



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación :

INGENIERO TÉCNICO DE TELECOMUNICACIÓN,
ESPECIALIDAD EN SONIDO E IMAGEN

Título del proyecto:

Análisis del Impacto Topo-Morfológico en el
Despliegue de Redes de Sensores
Inalámbricos en Autobuses de Transporte
Urbano

Cristobal Zubiri Segura

Francisco Falcone

Pamplona, 22 de Febrero 2013

“MALGRE LES BARRIERES Y MALGRE LES EFFORTS, LE PLUS
IMPORTANT EST D'ARRIVER AU BUT”

JEAN PHILLIPE LENGLIN

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto no ha sido posible sin la ayuda de muchísimas personas, y para ello dedico este párrafo para agradecerles:

A mi tutor de proyecto, Francisco Falcone, en quien encontré el apoyo y la moral en todo este recorrido

A mis compañeros de clase, Kako, Carmen, Guillermo, Javier, Aitor, Javier, Uxue por las ayudas que me habéis prestado durante todo el largo del camino, cuando lo necesitaba.

A mi familia, especialmente a mi hermana, al darme un imagen de valor y de confianza, aunque lo rechace, me muestra cada día el esfuerzo continuo; y a mi madre, por aguantarme todos estos momentos, y porque una madre solo hay una....

Y a todos los que me olvido, mil gracias a todos y todas

INDICE

LISTA DE FIGURAS.....	6
0. RESUMEN/CONTEXTO.....	8
1. ABSTRACT.....	8
2. ESTADO DEL ARTE	
2.1 SISTEMAS DE COMUNICACIONES VEHICULARES.....	9
2.1.1 INTRODUCCION.....	9
2.1.2 SISTEMAS DE TRANSPORTE INTELIGENTES.....	11
2.1.2.1 REDES INTER-VEHICULARES.....	12
2.1.2.1.1 INFORMACION AL PASAJERO (TUTPIS).....	13
2.1.3 REDES INTRA-VEHICULARES.....	14
2.1.3.1 CONTEO DE PERSONAS.....	14
2.1.3.2 MONITORIZACION DE PERSONAS.....	15
2.1.3.3 VEHICULO INTELIGENTE.....	15
2.2 DESCRIPCIONES DE SISTEMAS INALAMBRICOS.....	17
2.2.1 INTRODUCCION.....	17
2.2.2 REDES DE SENSORES.....	17
2.2.2.1 INTRODUCCION.....	17
2.2.2.2 ¿QUÉ ES UN SENSOR?.....	17
2.2.2.3 WSN (REDES DE SENSORES INALAMBRICOS).....	19
2.2.2.4 DISPOSITIVOS.....	20
2.2.2.5 TOPOLOGIAS.....	21
2.2.3 TIPOS DE REDES INALAMBRICAS.....	23
2.2.3.1 WLAN (REDES DE AREA LOCAL INALAMBRICAS).....	24
2.2.3.2 WPAN (REDES DE AREA PERSONAL INALAMBRICA).....	24
2.2.3.2.1 BLUETOOTH.....	26
2.2.3.2.1.1 ¿QUÉ ES BLUETOOTH?.....	26
2.2.3.2.1.2 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO.....	26
2.2.3.2.1.3 ANCHO DE BANDA/ALGORITMOS UTILIZADOS.....	27
2.2.3.2.1.4 NIVELES DE POTENCIA.....	28
2.2.3.2.1.5 PROTOCOLOS.....	29
2.2.3.2.1.6 TOPOLOGIA.....	31
2.2.3.2.1.6.1 PICOREDES WPAN.....	31
2.2.3.2.1.6.2 REDES DISPERSAS.....	32
2.2.3.2.1.7 MODULACION.....	33
2.2.3.2.1.8 SENSIBILIDAD.....	34
2.2.3.2.1.9 COMPARATIVAS CON OTRAS TECNOLOGÍAS.....	34
2.2.3.2.1.10 APLICACIONES.....	35
2.2.3.2.2 ZIGBEE.....	37
2.2.3.2.2.1 ¿QUÉ ES ZIGBEE?.....	37
2.2.3.2.2.2 TIPOS DE DISPOSITIVOS.....	39
2.2.3.2.2.3 FUNCIONES DE DISPOSITIVOS.....	40
2.2.3.2.2.4 TOPOLOGIAS.....	41
2.2.3.2.2.5 APLICACIONES.....	43
2.2.3.3 WWAN.....	44
2.2.3.3.1 INTRODUCCION.....	44
2.2.3.3.2 GPRS.....	44

2.2.3.3.2.1 ¿QUE ES GPRS?.....	44
2.2.3.3.2.2 ARQUITECTURA	46
2.2.3.3.2.3 PROTOCOLO GPRS	50
2.2.3.3.2.4 CANALES FISICOS DE GSM PARA GPRS.....	50
2.2.3.3.2.5 TIPOS DE SERVICIOS.....	51
2.2.3.3.2.6 CALIDAD DE SERVICIO	51
2.2.3.3.2.7 CODIFICACION.....	51
2.2.3.3.2.8 TERMINALES GPRS.....	52
2.2.3.3.2.9 VENTAJAS E INCONVENIENTES.....	52
2.3 PROPAGACION DE ONDAS ELECTROMAGNETICAS.....	54
2.3.1 ONDA ELECTROMAGNETICA.....	55
2.3.2 POLARIZACION.....	55
2.3.3 ABSORCION DE ONDAS.....	56
2.3.4 REFLEXION DE LAS ONDAS.....	57
2.3.5 DIFRACCION DE LAS ONDAS.....	57
2.3.6 DIFRACCION DE LAS ONDAS.....	59
2.3.7PROPAGACION MULTITRAYECTO.....	61
2.3.8 RADIOPROPAGACION.....	61
2.3.8.2 MODELOS DE PROPAGACION.....	61
2.3.8.3.3 VALIDEZ DEL MODELO.....	63
2.3.8.3.3.1 MODELOS DE PROPAGACION EN REDES INALAMBRICAS.....	63
2.3.8.3.3.1.1 MODELOS DE PROPAGACION INDOOR (INTERIOR)...	63
2.3.8.3.3.1.1.1 MODELO DE PROPAGACION DETERMINISTA.....	64
2.3.8.3.3.1.1.1.1 MODELO BASADO EN EL TRAZADO DE RAYOS....	64
2.3.8.3.3.1.1.1.2 MODELO EMPIRICO/ESTADISTICO.....	66
2.3.8.3.3.1.1.2.1 PROPAGACION EN EL ESPACIO LIBRE.....	66
2.3.8.3.3.1.1.2.2 MODELO DE ATENUACION DE RUTA LINEAL (LINEAR PATH ATTENUATION MODEL).....	67
2.3.8.3.3.1.1.2.3 DUAL SLOPE MODEL.....	67
3. SIMULACIONES DE CANAL INALAMBRICO EN TRANSPORTE URBANO.....	69
3.1 HERRAMIENTAS UTILIZADAS.....	75
3.2 OBJETIVO/METODOLOGIA.....	82
3.3 ESCENARIOS.....	82
3.4 MEDIDAS DE RADIOFRECUENCIA.....	97
3.5 EVALUACION DE RESULTADOS.....	128
3.5.1 MEDIDAS IN SITU.....	128
4. CONCLUSIONES/LINEAS FUTURAS.....	141
5. BIBLIOGRAFIA.....	142
6. ANEXOS.....	144
6.1 MEDIDAS ADICIONALES.....	144
6.2 CODIGOS.....	166
6.3 INSTRUMENTACION.....	
6.4 PUBLICACION.....	190

Lista de figuras:

- Fig 1: Sistemas de transporte inteligentes
Fig 2: Sistema de conteo de personas y pasajeros
Fig 3: Clasificación de sensores según factores
Fig 4: Adquisición de datos y actuación
Fig 5: Modelo de mota
Fig 6: Ejemplo de red de sensores inalámbricos (WSN)
Fig 7: Topología en estrella (single hop) y topología en malla (multihop)
Fig 8: Agrupación de redes inalámbricas según alcance
Fig 9: Redes inalámbricas de corto alcance
Fig 10: Logotipo de Bluetooth
Fig 11: Distribución de canales Bluetooth, Zigbee y Wifi
Fig 12: Tabla de Potencia Bluetooth
Fig 13: Protocolos OSI, frente a los protocolos del estándar IEE 802 y del IEEE 802.15.1 WPAN Bluetooth
Fig 14: Pila de protocolos Bluetooth (al detalle)
Fig 15: Bluetooth a) piconet y b) scatternet
Fig 16: Modulación GFSK
Fig 17: Tabla comparativa de tecnologías de redes inalámbricas
Fig 18: Comparativa de Zigbee con otras tecnologías
Fig 19: Características de Zigbee con otras tecnologías
Fig 20: Tabla recapitulativa de los distintos modos de operación en estándar IEE802.15.4
Fig 21: Distribución de canales en IEE 802.15.4
Fig 22: Tipos de dispositivos y funciones según estándar IEE 802.15.4 y Zigbee
Fig 23: Topologías de red en a) estrella y b) malla
Fig 24: Topología de red en árbol
Fig 25: Aplicaciones Zigbee
Fig 26: Red GPRS
Fig 27: Arquitectura de GPRS con sus interfaces y elementos que la componen
Fig 28: Interfaces de una red GPRS y Red troncal GPRS
Fig 29: Encaminamiento de paquetes de datos entre dos usuarios
Fig 30: Onda electromagnética
Fig 31: Onda electromagnética y su polarización lineal (vertical y horizontal)
Fig 32: Tabla de atenuación de objetos
Fig 33: Reflexión
Fig 34: Fenómeno de difracción (principio de Huygens)
Fig 35: Fenómeno de refracción (ley de Snell)
Fig 36: Tipos de propagación en entorno a) interior y b) exterior
Fig 37: Representación del multitrayecto con dos rayos
Fig 38: Multitrayecto *indoor* (interior) y *outdoor* (exterior)
Fig 39: Ecuaciones de Maxwell
Fig 40: Método de *Ray Launching*
Fig 41: Balance de potencia entre dos antenas
Fig 42: Ordenador Lenovo ThinkStation D20

- Fig 43: Programa de lenguaje de alto nivel MATLAB
Fig 44: Programa SigmaPlot 11.0
Fig 45: Trazado de rayos en una sala cualquiera
Fig 46: Ensanchamiento/Desanchamiento de la señal con ruido e interferencias
Fig 47: Modulación BPSK
Fig 48: Modulación ASK y constelación
Fig 49: Modulación QPSK, O-QPSK, y sus constelaciones
Fig 50: Constelaciones de distintas modulaciones sin/con ruido
Fig 51: EVM
Fig 52: Escenario original de transporte común
Fig 53: Potencia recibida a 2.4 Ghz a distintas alturas (60cm, 1.5m y 2.3m correspondientes a la altura de la antena)
Fig 54: Mapas de potencia recibida a 868Mhz con distintas alturas (70cm, 1.5m y 2.3 m que corresponde a la altura de la antena)
Fig 55: Mapas de potencia recibida a 2.4 Ghz con distintas alturas (60cm, 1.5m y 2.3 m que corresponde a la altura de la antena)
Fig 56: Mapas de potencia recibida a 5 Ghz con distintas alturas (70cm, 1.5m y 2.3 m que corresponde a la altura de la antena)
Fig 57: Modelo de simulación de la antena transmisora
Fig 58: Delay Spread
Fig 59: Cortes correspondientes a diferentes radiales relativas a pared: a) derecha a 70 cm b) derecha a 150 cm, c) izquierda a 150 cm y d) izquierda a 150 cm
Fig 60: Escenario con antena en el centro en distintas alturas (70, 150 y 220cm) y frecuencia de 868 Mhz
Fig 61: Escenario con antena en el centro en distintas alturas (70, 150 y 220cm) y frecuencia de 2.4 Ghz
Fig 62: Escenario con antena en el centro en distintas alturas (70, 150 y 220cm) y frecuencia de 5 Ghz
Fig 63: División en celdas de los diferentes escenarios a) tipo convencional b) tipo doble
Fig 64: Radiales correspondientes a una altura de 1.5 m: a) en $y=1.1$ m (debajo de la antena) b) en $y=50$ cm y c) en $y=2.05$ m
Fig 65: Cortes transversales correspondientes a la zona central (zona2): a) Altura antena ($h=2.3$ m), b) 50 cm del lado izquierdo, c) $h=1.5$ m y d) 50 cm del lado derecho
Fig 66: Cortes transversales correspondientes a la zona central (zona2): a) Altura antena ($h=2.3$ m), b) 50 cm del lado izquierdo, c) $h=1.5$ m y d) 50 cm del lado derecho
Fig 67: Cortes transversales correspondientes a la zona central (zona2): a) Altura antena ($h=2.3$ m), b) 50 cm del lado izquierdo, c) $h=1.5$ m y d) 50 cm del lado derecho

RESUMEN

Hoy en día, los sistemas de comunicación han cambiado: hemos pasado en poco tiempo de tener una comunicación por medio de cables a llegar a una transmisión de datos, audio, etc... de manera inalámbrica, es decir sin cables. Las nuevas tecnologías se expanden rápidamente y se incorporan a todo tipo de sectores: telecomunicación, juguetería, hogar, automovilístico, incluso deportivos. Dichas tecnologías se utilizan mas a menudo y en nuestra sociedad, resulta obligatoria, casi imprescindible su utilización. Dentro de ese progreso, se encuentra el sector vehicular, que ha visto en unos años, como pasaba de un vehículo de cuatro ruedas a un vehículo dotado de las últimas tecnologías (sensores luz, sensores de seguridad, control de sistemas de frenado), todo ello, realizado para el confort y seguridad de la persona o personas que se encuentren en su interior. Por ejemplo, en los autobuses, se puede comprobar que podemos viajar, con la tecnología Wi-Fi a bordo del vehículo, lo que supone un gran adelanto en la comunicación vehicular. Aprovechando dichas tecnologías, a lo largo de este proyecto, intentaremos implementar estas revoluciones, en nuestro caso, en el interior de un autobús urbano, y de esta manera, dar un paso adelante en cuestión de tecnologías *indoor* vehicular. Para el objeto del proyecto, el caso más importante es de diseñar una red inalámbrica de sensores para todo tipo de aplicaciones (transmisiones de audio, "domotica vehicular", etc...), lo cual seguiríamos dicha cola tecnológica e analizar previamente los parámetros como el alcance de potencias, hacer una estimación de las pérdidas de propagación para que cuando sea posible, obtener unos valores de sensibilidad óptimos para la colocación de sensores (dependiendo de la tecnología utilizada) para futuras aplicaciones.

ABSTRACT

Today communication systems have changed in a short time we've been having a communication by wires to reach data transmission, audio, etc ... wirelessly, i.e. wireless. New technologies are expanding rapidly and are incorporated into all types of industries: telecommunications, toys, home, car, even sports. These technologies are used more often and in our society, it is compulsory, almost essential use. Within that progress is vehicular sector, which has seen in years, as happened in a four-wheel vehicle to a vehicle equipped with the latest technologies (light sensors, security sensors, brake control systems), all therefore made for the comfort and safety of the person or persons who are inside. For example, on buses, we can see that we can travel with the Wi-Fi on board the vehicle, representing a breakthrough in vehicle communication. Taking advantage of these technologies, throughout this project, we will try to implement these revolutions, in our case, inside a city bus, and thus, to step forward within indoor vehicle technologies. For the purpose of the project, the most important aspect is to design a wireless sensor network for all applications (streaming audio, "domotica vehicular", etc ...), which would follow the queue and analyze technological parameters as previously scope of powers, to estimate the propagation loss for where possible, obtain optimal sensitivity values for the placement of sensors for future applications.

