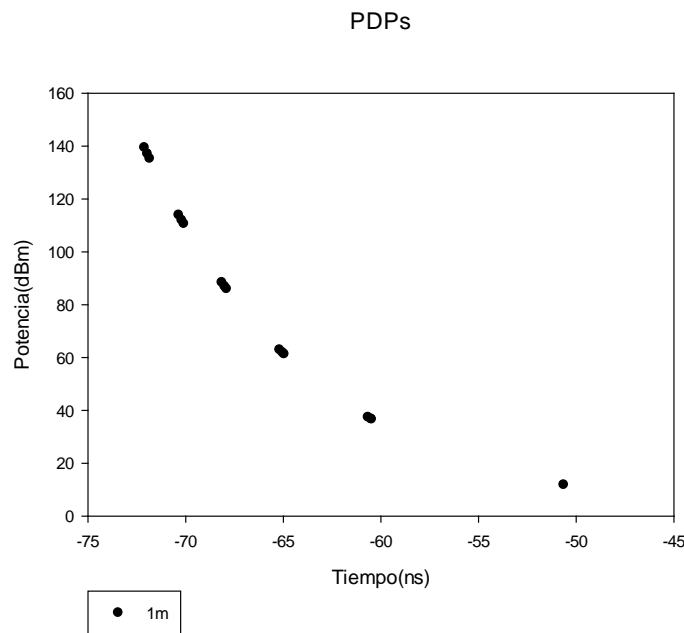


Figura 51. PDPs, fila 49, columna 30 a la altura de 1m.

El comportamiento es el mismo que en los casos anteriores, a diferencia de que en este caso la tendencia es más pronunciada, típicamente se quiere parece a seguir una decadencia exponencial con el tiempo.

Delay spread

Representación del gráfico en 3D de los retardos que sufren los rayos en la propagación.

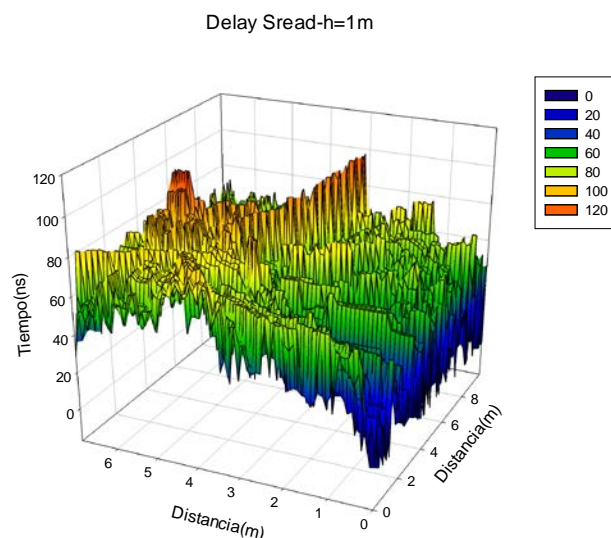


Figura 52. Delay Spread altura 1m.

Las diferencias de tiempo cerca de la antena y por lo tanto en el interior del vehiculo son mayores que en el exterior. Este resultado cabía de esperar ya que el numero de rayos reflejado en el interior es mas elevado que en el exterior.

En este caso, la antena se encuentra en el interior de uno de los vehículos, y podemos observar, dependiendo de los niveles de potencia obtenidos, los puntos del exterior donde podría ser posible la colocación del lector .

4.3.2.2.2. Tres coches. Escenario 4.

En un primer momento se trato este escenario con la resolución de 0.1×0.1 m , que posteriormente se cambio a 0.2×0.2 m , ya que se apreciaba en los mapas de potencia una gran divergencia de código existente, este vacío se puede observar en los gráficos adjuntos, colocados a la izquierda de los considerados posteriormente. También se realizo la simulación correspondiente con resolución de 0.5×0.5 , los resultados se adjuntan en los anexos ya que aunque a esta resolución no se aprecia divergencia de código, la calidad de los gráficos era inferior.

Este escenario también ha sido definido en el apartado 5.2 y los parámetros introducidos para la simulación han sido los mismos que en el escenario 1 , excepto el cambio de resolución.

Mapas de potencia

Se escoge como alturas a representar en las gráficas de potencia recibida, la de un metro y la de dos metros.

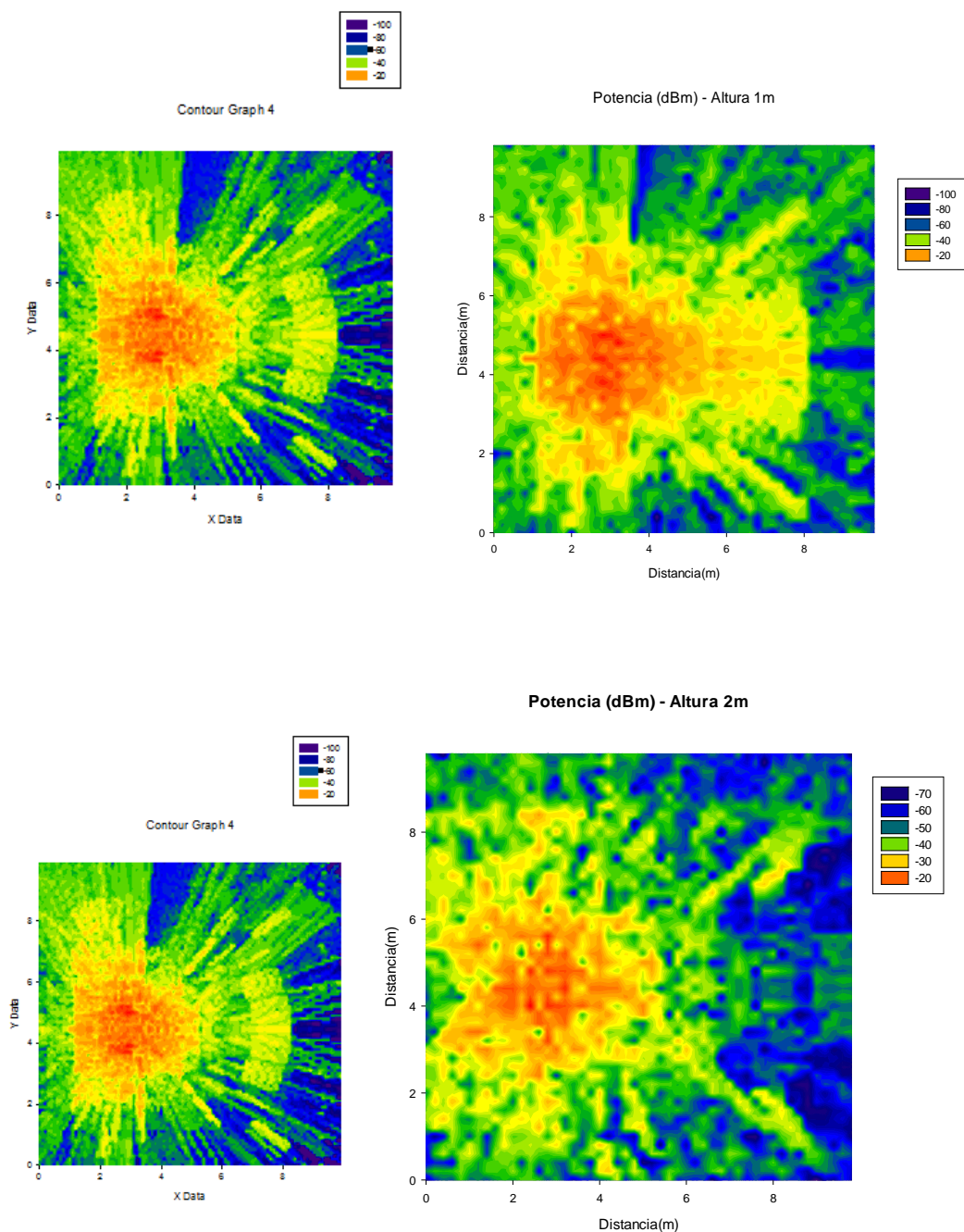


Figura 53. Mapas de potencia a 1 y 2 metros de altura.

En este caso no se aprecian diferencias considerables en la potencia recibida a las diferentes alturas, su comportamiento es bastante similar. A 1 metro de altura los niveles de potencia son algo mayores en las cercanías de la antena que para la altura de 2 metros. En el exterior del vehículo estos niveles de potencia son menores, ya que la estructura metálica hace que parezcan todo tipo de fenómenos de propagación que dificultan la comunicación.

Radiales

Representación de una de las radiales en el plano a 1 metro de altura y de la Y fija a columna 31 metros y la x varia a lo largo del eje.

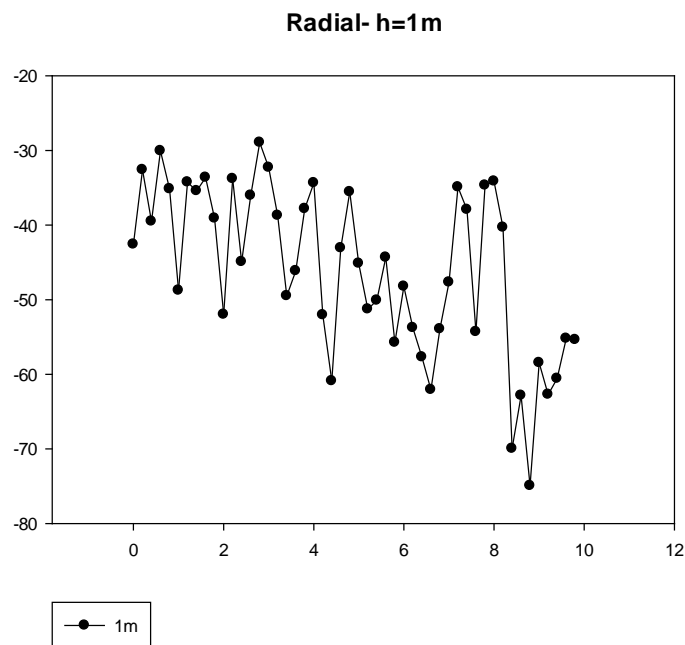


Figura 54. Radial de Y=31 para la altura de 1m.

En esta radial se observa la tendencia de que conforme se aleja de la antena transmisora la potencia va decayendo muy notablemente. Se producen variaciones debido a la propagación multirrayecto.

PDPs

Retardos tomados de la fila 35, columna 23 a una altura de 1 metro.

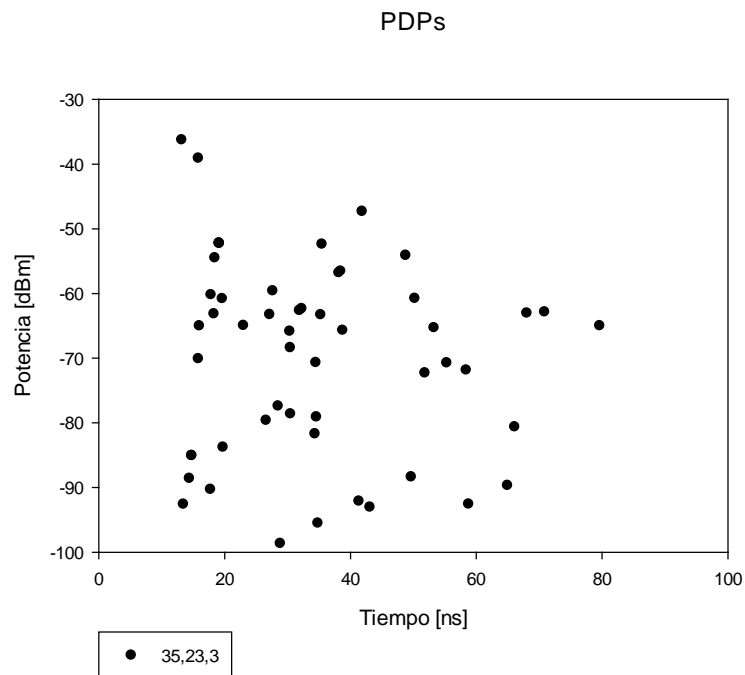


Figura 55. PDPs, fila 35, columna 23 a la altura 1m.

Por tratarse de un punto elegido en el interior del vehículo, el comportamiento experimentado se observa la potencia con la que van llegando los rayos en ese punto del espacio conforme va pasando el tiempo. Los primeros rayos que pasen al interior del vehículo son aquellos directos o menos influenciados por los fenómenos de propagación, mientras que conforme el tiempo avanza los rayos recibidos son más probable que provengan de reflexiones, difracciones etc, y por lo tanto contengan niveles de potencia menores.

Delay spread

Representación del gráfico en 3D de los retardos que sufren los rayos en la propagación.