2.1 SISTEMAS DE COMUNICACIONES VEHICULARES

2.1.1 INTRODUCCION

Hoy en día, el mundo esta conectado a las nuevas tecnologías. Sin ellas, no se podría hablar de innovación, de creación, de renovación,..... Desde la creación de Internet, se ha abierto nuevas fronteras en cuestión de nuevos ámbitos, tecnologías, etc... La mayoría de los objetos que nos rodea, desde el sector industrial, hasta el sector de entretenimiento, pasando por el mundo automovilístico, están a prueba de las nuevas tendencias, en calidad de innovación, seguridad, confort,...

El sector automovilístico, mencionado anteriormente, es el enfoque que trataremos de analizar durante todo este proyecto. Como ya sabemos, las nuevas tecnologías se van incorporando desde hace unos años en este sector, sobre todo en el automóvil. Quien iba a pensar que al viajar por nuestro vehículo, estaría a nuestra disposición la seguridad que ofrece (sistema de frenado para prevenir accidentes, nuevos sistemas de auto-aparcamiento, ...)

Los vehículos han sido y son todavía el punto fuerte de innovación tecnológica, tanto dentro del propio vehículo como fuera. Cada vez mas, se incluyen sistemas innovadores, basados en la última tecnología y nuevos algoritmos, para que, al final, innovemos y, al igual que la invención del humanoide inteligente, el robot, podamos hablar de vehículo inteligente. En nuestro caso, el tema interesante de este trabajo es el transporte inteligente.

Los transportes para pasajeros, tanto urbanos como interurbanos, son fruto en la actualidad de progreso tecnológico, debido a que estudio sobre redes inalámbricas esta en su auge. Tanto los vehículos de transporte como los automóviles sufren una constante estudio de redes de sensores; día tras día, se ven equipados de sensores para, por ejemplo, monitorizar el tráfico en las carreteras, las condiciones del vehículo, la seguridad del pasajero, etc... Todos estos estudios darán lugar a varias aplicaciones indoor, en el interior del vehículo.

Para intentar aproximarnos a ese desarrollo de nuevas tecnologías, se requiere una investigación previa relacionada con el entorno vehicular y los Sistemas de Transporte Inteligentes (ITS), que al día de hoy, esta realizando mucho trabajo y catalizando muchos esfuerzos para intentar lograr nuevos servicios que reduzcan el número de accidentes y muertes, mejoren el confort de los conductores y pasajeros, anticipen posibles problemas en la ruta y/o provean contenidos multimedia durante la marcha. Muchos de estos servicios hacen uso de sensores y redes de sensores incorporadas a los vehículos e infraestructuras a lo largo de la carretera, para captar la información necesaria y hacer uso de la misma [24].

Antes de nada, es necesario tener unos conceptos teóricos a propósito de esos sistemas vehiculares, que se presentaran en el primer capítulo

La sección 2 abordara los breves conceptos sobre las diferentes tecnologías inalámbricas utilizadas para redes inalámbricas,

Análisis del Impacto Topo-Morfológico en el Despliegue de redes de Sensores Inalámbricos en Autobuses de Transporte Urbano

Finalmente la sección 3 entrara en tema con las simulaciones de los escenarios en cuestión mediante técnicas de modelado informático.

2.1.2 SISTEMAS DE TRANSPORTE INTELIGENTES

Antes de seguir redactando esta memoria, tenemos que explicar unos pequeños conceptos sobre la tecnología vehicular.

Los sistemas de transporte inteligentes, conocido como ITS, es un conjunto de soluciones tecnológicas tanto en el sector de informática, como en las telecomunicaciones, que está diseñado para facilitar muchas aplicaciones relativas al transporte. Por una parte, abarca una amplia variedad de comunicaciones con respecto a muchas aplicaciones que son destinadas a aumentar la seguridad en los viajes, minimizar el impacto ambiental, maximizar los beneficios del transporte a los usuarios comerciales y el público en general.

Por otra parte, estos sistemas añaden información y tecnología de comunicaciones para infraestructuras de transporte y vehículos para mejorar la seguridad, eficiencia y calidad. Dichos sistemas no solo se limitan al transporte urbano; también se especializa en el transporte marítimo y aéreo, sin olvidar que proveen tecnologías de información y comunicación (TIC). Incluyen todo tipo de comunicaciones en vehículos, entre vehículos (coche con coche) y puntos fijos (transporte con infraestructura).[10]

De forma general, los sistemas de transporte inteligentes se observan en la siguiente imagen:



Fig 1: Sistemas de transporte inteligentes [10]

2.1.2.1 REDES INTER-VEHICULARES

Como hemos visto en la figura anterior, los sistemas de transporte inteligentes son imprescindibles para el sector vehicular, lo cuales cuando están equipados con la mas moderna tecnología, llegan a ser factores bastante importantes en la realidad, como controlar y gestionar atascos de trafico, información al minuto de peligros,

Como el temas mas interesante es el transporte urbano (redes intra-vehiculares), daremos unos breves ejemplos sobre las aplicaciones inter-vehicular (entre vehiculo y vehiculo).

Las tecnologías vehiculares son variadas, entre otros, se encuentra el VANET.

Una red ad-hoc vehicular (Vehicle Ad-Hoc Network o VANET) es un tipo de comunicación, que utiliza los vehículos como nodos y forman una red vehículos conectados entre si. Dicha red permite a los vehículos conectados, con una distancia entre ellos entre 100 y 300 m, ofrece la posibilidad de conectarse y de esta manera ampliar dicha red. Se dice que los primeros sistemas que utilice esta tecnología serán los coches de gran importancia para el trafico, es decir, los coches de policía y camiones de bomberos, obviamente para comunicarse entre si por razones de seguridad vial. Se puede diferenciar dos tipos de entorno en dichas redes, que son las siguientes:

. Comunicación vehicular

A su vez, se diferencian dos grupos: los vehículos y la infraestructura de comunicaciones. Los vehículos van equipados con una unidad de comunicaciones a bordo (referida habitualmente como *OBU*). Por su parte, la infraestructura de comunicaciones puede formarse bien a través de comunicaciones vía satélite, o bien a través de postes situados a lo largo de las carreteras (conocidos comúnmente como *RSU*, del inglés *Road-Side Unit*). Entre estas entidades se pueden producir diferentes paradigmas de comunicación, siendo los más relevantes el vehículo-a-infraestructura (conocido como *V2I* o *V2R*), el infraestructura-a-vehículo (*I2V* o *R2V*) y el vehículo-a-vehículo (*V2V*)[31]

. Comunicación de infraestructura

En este entorno se sitúan los proveedores de servicios a los que se accede a través de esta red, así como las demás entidades de gestión auxiliares (tales como autoridades de certificación, autoridades de gestión del tráfico, etc.). Estas entidades pueden establecer conexión con los vehículos a través de la infraestructura de comunicaciones del entorno de comunicación vehicular.

Las VANETs se encuentran actualmente en investigación, pero estudios han proporcionado ya numerosos servicios entre los que están:

- Gestión de trafico vehicular para evitar la congestión
- Informar sobre el estado de la carretera

- Informar de accidentes ocurridos
- Advertencias de peligro de colisión
- Solicitar ayudas en carreteras y respuestas de emergencia
- Apoyo a las autoridades

2.1.2.1.1 INFORMACION AL PASAJERO (TUTPIS)

En muchas ocasiones, un usuario utiliza transportes públicos para desplazarse tanto dentro de la ciudad, como fuera de la ciudad, para llegar a su trabajo, cita...

Dicho usuario espera en las paradas a que pase el transporte para llegar a su destino. De forma general, los servicios de transporte, ponen a disposición los horarios de llegadas de dichos transportes, el tiempo que durara el trayecto, etc...

Con las nuevas tecnologías, se están investigando un sistema bajo la supervisión de los sistemas inteligentes de transporte (SIT), en el cual el pasajero es informado a tiempo real de las condiciones de tráfico,....

Este sistema conocido como TUTPIS es un sistema de información que ofrece soluciones para servicios de transporte público, además de los pasajeros. Sus principales objetivos son los buses, taxis y trenes. Permite servicios para el pasajero, por ejemplo, cuando viaja, la información en tiempo real es adquirida mediante unas redes de telecomunicaciones. Cualquier tipo de información, por ejemplo, atasco en ciudad, cancelaciones de transportes, etc... Además permite también ofrecer servicios a las compañías de transporte, donde las flotas de vehículos, como los autobuses y metros, donde se crea una plataforma para mejorar la multitud de rutas y recolectar información acerca del mantenimiento y control del vehículo.

La tecnología utilizada para este sistema puede ser muy variada y varios tipos de tecnologías de redes inalámbricas de área local (WLAN) pueden ser implementadas. La información recibida al pasajero puede ser mediante el protocolo de aplicación inalámbrica (WAP) pero es mejorada por los servicios de móvil de segunda generación (2G) y tercera generación (3G). Especialmente, el sistema general radio de paquete (GPRS) es uno de ellos y puede ser una de los puntos fuertes de TUTPIS. Al igual Bluetooth y otras redes de área personal (WPAN) pueden ofrecer una eficiencia en coste e interconexiones, ya que las tecnologías de corto alcance pueden ser utilizadas para servicios de posicionamiento, como puntos de acceso en paradas de autobuses y permitir de este modo, dar una información de localización para la red de transporte.

2.1.3 REDES INTRA-VEHICULARES

En este tipo de redes (en el interior del vehículo), la sociedad no solo se contenta de tener equipos tecnológicos en el exterior de los transportes sin que también se ha pensado en el interior del transporte, debido a que el usuario pasa más tiempo y se conviene garantizar todas las necesidades.

En este tipo de redes podemos destacar las MANETs.

Una red ad-hoc móvil (Mobile Ad-Hoc Network o MANET) es un tipo de red ad-hoc que permite el cambio de ubicación y auto configuración en el momento de los sensores que componen dicha red. Utiliza conexiones inalámbricas para conectarse a diferentes redes (Wifi, transmisión celular o vía satélite). Son un tipo de redes as-hoc inalámbricas que forman mallas enrutables en formas de una capa de enlace de datos. Algunos MANETs están restringidos a un área local de dispositivos inalámbricos (grupos de computadoras). Un ejemplo típico de las MANET será las VANET (comentado anteriormente) que permite a los vehículos comunicarse entre ellos, con la carretera y las infraestructuras que proporcionan los servicios a dichos vehículos.

Se definen estándares inalámbricos que pueden ser utilizados para el uso interno vehículo o intra-vehicular [30]:

- IEEE 802.15.1 - Bluetooth,
- IEEE 802.15.3 - UltraWideband (UWB), alta tasa de datos",
- IEEE 802.15.4 - ZigBee, baja tasa de datos.
-

Cabe destacar algunas aplicaciones, en uso o con futura implementación.

2.1.3.1 CONTEO DE PERSONAS

Esta aplicación es bastante interesante a la hora de implementarla en un transporte público, tanto urbano, como interurbano. El objetivo, como lo dice el propio nombre, es de contar numéricamente personas en el interior de un transporte. La idea es implantar una red de sensores inalámbricos (WSN), donde cada nodo constituirá una mota de la red inalámbrica. Esa mota recibirá información en forma de pulso y se podrá comunicar con las otras motas, de manera que envíen las informaciones recolectadas a su maestro, de tal forma que el conductor estará actualizado sobre el número de personas. Las tecnologías pueden ser variadas: desde la Zigbee o HomeRF (bajo el estándar IEE 802.15.4), hasta Bluetooth (bajo el estándar IEE 802.15). La última tecnológica podría ser un inconveniente, ya que permite una tasa de transferencia de datos elevada, su consumo de energía es bastante elevado, por lo que se podría utilizar Zigbee (menor velocidad y mínimo consumo). Los dispositivos sensoriales pueden estar ubicados encima de las puertas de acceso, con un mínimo de tres y un máximo de cuatro (autobuses de transporte público con doble fuente) para una mayor visibilidad.[25]

Esta aplicación permitiría varias ventajas como evitar incidentes, tener un análisis en la calidad de servicio, reglamentar bajo la ley el máximo aforo permitido en un transporte urbano, eficiencia en el servicio y mejora tecnológica de los sistemas de transporte inteligentes. La empresa especialista en este tipo

de servicio Sisconper es la encargada de diseñar soluciones tecnológicas para el sistema de conteo de personas. Ofrece una amplia gama de productos enfocados a dicho sistema para ayudar al control y toma de decisiones; al igual elaboran los productos (sistemas electrónicos, telecomunicación,...) para integrar soluciones para satisfacer demandas. Observamos en la siguiente imagen, el sistema de conteo diseñado por la empresa.



a)



b)

Fig 2 a y b: Sistema de conteo de personas y pasajeros

2.1.3.2 MONITORIZACION DE PERSONAS

Tanto como en espacios exteriores como en interiores, las redes de sensores resultan tan importantes como prácticas. Un ejemplo muy común es el hecho de la monitorización de las personas con problemas cardiacos. Dichas personas necesitan estar constantemente vigilados por personas, ya que es de vital importancia ante posibles accidentes. Para evitar esos posibles errores, dichas personas tienen que estar monitorizadas en cualquier instante y saber su posible localización. Al día de hoy, las nuevas tecnologías están surgiendo e innovándose al minuto. Se han desarrollado y un futuro próximo nuevas formas de diagnosticar pacientes remotamente, es decir, hablamos de telemedicina. Desde la página web de HomeCareLab, podemos leer algunos proyectos que se han realizado sobre el tema de la telemedicina, aunque desde un punto de vista domotico (hogar) y en nuestro caso desde el interior de un transporte urbano (villavesa comarcal).

2.1.3.3 VEHICULO INTELIGENTE

Como vamos diciendo a lo largo de estas líneas, el propósito es trabajar, diseñar sistemas para que en el día de futuro, estemos en el camino de la tecnología, basándonos en los sistemas de transporte inteligentes. Otra aplicación que sería muy interesante a la hora de aplicar redes inalámbricas en un entorno interior, es de diseñar una red de sensores inalámbricos para controlar el nivel de luminosidad, temperatura del entorno, y otros eventos conceptuales, de tal manera que transformemos un entorno de transporte en un sistema inteligente. Al igual que aplicaciones interiores como la domotica en casa, se puede crear dicha red para el control total del espacio.

Podemos utilizar tecnología Zigbee o HomeRF (Lite), de tal manera que no supongo un ahorro en el coste, ahorro en energía (baterías de larga duración debido a operaciones realizadas que necesitan poco tiempo de proceso) y tasa de datos de 250 kbps, lo que es ideal para este tipo de sistema.

El objetivo sería montar una red de sensores ubicados en lugares específicos.

2.2 DESCRIPCIÓN DE SISTEMAS INALÁMBRICOS

2.2.1 INTRODUCCIÓN

Las nuevas tecnologías han dado un giro en nuestra sociedad. Hemos pasado de una tecnología con cable a una tecnología sin cable, más portátil, con muchas ventajas y muchísimos inconvenientes. En las siguientes líneas, daremos un repaso a los sistemas sin cables, ya que son objeto de nuevas formas de comunicación y también objeto de este proyecto. Explicaremos los distintos sistemas utilizados actualmente, los diferentes estándares que soportan y aplicaciones que se pueden hacer mediante dichos estándares

2.2.2 REDES DE SENSORES

2.2.2.1 INTRODUCCIÓN

Antes de meternos en profundidad en las explicaciones de las redes de sensores y sistemas inalámbricos, debemos contestar a una pregunta: ¿qué es un sensor y cómo funciona? En las siguientes líneas, trataremos de dar una breve explicación sobre el tema.

2.2.2.2 ¿QUÉ ES UN SENSOR?

Un sensor puede medir: presión, temperatura, sonido, vibraciones, presencia de compuestos químicos, etc... Produce un registro cuantitativo en respuesta a cambios físicos o químicos en las condiciones de un sistema.