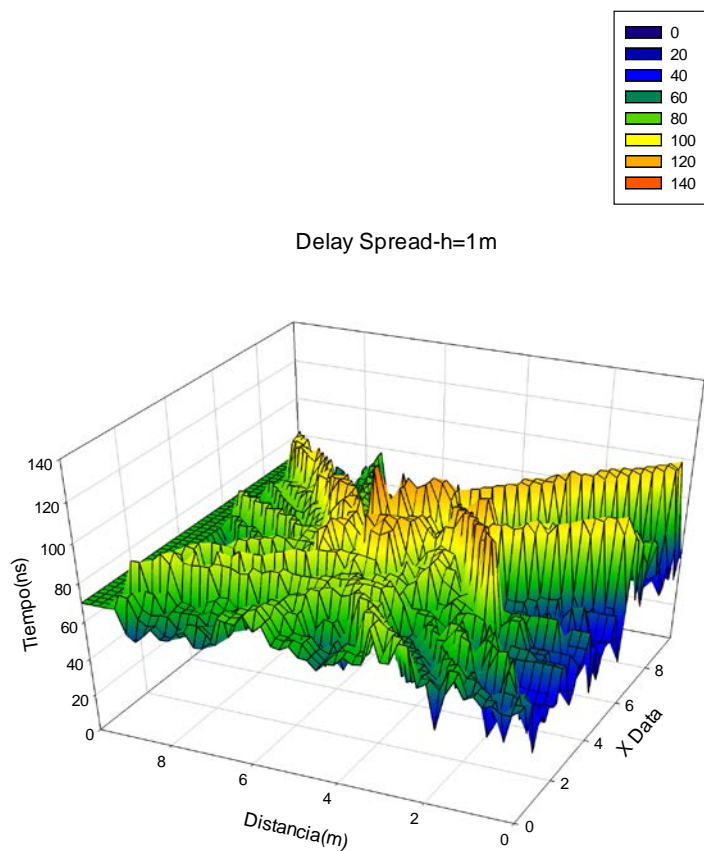


Figura 56. Delay Spread, altura 1m

4.3 Medidas reales in-situ.

Para la realización de las medidas el emisor y receptor se han ido alternando en su posición en cada uno de los diferentes escenarios, siempre guardando constancia del punto exacto en el que se encuentra situado para luego poder compararlo de la manera más efectiva posible con los datos recogidos de la simulación. A la hora de tomar las medidas se han tomado ciertas precauciones, para que la presencia de las personas que se encargan de estas sea la menor posible, por eso, nadie se ha interpuesto entre la antena emisora y receptora, sino que siempre se mantenía detrás de esta. Aunque es complicado que en estos escenarios no hubiera influencia de ningún tipo, ya que alguno de ellos es de tránsito, por eso muchas medidas se tenían que repetir o posponer unos segundos hasta que el sujeto interferente desapareciera del escenario.



Figura 57. Escenario de medida.

Tanto el montaje del material de medida como el trato de este ha sido lo más cuidadoso posible, para que no se produzcan medidas erróneas por mal funcionamiento del equipo ni porque el uso de este no sea el apropiado. Por este motivo, se han calibrado los instrumentos en cada una de las mediciones como en el caso del analizador de espectros portátil. Además se ha procurado que la colocación de las antenas sea lo más correcta posible, haciendo que estas estén estáticas y con una inclinación correcta, y evitando influencias externas que pudieran modificar el diagrama de radiación.

También se han tenido en cuenta las diferentes conexiones , ya que estas producen pérdidas que luego se han de contemplar para que la simulación sea lo más real posible.

4.3.1 Instrumentación.

Para la toma de medidas se hizo uso de la siguiente instrumentación, cuyos principales datos serán comentados brevemente, aunque todas sus características se pueden ver más detalladamente en el anexo 8.3:

4.3.1.1. Analizador de espectros.

Este aparato ha sido fundamental para poder medir la potencia recibida en los puntos de recepción seleccionados. Se trata de un analizador de espectros de la marca Agilent perteneciente a la familia FieldFox, concretamente el Agilent, modelo N9912A FieldFox RF Analyzer. Es un instrumento robusto y portable de sencillo manejo, con lo que es ideal para el tipo de medidas que se han realizado, ya que permite el desplazamiento de manera sencilla, algo que un analizador no portable no permitiría. Aunque en este estudio solo se han utilizado las funciones de analizador de espectros, esta herramienta ofrece más posibilidades como son el análisis de interferencias, mediciones de potencia, análisis de redes vectoriales y un voltímetro.

Características:

- Analizador de espectros: de 5KHz a 4GHz y 6GHz opcional
- Ancho de banda de video: 1Hz a 2MHz
- Ancho de banda de resolución: 10Hz a 2MHz
- Precisión: 0.1 dB
- Rango: +30dBm a -170dBm
- Dimensiones: 292x188x72 mm
- Peso: 2.8 Kg



Figura 58. Analizador de espectros Agilent.

4.3.1.2. Antena pequeña para interiores

Esta antena de la marca Antenna Factor es el modelo ANTENNA FACTOR ANT-868-CW-HWR-xxx y trabaja en la banda de frecuencia del RFID. Es un dipolo de media longitud de onda y su ganancia no es muy elevada.

Características:

- Frecuencia central: 868MHz
- Ancho de banda: 30MHz
- Ganancia: 2dBi
- Polarización: Lineal
- Impedancia: 50Ω

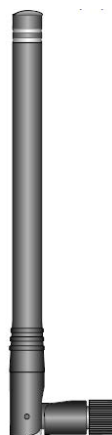
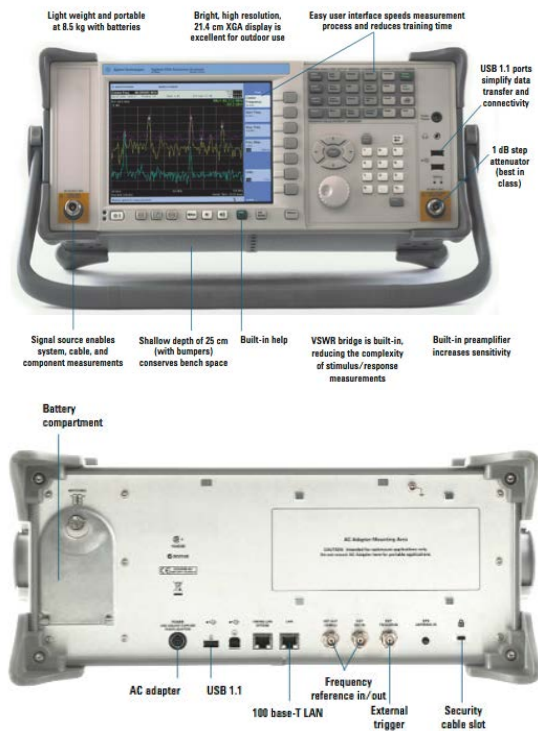


Figura 59. Antena Factor.

4.3.1.3. Analizador y generador de señal: Agilent CSA Spectrum Analyzer N1996A.

Para generar la señal desde el dipolo de 868 MHz se ha utilizado este generador de señal.



Frequency coverage

- Frequency range: 100 kHz to 3 or 6 GHz
- Signal source: 10 MHz to 3 or 6 GHz
- Preamplifier to 3 or 6 GHz

Performance

- DANL: -156 dBm/Hz, normalized to 1 Hz
- Best-in-class dynamic range with +18 dBm TOI
- Overall amplitude accuracy: ± 0.5 dB

Compact Design

- Weight: 7.5 kg with built-in signal source, preamplifier, and VSWR bridge
- Battery life: 2 hours (typical)

Features

- Brightest, highest resolution display in its class (21 cm XGA, 1024 x 768)
- 1 dB electronic step input attenuator
- 10 Hz to 5 MHz RBW standard, 10% adjustable to 200 kHz, 1 Hz to 50 MHz VBW
- USB and LAN standard

Figura 60. Agilent CSA Spectrum Analyzer N1996A

El generador genera una señal en el dipolo de 868 MHz de -10 dBm a 848 MHz. Más información en el anexo.

4.3.2. Toma de medidas

La toma de medidas se realizó en el parking de deportes de la Universidad Pública de Navarra, donde aprovechando las instalaciones existentes y la instrumentación necesaria se tomaron las medidas en las diferentes situaciones. El tipo de medida a tomar en este estudio es de potencia recibida o RSSI (Received Signal Strength Indicator).



Figura 61. Toma de medidas.

Estas medidas consisten en observar la potencia recibida en determinados puntos, para ello se conectó uno de los modelos de antena expuestos antes con el generador de señal, formando el transmisor del sistema de comunicaciones, que se configuró a una frecuencia de trabajo de 868MHz y para que emitiese un pulso de una potencia de 10dBm.



Figura 62. Instrumentación utilizada.

Por otro lado, se creó el receptor del sistema conectando otra antena, igual a la del transmisor, con el analizador de espectros, donde se podía ver la señal recibida y se tomaba el dato de la potencia de pico.



Figura 63. Analizador de espectros.

Se situaron los dos vehículos paralelamente, el transmisor/receptor en el interior de un vehículo a una altura de 1 metro (aproximadamente altura del salpicadero) y el receptor/transmisor en el exterior a una distancia de 2 metros de la parte trasera del vehículo, centrada tal y como se muestra en la figura.

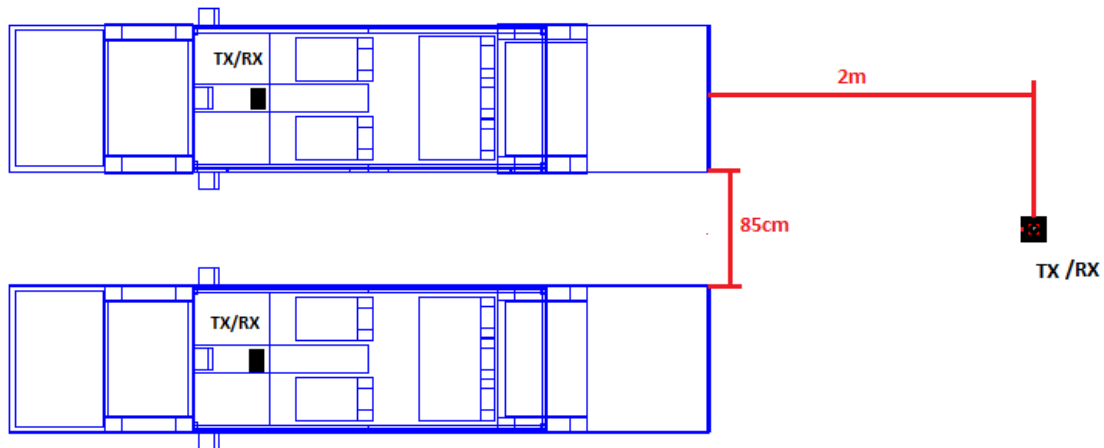


Figura 64. Situación de toma de medidas.

La composición de los escenarios es la misma, en lo referente a separación y altura del vehículo ante el transmisor/receptor del sistema de comunicaciones. En cada uno de los casos medimos la potencia recibida en diferentes puntos, y comparamos con los valores obtenidos por medio de la simulación todos ellos en un plano a 1 m de altura.

Caso 1 (Escenario1):

Este caso se basa en el escenario1 que consta de dos vehículos situados de forma paralela. El transmisor del sistema de comunicaciones se sitúa en el exterior del vehículo mientras que el receptor en el interior de cada uno de los dos vehículos. La siguiente figura muestra las posiciones en las que se situó el receptor, en un plano de 1 m de altura.



Figura 65. Escenario 1 medidas.

A continuación se muestran los resultados obtenidos a la frecuencia de operación de 868MHz y en un plano a 1m de altura.

Tabla con los datos:

Posición	Medido (dBm)	Simulado (dBm)	Error
1	-61,74	-65,13	3,39
2	-63,64	-63,24	0,4

Se observan en la tabla los datos recogidos en las simulaciones y los obtenidos en las mediciones.

Hay un margen de error vigente entre estos datos ya que como bien se comenta a lo largo del proyecto en la toma de medidas hay muchos factores que intervienen en la propagación radioeléctrica de la señal y son los encargados de generar ese error.

Caso 2 (Escenario 3)

Este caso se basa en el escenario3 que consta de tres vehículos situados de forma paralela. El transmisor del sistema de comunicaciones se sitúa en el exterior de los vehículos mientras que el receptor en el interior de cada uno de los dos vehículos. La siguiente figura muestra las posiciones en las que se situó el receptor, en un plano de 1 m de altura.



Figura 66. Escenario 3 medidas.

Tabla con los datos:

Posición	Medido (dBm)	Simulado (dBm)	Error
1	-54,63	-57,01	2,38
2	-63,04	-62,11	0,93

Por las mismas causas que en el caso anterior, se genera un error en estos datos.

Caso 3 (Escenario 4):

Este caso se basa en el escenario4 que consta de tres vehículos situados de forma paralela. El transmisor del sistema de comunicaciones se sitúa en el interior de uno de los vehículos mientras que el receptor en el exterior en los puntos: 1(8, 4.5) , 2(8, 5.8), 3(8, 7), 4(8, 4.8), 5 (8, 2).

La siguiente figura muestra las posiciones en las que se situó el receptor, en un plano de 1 m de altura.



Figura 67. Escenario 4, medidas.

Tabla con los datos:

Posición	Medido (dBm)	Simulado(dBm)	Error
1	-53,37	-54,12	0,75
2	-59,32	-55,02	4,3
3	-65,05	-60,8	4,25
4	-59,22	-54,71	4,51
5	-66,4	-65,02	1,38

--Error medio: 3,038.

Así se obtiene la siguiente grafica de comparación de valores simulados y medidos.

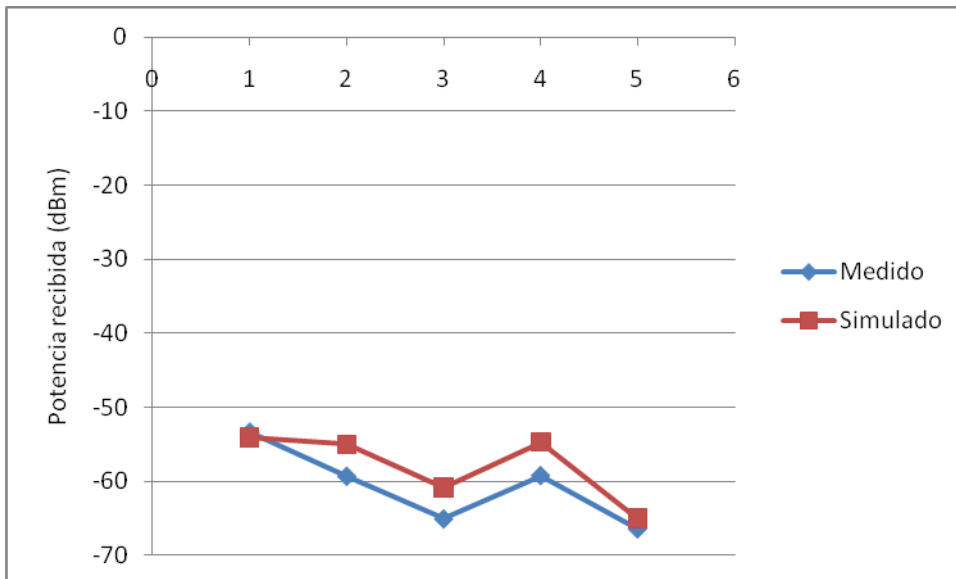


Figura 68. Grafica comparación caso 3.

Se observa que se consiguen unos errores muy pequeños. Esto significa que, para casos de este tipo, el simulador de trazado de rayos proporciona una aproximación verdaderamente buena a la realidad.

Caso 4 (Escenario4):

Este caso se basa en el escenario4 que consta de tres vehículos situados de forma paralela. El transmisor del sistema de comunicaciones se sitúa en el interior de uno de los vehículos mientras que el receptor en el exterior en los puntos: 1(8, 4.5) , 2(8, 5.8), 3(8, 7), 4(8, 4.8), 5 (8, 2).

La siguiente figura muestra las posiciones en las que se situó el receptor, en un plano de 1 m de altura.



Figura 69. Escenario 4, medidas.

Tabla con los datos:

Posición	Medido (dBm)	Simulado (dBm)	Error
1	-63,05	-59,08	-3,97
2	-51,31	-50,2	1,11
3	-55,26	-53,84	1,42
4	-65,85	-62,37	3,48
5	-68,56	-65,02	3,54

--Error medio: 2,704.

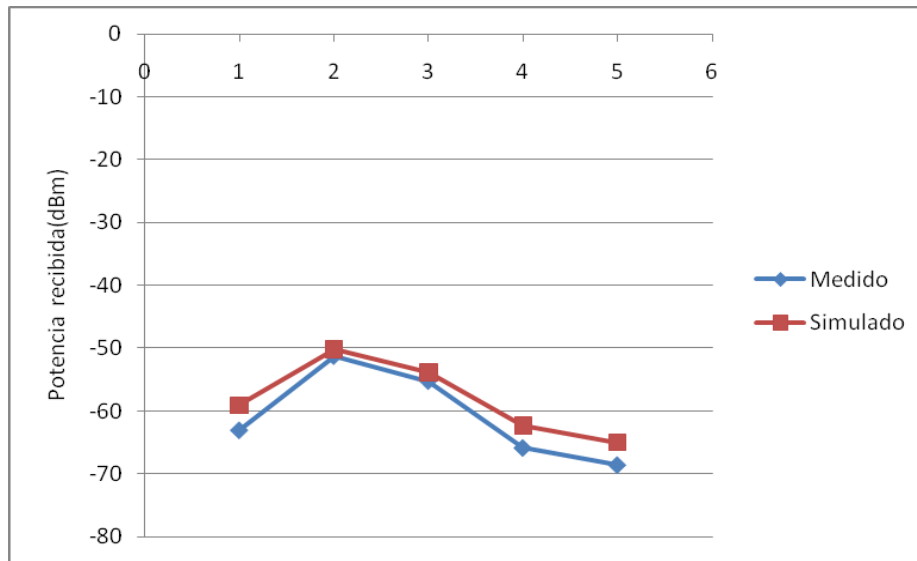


Figura 70. Gráfica comparación caso 4.

En cuanto a los resultados, hay que decir que, al igual que ocurría en el escenario 1, la aproximación hecha por el simulador es bastante buena, con errores medios pequeños.

5. BALANCE DE POTENCIA

En este apartado se realiza un estudio del balance de potencias de los dos radioenlaces que se dan en la transmisión de datos para UHF RFID.

La Identificación por radiofrecuencia (RFID) está creciendo rápidamente, especialmente en la banda de frecuencia UHF. Etiquetas UHF pasivas son las preferidas para esta aplicación. Sin embargo, el alcance de lectura es a menudo sobreestimado utilizando cálculos de espacio libre. Se presenta un método para estimar el rango de lectura en ambientes múltiples.

Existen otros efectos con un impacto directo en el rango de lectura como el efecto de los materiales sobre el rendimiento de etiquetas.

Dos de los principales criterios de rendimiento para que las etiquetas RFID sean leídas son el rango y velocidad de lectura. Rango de lectura es la distancia máxima a que la etiqueta puede ser leída por el lector. Para muchas aplicaciones, tales como almacenes, el rango de lectura debe maximizarse para reducir el número de lectores necesario. Para una lectura correcta, dos cosas deben suceder. En primer lugar, la etiqueta ha de ser impulsado por el lector (la potencia recibida en la etiqueta debe ser superior a la de su umbral de encendido o sensibilidad del lector). Y en segundo lugar, el lector debe de tener una sensibilidad suficiente para recoger la modulación de retrodispersión de la etiqueta con una adecuada relación señal-ruido (SNR) para razonable baja tasa de error de bit (BER).

En el espacio libre (es decir, sin efectos ambientales y lejos de la fuente) la densidad de potencia de RF cae como $1/r^2$, cuando r es la distancia desde el lector. Para situaciones de trayectos múltiples con reflexiones y pérdidas de entorno, la bajada exponente es situación de dependencia. Incluso si no es necesario un gran rango de lectura en una aplicación particular (es decir, lectores de mano), menor umbral de encendido en el tag significa que lector puede reducir su potencia transmitida. Este es deseable, ya que reduce la interferencia-lector-al lector en aplicaciones donde varios lectores están cerca. Sin embargo, el rango de estimación de lectura se basa en la fórmula Friis en el espacio libre.

Además, el rendimiento de etiquetas RFID se ve afectada por muchos factores, incluyendo las propiedades electromagnéticas de objetos en contacto con la antena de la etiqueta.

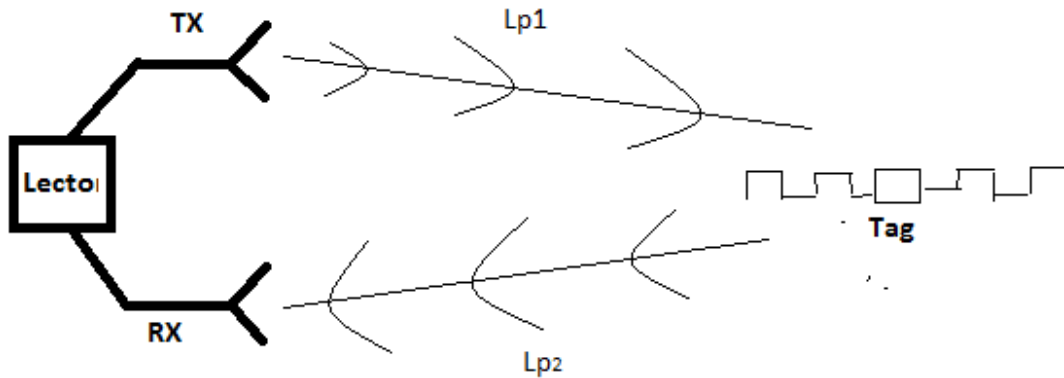


Figura 71. Radioenlace tag-lector.

Se considera el radioenlace lector-tag pasivo(coche) en ambas direcciones, en cada una de estas direcciones hay que considerar una causística diferente para tratar las pérdidas:

- 1) Enlace simétrico (se consideran L_{p1} y L_{p2} iguales)
- 2) Enlace asimétrico (L_{p1} y L_{p2} distintas)

En este caso se ha considerado en ambos escenarios 3 y 4 que se trata de un enlace simétrico, por lo que en ambas direcciones de radiación ($L_{p1}=L_{p2}$) lo que implica que las pérdidas totales ($2L_p$) en el cálculo de potencia recibida en el lector es la suma de las pérdidas en ambas direcciones del sistema. Están relacionadas con la distancia a la que se encuentre lector-coche .

El nivel de potencia recibido en el lector esta fijado por la ecuación de transmisión de Friis:

$$P_{r,reader} \text{ (dBm)} = P_{reader} \text{ (dBm)} + 3G_{reader} \text{ (dB)} - 2L_{sys} \text{ (dB)} + 20\log |\rho'| + 2G_{tag} \text{ (dB)} + 2\Delta G \text{ (dB)} - 2L_p$$

Donde para la realización de los cálculos se ha considerado:

- $P_{reader} \text{ (dBm)} = -20 \text{ dBm}$ en RFID.
- $G_{reader} \text{ (dB)} =$ ganancia del lector, considerada 0 dB .
- $L_{sys} \text{ (dB)} =$ pérdidas en el cable, 1 dB .
- $\rho' =$ coeficiente de desacoplo del tag variando sus valores de $0,1$ a $0,9$.
- $G_{tag} =$ se considera $2,14$ por tratarse de espacio libre.
- $\Delta G = G_{tag} \text{ (dB)} - G_{tag, \text{freespace}} = 0 \text{ dB}$

Se ha considerado la ganancia del tag 2,14 como se muestra en la siguiente tabla, por tratarse de espacio libre.

TABLE I
GAIN PENALTIES AND LINK BUDGET LOSSES FOR A 867-MHZ TAG ANTENNA
ATTACHED TO DIFFERENT OBJECTS

Surface	G_{tag} (dB)	G (dB)	$10\log(1- \rho ^2)$ (dB)	L_{tag} (dB)	L_{reader} (dB)
Free space	2.14	0	-0.01	0	0
Wood h=20 mm	0.82	-1.32	-0.12	-1.43	-3.82
Glass Bottle with water	-18.41	-20.55	-0.94	-21.49	-45.76
Metal s=15 mm	3.91	+1.77	-6.09	-4.32	-13.67

Mediante las radiales obtenidas en las simulaciones en cada uno de los escenarios 3 y 4 y con la ecuación de Friis basada en propagación radioeléctrica en espacio libre se calcula la potencia recibida en el lector para las distintas distancias de el escenario y distintos coeficientes de desacoplo. Este coeficiente de desacoplo se ha ido variando su valor desde 0,2 hasta 0,9 para todos los escenarios.

Se escogen las radiales de potencia oportunas para la representación de los resultados teniendo siempre en cuenta si el enlace lo consideramos simétrico o asimétrico, ya que como se ha mostrado anteriormente en el enlace asimétrico las pérdidas en las distintas direcciones son diferentes.

- Para el escenario 3 considerando el enlace simétrico, se muestra la potencia recibida en función de la distancia para los diferentes coeficientes de desacoplo:

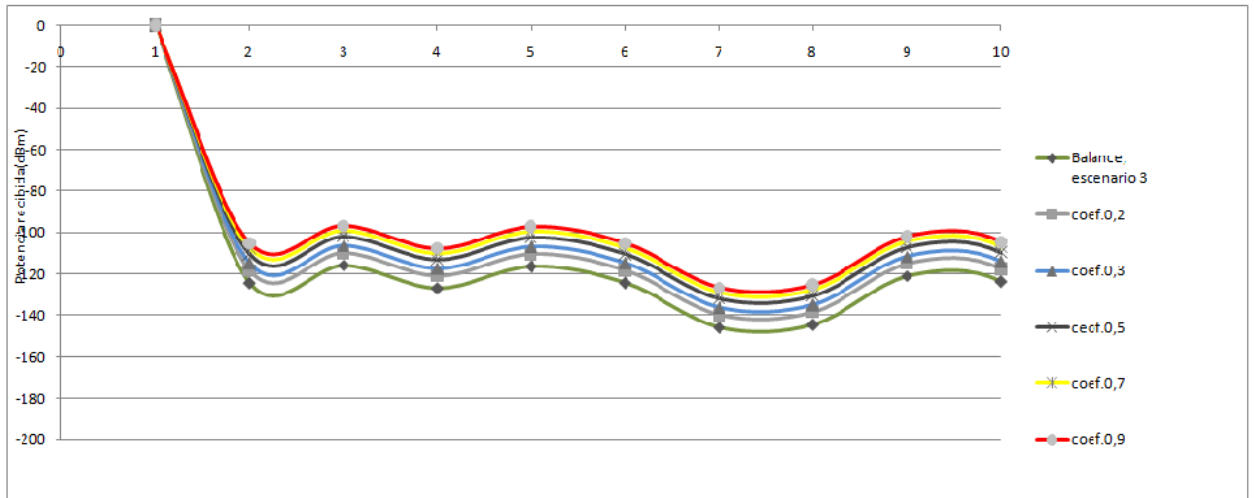


Figura 72. Gráfica de potencia recibida para diferentes ρ escenario3 simétrico.