Se puede clasificar los sensores en distintos grupos. En la siguiente figura, vemos el proceso de clasificación, dependiendo de muchos factores

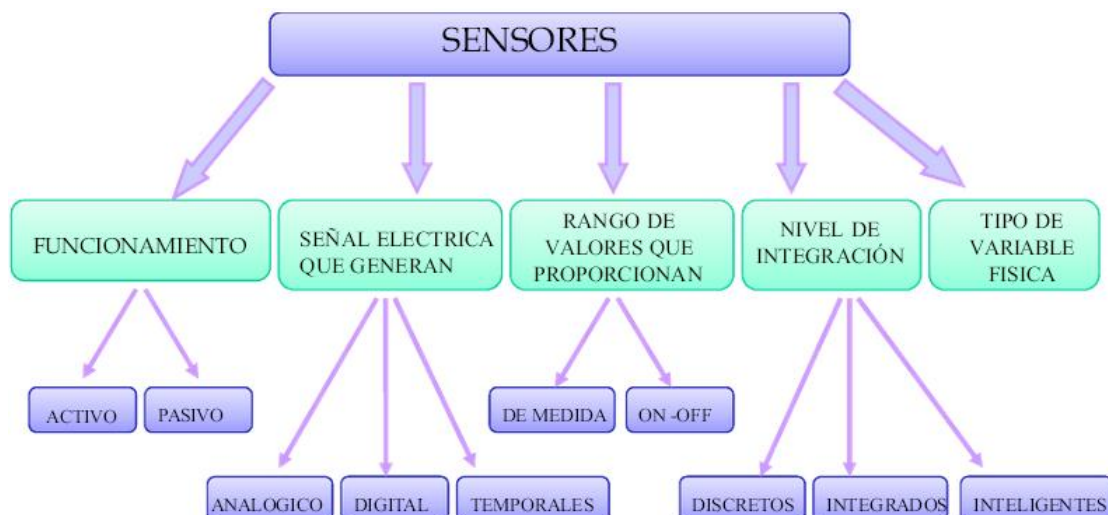


Fig 3: Clasificación de sensores según factores

Cuando hablamos de sensorizar una red inalámbrica, tratamos de explicar que queremos recopilar datos acerca de un objeto físico o proceso, incluyendo la ocurrencia de datos (cambios de estado, descenso de temperatura o presión). Un objeto que tiene que realizar dicha tarea se denomina sensor.

Desde el punto de vista técnico, un sensor es un dispositivo que interpreta las variables o parámetros de nuestro entorno en unas señales que pueden ser medidas y analizadas.

Una definición mas general de este termino es que un sensor es un dispositivo eléctrico y/o mecánico que convierte magnitudes físicas (luz, magnetismo, presión, etc...) en valores mediales de dicha magnitud.

Por otra parte, también se habla de transductor, que según varias bibliografías, es un dispositivo que convierte la energía de una forma a otra tipo de energía. Por lo tanto, un sensor es un tipo de transductor capaz de transformar una señal de cualquier tipo que sea, en una señal eléctrica, donde se puede tratar dicha información a través de un equipo informático.

Los sensores inalámbricos son herramientas estándar de medición equipados con transmisores para convertir las señales de los instrumentos de control de procesos en una transmisión de radio.

Las señales eléctricas, en general, no están preparadas para un proceso rápido. Deberán pasar por un proceso de acondicionamiento de la señal, de manera que se pueden manejar y tratar de manera correcta.

La realización de dicho proceso se realiza en tres fases que son las siguientes:

- Un fenómeno físico es captado por un sensor, y muestra en su salida una señal eléctrica dependiente del valor de la variable física.
- La señal eléctrica es modificada por un sistema de acondicionamiento de señal, cuya salida es un voltaje.
- El sensor dispone de una circuiteria que transforma y/o amplifica la tensión de salida, la cual pasa a un conversor A/D, conectado a un PC, El convertidor A/D transforma la señal de tensión continua en una señal discreta.

Dicho proceso se refleja en la figura siguiente:

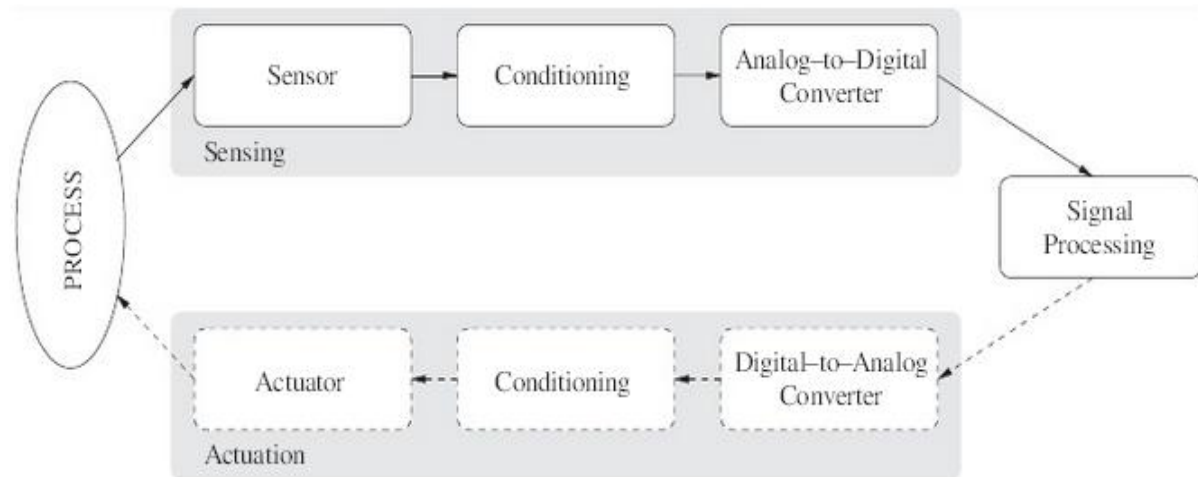


Fig 4: Adquisición de datos y actuación

Muchas redes de sensores inalámbricas también incluyen actuadores que les permiten directamente controlar el mundo físico. Por ejemplo, un accionador puede ser una válvula que controla el flujo de agua caliente, un motor que abre o cierra una puerta o ventana, o una bomba que controla la cantidad de combustible inyectado en un motor.

2.2.2.3 WSN (REDES DE SENSORES INALAMBRICOS)

Una red de sensores inalámbricos (Wireless Sensor Network o WSN) es una red de dispositivos de bajo coste y consumo (nodos) que son capaces de obtener información de su entorno, procesarla localmente, y comunicarla a través de enlaces inalámbricos hasta un nodo central de coordinación. Los nodos actúan como elementos de la infraestructura de comunicaciones al reenviar los mensajes transmitidos por nodos más lejanos hacia al centro de coordinación. Los nodos de los sensores se comunican no solo entre sí, sino que con una estación base (BS), utilizando su tecnología radio inalámbrica, lo que permite difundir los datos del sensor para su visualización, análisis y sistemas de almacenamiento.

La red de sensores inalámbricos está formada por numerosos dispositivos distribuidos espacialmente, que utilizan para controlar diversas condiciones en distintos puntos, entre ellos la temperatura, sonido, vibración presión y movimiento o contaminantes.

Se combinan con routers y una gateway central, en que proporciona una conexión al entorno cableado donde se procesa la información de medida; dichos sensores pueden ser fijos o móviles.

2.2.2.4 DISPOSITIVOS

Los dispositivos son unidades autónomas que constan de un microcontrolador (CPU), una fuente de energía (batería), un radiotransceptor (RF) y un elemento sensor. Son conocidos como motas La siguiente figura muestra un modelo de dispositivo.

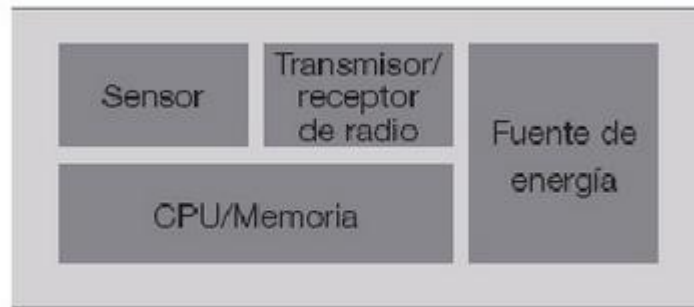


Fig 5: Modelo de mota[16]

Una mota tiene un alcance máximo de comunicación inalámbrica de hasta 150 metros aproximadamente.

El despliegue de este tipo de redes distribuidas de sensores ofrece varias ventajas (redes auto-organizativas, con gran robustez, diversidad, escalabilidad y mayor densidad espacial de medida) frente a sistemas centralizados y es potencialmente muy útil para aplicaciones importantes para la sociedad.

Debido a las limitaciones de la vida de la batería, los nodos se construyen teniendo en cuenta la conservación de la energía y generalmente pasan mucho tiempo en modo “durmiente” (sleep) de bajo consumo de potencia.

Las WSN tienen capacidad de auto restauración, eso quiere decir que si se avería un nodo, la red encontraría nuevos caminos o rutas para encaminar los paquetes de datos. De esta forma, la red sobrevivirá en su conjunto, aunque haya nodos individuales que pierdan potencia o se destruyan.

Las capacidades de los nodos de los sensores en una WSN puede variar ampliamente, es decir, los nodos de sensores simples pueden supervisar un fenómeno físico, mientras que los dispositivos mas complejos pueden combinar muchas técnicas de detección diferentes (acústicos, ópticos,...).

Mientras los sensores pueden simplemente solo recoger y comunicar información sobre el entorno, dispositivos más potentes pueden realizar un proceso extenso y funciones de agregación. Tales dispositivos siempre asumen responsabilidades adicionales en una WSN, por ejemplo, formar cadenas principales de comunicación que pueden ser utilizados por otros dispositivos sensoriales mas simples.

Algunos dispositivos pueden tener acceso a otras tecnologías de apoyo (GPS), lo que les permite que determinen su posición de manera precisa. Sin embargo estos sistemas consumen demasiada energía para sensores de bajo consumo y bajo coste.

En la siguiente figura, podemos visualizar dos campos de sensores monitorizando diferentes zonas geográficas y conectadas a Internet utilizando sus estaciones bases (BS).

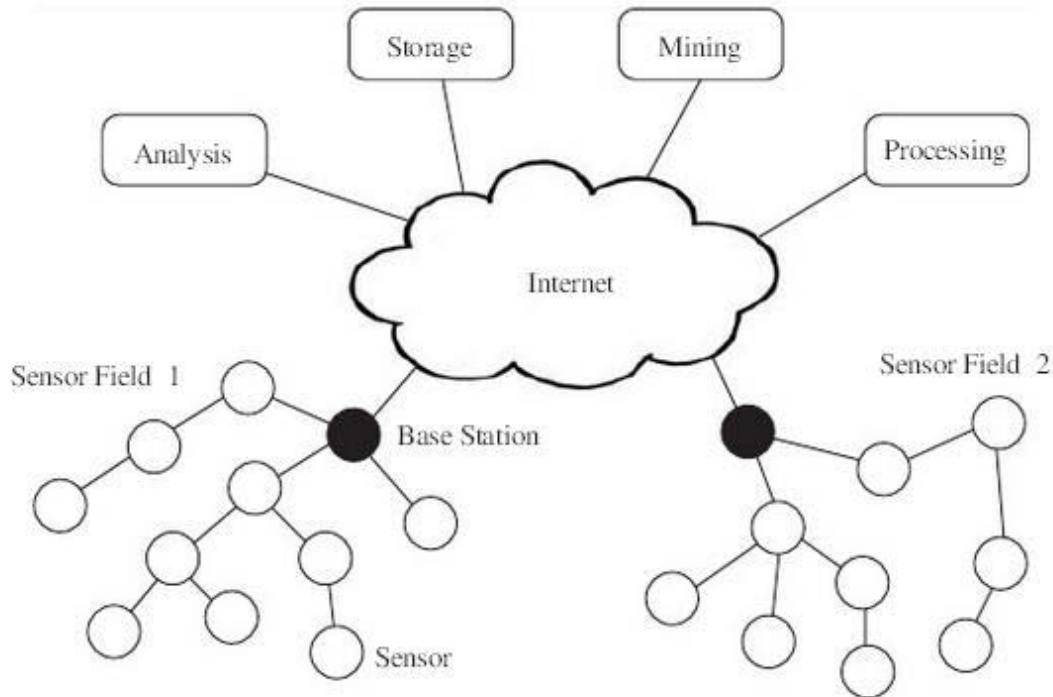


Fig 6: Ejemplo de red de sensores inalámbricos (WSN)

Las redes de sensores se caracterizan por ser redes desatendidas (sin intervención humana), con alta probabilidad de fallo (topología, nodos); habitualmente dichas redes están construidas de forma ad-hoc para resolver un problema específico (ejecución de una aplicación por ejemplo).

Existe diferentes tipos de redes, todas destinadas para un fin y necesarias para ciertos objetos, que tengan conexión inalámbrica, con el objetivo de comunicarse. En las siguientes líneas, hablaremos de algunas de ellas.

2.2.2.5 TOPOLOGIAS

Existen diferentes topologías de redes de sensores inalámbricos, que se pueden usar para coordinar el gateway WSN, nodos finales u otros ruteadores. Los nodos ruteadores son similares a los nodos finales, en los que se pueden adquirir datos de medida, por ejemplo, al igual se pueden utilizar para comunicarse esos datos de medida desde otros nodos.

La primera y principal es la topología en estrella. Se utiliza cuando los rangos de transmisión de radio de todos los nodos de sensores son bastante amplios y los sensores pueden transmitir directamente sus datos a la estación base (BS).

En esta topología, cada nodo de sensor se comunica directamente con la estación base usando la técnica de simple salto (simple hop). Sin embargo las redes de sensores siempre cubren zonas geográficas muy amplias y la potencia de transmisión de radio debe de conservarse un mínimo para poder tener energía para otras transmisiones, lo que no podría resultar una topología muy apropiada. En consecuencia, la comunicación multi-salto (multi-hop) es el caso más común de las redes de sensores.

En la topología en malla (*mesh topology*), los nodos de sensores no solo se encargan de captar y difundir sus propios datos, sino que también sirven como reles para otros nodos de sensores, es decir, deben colaborar para propagar los datos del sensor hacia la estación base. Este problema de enrutamiento o encaminamiento, es decir, la tarea de encontrar una ruta de múltiples saltos desde un nodo sensor a la estación base, es uno de los retos más importantes y ha recibido una atención inmensa de la comunidad de investigación. Cuando un nodo sirve de relay para varias rutas, a menudo tiene la oportunidad de analizar y procesar los datos del sensor en la red, que puede conducir a la eliminación de información redundante o agregación de datos que pueden ser más pequeños que los datos originales. La topología en malla, aunque es muy confiable, sufre un incremento de latencia de red porque los datos que deben ser enviados a otros nodos sensores, realizan múltiples saltos antes de llegar al gateway. Las topologías descritas anteriormente se ven reflejadas en la siguiente figura

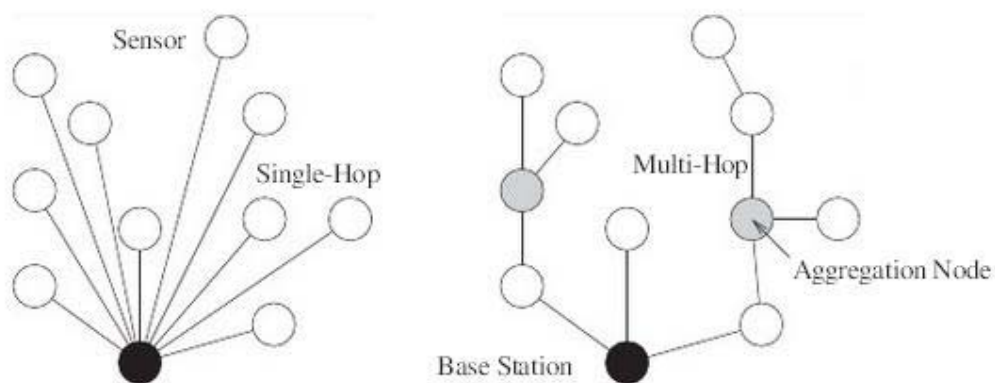


Fig 7. Topología en estrella (single hop) y topología en malla (multihop)

Las redes de sensores inalámbricos trabajan bajo el estándar IEEE 802.11, que es la tecnología de red inalámbrica más común para sistemas móviles hoy en día. Es frecuente usar diferentes frecuencias, por ejemplo, la banda de 2.4 GHz es utilizada por la banda 802.11b y 802.11g cuando el protocolo 802.11^a (Bluetooth) utiliza la banda de frecuencia de 5GHz. No obstante, el alto grado de energía que utiliza 802.11 no es la recomendada para redes de baja potencia. El protocolo 802.15.4 ha sido diseñado para comunicaciones de corto alcance en redes de sensores de baja potencia y utilizado por redes de sensores comerciales.