Se puede observar que cuanto mayor es el coeficiente de desacoplo mayor es la potencia recibida para una determinada distancia, lo que favorece la comunicación.

- Para el escenario 4 considerando enlace simétrico:

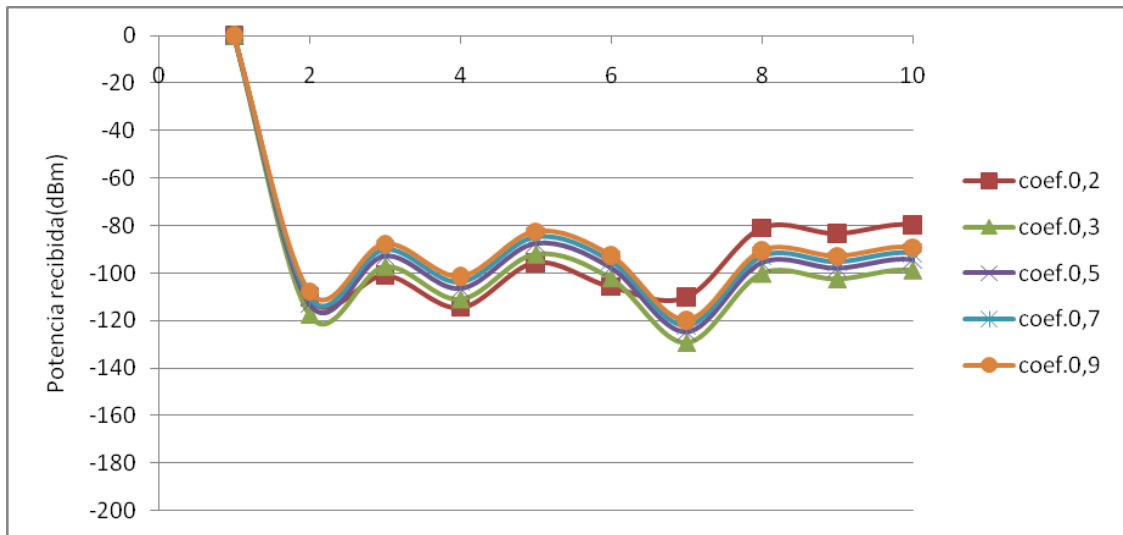


Figura 73. Gráfica de potencia recibida para diferentes ρ escenario4 simétrico.

En este caso se aprecia que para distancias pequeñas se recibe una mayor potencia cuando el coeficiente de desacoplo es mayor, pero en distancias grandes la potencia recibida es mayor cuanto menores el coeficiente de desacoplo.

-Para escenario 4 considerando enlace asimétrico, se tiene que tener en cuenta que las pérdidas L_{p1} y L_{p2} son diferente y por lo tanto $2L_p$ es la suma de ambas.

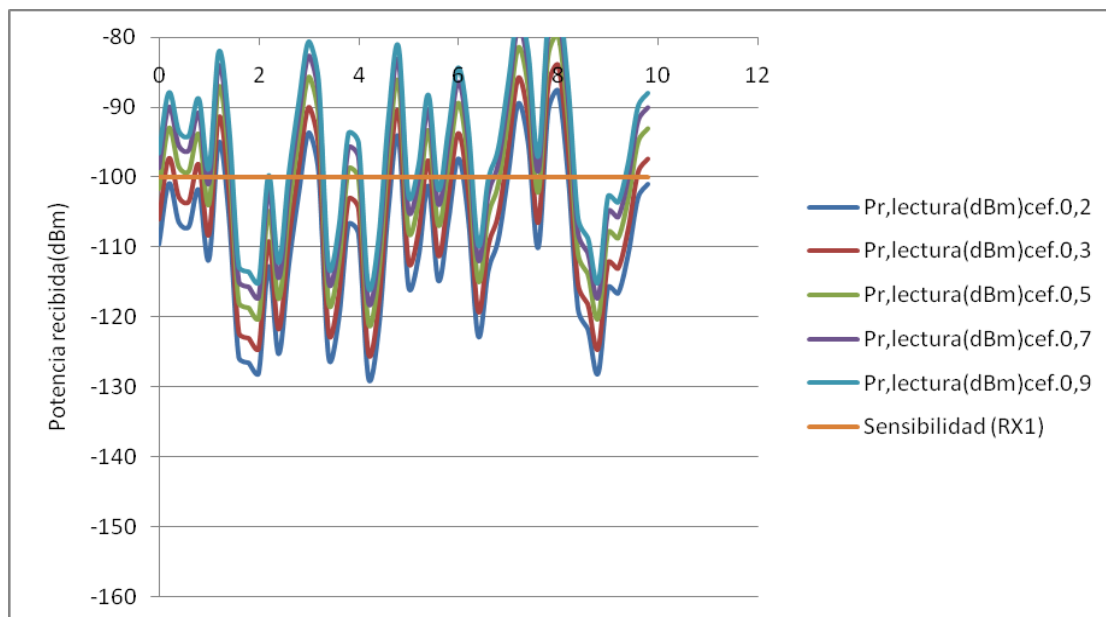


Figura 74 . Gráfica de potencia recibida para diferentes ρ escenario4 asimétrico.

Se pueden observar la distancia a la que podría estar situado el lector para que la potencia a esta distancia sea como mínimo la sensibilidad requerida por un lector RFID, que normalmente es de 100dBm. Por consiguiente se aprecia que cuanto mayor es el coeficiente de desacoplo mayor potencia se recibe, lo que hace que favorezca la comunicación lector-tag.

Ahora se realiza el mismo estudio para el escenario 4 y enlace asimétrico pero variando en este caso la $P_{r,lector}$ que anteriormente se había fijado a -20 dBm (lector más comercial) ahora se hace un barrido con diferentes valores {0,5,10,15,20} de este parámetro con los diferentes coeficientes de desacoplo.

- Considerando la $P_{r,lector}=0\text{dBm}$.

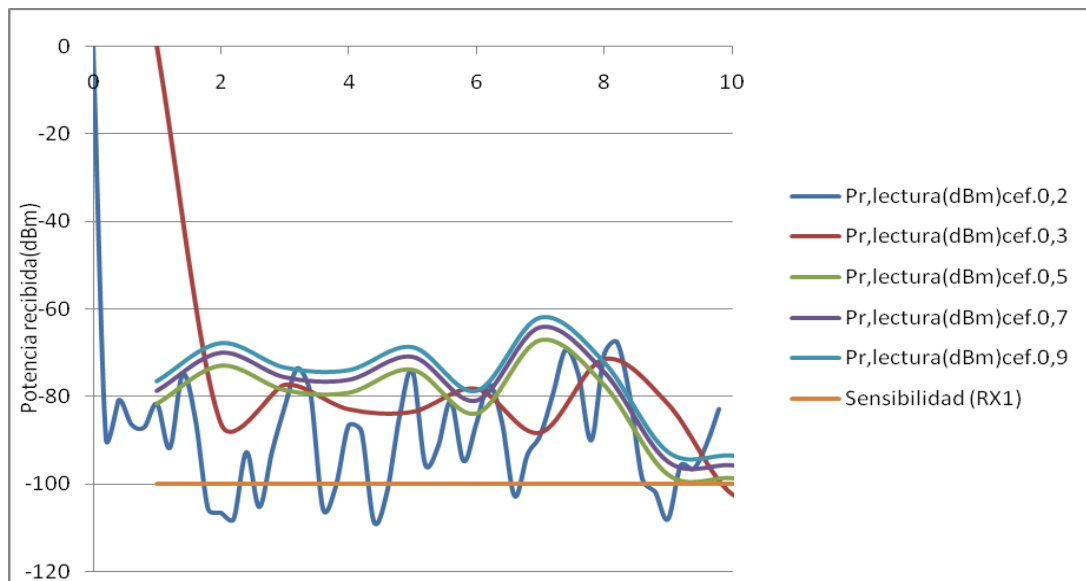


Figura 75. Gráfica de potencia recibida para Plector 0dBm.

- Considerando la $P_{r,lector}= 5 \text{ dBm}$.

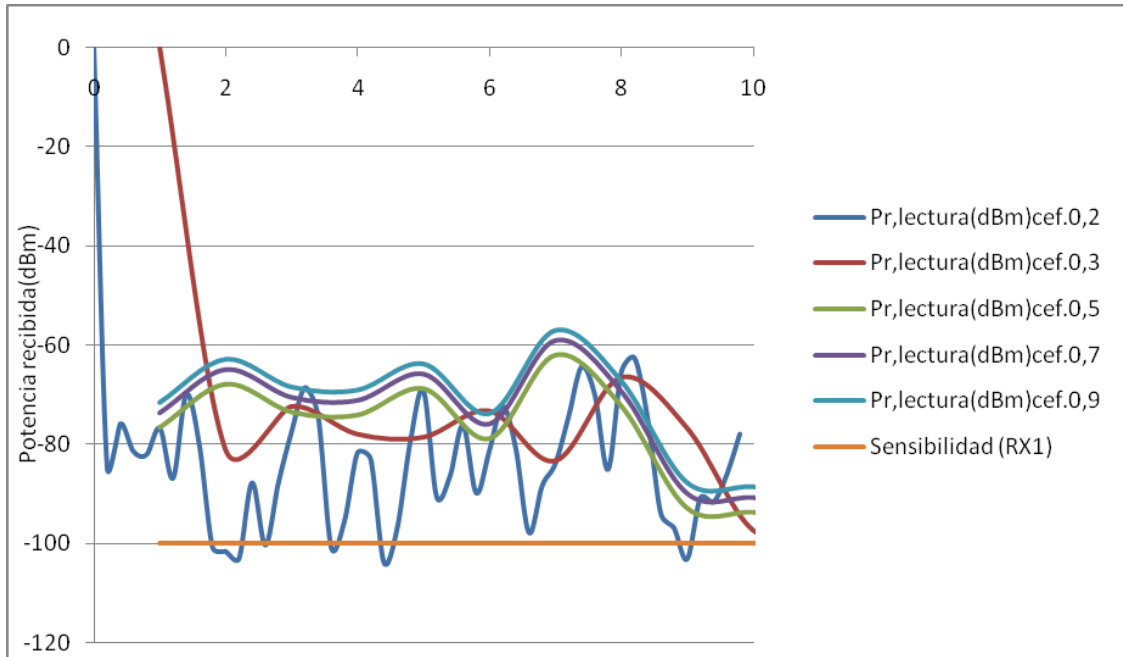


Figura 76. Gráfica de potencia recibida para Plector 5 dBm.

- Considerando la $P_{r,lector}=10$ dBm.

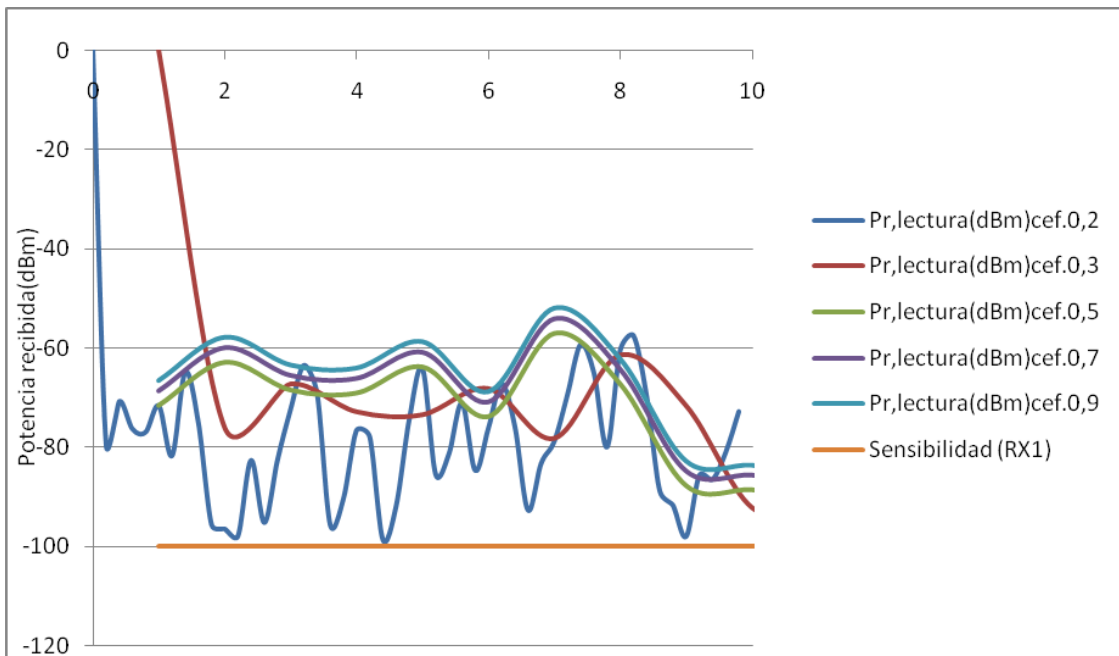


Figura 77 . Gráfica de potencia recibida para Plector 10 dBm.

- Considerando la $P_{r,lector} = 15 \text{ dBm}$.

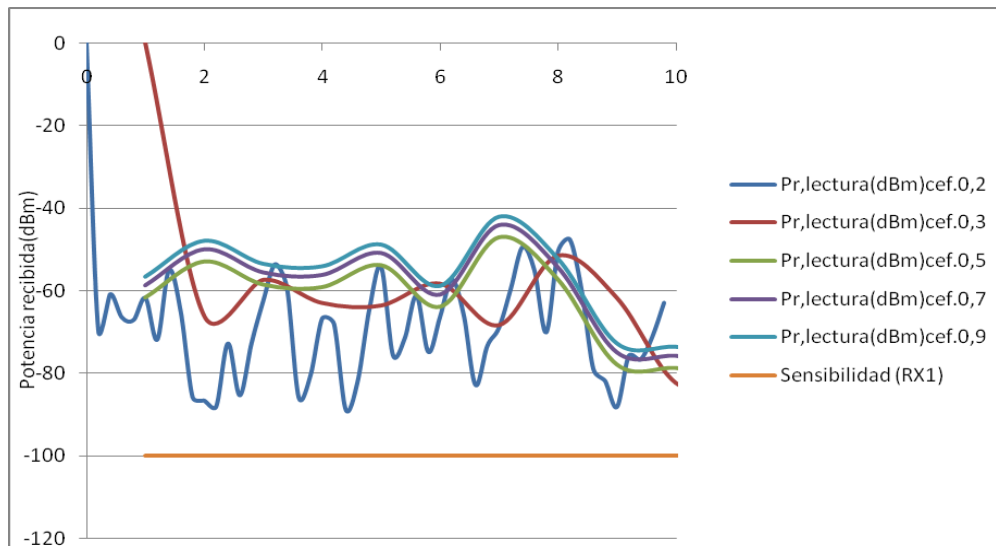


Figura 78. Gráfica de potencia recibida para Plector 15 dBm.

Comparando las 4 gráficas obtenidas se puede observar que a medida que la potencia del lector considerada se aumenta los niveles de potencia recibida también aumentan, es decir tiene una relación directa. Se observa que la única modificación que se obtiene es que estas gráficas suben de nivel en la escala de potencia recibida. Por lo que cuanto menor sea la potencia considerada en el lector para la transmisión, mejor se conseguirán los niveles de potencia mínimos (sensibilidad mínima del lector). Se parecían ciertos altibajos en las gráficas, estos son debido a la propagación multitrayecto que se da en el radioenlace considerado.

5. 1. Propuesta de planificación

Tras observar la diferente casuística considerada en el apartado de balance de potencias, donde se ha calculado la potencia recibida en el lector en función de la distancia, en este apartado se va a considerar el enlace asimétrico para el escenario 4. Se estudia cuáles son las distancias máximas para que se pueda llevar a cabo la comunicación.

Se propone la planificación real de colocación de las antenas en el espacio considerado, el parking de deportes de la Universidad Pública.

Tras observar nuevamente la gráfica anteriormente mencionada, y tras tomar las medidas correspondiente en el parking, se puede calcular el número total de antenas

necesario y los diferentes radios de cobertura para cada una de estas en los que se puede establecer la comunicación tag-lector.

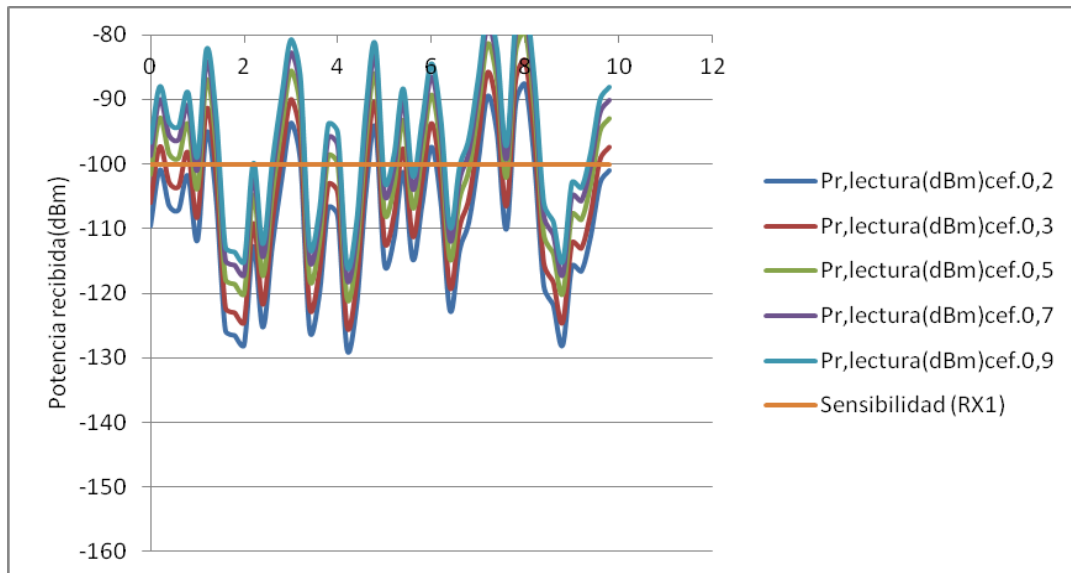


Figura 79.Gráfica de potencia recibida para diferentes ρ escenario4 asimétrico

Una vez que supere el valor de -100 dBm (sensibilidad común del lector) ya será posible la comunicación.

Tras observar la gráfica se puede observar que los niveles de potencia son siempre mayores considerando el coeficiente de reflexión de 0,2, por lo tanto para este nivel considero la potencia en los diferentes puntos del espacio. Vemos que el mayor radio de cobertura para que la comunicación sea posible es el de 10 metros y así obtener el menor número de antenas necesarias a colocar.

Tras observar la gráfica se puede observar que los niveles de potencia son siempre mayores considerando el coeficiente de reflexión de 0,2, por lo tanto para este nivel considero la potencia en los diferentes puntos del espacio.



Figura 80. Plano superior parking.

Calle= 6 metros.

En una fila hay 6 plazas de minusválidos de anchura 3 metros y 72 plazas normales de anchura 2,5 metros.

Paso de peatones 4,75 metros.

Con estas medidas podemos calcular la superficie total del parking para cubrir :

Ancho = 6 metros de calle + (4,75m de paso peatones* 2) = 15,5 m, cada una de las antenas va a cubrir una superficie de 20m ya que tienen 10 m de radio, por lo que con 2 antenas se cubre todo el ancho del parking, cada una cubre cada una de las calles.

Largo = (6 x 3 plazas minus) = 18 + (72 x 2,5m cada plaza) = 180 + 4,75m paso de peatones = 202,5 que se divide por la superficie que cubre cada antena , 20 metros (10 metros de radio) , por lo que con 10 antenas en cada una de las calles cubrimos todo el espacio.

En número total de antenas necesarias para cubrir todo el parking es de 20 antenas.

6. CONCLUSIONES

Tras exponer todo el trabajo realizado y analizar los resultados obtenidos, se detallan las valoraciones y conclusiones que se han extraído:

- Dependiendo de la aplicación que se desee implementar , es importante tener en cuenta parámetros como la frecuencia de operación y la posición del transceptor.
- La potencia recibida está estrechamente relacionada con la localización del receptor, por lo que es necesario estudiar diferentes puntos donde colocar este para estimar cuál de ellos logra proporcionar un nivel de señal recibida de mayor calidad.
- El software de trazado de rayos en 3D, proporciona estimaciones de potencia recibida muy cercanos a los reales, y permiten realizar análisis muy completos de las características de la red en un determinado escenario.
- El modelo de coche desarrollado es mejorable en diseño pero ofrece unos resultados bastante aproximados a los del medidas reales.
- Al tratarse de escenarios exteriores, se determina que es complicado localizar la situación ideal, de la antena emisora, pero se puede conseguir aproximarse a esta.
- Aunque los escenarios son algo sencillos , sirven para hacerse una idea de la calidad de recepción.

6. LINEAS FUTURAS

A lo largo de la elaboración este proyecto, se han ido surgiendo posibilidades de desarrollo respecto al tema correspondiente más complejas, que se pueden tener en cuenta como posibles líneas futuras de trabajo:

- Consideración de movimiento del modelo de coche desarrollado.
- Extender el análisis a otras zonas de estacionamiento de vehículos en interiores, aumentando la complejidad de los escenarios en cuanto a interacción con mas vehículos y objetos.
- Realizar medidas empíricas con tags RFID/NFC de uso normalizado.
- Realizar simulaciones a otras frecuencias de trabajo en la que operan otras tecnologías u obtener datos de simulación mediante otro software o modelos de propagación diferente, de manera que se pueda escoger el que más se ajuste a la realidad.
- Estudiar en qué medida influirían los factores atmosféricos en la recepción de la señal emitida por el emisor.
- Comprobación de interferencias con otras tecnologías inalámbricas.

7. REFERENCIAS

-
- [1] Shahin Farahani, “ ZigBee Wireless Networks and Transceivers”.
- [2] Artículo Radio Link Budgets for UHF RFID on Multipath Environments, Autores: Antonio Lázaro, Member, IEEE, David Girbau, Member, IEEE, and David Salinas.
- [3] Artículo Revisiting RFID Link Budgets for Technology Scaling: Range Maximization of RFID Tags, Autores : Ritochit Chakraborty, Sumit Roy, *Fellow, IEEE*, and Vikram Jandhyala, *Senior Member, IEEE*
- [4] Artículo: La tecnología RFID: Usos y oportunidades, empresa Aetic..
- [5] Artículo Convergence Analysis in Deterministic 3D Ray Launching Radio Channel Estimation in Complex Environments, Autores: L. Azpilicueta , M. Rawat , K. Rawat , F. Ghannouchi and F. Falcone.
- [6] Artículo: RFID: Tecnología, aplicaciones y perspectivas. Libera Networks.
- [7] Near Field Communication, From Theory to Practice, Autores: Vedat Coskum, Kerem Ok and Busra Ozdenizci (NFC Lab- Istanbul, ISIK University, Turkey). Edicion WILEY, a John Wiley & Sons, Ltd., Publication.
- [8] William Stallings. Comunicaciones y redes de computadores. Pearson – Prentice Hall.
- [9] José A. López Vicario. Material extraído de la Universidad Autónoma de Barcelona.
- [10] Artículo: Radar Cross-Section Analysis of Backscattering RFID Tags, Autores: Chih-Chuan Yen, Alfonso E. Gutierrez, Dharmaraj Veeramani, and Daniel van der Weide, *Senior Member, IEEE*
- [11] Daniel Antonio Chavarría Chavarría. Material extraído de iTunes U de la Universidad de Costa Rica.
- [12] *Antenas*, 1998. Ángel Cardama, Lluís Jofre Roca, Juan Manuel Rius Casals, Jordi Romeu Robert, Sebastián Blanch Boris, Miguel Fernando Bataller. Edicions UPC.

- [13] Estudio, diseño y simulación de un sistema RFID basado en EPC, Autores: José María Ciudad Herrera y Eduard Samà Casanovas.
- [14] www.wikipedia.com
- [15] www.zigbee.org
- [16] <http://nfc-forum.org/>
- [17] www.libera.net
- [18] http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/urbina_r_rd/capitulo4.pdf
- [19] <http://www.qualitysa.com/ES/senyalizacion-guiado-ayuda-localizacion-de-vehiculos.php>
- [20] http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb2011/pb2011_012.pdf
- [21] <http://propagaciondeondascom1.blogspot.com.es/2012/11/atenuacion-y-absorcion-de-ondas.html>
- [22] http://autoaudio.blog.com.es/2005/12/23/modulo_1_acustica_3ra_entrega~409684/

8. ANEXOS

1. Resultados adicionales

Como se comenta en el punto 5.1 de definición de escenarios, en la primera toma de contacto con el simulador se creó el siguiente escenario, que posteriormente se mejoró. Dos coches y en algunos casos con un pilar para la colocación de la antena a una altura de 4m.