Como se ha dicho anteriormente, las frecuencias típicamente utilizadas en las redes de sensores inalámbricos (WSN) son:

- 433/464 MHz Banda ISM en Europa
- 902/928 MHz Banda ISM en América
- 2.4/2.5 GHz WLAN, ZigBee
- 5.725/5.875 GHz Nuevos rangos de WLAN

Existen, según el estándar IEE unos cuantos borradores de estándares pero muy poco tienen un éxito comercial.

En las siguientes líneas, hablaremos de las redes inalámbricas utilizadas y de sus estándares, especialmente de Bluetooth y Zigbee, que va a ser el estándar elegido para nuestro proyecto.

2.2.3 TIPOS DE REDES INALAMBRICAS

Como podemos ver en la siguiente figura, las redes inalámbricas son bastante numerosas (cuatro por ser exacto), y se clasifican dependiendo del alcance de la red.

Para el objeto de nuestro trabajo sobre redes de sensores inalámbricos en un entorno vehicular, al tratarse de un entorno *indoor*, y de dimensiones no muy amplias, trataremos de explicar las redes inalámbricas de corto alcance, es decir WPAN y WLAN (en orden ascendente dependiendo del alcance)



Fig 8: Agrupación de redes inalámbricas según alcance

2.2.3.1 WLAN (REDES DE AREA LOCAL INALAMBRICAS)

Por un lado, se encuentra WLAN. Las redes inalámbricas de área local (Wireless Local Area Network o WLAN) son redes de corto-medio alcance (100

metros) destinadas para redes en hogares y pequeñas empresas. El estándar utilizado se denomina Wi-Fi (Wireless Fidelity – Fidelidad Inalámbrica) o IEE 802.11 y puede alcanzar una velocidad máxima de 54 Mbps. Vemos en la figura x los diferentes tipos de redes inalámbricas de corto alcance.

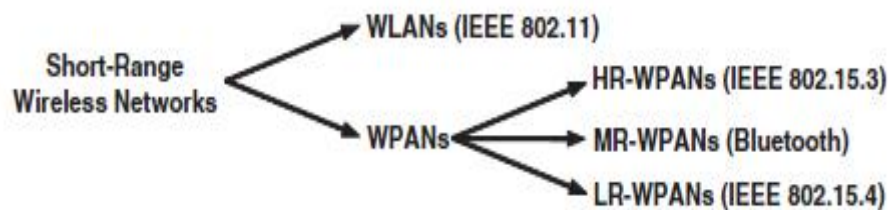


Fig 9: Redes inalámbricas de corto alcance [1]

WLAN es el sustituto o extensión para la red de área local cableada (LAN) como Ethernet (802.3). El objetivo de una WLAN es de maximizar el alcance y la velocidad de transmisión de datos.

Utiliza una tecnología de radiofrecuencia que permite mayor movilidad a los usuarios al minimizarse las conexiones cableadas. Las WLAN van adquiriendo importancia en muchos campos, como almacenes o para manufacturación, en los que se transmite la información en tiempo real a una terminal central. También son muy populares en los hogares para compartir un acceso a Internet entre varias computadoras.

2.2.3.2 WPAN (RED DE AREA PERSONAL INALAMBRICA)

Por otro lado, las redes inalámbricas de área personal (Wireless Personal área Network o WPAN), no han sido desarrolladas para reemplazar alguna LAN cableada existente, sino que tratan de ofrecer una solución inalámbrica de bajo consumo, sin necesidad de ninguna o poca infraestructura. Incluye redes inalámbricas de corto alcance que abarcan un área de algunas decenas de metros. Este tipo de red se usa generalmente para conectar dispositivos periféricos (por ejemplo, impresoras, teléfonos móviles y electrodomésticos) o un asistente personal digital (PDA) a un ordenador sin conexión por cables. También se pueden conectar de forma inalámbrica dos ordenadores cercanos. En la figura x, donde se puede apreciar las diferentes clasificaciones de las redes inalámbricas de corto alcance, observamos que las WPANs se dividen en tres clases: alta velocidad (High Rate o HR-WPAN), velocidad media (Medium Rate o MR-WPAN) y baja velocidad (Low Rate o LR-WPAN). Un ejemplo de una HR-WPAN es el estándar 802.15.3 con una velocidad de transmisión desde 11 a 55 Mbps. Bluetooth, con una velocidad desde 1 a 3 Mbps, es un ejemplo de MR-WLAN y Zigbee es clasificado como LR-WPAN con una velocidad máxima de 250 Kbps.

En base a nuestro trabajo, trataremos de hacer hincapié sobre dos estándares ya conocidos: Bluetooth (802.15.) y Zigbee, que ya es comercial (802.15.4)

2.2.3.2.1 BLUETOOTH

2.2.3.2.1.1. ¿QUÉ ES BLUETOOTH?

Bluetooth es una estándar empleado en enlaces de radio de corto alcance (redes inalámbricas de área personal o WPAN), destinado para reemplazar el cableado existente entre dispositivos electrónicos como teléfonos celulares, asistentes personales digitales (PDA), computadoras, y muchos otros dispositivos (hogar, oficina, auto, ...). Fue creado por un grupo llamado SIG formado por grandes compañías en la industria de las comunicaciones (Nokia, IBM, Intel,...). El objetivo de ese grupo era establecer la creación de una especificación de conectividad sin hilote cortes. Los principales objetivos que se pretende conseguir son los siguientes:

- Facilitar las comunicaciones entre equipos fijos y móviles
- Eliminar el cableado y conectores entre ambos dispositivos
- Crear pequeñas redes inalámbricas de manera que se puedan comunicar entre equipos personales

Los niveles de la capa física y la capa de enlace de datos se formalizan en el estándar IEE 802.15.1



Fig 10: Logotipo de Bluetooth

2.2.3.2.1.2 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

El estándar Bluetooth trabaja en la banda de 2.4 Ghz, utilizando una técnica de espectro ensanchando de saltos de frecuencia (FHSS), que consiste en dividir la banda operativa en la que trabaja en 79 canales, con un ancho de banda de 1 Mhz cada uno. Se refiere a que tendremos una velocidad de cambio de canales de 1600saltos/s, por lo que se reducirá los posibles contactos con otras ondas de radio. Define una velocidad máxima hasta 1Mbps (720 kbps con alcance de 10 m). La frecuencia de banda de la industrias científicas y medicas (ISM) es de 2.45 GHz, que es una banda libre (sin licencia). En otros países, como Japón, la frecuencia en la que trabaja se encuentra entre 2,471 y 2,497 Ghz, por lo que no tubería ningún problema a la hora de conectar dispositivos en cualquier parte del mundo.[17]

El estándar IEEE 802.15.1 presenta una WPAN que utiliza tecnología inalámbrica Bluetooth. En este trabajo el término Bluetooth WPAN o

simplemente el término IEEE 802.15.1 WPAN se refiere a una WPAN que utiliza tecnología Bluetooth inalámbrica.

Para que la tecnología Bluetooth funcione sobre un dispositivo (llamado dispositivo Bluetooth), el sistema en el cual funcione esos diferentes dispositivos requieren diferentes partes, que son las siguientes:

- Un dispositivo de radio (es el encargado de transmitir y modular la señal para poder hacerla llegar a cualquier dispositivo)
- Un controlador digital (estará formado por un procesador de señales (DSP), una unidad de procesamiento central (CPU), y diferentes interfaces con el dispositivo anfitrión).

2.2.3.2.1.3 ANCHO DE BANDA/ALGORITMOS UTILIZADOS

Como hemos mencionado anteriormente, Bluetooth opera en la banda ISM de 2.4 GHz (dicha banda se comprende entre 2.4 y 2.48 GHz). Al ser una banda bastante grande (unos 80 MHz), y sabiendo de que otros dispositivos operaran en la misma banda (por ejemplo, bajo el estándar IEEE 802.15.4 Zigbee), se realiza una división del ancho de banda de frecuencia en pequeñas franjas, para que cada uno de los dispositivos trabajen en su franja respectiva. Esta técnica se llama acceso múltiple de división de frecuencia (FDMA). Bluetooth, utilizará 79 canales repartidos de un ancho de banda de 1MHz cada uno, de manera que no se solapen entre ellas, lo que evitaría una interferencia entre dichos canales.

Puesto que para que haya una buena comunicación entre los dispositivos, dichos objetos no intentaran transmitir a la vez, ya que es no su propósito. La comunicación se realizara durante unos breves intervalos de tiempo, para establecer y transmitir la información deseada. A la hora de enviar y transmitir, los dispositivos utilizan un algoritmo llamado espectro ensanchado de secuencia directa (DSSS), del que se puede hacer el siguiente resumen: se transmite cuando la energía de una señal esta por debajo de un umbral, garantizando la probabilidad de éxito de transferencia del mensaje y reduciendo las interferencias a la que esta expuesta dicha señal. Dicho algoritmo se utiliza en las redes Wifi y Zigbee. En Bluetooth, en cambio, se utiliza otro algoritmo llamado espectro ensanchado de saltos de frecuencia (FHSS) y consiste en esparcir el mensaje que tiene que transmitir en pequeñas señales, de manera que ocupe todo el canal de transmisión, adjudicado para su aplicación.

Podemos ver los diferentes canales repartidos de las distintas tecnologías en la siguiente figura

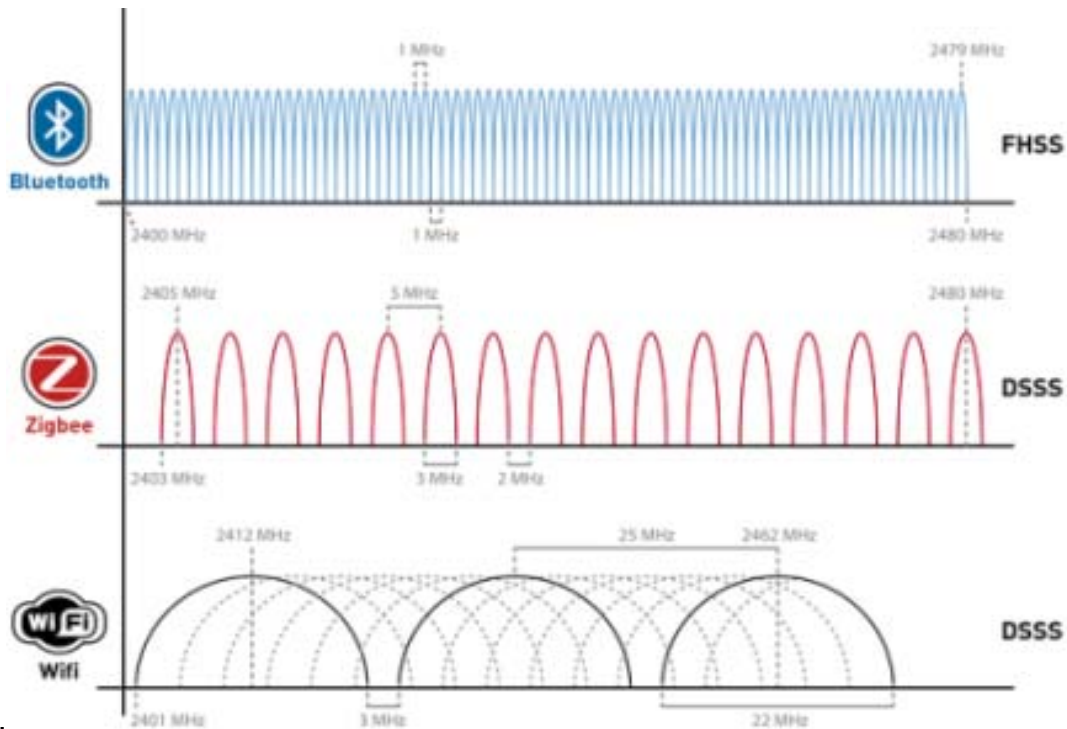


Fig 11: Distribución de canales Bluetooth, Zigbee y Wifi (www.libelium.com)

En la anterior figura, vemos como se reparte los diferentes canales, tanto en Bluetooth como en Zigbee y Wifi. Como hemos mencionado antes, Bluetooth utiliza técnicas FHSS, Zigbee utiliza al contrario, técnica DSSS, al igual que Wifi.

2.2.3.2.1.4 NIVELES DE POTENCIA

Unos de los aspectos importantes ha destacar de la especificación Bluetooth, es la potencia utilizada en los diferentes dispositivos, que permitan dicho tecnología. En la siguiente tabla, vemos un resumen de las diferentes potencias clasificadas por grupos (hasta tres).

Power Class	Maximum Output Power (Pmax)	Nominal Output Power	Minimum Output Power ¹⁾	Power Control
1	100 mW (20 dBm)	N/A	1 mW (0 dBm)	Pmin<+4 dBm to Pmax Optional: Pmin ²⁾ to Pmax
2	2.5 mW (4 dBm)	1 mW (0 dBm)	0.25 mW (-6 dBm)	Optional: Pmin ²⁾ to Pmax
3	1 mW (0 dBm)	N/A	N/A	Optional: Pmin ²⁾ to Pmax

Tabla 12: Potencia Bluetooth

Por lo tanto, la potencia de salida para transmitir a una distancia de 10 metros será de 0dBm (1mW), mientras que para largos alcances, la potencia a transmitir estará situada entre 20 y 30 dBm (entre 100 y 1 W).

Los dispositivos más usados son los de clase 2 y utilizan una potencia de 2.5 mW. Bluetooth fue diseñado en ambientes cerrados, para tener comunicaciones a corta distancia y para tener un bajo consumo de potencia.

2.2.3.2.1.5 PROTOCOLOS

Uno de los principales objetivos de la tecnología Bluetooth, es, como hemos mencionado anteriormente, conseguir que distintas aplicaciones de distintos dispositivos contengan una comunicación fluida y sostenible. Sabemos que las aplicaciones pueden operar bajo distintos protocolos. Sin embargo, todos ellos tienen un enlace de datos y una capa física Bluetooth común.[16]

En las siguientes figuras, se muestra la pila del protocolo en la séptima capa del modelo del OSI en la tecnología inalámbrica de Bluetooth y su relación con este estándar.

Como se puede observar en la siguiente figura las subcapas LLC (logical link control) y la MAC juntas abarcan las funciones deseadas para el DLL del modelo de OSI.

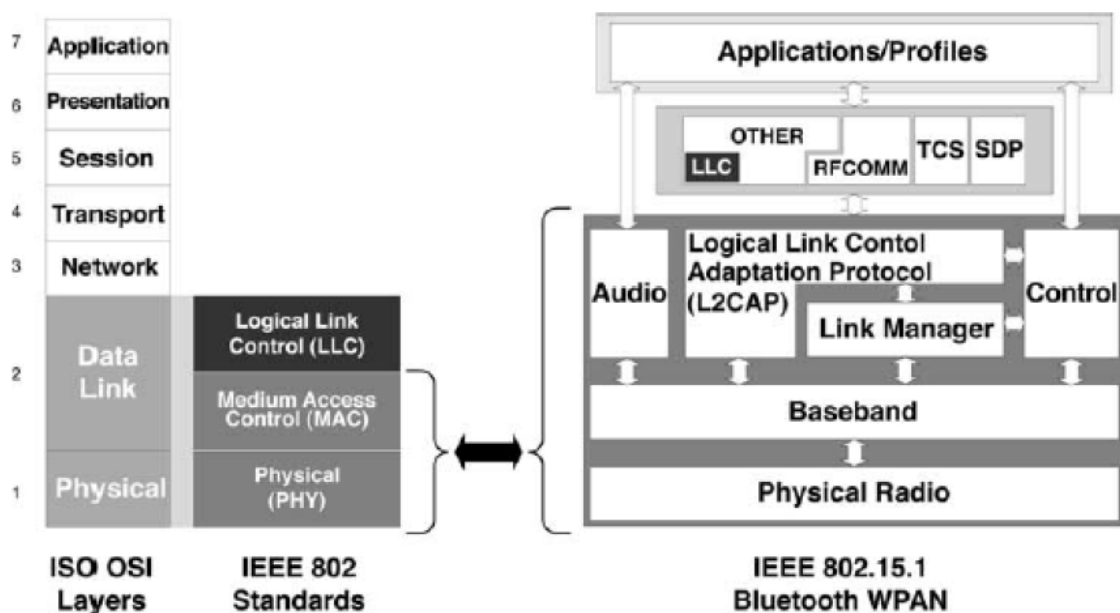


Fig 13: Protocolos OSI, frente a los protocolos del estándar IEE 802 y del IEE 802.15.1 WPAN Bluetooth[16]

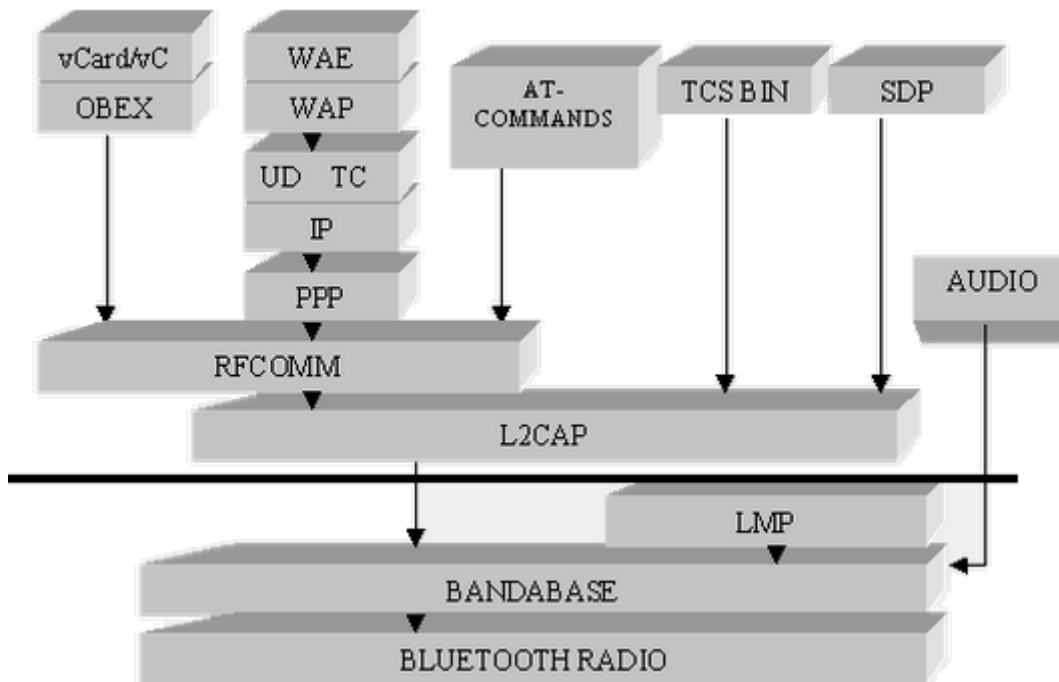


Fig 14: Pila de protocolos Bluetooth (al detalle)

La figura 3.4 muestra la pila del protocolo Bluetooth, la cual incluye los protocolos Bluetooth específicos (por ejemplo; Link Manager Protocol, LMP; Logical Link Control and Adaptation Protocol, L2CAP) y los protocolos bluetooth no específicos (también conocidos como los “otros”). Dichos protocolos incluyen al OBEX (Object Exchange Protocol), al PPP (point to point protocol), el WAP (wireless application protocol), y algunos más. Este protocolo también reutiliza la ayuda para adaptar las aplicaciones existentes para trabajar con la tecnología inalámbrica de Bluetooth y asegurar una suave operación y interoperabilidad de dichas aplicaciones. Así, muchas aplicaciones ya desarrolladas por vendedores pueden tomar inmediatamente ventaja del hardware y el software de los sistemas que cumplen con las especificaciones para Bluetooth.

La capa del LLC no es parte de las especificaciones Bluetooth. La figura que muestra la pila de protocolos Bluetooth nos enseña la posición en la que debe estar colocada con relación al resto de las capas del protocolo.

La capa de RFCOMM es un puerto serial de emulación que permite heredar las aplicaciones sobre los links Bluetooth.

Cada aplicación puede trabajar sobre una estructura de protocolos definidos por cada columna en la figura anterior, y por un conjunto de ellas. Algunas columnas son utilizadas solo como soporte de la aplicación principal, como el caso del protocolo deservicio de descubrimiento (SDP) o la especificación de control de telefonía (TCS Binario).

En dicho estándar y protocolos, hay un parámetro importante que es el hecho de re-usar los protocolos existentes para otras aplicaciones superiores, por lo que nos da una idea de ahorro, en vez de diseñar unos nuevos. Al ser una

especificación abierta, se desarrollan nuevos protocolos, lo cual conlleva al desarrollo de grandes variedades de aplicaciones.

Los protocolos pueden estar divididos en cuatro capas, que son las siguientes:

- Protocolos Bluetooth Centrales (Bluetooth Core Protocols: LMP, L2CAP, SDP)
- Protocolos de Reemplazo de Cable (Cable Replacement Protocols: RFCOMM)
- Protocolos adaptados (Adapted Protocols: PPP, UDP/TCP/IP, OBEX, WAP, vCard,...)
- Protocolos de control de telefonía (Telephony Control Protocols: TCS Blnario, AT-Command,...)

Las capas de reemplazo de cable, control, de telefonía y de protocolos adaptados son protocolos orientados a la aplicación, permiten la entrada a nuevos protocolos, ya que son abiertos, lo que hace de este estándar IEE 802.15.1 muy flexible.

2.2.3.2.1.6 TOPOLOGIA

2.2.3.2.1.6.1 PICOREDES WPAN

Bluetooth ha sido diseñado para ambientes multiusuarios. Los dispositivos pueden habilitarse para comunicarse entre ellos e intercambiar de forma transparente, datos necesarios al usuario. Una picored o piconet es una WPAN formada por dispositivos Bluetooth que sirven como maestros en la picored y uno o más dispositivos Bluetooth que sirven de esclavos.

Consiste en un maestro y siete esclavos. Un canal de frequency-hopping basado en la dirección del maestro define cada picored. Todos los elementos participantes en una comunicación dentro de una picored dada son sincronizados en el canal de frequency-hopping, utilizando el reloj del aparato maestro de la picored. Los dispositivos esclavos solo se comunican con el maestro en una estructura punto a punto bajo el control del maestro. Las transmisiones del maestro deben de ser ya sea de la forma punto a punto o bien punto a multipunto. Cada lugar determina que si algunos elementos deben ser siempre maestros o esclavos. Sin embargo, este estándar no distingue entre elementos que son permanentemente maestros o esclavos. Durante una sección de comunicación un elemento esclavo puede comportarse como maestro en un momento dado y viceversa.

Los dispositivos que forman parte de una piconet comparten el canal físico y disponen de un canal físico y otro lógico entre ellos. Los modos por defecto pueden ajustarse y se pueden añadir enlaces lógicos adicionales. Un

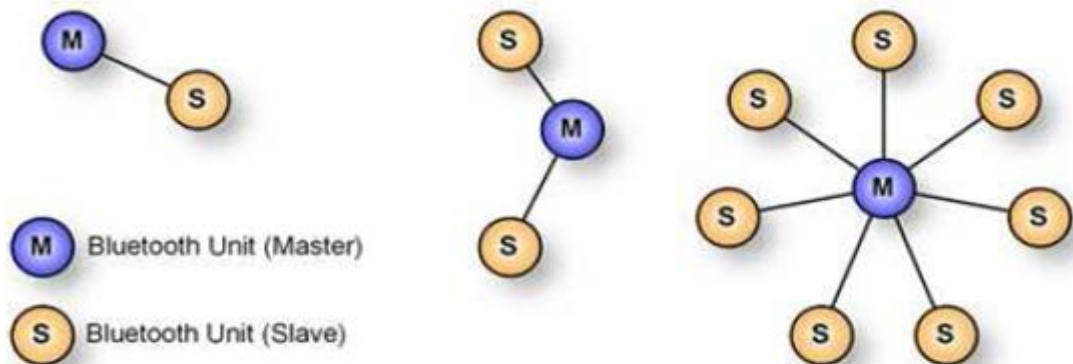
dispositivo puede pasar a operar en *modo de mantenimiento (hold mode)*, un estado transitorio que limita la actividad en el enlace físico; también puede establecer un modo de rastreo (*sniff*) que define periodos de presencia y ausencia en la piconet, que pueden tener efectos en la recepción de información por broadcast no fiable. Los esclavos pueden dejarse en un estado aparcado controlado por el maestro.

2.2.3.2.1.6.2 REDES DISPERSAS

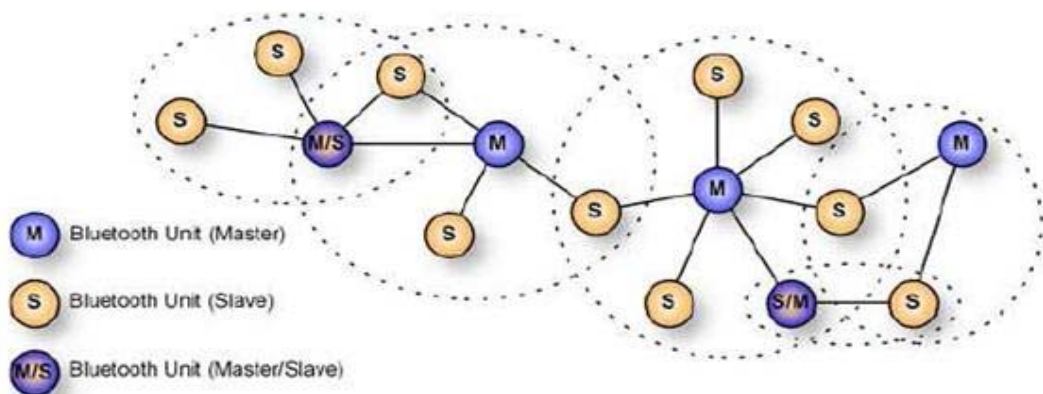
Una red dispersa o también conocido como scatternet es una colección de varias picoredes en funcionamiento, donde se traslapan tanto en el tiempo como en el espacio.

Un aparato Bluetooth puede participar en múltiples picoredes al mismo tiempo, por lo que existe la posibilidad de que la información fluya más allá de las fronteras de una picored.

Un dispositivo en una scatternet puede ser esclava en varias picoredes, pero puede ser maestra en solo una de ellas. En las siguientes figuras, se muestran una piconet y una scatternet.



a)



b)

Fig 15: Bluetooth a) piconet y b) scatternet[19]

2.2.3.2.1.7 MODULACION

La modulación utilizada por el estándar IEE 802.15 Bluetooth es un desplazamiento de frecuencia gaussiana (GFSK). Su principio es el siguiente: un estado lógico (1) es representado mediante unas desviaciones positivas (correspondiente a un incremento), de la frecuencia de la señal portadora, y otro estado lógico (0), mediante una desviación negativa (correspondiente a un decremento) de la misma.

Se puede decir que este tipo de modulación es una versión mejorada de la modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK). En este tipo de modulación, la información es tratada por un filtro gaussiano antes del proceso de modulación, lo que nos lleva a un estrechamiento del espectro de energía de la señal modulada y permite de esta manera unas velocidades mayores de transferencia sobre un mismo canal. Los datos transmitidos poseen una velocidad de transferencia de datos máxima de 1Mbps.

En la siguiente figura, se muestra la modulación empleada

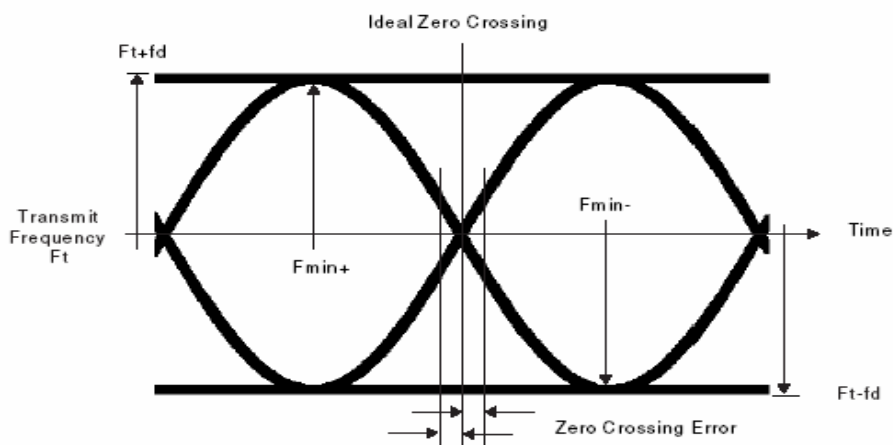


Fig 16: Modulación GFSK

2.2.3.2.1.8 SENSIBILIDAD

El aspecto más importante en el dispositivo receptor es el nivel de sensibilidad. Para poder medir una tasa de error de bit, el equipo receptor envía de vuelta la información decodificada. Para una tasa de error o BER (Bit Error Rate) del 0.1% se define el nivel de sensibilidad de un receptor Bluetooth mayor o igual a -70dBm .

2.2.3.2.1.9 COMPARACION TECNOLOGIAS INALAMBRICAS

Como hemos descrito anteriormente las redes de sensores inalámbricas, repasaremos mediante la siguiente tabla recapitulativa las tecnologías utilizadas par redes inalámbricas. Encontramos Zigbee, Bluetooth, UWB, Wifi,

...