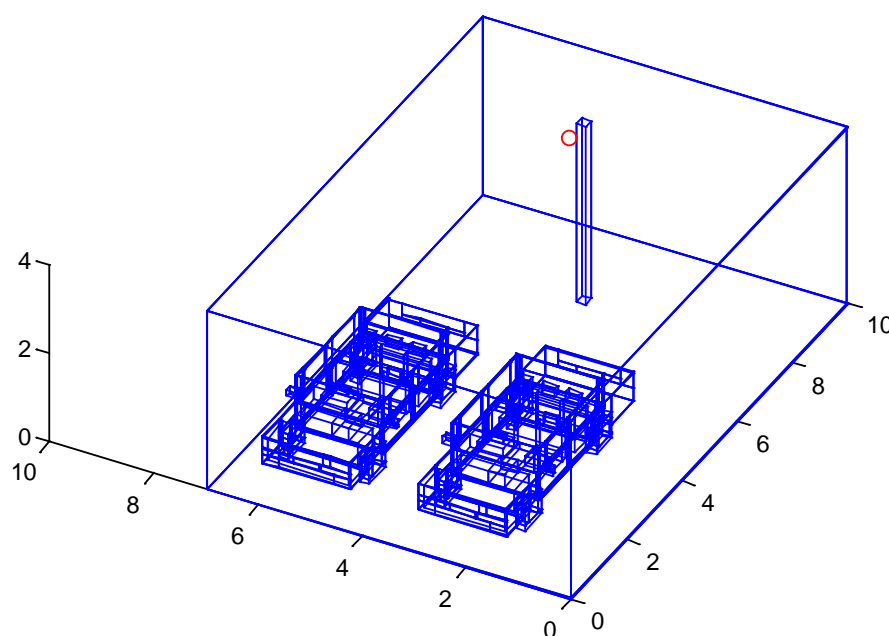
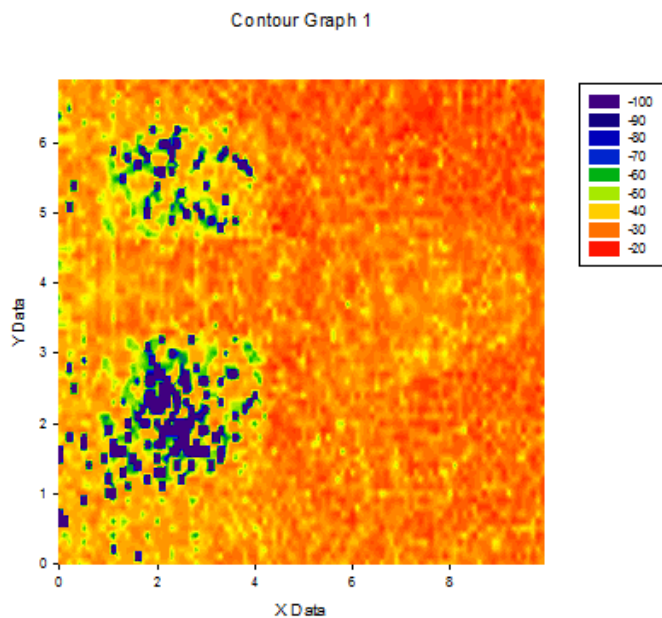


Figura 81. Escenario 1 con columna.

Una vez realizada la simulación, hemos visto que los resultados no parecen muy incoherentes.

-Representación de la potencia en un plano del espacio, el plano elegido ha sido uno situado a una altura de 1m y otro a la altura de 2 metros.



Plano a 2 metros.

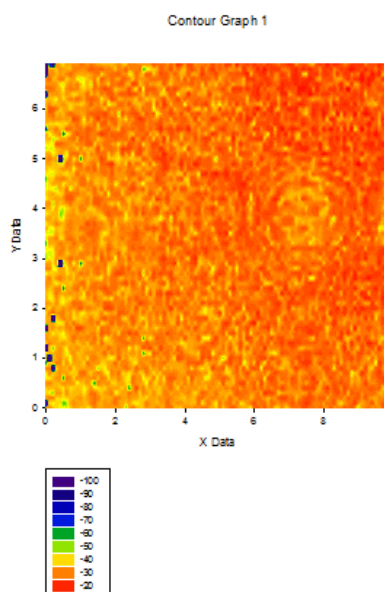
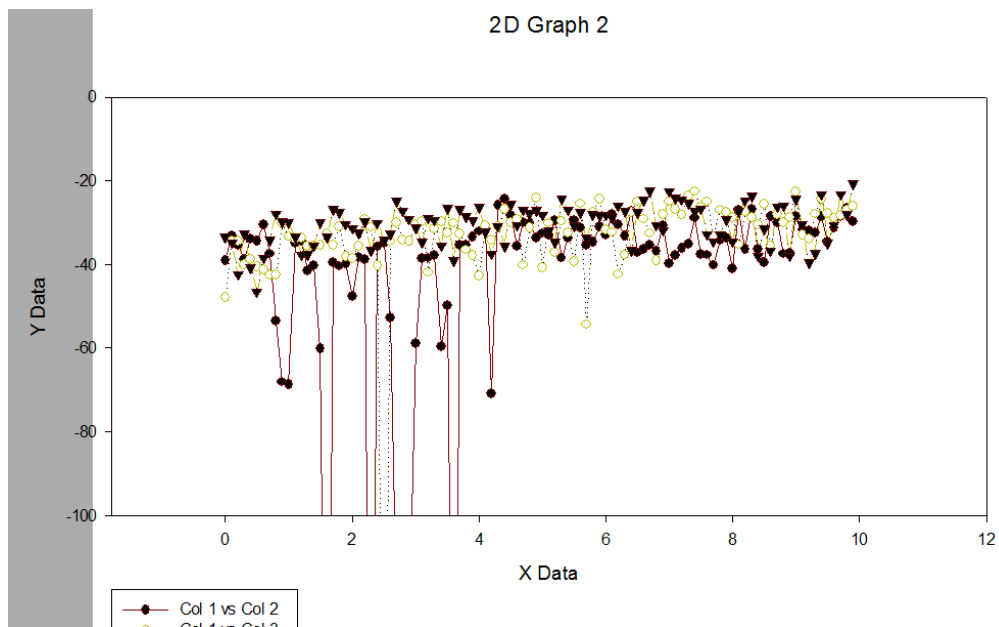


Figura 82. Mapas de potencia escenario1.

-Posteriormente he realizado un dibujo de la potencia de tres radiales, en una de las líneas que corta ese plano, en mi caso con una x fija de 2,2 una columna de 22.



-He pasado a representar el diagrama del retardo de potencia, en un punto fijo, el que yo quiera, he cogido aleatoriamente 2 puntos para comparar y ver las diferencias de retardos entre ellos.

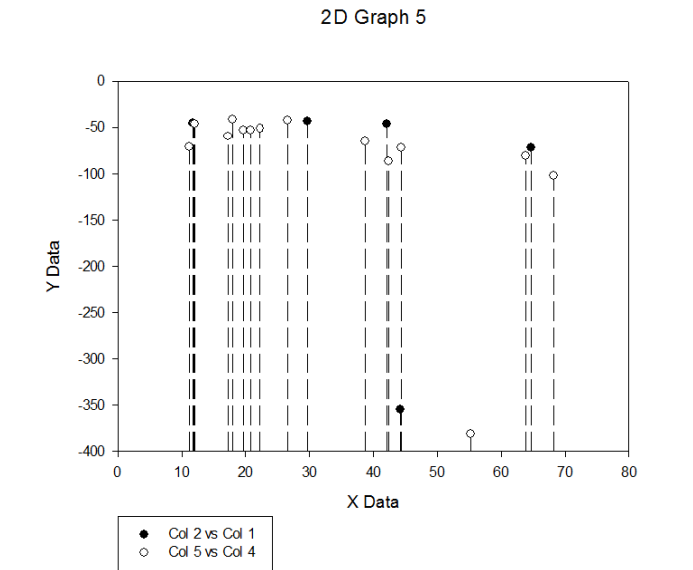


Figura 83. PDPs .

-Represento el delay spread, que proporciona un grafico en 3 dimensiones de los retardos que sufren los rayos.

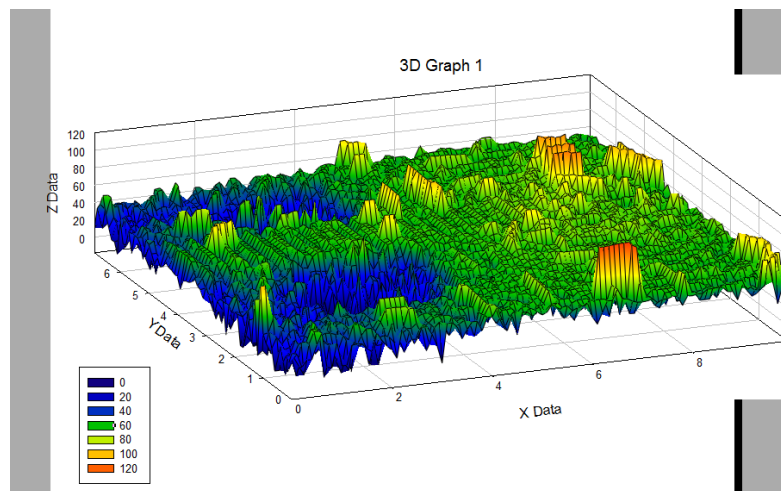
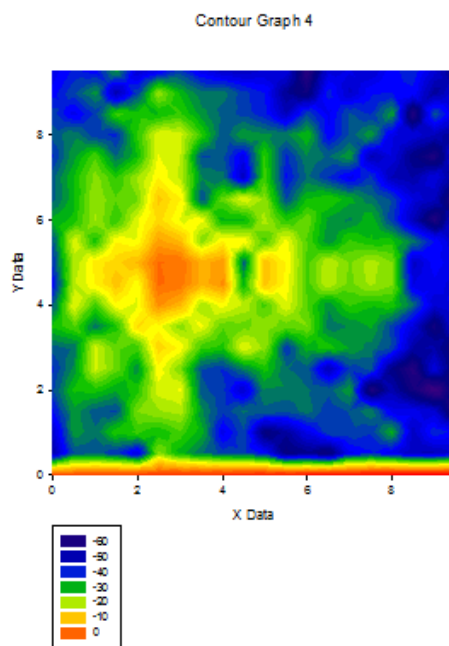


Figura 84. Delay Spread escenario 4 resol. 50.

---También resultados adicionales del escenario 4 con una resolución de 50.

Utilizo una resolución de 0.5 * 0.5 (tamaño de los cuadraditos en los que quiero dividir mi habitación).

Una vez realizada la simulación, hemos visto que los resultados parecen coherentes.
-Representación de la potencia en un plano del espacio, el plano elegido ha sido uno situado a una altura de 1m y otro a la altura de 2 metros.



Plano a 2 metros.

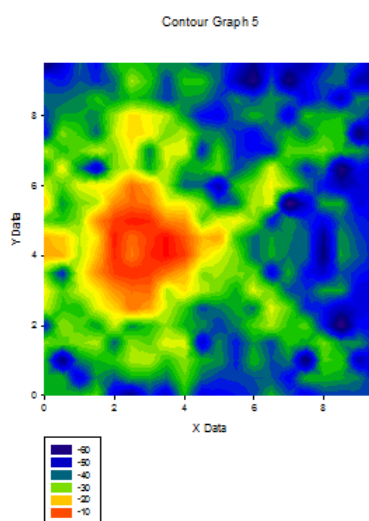


Figura 85. Mapa de potencia resol.50

-Posteriormente he realizado un dibujo de la potencia de una radial, en una de las líneas que corta ese plano, en mi caso con una x fija de 2,2 una columna de 22.

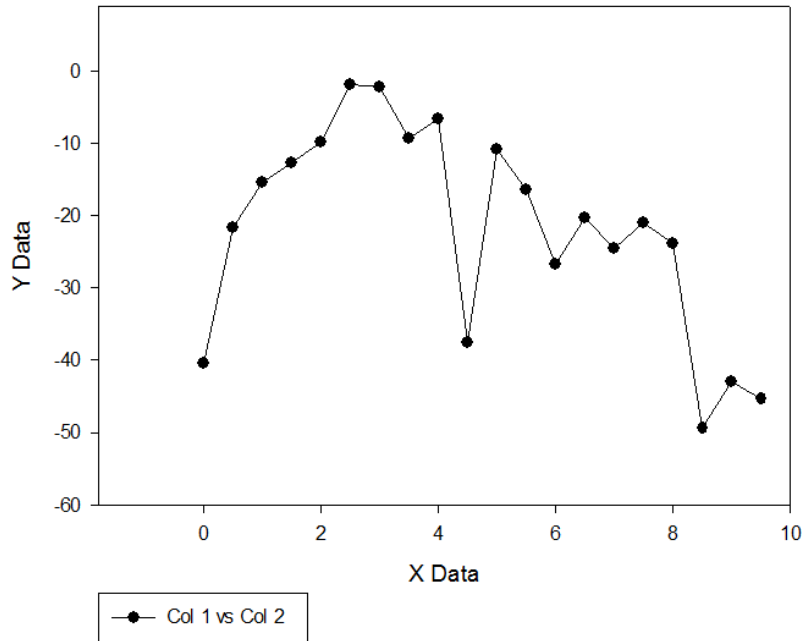
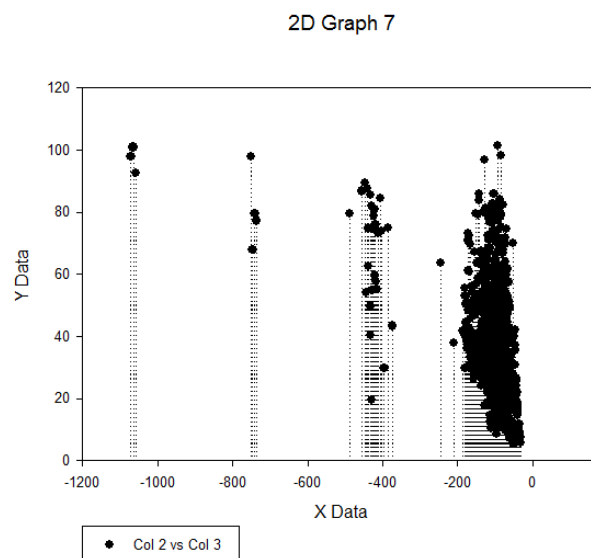


Figura 86. Radial columna 22, x fija de 2,2 .

-He pasado a representar el diagrama del retardo de potencia, en un punto fijo, el que yo quiera, he cogido aleatoriamente 2 puntos para comparar y ver las diferencias de retardos entre ellos.



-Represento el delay spread, que proporciona un grafico en 3 dimensiones de los retardos que sufren los rayos.