Wireless Networking Technologies						
	ZigBee	Bluetooth	UWB	Wi-Fi	LonWorks	Proprietary
Standard	IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.3a (to be ratified)	IEEE 802.11a, b, g (n to be ratified)	EIA 709.1, 2, 3	Proprietary
Industry organizations	ZigBee Alliance	Bluetooth SIG	UWB Forum and WiMedia Alliance	Wi-Fi Alliance	LonMark Interoperability Association	N/A
Topology	Mesh, star, tree	Star	Star	Star	Medium-dependent	P2P, star, mesh
RF frequency	868/915 MHz, 2.4 GHz	2.4 GHz	3.1 to 10.6 GHz (U.S.)	2.4 GHz, 5.8 GHz	N/A (wired technology)	433/868/900 MHz, 2/4 GHz
Data rate	250 kbits/s	723 kbits/s	110 Mbits/s to 1.6 Gbits/s	11 to 105 Mbits/s	15 kbits/s to 10 Mbits/s	10 to 250 kbits/s
Range	10 to 300 m	10 m	4 to 20 m	10 to 100 m	Medium-dependent	10 to 70 m
Power	Very low	Low	Low	High	Wired	Very low to low
Battery operation (life)	Alkaline (months to years)	Rechargeable (days to weeks)	Rechargeable (hours to days)	Rechargeable (hours)	N/A	Alkaline (months to years)
Nodes	65,000	8	128	32	32,000	100 to 1000

Fig 17: Tabla comparativa de tecnologías de redes inalámbricas [27]

Dependiendo de los tipos de aplicaciones utilizadas en ciertos escenarios, se utilizarán de un modo u otro, todas las tecnologías descritas en esta tabla. Si queremos por ejemplo, una solución para el hogar inteligente, será utilizar Zigbee; para una conexión a Internet de forma inalámbrica, podemos usar la tecnología Wifi, ya que permite una gran velocidad de datos (11 a 105 Mbps). Para nuestro trabajo, al la hora de compara tecnologías inalámbricas para implementar en el transporte urbano, hay un abanico de posibilidades pero hemos elegido Zigbee ya que es un estándar bastante innovador, con lo que respeta a velocidades bajas de transmisión de datos (para entornos interiores o indoor), ofrece un ahorro en cuanto en la batería de los dispositivos, y finalmente, permite conectar miles de nodos, de manera que ofrezca una solución óptima.

2.2.3.2.1.10 APLICACIONES

Las aplicaciones son muy numerosas y variadas en base de la especificación Bluetooth, permitiendo a los diferentes usuarios interactuar y conectarse a un abanico de posibilidades (equipos informáticos, teléfonos móviles y otros

dispositivos). Permite una comunicación sencilla y simple, ya que evitamos el cableado para las futuras conexiones de dispositivos, lo que permite un ahorro importante a la hora de costear redes de dispositivos; posibilidad de crear redes ad-hoc. Además, no hay que olvidarse en la forma que supone en su forma de realizar procesos, reemplazando los medios tradicionales y dando la posibilidad de crear nuevas formas de negocio y aplicaciones. Aquí vemos unos ejemplos:

- Transferencia de archivos:

Este servicio consiste en la transferencia de archivos de un dispositivo a otro. Por ejemplo, hasta ahora se enviaba archivos tales como documentos, presentaciones, otros archivos de Office por e-mail. Al día de hoy, con esta tecnología, se puede transmitir todos estos archivos a través de ordenadores que tengan Bluetooth, de manera que sea una transmisión eficiente e inteligente. Los móviles, también pueden intercambiar información, tales como imágenes, sonidos, ... mediante Bluetooth.

- Sincronización automática de datos:

Este servicio permite sincronizar los nuevos datos (por ejemplo, en el trabajo) en los distintos dispositivos Bluetooth, mediante el sincronizador de información personal (PIM), tal como lista de contactos, direcciones, notas, mensajes. Esto permite estar siempre actualizado y de esta manera, no perder la fluidez de la información.

- Dispositivos móviles vehiculares:

Con dicha tecnología, también se suma los vehículos, y representan un punto fuerte en cuestión de innovación. Puedes conectar tu teléfono móvil a un dispositivo Bluetooth, de manera que puedas hablar tranquilamente sin necesidad de estar pendiente, lo que representa innovación en seguridad.

- Impresión de archivos:

Como hemos citado antes, con la tecnología Bluetooth, se permite enviar archivos entre dispositivos. Al igual, permite la conexión de periféricos (impresoras, teclados, ...), de manera que puedas, por ejemplo, enseñar una presentación de PowerPoint, y sin necesidad de cables, conectar tu teclado y ratón para poder interactuar en dicha presentación, lo que te ayudara en cuestión de emergencia y en cableado, por que supone una solución bastante optima.

También puedes enviar archivos fotográficos a una impresora o enviarla directamente a tu dispositivo móvil (teléfono, PDA) para futuras aplicaciones.

2.2.3.2.2 TECNOLOGIA ZIGBEE

2.2.3.2.2.1 ¿QUE ES ZIGBEE?

Zigbee es el nombre de una alianza de más de 100 empresas, bajo el nombre de Zigbee Alliance, cuyo objetivo es de desarrollar e implementar una tecnología de bajo coste. Grandes empresas como Mitsubishi, Phillips, Motorola y Invensys trabajan para crear un nuevo estándar de comunicaciones vía radio para usarlo en los dispositivos de domotica, automatización, control industrial, juguetería, sensores médicos, etc...[20]

En la siguiente imagen y tabla, se refleja donde se encuentra el estándar Zigbee en comparativa con otras tecnologías y sus características

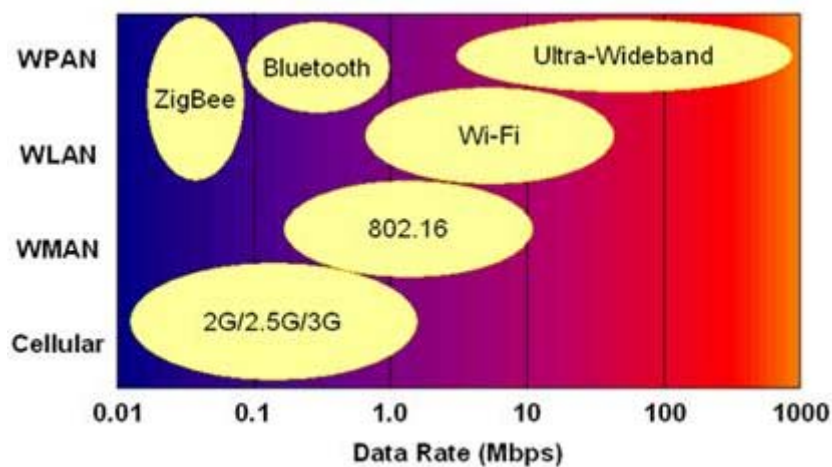


Fig 18: Comparativa de Zigbee con otras tecnologías

Estándar	Ancho de Banda	Consumo de potencia	Ventajas	Aplicaciones
Wi-Fi	Hasta 54Mbps	400ma transmitiendo, 20ma en reposo	Gran ancho de banda	Navegar por Internet, redes de ordenadores, transferencia de ficheros
Bluetooth	1 Mbps	40ma transmitiendo, 0.2ma en reposo	Interoperatividad, sustituto del cable	Wireless USB, móviles, informática casera
ZigBee	250 kbps	30ma transmitiendo, 3ma en reposo	Batería de larga duración, bajo coste	Control remoto, productos dependientes de la batería, sensores, juguetería

Fig 19: Características de Zigbee con otras tecnologías

Como hemos mencionado anteriormente, Zigbee es un estándar que define un lote de protocolos de comunicaciones para redes inalámbricas de corto alcance y de velocidad de transmisión de datos muy baja (LR-WPAN). Los dispositivos

inalámbricos Zigbee operan en las bandas de frecuencia de 868 Mhz (Europa), 915Mhz (EEUU) y 2.4GHz(a nivel mundial). Dichas bandas forman parte de la banda ISM, utilizada para usos industriales, científicos y médicos. La velocidad máxima de transmisión es de 250 Kbps, ya que Zigbee esta centrada en aplicaciones de potencia de batería donde la baja velocidad de transmisión, el bajo coste y la larga vida de la batería son los principales requisitos. En muchas aplicaciones, el dispositivo Zigbee tiene un tiempo limitado para cualquier tipo de actividad: un dispositivo pasa la mayoría del tiempo en un estado de modo de ahorro de energía, conocido como *sleep-mode*. Como resultado, los dispositivos Zigbee son capaces de seguir siendo operacionales mucho tiempo, ya que ahorran el tiempo de actividad en las transmisiones, de ese modo alarga la vida de la batería y permite que no se reemplacen durante mucho tiempo (desde 6 meses hasta 2 años)

En la siguiente tabla, podemos observar las distintas características que utilizan las bandas frecuenciales (868, 915 y 2.4 GHz) utilizadas por el estándar 802.15.4 (Zigbee)

	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

Fig 20: Tabla recapitulativa de los distintos modos de operación en estándar IEEE802.15.4[1]

La banda ISM 868 Mhz (868/868.6Mhz) utiliza una canal con una velocidad de transmisión de 20 kbps, la de 915 Mhz (902/928Mhz) utiliza 10 canales con una velocidad de transmisión de 40 kbps y finalmente, la banda ISM 2.4 GHz (2400/2483.5Ghz), en su caso, soporta 16 canales, con una ancho de banda de 5 Mhz por canal, por lo que pueden estar perfectamente distribuidos sin necesidad de interferirse entre ellos. Por otro lado, en comparativa, la tecnología Bluetooth (basado en el estándar 802.15.1), utiliza 79 canales de 1 Mhz de ancho de banda cada uno por lo que coexiste solapamiento entre sus canales y la señal que modulan en cada uno de ellos La tasa de transmisión para este caso será de 250 kbps. En la siguiente figura, vemos como están repartidos los diferentes canales en las diferentes bandas de frecuencia.

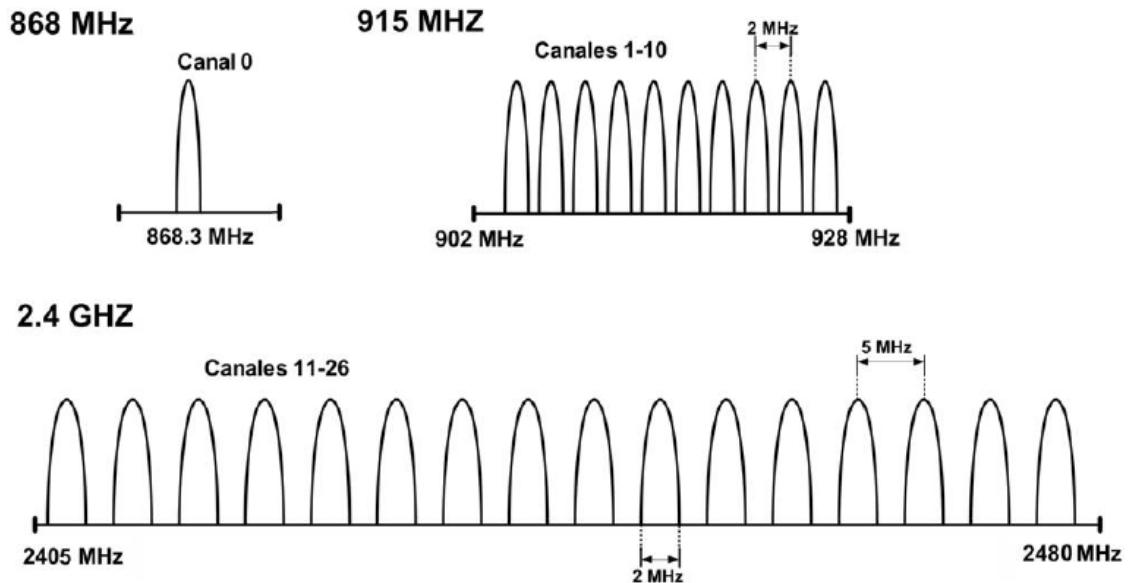


Fig 21: Distribución de canales en IEE 802.15.4

Un transceptor de 2.4 GHz puede soportar las bandas de frecuencia de 868/915MHz, pero no es el requerimiento del estándar IEE 802.15.4. La banda de 2.4 Ghz es aceptada a nivel mundial y tiene el máximo velocidad de transmisión y numero de canales. Por estas razones, el desarrollo de transceptores para la banda ISM de 2.4Ghz resulta la mejor elección para muchas empresas e industrias. Sin embargo, el estándar 802.11b, que forma parte de las redes de inalámbricas de área local (WLAN), utiliza la misma banda de frecuencia, por lo podría resultar un problema (existiría una coexistencia en muchas aplicaciones). Cuanto mas baja se la frecuencia, mejor resultara la penetración en las paredes y objetos. En conclusión, muchos usuarios, por todas estas razones descritas, optaran que la banda de 868/915 MHz sea la mejor elección.

2.2.3.2.2 TIPOS DE DISPOSITIVOS

En el estándar IEE 802.15.4, existen tres tipos de dispositivos:

- Coordinador de la red:
Es un dispositivo que mantiene en cualquier momento el control del sistema. De los tres tipos de dispositivos, es el más completo, además, requiere memoria y una capacidad de operación.
- Dispositivos con función reducida (reduced function devices o RFD):
Tiene capacidad y funciones limitadas (especificada en el estándar IEE 802.15.4), de tal forma que se reduzca la simplicidad y el ahorro. En otras palabras, son los denominados sensores o actuadores de la red
- Dispositivos de función completa (full function devices o FFD):

Este dispositivo es capaz de recibir mensajes del propio estándar IEE 802.15.4. Al igual que el coordinador de red, también posee memoria y capacidad de computación, ya que puede utilizarse como coordinador de red. Es ideal para usarlo como router o para ser utilizado como dispositivo de interfaz cara al usuario.

2.2.3.2.2.3 FUNCIONES DE LOS DISPOSITIVOS

Anteriormente, hemos hablado de los diferentes tipos de dispositivos que existen según el estándar IEE 802.15.4. En este apartado, enunciaremos las diferentes funciones que desempeñan los diferentes dispositivos

En una red bajo el estándar 802.15.4, un dispositivo FFD puede tomar tres funciones diferentes: coordinador, router o PAN coordinador y dispositivo final

- Coordinador Zigbee (Zigbee Coordinator o ZC): Es el dispositivo más completo, capaz de actuar como maestro de la red en árbol, como también servir de enlace a otras redes. En cada red, hay solo un coordinador; puede almacenar información sobre dicha red y actuar en la distribución de claves de cifrado.
- Router Zigbee (ZR): Ofrece un nivel de aplicación para la ejecución del código del usuario y actúa como router interconectando dispositivos separados en la topología de la red
- Dispositivo final (Zigbee End Device o ZED): Es capaz de comunicarse con su nodo padre (coordinador o router) pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos; este tipo de nodo puede estar en reposo o dormido durante bastante tiempo, aumentando la vida de la batería. Tiene requisitos mínimos de memoria y por lo tanto, es el dispositivo más barato.

Como hemos explicado los diferentes tipos de dispositivos y las funciones que desempeñan, hay que dejar claro un punto importante: el estándar Zigbee utiliza diferentes terminologías, como por ejemplo, el router zigbee (ZR) es un dispositivo que actúa como un coordinador en IEE 802.15.4; ZC es un coordinador PAN en IEE 802.15.4 y finalmente, un ZED es un dispositivo que no puede ser ni coordinador ni router.

En la siguiente figura, mostramos lo explicado anteriormente:

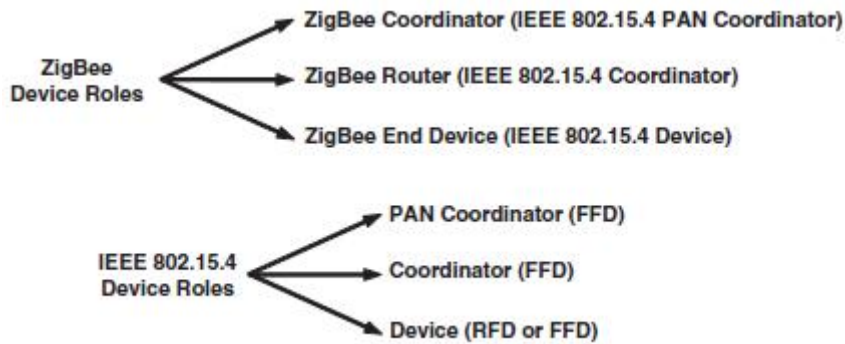


Fig 22: Tipos de dispositivos y funciones según estándar IEE 802.15.4 y Zigbee[1]

2.2.3.2.2.4 TOPOLOGIAS

La formación de una red Zigbee es supervisado por la capa de red Zigbee. La red tiene que ser una de dos topologías de red especificado en el estándar IEE 802.15.4: topología en estrella (star topology) y topología de igual a igual (peer to peer network).[1]

En una topología de red en estrella, cada dispositivo puede comunicarse solo con el coordinador Zigbee (PAN coordinador según IEE 802.15.4). El típico escenario de una formación en estrella es que el FFD, programado como PAN coordinador, es activado y empieza a establecer su red. La primera tarea que tiene que realizar el coordinador es seleccionar un único identificador coordinador que no este usado por otra red en su radio de influencia (región donde el radio del dispositivo en cuestión puede comunicarse con tres radios). En otras palabras, cada dispositivo puede comunicarse directamente con el coordinador donde dicho coordinador puede ser un FFD y los tres dispositivos pueden ser también FFDs o RFD. Este tipo de topología es utilizada para aplicaciones relativamente simples, como periféricos de computadoras y juguetes.

En la topología de red peer to peer, cada dispositivo puede comunicarse con cualquier dispositivo tan lejos como le permite su alcance, es decir si los dispositivos están situados lo bastante cerca para establecer una buen enlace de comunicación. En dicha topología, un FFD puede tener la función de un coordinador PAN. Una forma de decidir que dispositivo puede ser el coordinador PAN es de coger el primer dispositivo FFD que empiece a comunicarse como un coordinador PAN. Todos los dispositivos que participan en retransmitir los mensajes son los FFDs porque los RFD no son capaces de dichas funciones, es decir no pueden retransmitir los mensajes al ser unos elementos pasivos. Sin embargo un dispositivo RFD puede formar parte de la red y se comunica únicamente con un dispositivo en particular (un coordinador o un router) en la red.

Dicha topología de red puede tomar diferentes formas por la manera en que toman restricciones en los dispositivos que se pueden comunicar con cada uno.

En caso de que no haya ningún tipo de restricciones, la red peer to peer es conocida como una red de topología de malla (mesh topology).

En este caso de topología en malla, consiste en que al menos uno de los nodos tendrá mas de dos conexiones y de esa forma conseguiremos que si, en cualquier instante, un nodo del camino falla, puede seguir la comunicación entre todos los demás nodos ya que se rehacen todos las demás rutas o caminos.

Dicha topología, a diferencia de las otras vistas en las líneas anteriores, no requiere de un nodo central (PAN coordinador), con lo que se reduce el mantenimiento. Cuando ocurre un error en un nodo, no implica dicha error en la caída y el mal funcionamiento de la red. Este tipo de redes permiten el uso de routers Zigbee para habilitar la comunicación en el nivel de red.

Un punto a destacar de estas redes, es que son autogenerables, ya que la red puede funcionar incluso cuando desaparece un nodo (el resto de nodos evita el paso por ese punto). En consecuencia, se dice que este tipo de red es muy fiable.

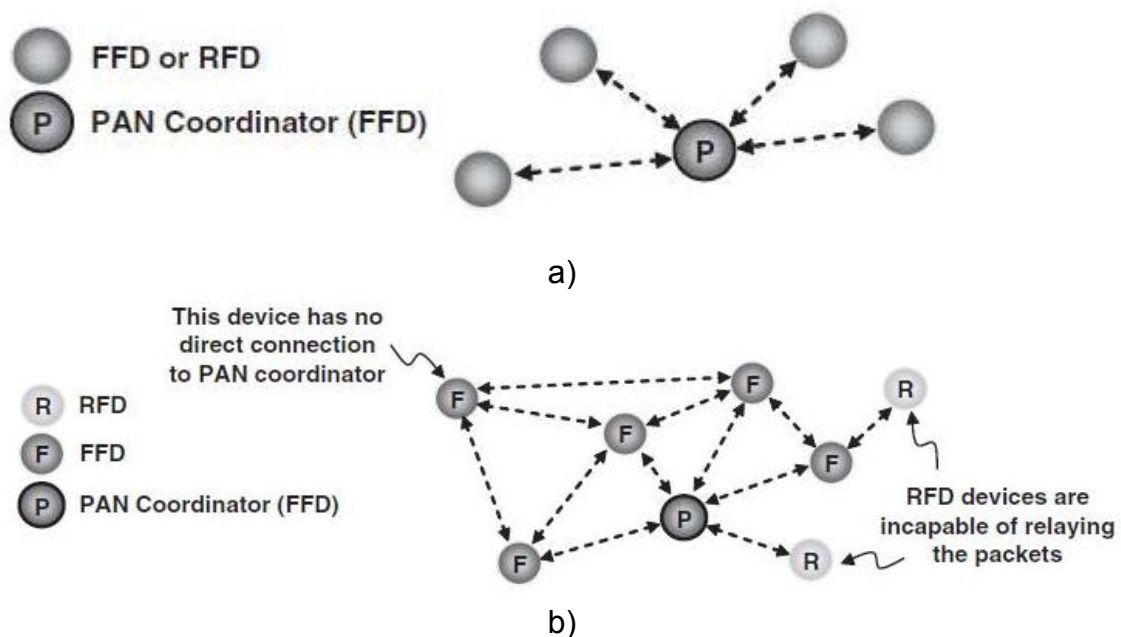


Fig 23: Topologías de red en a) estrella y b) malla [1]

Otra forma de red punto a punto (peer to peer o P2P) es la topología en árbol. En este caso, el coordinador Zigbee (PAN coordinador) establece la red inicial. Los routers forman las ramas de la formación en árbol, y retransmiten los mensajes. Los dispositivos finales (ZED) actúan como hojas del árbol y no participan en el enrutamiento de los mensajes.

En redes de árbol se permite el uso de router Zigbee para interconectar los distintos nodos de la red. La comunicación es estrictamente jerárquica con lo

que puede utilizar opcionalmente tramas balizas. Además un fallo de un nodo no implica interrupción en la comunicación.

Los problemas asociados a este tipo de topología vienen en que los datos son recibidos por todas las estaciones sin importar a donde y a quien van. En consecuencia, será necesario dotar a la red de un mecanismo que permita identificar al destinatario de los mensajes. Puede producirse interferencias entre las señales cuando dos o mas estaciones transmiten al mismo tiempo, debido al compartimiento de un medio de transmisión entre dichas estaciones. Dicho problemas puede resolverse de la siguiente manera:

- Identificar la estación de destino
- Mantener una coordinación entre ambas estaciones (para ello se necesitara información de control de quienes transmiten en cualquier momento, por el método de balizas)

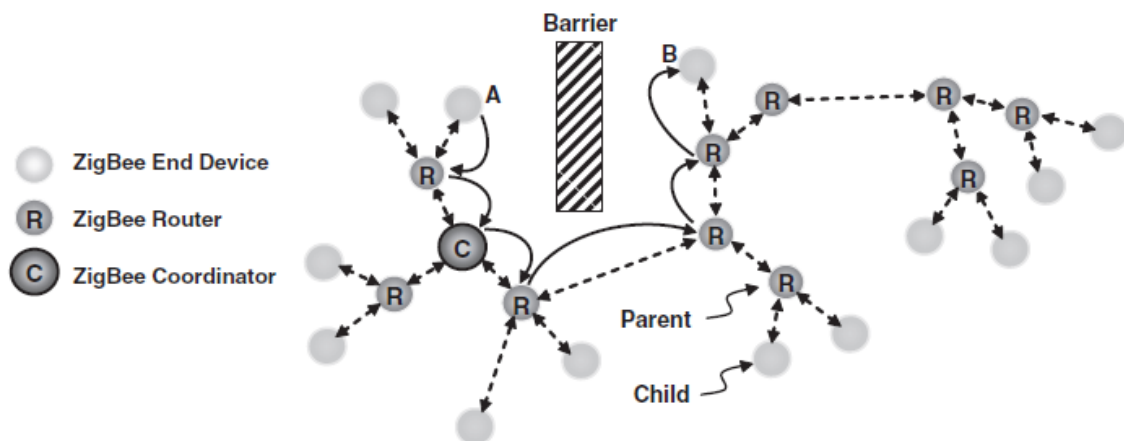


Fig 24: Topología de red en árbol [1]

En la anterior figura, vemos un ejemplo de dicha topología. El dispositivo A necesita transmitir un mensaje al dispositivo B pero en el escenario, hay una frontera entre ellos donde es muy difícil que la señal penetre. La topología en árbol ayuda a retransmitir el mensaje alrededor de la frontera. Muchas veces, nos referimos a la técnica de multisaltos (multihopping) porque un mensaje salta de un nodo a otro hasta llegar a su destinatario.

2.2.3.2.2.5 APLICACIONES

Se han comercializado varios productos, bajo el estándar Zigbee, para distintas aplicaciones ya especificadas para dicho estándar. Zigbee Alliance trata de mejorar sus componentes y actualizar las diferentes aplicaciones. Al día de hoy, se van comercializando varios productos. En la figura siguiente, vemos un resumen de las aplicaciones para Zigbee



Fig 25: Aplicaciones Zigbee

2.2.3.3 WWAN

2.2.3.3.1 INTRODUCCION

Las redes inalámbricas de área extensa (WWAN) tienen el máximo alcance de todas las redes inalámbricas. De este modo, los dispositivos móviles como los celulares se conectan a dicha red, de manera que puedan tener cobertura en cualquier lado del mundo. WWAN utiliza diferentes tecnologías que son las siguientes:

- GSM (Sistema Global para Comunicación Móvil)
- GPRS Servicio radio general de paquetes
- UMTS (Sistema Universal de Telecomunicación Móvil)

2.2.3.3.2 GPRS

2.2.3.3.2.1 ¿QUÉ ES GPRS?

El estándar GPRS (General Packet Radio Service) es una evolución del estándar GSM y es por eso que en algunos casos se denomina GSM++ (o GMS 2+). Dado que es un estándar de telefonía de segunda generación que permite una transición hacia la tercera generación (3G), el estándar GPRS por lo general se clasifica como 2.5G. [22][23]

Se trata de una técnica de conmutación de paquetes, desde terminales móviles, que es integrable con la estructura actual de la redes GSM. Esta tecnología permite la transferencia de datos del paquete con unos datos teóricos de alrededor de 171,2 Kbps (en la practica, hasta 114 Kbps) Gracias a su modo de transferencia en paquetes, las transmisiones de datos usan la red

cuando es necesario. En caso contrario, permite hacer menos cálculos y ahorro de costes. (se costeara por volumen de datos y no por duración de la conexión). La tecnología GPRS como bien lo indica su nombre es un servicio (Service) orientado a radio enlaces (Radio) que da mejor rendimiento a la conmutación de paquetes (Packet) en dichos radio enlaces.

Sus ventajas son múltiples, y se aplican en muchos casos a las transmisiones de datos que produzcan tráfico a “ráfagas”, es decir, discontinuo, como por ejemplo, Internet y servicios de mensajería. Puede utilizar a la vez diversos canales, y aprovechar los espacios disponibles para las transmisiones de diversos usuarios. Para ello, no será necesario utilizar un circuito dedicado para cada usuario conectado. De esta forma, se cambian los conceptos de pago: como hemos citado anteriormente, el tiempo de conexión desaparece, dejando lugar a la cantidad de información transmitida (coste por paquetes enviados y recibidos). El ancho de banda podrá ser entregado bajo demanda, en función de las necesidades de la comunicación. Respeto a los cambios que supone dicha técnica, las redes GSM deberán implementar una serie de nuevos equipos y cambios hardware y software, tanto en la parte radio como en la parte computacional.

Para el transporte de voz, el estándar GPRS emplea la arquitectura de red GSM y provee un acceso a la red de datos (especialmente Internet) por medio del protocolo IP o protocolo X25. Al utilizar una fracción de la infraestructura y arquitectura del sistema GSM, utilizara por ejemplo, las mismas bandas de frecuencia de dicha red y la misma estructura de la trama TDMA. En la siguiente figura, vemos un ejemplo d red GPRS

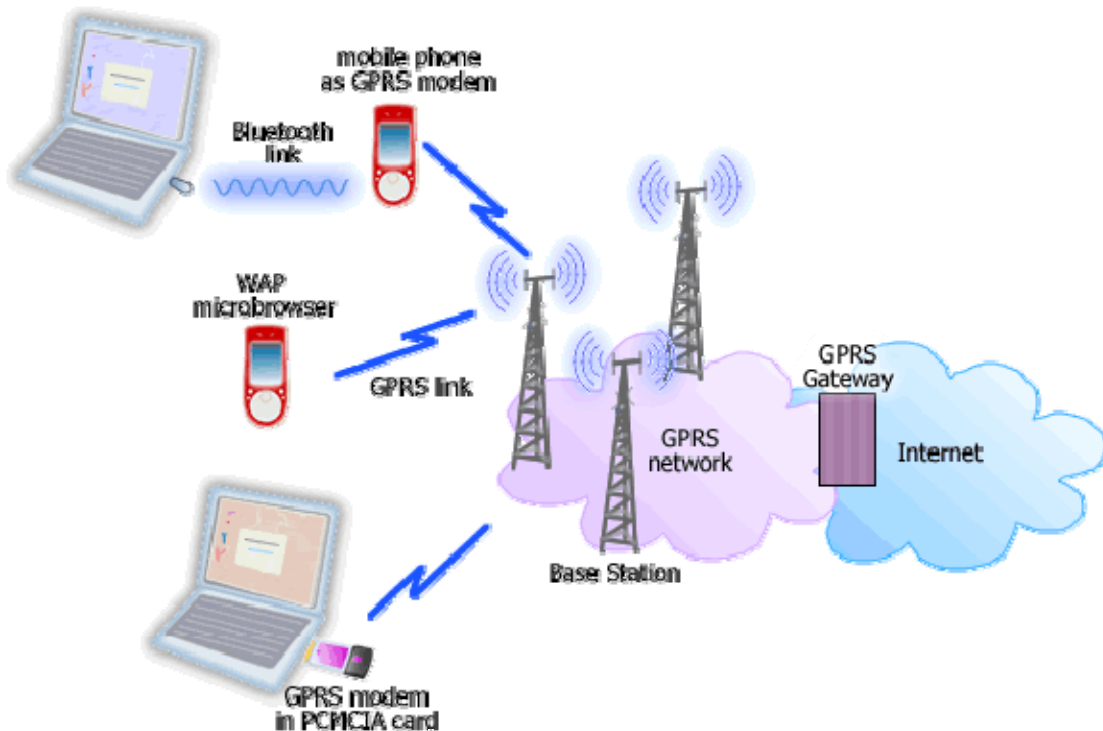


Fig 26: Red GPRS

2.2.3.3.2.2 ARQUITECTURA

La arquitectura general del sistema GPRS, coincide en muchos aspectos con la configuración de la arquitectura del sistema GSM. Para efectuar el encaminamiento de los paquetes de los paquetes de datos hacia y desde las estaciones móviles (MS), se han incorporando dos nodos denominados GSN (nodo de soporte de GPRS) a la estructura lógica de GSM:[23]