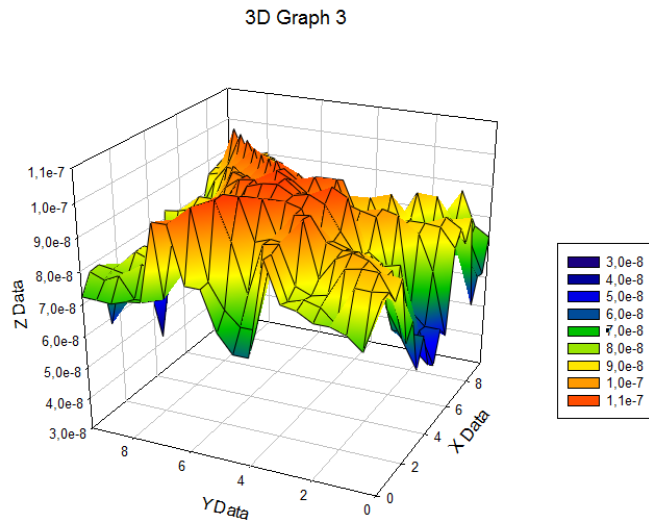


Figura 87. Delay Spread con baja resolución.

2. Código

FUNCION FABRICA COCHE

```
function coche = fabricacoche(x0,y0,z0,_osición)

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%RUEDAS
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

entreruedasx=2.578; %Distancia entre ruedas ejex
entreruedasy=1.539; %Distancia entre ruedas ejey
llanta=0.355;      %ancho de llanta eje x y z
llantay=0.185;    %ancho de llanta eje y
anchocaucho=0.111;
altocaucho=0.3556;
cauchoarriba=0.5776;

coche=[

%llantas
```

```

x0-entreruedasx/2,y0-
entreruedasy/2,z0+anchocaucho+llanta/2,llanta,llantay,llanta,6;
%llanta delantera izquierda CAUCHO
x0-
entreruedasx/2,y0+entreruedasy/2,z0+anchocaucho+llanta/2,llanta,llanta
y,llanta,6; %llanta delantera derecha
x0+entreruedasx/2,y0-
entreruedasy/2,z0+anchocaucho+llanta/2,llanta,llantay,llanta,6;
%llanta trasera izquierda
x0+entreruedasx/2,y0+entreruedasy/2,z0+anchocaucho+llanta/2,llanta,lla
ntay,llanta,6; %llanta trasera derecha

```

```
%rueda delantera izquierda
```

```

x0-entreruedasx/2,y0-
entreruedasy/2,z0+anchocaucho/2,cauchoarriba,llantay,anchocaucho,6;
%CAUCHO
x0-entreruedasx/2,y0-
entreruedasy/2,z0+anchocaucho+anchocaucho/2+llanta,cauchoarriba,llanta
y,anchocaucho,6;
x0-entreruedasx/2+llanta/2+anchocaucho/2,y0-
entreruedasy/2,z0+anchocaucho+llanta/2,anchocaucho,llantay,altocaucho,
6;
x0-entreruedasx/2-llanta/2-anchocaucho/2,y0-
entreruedasy/2,z0+anchocaucho+llanta/2,anchocaucho,llantay,altocaucho,
6;

```

```
%rueda delantera derecha
```

```

x0-
entreruedasx/2,y0+entreruedasy/2,z0+anchocaucho/2,cauchoarriba,llantay
,anchocaucho,6; %CAUCHO
x0-
entreruedasx/2,y0+entreruedasy/2,z0+anchocaucho+anchocaucho/2+llanta,c
auchoarriba,llantay,anchocaucho,6;
x0-
entreruedasx/2+llanta/2+anchocaucho/2,y0+entreruedasy/2,z0+anchocaucho
+llanta/2,anchocaucho,llantay,altocaucho,6;
x0-entreruedasx/2-llanta/2-
anchocaucho/2,y0+entreruedasy/2,z0+anchocaucho+llanta/2,anchocaucho,ll
antay,altocaucho,6;

```

```
%rueda trasera izquierda
```

```

x0+entreruedasx/2,y0-
entreruedasy/2,z0+anchocaucho/2,cauchoarriba,llantay,anchocaucho,6;
%CAUCHO
x0+entreruedasx/2,y0-
entreruedasy/2,z0+anchocaucho+anchocaucho/2+llanta,cauchoarriba,llanta
y,anchocaucho,6;
x0+entreruedasx/2+llanta/2+anchocaucho/2,y0-
entreruedasy/2,z0+anchocaucho+llanta/2,anchocaucho,llantay,altocaucho,
6;
x0+entreruedasx/2-llanta/2-anchocaucho/2,y0-
entreruedasy/2,z0+anchocaucho+llanta/2,anchocaucho,llantay,altocaucho,
6;

```

```

%rueda trasera derecha

x0+entreruedasx/2,y0+entreruedasy/2,z0+anchocauch/2,cauchoarriba,llan
tay,anchocauch,6; %CAUCHO
x0+entreruedasx/2,y0+entreruedasy/2,z0+anchocauch+anchocauch/2+llant
a,cauchoarriba,llantay,anchocauch,6;
x0+entreruedasx/2+llanta/2+anchocauch/2,y0+entreruedasy/2,z0+anchocau
cho+llanta/2,anchocauch,llantay,altocauch,6;
x0+entreruedasx/2-llanta/2-
anchocauch/2,y0+entreruedasy/2,z0+anchocauch+llanta/2,anchocauch,ll
antay,altocauch,6;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%% CARROCERIA %%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

]

llanta+(anchocauch*2);
diferenciarueda=(llanta+(anchocauch*2)-0.531)/2;

suelocabinax=2;
puertadelanterax=1.1525;
puertatraserax=0.845;
puertasupruedax=0.31;

coche=[coche

%suelo coche

x0,y0,z0+anchocauch+llanta/2,2,1.677,0.005,6; %suelo cabina HIERRO
x0-entreruedasx/2,y0,z0+anchocauch+llanta/2,0.5776,1.317,0.005,6;
%suelo ruedas delantera
x0+entreruedasx/2+diferenciarueda,y0,z0+anchocauch+llanta/2,0.531,1.3
06,0.005,6; %suelo ruedas trasera
x0-entreruedasx/2-cauchoarriba/2-
0.6212/2,y0,z0+anchocauch+llanta/2,0.6212,1.677,0.005,6; % suelo
delantero
x0+entreruedasx/2+cauchoarriba/2+0.81/2,y0,z0+anchocauch+llanta/2,0.8
1,1.677,0.005,6; %suelo trasero

%tapa motor

x0-entreruedasx/2-
0.3048,y0,z0+(anchocauch+altocauch/2)*3,1.21,1.677,0.005,6; %pared
tapa motor HIERRO

%interior cabina pedales

x0-
entreruedasx/2+cauchoarriba/2,y0,z0+anchocauch*2+llanta,0.005,1.677,0
.5812,6; %pared tapa motor HIERRO

```



```

%capó

x0+entreruedasx/2+0.682,y0,z0+0.938,0.7872,1.677,0.005,6;
x0+entreruedasx/2+0.145,y0,z0+0.938,0.289,1.677,0.005,6;

%interior capó

%x0+puertadelanterax/2+0.742,y0-0.01,z0+0.6159,0.005,1.306,0.6492,6;
x0+puertadelanterax/2+0.742,y0+0.749,z0+0.75905,0.005,0.1855,0.358,6;
%HIERRO
x0+puertadelanterax/2+0.742,y0-0.749,z0+0.75905,0.005,0.185,0.3624,6;

%techo

x0+0.164,y0-0.01,z0+1.462,2.303,1.677,0.005,6; %exterior HIERRO
x0+0.164,y0-0.01,z0+1.457,2.303,1.677,0.005,8; %interior /
polipropileno

%perfiles lunas

x0-puertadelanterax/2-0.421,y0-0.7935,z0+1.1671,0.005,0.11,0.5857,6;
%perfil luna delantera izquierda / aluminio
x0-puertadelanterax/2-0.421,y0+0.7935,z0+1.1671,0.005,0.09,0.5857,6;
%perfil luna delantera derecha /aluminio
x0+puertadelanterax/2+0.742,y0-0.789,z0+1.2022,0.005,0.1,0.5235,6;
%perfil luna trasera izquierda / aluminio
x0+puertadelanterax/2+0.742,y0+0.789,z0+1.2022,0.005,0.1,0.5235,6;
%perfil luna trasera derecha /aluminio

%puertas

x0-puertadelanterax/2+0.152,y0-0.843,z0+0.5901,1.1525,0.008,0.5977,6;
%puerta piloto HIERRO
x0+puertatraserax/2+0.152,y0-0.843,z0+0.5901,0.845,0.008,0.5977,6;
%puerta trasera izquierda
x0+puertasupruedax/2+0.997,y0-0.843,z0+0.7328,0.31,0.008,0.3114,6;
%puerta trasera izquierda superior rueda
x0-puertadelanterax/2+0.152,y0+0.843,z0+0.5901,1.1525,0.008,0.5977,6;
%puerta copiloto
x0+puertatraserax/2+0.152,y0+0.843,z0+0.5901,0.845,0.008,0.5977,6;
%puerta trasera derecha
x0+puertasupruedax/2+0.997,y0+0.843,z0+0.7328,0.31,0.008,0.3114,6;
%puerta trasera derecha superior rueda

%puertas "cámara de aire"

x0-puertadelanterax/2+0.152,y0-0.8185,z0+0.5901,1.1525,0.041,0.5977,0;
%puerta piloto
x0+puertadelanterax/2,y0-0.8185,z0+0.5901,0.845,0.041,0.5977,0;
%puerta trasera izquierda
x0+puertadelanterax/2+0.5775,y0-0.8185,z0+0.7328,0.31,0.041,0.3114,0;
%puerta trasera izquierda superior rueda

x0-puertadelanterax/2+0.152,y0+0.8195,z0+0.5901,1.1525,0.039,0.5977,0;
%puerta copiloto

```

```

x0+puertadelanterax/2,y0+0.8195,z0+0.5901,0.845,0.039,0.5977,0;
%puerta trasera derecha
x0+puertadelanterax/2+0.5775,y0+0.8195,z0+0.7328,0.31,0.039,0.3114,0;
%puerta trasera derecha superior rueda

%perfiles ventanillas

x0-puertadelanterax/2-0.311,y0-0.843,z0+1.1764,0.226,0.005,0.5751,6;
%puerta piloto HIERRO
x0+puertadelanterax/2+0.617,y0-0.843,z0+1.1764,0.228,0.005,0.5751,6;
%puerta trasera izquierda
x0+0.158,y0-0.843,z0+1.1764,0.253,0.005,0.5751,6; %entrepuestas
x0-puertadelanterax/2+0.205,y0-0.843,z0+1.4515,0.8,0.005,0.025,6;
%superior puerta piloto
x0+puertadelanterax/2+0.107,y0-0.843,z0+1.4515,0.8,0.005,0.025,6;
%superior puerta trasera izquierda

x0-puertadelanterax/2-0.311,y0+0.843,z0+1.1764,0.226,0.005,0.5751,6;
%puerta copiloto
x0+puertadelanterax/2+0.617,y0+0.843,z0+1.1764,0.228,0.005,0.5751,6;
%puerta trasera derecha
x0+0.158,y0+0.843,z0+1.1764,0.253,0.005,0.5751,6; %entrepuestas
x0-puertadelanterax/2+0.205,y0+0.843,z0+1.4515,0.8,0.005,0.025,6;
%superior puerta copiloto
x0+puertadelanterax/2+0.107,y0+0.843,z0+1.4515,0.8,0.005,0.025,6;
%superior puerta trasera derecha

%laterales _osición_a

x0-puertadelanterax/2-1.312,y0-0.843,z0+0.5825,0.6212,0.005,0.585,6;
%delantera izquierda pieza 1 HIERRO
x0-puertadelanterax/2-1.312,y0+0.843,z0+0.5825,0.6212,0.005,0.585,6;
%delantera derecha pieza 1
x0-puertadelanterax/2-0.7076,y0-0.843,z0+0.7263,0.5884,0.005,0.2974,6;
%delantera izquierda pieza 2 (superior rueda)
x0-puertadelanterax/2-0.7076,y0+0.843,z0+0.7263,0.5884,0.005,0.2974,6;
%delantera derecha pieza 2 (superior rueda)

x0+1.445,y0-0.843,z0+0.7615,z0+0.266,0.005,0.3679,6; %lateral
izquierdo superior rueda HIERRO
x0+entreruedasx/2+0.69,y0-0.843,z0+0.62,0.798,0.005,0.6592,6;
%lateral izquierdo
x0+1.445,y0+0.843,z0+0.7615,0.266,0.005,0.3679,6; %lateral derecho
superior rueda
x0+entreruedasx/2+0.69,y0+0.843,z0+0.62,0.798,0.005,0.6592,6; %lateral
derecho

%matriculas

x0-entreruedasx/2-0.9078,y0,z0+0.5575,0.005,0.52,0.127,6; %matrícula
delantera / aluminio
x0+entreruedasx/2+1.094,y0,z0+0.64,0.01,0.52,0.11,6; %matrícula
trasera / aluminio

%faros antiniebla delanteros

```

```

x0-entreruedasx/2-0.9078,y0-0.689,z0+0.39,0.005,0.3,0.2,8; %faro
antiniebla delantero izquierdo
x0-entreruedasx/2-0.9078,y0+0.689,z0+0.39,0.005,0.3,0.2,8; %faro
antiniebla delantero derecho

%faros delanteros

x0-entreruedasx/2-0.9078,y0-0.639,z0+0.75,0.005,0.4,0.25,8; %faro
delantero izquierdo
x0-entreruedasx/2-0.9078,y0+0.639,z0+0.75,0.005,0.4,0.25,8; %faro
delantero derecho

%faros traseros

x0+entreruedasx/2+1.094,y0-0.714,z0+0.76,0.005,0.25,0.35,8; %faro
trasero izquierdo
x0+entreruedasx/2+1.094,y0+0.714,z0+0.76,0.005,0.25,0.35,8; %faro
trasero derecho

%radiadores delanteros

x0-entreruedasx/2-0.9078,y0,z0+0.39,0.005,1.078,0.2,8; %horizontal
plástico
x0-entreruedasx/2-0.9078,y0,z0+0.75,0.005,0.64,0.25,8; %vertical
plástico

%piezas delanteras

x0-entreruedasx/2-0.9078,y0-0.55,z0+0.5575,0.005,0.578,0.127,6;
%paragolpes delantero izquierda HIERRO
x0-entreruedasx/2-0.9078,y0+0.55,z0+0.5575,0.005,0.578,0.127,6;
%paragolpes delantero derecha HIERRO
x0-entreruedasx/2-0.9078,y0-0.38,z0+0.75,0.005,0.118,0.25,6; %pieza
izquierda HIERRO
x0-entreruedasx/2-0.9078,y0+0.38,z0+0.75,0.005,0.118,0.25,6; %pieza
derecha HIERRO

%piezas traseras

x0+entreruedasx/2+1.094,y0,z0+0.4381,0.005,1.677,0.2937,6; %paragolpes
trasero HIERRO
x0+entreruedasx/2+1.094,y0,z0+0.815,0.005,1.179,0.24,6; %pieza
superior HIERRO
x0+entreruedasx/2+1.094,y0-0.423,z0+0.64,0.005,0.331,0.11,6; %pieza
izquierda HIERRO
x0+entreruedasx/2+1.094,y0+0.423,z0+0.64,0.005,0.331,0.11,6; %pieza
derecha HIERRO

%lunas del coche

x0-puertadelanterax/2-0.421,y0,z0+1.1683,0.005,1.477,0.5873,5; %luna
delantera
x0-puertadelanterax/2+0.742,y0,z0+1.2022,0.005,1.477,0.5235,5;
%luna trasera

%ventanillas

```



```

x0-puertadelanterax/2-0.406,y0-0.786,z0+1.1671,0.03,0.11,0.5857,8;
%perfil luna delantera izquierda
x0-puertadelanterax/2-0.406,y0+0.786,z0+1.1671,0.03,0.09,0.5857,8;
%perfil luna delantera derecha
x0+puertadelanterax/2+0.716,y0-0.791,z0+1.2022,0.03,0.1,0.5235,8;
%perfil luna trasera izquierda
x0+puertadelanterax/2+0.716,y0+0.791,z0+1.2022,0.03,0.1,0.5235,8;
%perfil luna trasera derecha

```

```
%perfiles interiores ventanillas
```

```

x0-puertadelanterax/2-0.311,y0-0.828,z0+1.1764,0.226,0.03,0.5751,8;
%puerta piloto
x0+puertadelanterax/2+0.617,y0-0.828,z0+1.1764,0.228,0.03,0.5751,8;
%puerta trasera izquierda
x0+0.158,y0-0.828,z0+1.1764,0.253,0.03,0.5751,8; %entrepuestas
x0-puertadelanterax/2+0.205,y0-0.828,z0+1.4515,0.8,0.03,0.025,8;
%superior puerta piloto
x0+puertadelanterax/2+0.107,y0-0.828,z0+1.4515,0.8,0.03,0.025,8;
%superior puerta trasera izquierda

```

```

x0-puertadelanterax/2-0.311,y0+0.828,z0+1.1764,0.226,0.03,0.5751,8;
%puerta copiloto
x0+puertadelanterax/2+0.617,y0+0.828,z0+1.1764,0.228,0.03,0.5751,8;
%puerta trasera derecha
x0+0.158,y0+0.828,z0+1.1764,0.253,0.03,0.5751,8; %entrepuestas
x0-puertadelanterax/2+0.205,y0+0.828,z0+1.4515,0.8,0.03,0.025,8;
%superior puerta copiloto
x0+puertadelanterax/2+0.107,y0+0.828,z0+1.4515,0.8,0.03,0.025,8;
%superior puerta trasera derecha

```

```
%salpicadero
```

```

x0-0.7467,y0,z0+0.7642,0.5,1.52,0.28,8;
x0-0.7467,y0,z0+0.4777,0.5,0.32,0.2929,8; %pieza central(radio,
navegador...)
x0-0.1737,y0,z0+0.4063,0.646,0.32,0.15,8; %pieza entre los asientos
(palanca de cambios. Freno de mano...)

```

```
%bandeja trasera
```

```
x0+entreruedasx/2-0.135,y0,z0+0.88,0.307,1.677,0.05,8;
```

```
%asientos
```

```

x0-0.1237,y0-0.457,z0+0.5242,0.4,0.5,0.20,8; %asiento piloto
x0-0.1237,y0+0.457,z0+0.5242,0.4,0.5,0.20,8; %asiento copiloto
x0+0.1263,y0-0.457,z0+0.7742,0.1,0.5,0.7,8; %respaldo piloto
x0+0.1263,y0+0.457,z0+0.7742,0.1,0.5,0.7,8; %respaldo copiloto
x0+0.1263,y0-0.457,z0+1.224,0.1,0.25,0.2,8; %reposacabezas piloto
x0+0.1263,y0+0.457,z0+1.224,0.1,0.25,0.2,8; %reposacabezas copiloto

x0+0.6813,y0,z0+0.4777,0.4,1.4225,0.2929,8; %asiento trasero
x0+0.9313,y0-0.47,z0+0.7013,0.1,0.4742,0.74,8; %respaldo izquierda
trasero

```

```

x0+0.9313,y0,z0+0.7013,0.1,0.4742,0.74,8; %respaldo central trasero
x0+0.9313,y0+0.4784,z0+0.7013,0.1,0.4742,0.74,8; %respaldo derecha
trasero
x0+0.9313,y0-0.47,z0+1.224,0.1,0.25,0.2,8; %reposacabezas izquierdo
trasero
x0+0.9313,y0,z0+1.224,0.1,0.25,0.2,8; %reposacabezas central trasero
x0+0.9313,y0+0.4784,z0+1.224,0.1,0.25,0.2,8; %reposacabezas derecho
trasero

```

```
%motor
```

```

x0-entreruedasx/2-0.578,y0,z0+0.5825,0.5762,1.564,0.485,6; %motor
HIERRO
x0-entreruedasx/2,y0,z0+0.5825,0.5278,1.317,0.485,6; %motor HIERRO

```

```
]
```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

matrizcambio=coche;
matrizcambio(:,1)=coche(:,1)-x0;
matrizcambio(:,2)=coche(:,2)-y0;
matrizcambio(:,3)=coche(:,3)-z0;

```

```

matrizvir=_osic(size(coche));
matrizvir(:,1)=x0;
matrizvir(:,2)=y0;
matrizvir(:,3)=z0;

```

```

if _osición==2
    coche=matrizvir-matrizcambio
    coche(:,3)=matrizvir(:,3)+matrizcambio(:,3);
    coche(:,7)=-coche(:,7);
end

```

```

if _osición==3
    coche(:,1)=matrizvir(:,1)-matrizcambio(:,2);
    coche(:,2)=matrizvir(:,2)+matrizcambio(:,1);
    coche(:,4)=matrizcambio(:,5);
    coche(:,5)=matrizcambio(:,4);
end

```

```

if _osición==4
    coche(:,1)=matrizvir(:,1)+matrizcambio(:,2);
    coche(:,2)=matrizvir(:,2)-matrizcambio(:,1);
    coche(:,4)=matrizcambio(:,5);
    coche(:,5)=matrizcambio(:,4);

```

```
end
```

```
end
```

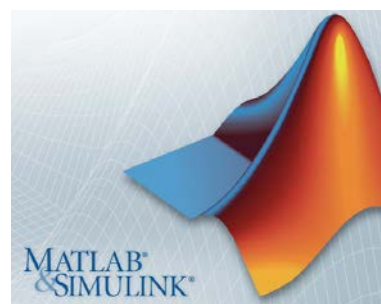
3. Instrumentación y herramientas.

1. Herramientas de software.

1.1 Matlab.

Matlab es un lenguaje de alto nivel y un entorno interactivo para el cálculo numérico, la visualización y la programación. Mediante Matlab, es posible analizar datos, desarrollar algoritmos y crear modelos o aplicaciones. El lenguaje, las herramientas y las funciones matemáticas incorporadas permiten explorar diversos enfoques y llegar a una solución antes que con hojas de cálculo o lenguajes de programación tradicionales, como pueden ser C/C++ o Java.

Este programa ha sido utilizado para simulaciones con el código de Trazado de rayos tridimensional, representación de imágenes en 3D y diseño de escenarios y objetos.



1.2 Sigmaplot.

SigmaPlot es uno de los paquetes estadísticos más conocidos. A partir de una sencilla hoja de cálculo permite generar gráficas de alta calidad y efectuar análisis estadísticos complejos.



Las más de 100 gráficas en 2D y 3D de SigmaPlot, fáciles de personalizar y publicar, son una tarjeta de visita impresionante.

Pero SigmaPlot no se dedica exclusivamente a la representación de datos: 50 pruebas estadísticas y la integración con Excel dan buena cuenta de su poderío analítico.

En este proyecto se ha utilizado para generar gráficas principalmente de Potencia recibida y de radiales a diferentes alturas o puntos.

2. Instrumentación para medidas.

2.1. Ficha técnica Analizador de espectros

Key features & specifications:

(i) Cable and antenna analyzer (CAT), vector network analyzer (VNA):

- 2 MHz to 4/6 GHz
- Directivity > 42 dB
- CAT: Distance-to-fault, return loss, cable loss
- VNA: S11 mag and phase, S21 mag, time domain with gating.

(ii) Spectrum analyzer, interference analyzer:

- 5 kHz to 4/6 GHz
- DANL: -148 dBm, +18 dBm TOI
- Spectrogram, waterfall display, record and playback.

(iii) Independent source, vector voltmeter (VVM), power sensor and channel power measurements:

- RF source: 2 MHz to 4/6 GHz, CW and tracking
- VVM: 2 MHz to 4/6 GHz, compare phase and electrical length
- Power measurements with USB sensor, 9 kHz to 24 GHz

- Channel power measurements: 100 kHz to 4/6 GHz, no sensor needed

(iv) FieldFox instrument attributes:

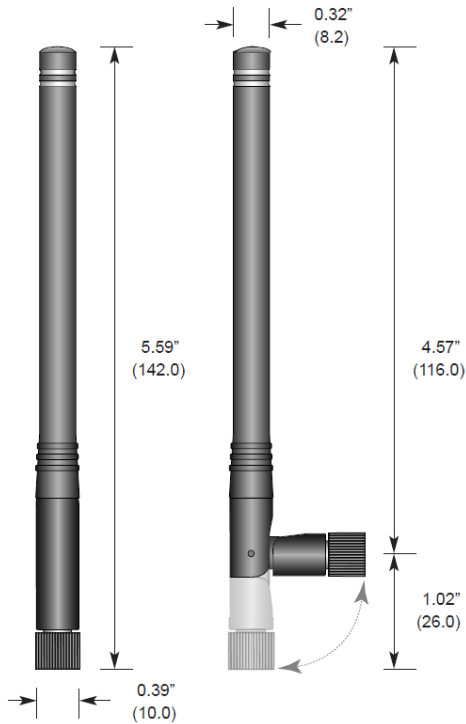
- Standard 3-year warranty
- Battery life: 4-hours
- Weight: 2.8 kg or 6.2 lbs
- Operating temperature: -10 to +55 °C (14 to 131 °F)

2.2. Ficha técnica Antena.



ANT-868-CW-HWR-xxx DATA SHEET

Product Dimensions



Description

HWR Series 1/2-wave center-fed dipole antennas deliver outstanding performance in a rugged and cosmetically attractive package. The articulating base allows the antenna to tilt 90 degrees and rotate 360 degrees. The antenna's internal counterpoise eliminates external ground plane dependence and maximizes performance. HWR Series antennas attach via a standard SMA or Part 15 compliant RP-SMA connector. Custom colors and connectors are available for volume OEM customers.

Features

- Low cost
- Internal counterpoise
- Tilts and rotates
- Excellent performance
- Omni-directional pattern
- Outstanding VSWR
- Flexible main shaft
- Rugged & damage-resistant
- Standard SMA or Part 15 compliant RP-SMA connector
- Custom terminations for volume OEMs
- Available in black or custom colors

Electrical Specifications

- Center Freq. 868MHz
- Bandwidth 30MHz
- Wavelength 1/2-wave
- VSWR <2.0 typ. at center
- Impedance 50 ohms
- Gain 2dBi
- Connector RP-SMA or SMA

Electrical specifications and plots measured on 4.00" x 4.00" reference ground plane

Ordering Information

- ANT-868-CW-HWR-RPS (with RP-SMA connector)
- ANT-868-CW-HWR-SMA (with SMA connector)

Polar Plots and VSWR Graph