- Nodo de soporte de servidor de GPRS (Serving GPRS Support Node o SGSN):
Se trata de un elemento responsable de entregar los paquetes a las estaciones móviles (MS) dentro de su área de servicio. En el conjunto de las tareas desarrolladas por este, se encuentran funciones como la gestión de la movilidad de la estación móvil (MS), otras funciones relacionadas con la seguridad (cifrado e autenticación por ejemplo) y recopilación de información necesaria para efectuar el pago del servicio GPRS.
- Nodo de soporte pasarela GPRS (Gateway GPRS Support Node o GGSN):
Este tipo de nodo actúa como una pasarela hacia las redes de conmutación de paquetes (RCP) externas, que usualmente son redes IP o de tipo publicas de conmutación de paquetes con protocolo X25

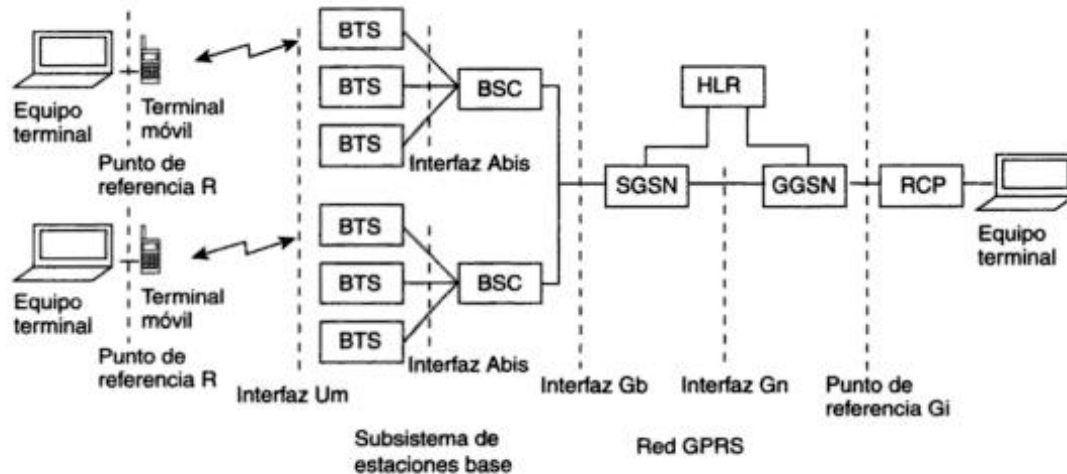
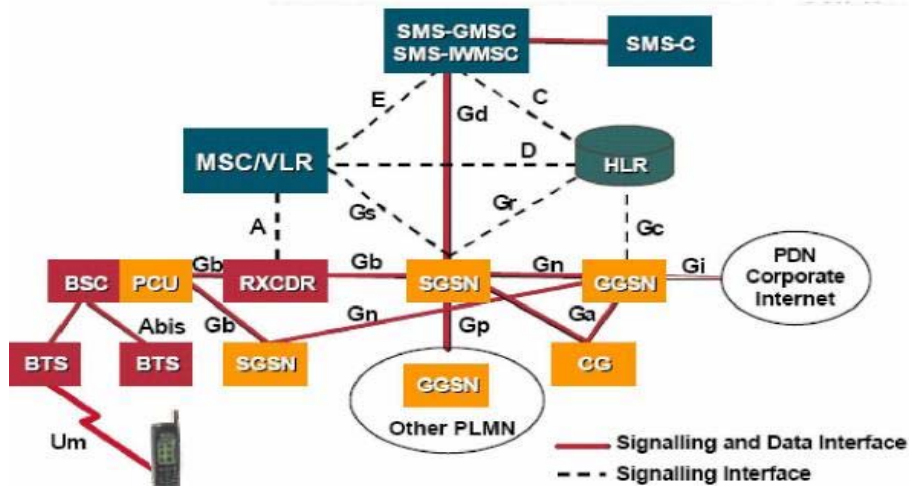
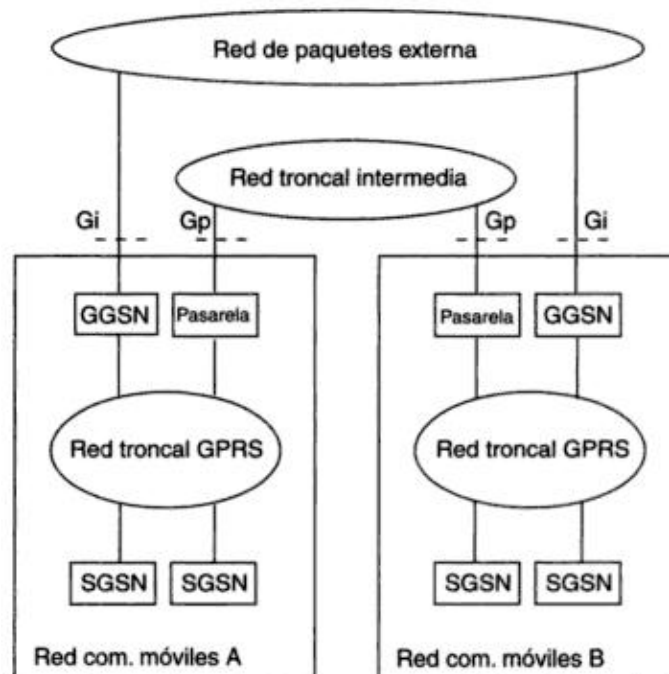


Fig 27: Arquitectura de GPRS con sus interfaces y elementos que la componen



a)



b)

Fig 28: a) Interfaces de una red GPRS[23] b) Red troncal GPRS

La comunicación entre ambos nodos tiene lugar sobre una red IP de carácter privado (la cual forma parte de la infraestructura de la red móvil) y que en los niveles inferiores, se puede hacer uso de distintos protocolos de red (generalmente, tecnología ATM). Sobre esta red, denominada red troncal GPRS, se establece un túnel entre los nodos GSN, mediante un protocolo especificado denominado protocolo de túnel GPRS (GPRS Tunneling Protocol o GTP). A través de ello, se transmiten los paquetes de usuario y los mensajes de señalización entre los nodos. Existe la posibilidad de que los distintos nodos de soporte citados anteriormente, pertenezcan a redes de comunicaciones móviles distintas. En ese caso, se precisa una interconexión entre las distintas

redes troncales GPRS. La red troncal de interconexión puede estar constituida por una línea dedicada o bien tratarse de una red de conmutación de paquetes. En cualquier caso, este tipo de conexión no exige medidas adicionales de seguridad, que son marcadas por los operadores de dichas redes.

En la figura anterior que muestra el esquema de la arquitectura de GPRS, explicaremos algunos elementos, en este caso, los interfaces que componen dicha red:

- Interfaz Gb: Conecta el SGSN con la BSS. Es la portadora de tráfico de GPRS y de señalización entre la parte radio de la red GSM (BSS) y la de GPRS. Esta basada en una conexión Frame Relay entre BSS y SGSN, mediante enlace directo o por red Frame Relay
- Punto de referencia Gi: Presente solamente en el GGSN. Es la interfaz mediante se accede a las redes de datos externas y en las especificaciones, se definen los protocolos (IPv4, IPV6 y X25)
- Interfaz Gn: Se encuentra tanto en GGSN como en el SGSN, de manera que permite comunicarse con los SGSNs y los GGSNs mediante una red troncal Intra-PLMN. Se emplea el protocolo GTP citado mas adelante, basado en IP, para llevar datos de señalización
- Interfaz Gp: Proporciona la misma funcionalidad que la interfaz Gn, pero proporciona también todas las funciones necesarias en la conexión Inter-PLMN como, seguridad, encaminamiento, etc.. También se emplea el protocolo GTP pero en este caso con un GGSN exterior. Por ese motivo la pila de protocolos es la misma que en la interfaz Gnn

Vamos a ver un ejemplo de un modo de operación del servicio GPRS. En este caso concreto, se supone que dos usuarios que están en un proceso de comunicación son móviles y cada uno pertenece a una red distinta. En ambos casos, los nodos de soporte que proporcionan servicio al usuario, se hallan conectados a la misma red troncal GPRS. La conexión entre redes tiene lugar a través de una red de paquetes externa. El esquema de esta conexión se refleja en la siguiente figura:

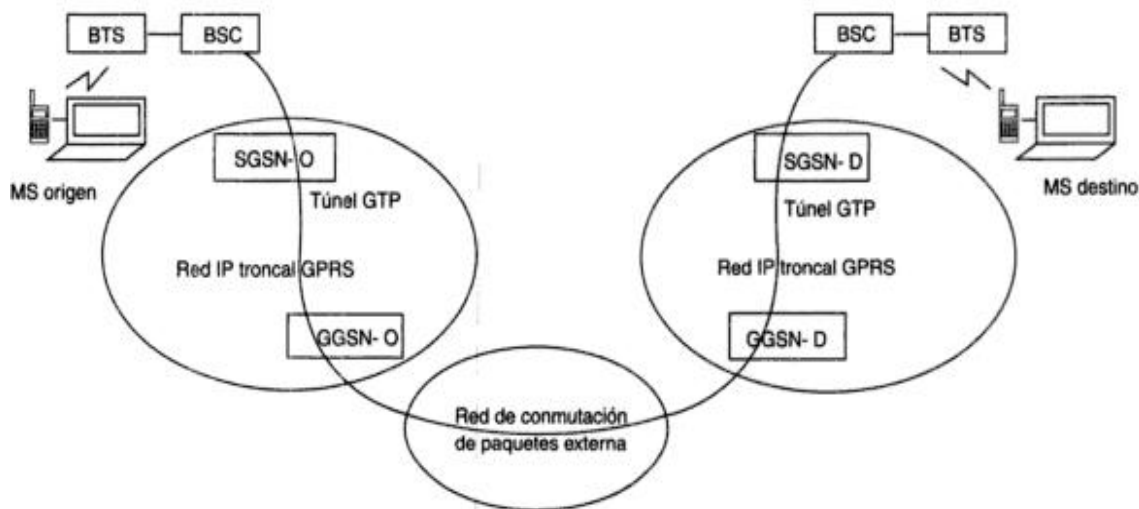


Fig 29: Encaminamiento de paquetes de datos entre dos usuarios

Las diferentes etapas en el que transcurre dicho proceso de operación son las siguientes:

- Para empezar, la estación móvil establece una relación con un nodo SGSN, en el cual se haya la estación móvil a la que esta conectada (por su área de servicio). El procedimiento que permite establecer dicha relación se denomina *attach*.
- Seguidamente, se establece una relación con un nodo GGSN que proporciona acceso hacia la red de paquetes externa a la cual la estación móvil se pretende conectar. Dicha relación se denomina "contexto PDP (Packet Data Protocol)", y el proceso que permite su creación se denomina "activación de contexto PDP". Como consecuencia de la activación del proceso de contexto, se establece un túnel GTP entre los nodos SGSN y GGSN.
- Los paquetes de datos son encaminados hacia el nodo SGSN dentro de su área de servicio, o bien el nodo servidor SGSN-O
- El nodo servidor origen SGSN-O encapsula los paquetes y los envía a través del túnel GTP (red troncal IP) hacia el nodo pasarela de origen (GGSN-O)
- El nodo pasarela de origen desencapsula los paquetes de datos y los encamina a través de la red de paquetes externa, basándose en la dirección de destino. El destinatario puede ser un sistema conectado a una red de paquetes externa u otra estación móvil GPRS. En nuestro caso, los paquetes se dirigen hacia la pasarela de destino (GGSN-D).

- La pasarela determina a que nodo esta dirigido el paquete recibido y se los envía a través de un segundo túnel GTP sobre la red IP interna.
- Finalmente, el nodo servidor de destino se ocupa de hacer llegar el paquete a la estación móvil destinataria del mismo.

2.2.3.3.2.3 PROTOCOLO GPRS

El protocolo GPRS es un protocolo de alto nivel, transparente para todas las entidades de red comprendidas entre terminal móvil y nodo SGSN en el cual el móvil este conectado. Soporta tanto el intercambio de información de control como de paquetes PDP-PDU (PACket Data Protocol, Protocol Data Unit) entre móvil y nodo que se encuentre conectado.

El formato de una trama GPRS consta de los siguientes parámetros:

- Identificador GPRS
- Identificador del protocolo PDU (identificador de PDP)
- Mensaje GPRS

El identificador del protocolo GPRS es un contenido de tipo numérico donde el objetivo de dicho identificador es de diferenciar las ráfagas que contiene los paquetes de la red GPRS, de las ráfagas de los paquetes de la red GSM.

El identificador del protocolo PDU, al igual que el identificador descrito anteriormente, es de tipo numérico, donde se distinguirá tres valores: uno para paquetes X25, uno para paquetes IP y otro para paquetes CLNP. De la misma manera, contiene sucesivamente otros datos de otros protocolos.

En cuanto al mensaje GPRS, puede contener datos o información de control. Los mensajes GPRS de control son definidos por un valor preestablecido del identificador de PDP.

2.2.3.3.2.4 CANALES FISICOS DE GSM PARA GPRS

Un canal dedicado al tráfico de paquetes de datos se denomina PDCH (Packet Data CHannel). Sabiendo que una célula que soporta GPRS puede tomar mas de un canal físico del conjunto de canales disponibles para tráfico (TCH), la adjudicación de los diferentes canales se elaboran de manera dinámica. Se tomo esta formula par evitar asignar recursos al servicio GPRS donde pueden existir alguno o pocos usuarios. De este modo, se puede emplear dichos canales (los no utilizados) para aumenta r la calidad de servicio GPRS. [23]

Otra característica de la interfaz radio GPRS, es que consiste en canales asimétricos e independientes en sentido ascendente y descendente (Up Load o UL y DownLoad o DL, respectivamente). De esta manera, en una ranura temporal de la trama TDMA, el canal ascendente puede transportar datos

desde una estación móvil (MS) mientras que el canal descendiente es asociado a otra estación móvil distinta. Además, una MS permite tener más de una ranura temporal dentro de la trama TDMA (más de un canal PDCH) para la transferencia de paquetes de datos, incrementando su capacidad.

2.2.3.3.2.5 TIPOS DE SERVICIOS

GPRS admite características nuevas que no están disponibles en el estándar GSM y que se pueden clasificar en los siguientes diferentes tipos de servicios:

- Servicio punto a punto (PTP): Capacidad de conectarse en modo cliente-servidor a un equipo en una red IP.
- Servicio de punto a multipunto (PTMP): Constituye la capacidad de enviar los paquetes a un grupo de destinatarios (multidifusión)
- Servicios de mensajes cortos (SMS): Forma tradicional de servicio de mensajería en los términos móviles.

A continuación, explicaremos en una líneas en que se constituye la red GPRS y como se forma, de tal modo que quede claro todos los conceptos sobre dicha red

2.2.3.3.2.6 CALIDAD DE SERVICIO

La red GPRS permite el concepto de calidad de servicio (Quality of Service o QoS), que representa la capacidad de adaptación al servicio de las necesidades de una aplicación.

QoS requiere distintos criterios que cumplir que son los siguientes:

- Prioridad
- Confiabilidad
- Demora
- Rendimiento

2.2.3.3.2.7 CODIFICACION

El estándar GPRS especifica cuatro esquemas de codificación, denominados CS-1, CS-2, CS-3 y CS-4, donde cada esquema define un nivel de protección contra interferencias para poder degradar la señal según la distancia entre las MS y las terminales móviles. Cuanto mayor sea la protección, menor será el rendimiento.

Esquema de codificación	Rendimiento	Protección
-------------------------	-------------	------------

CS-1	9,05 kbps	Normal
CS-2	13,4 kbps	Ligeramente menor
CS-3	15,6 kbps	Reducida
CS-4	21,4 kbps	Sin error de conexión

2.2.3.3.2.8 TERMINALES GPRS

GPRS puede combinar hasta 8 canales para transferir datos, de los cuales cada canal puede tener una velocidad de 8 a 12 kbps. Esta tecnología permite desdoblarse la transmisión de voz y datos en diferentes canales para su transmisión de forma paralela, permitiendo mantener conversaciones sin cortar la transmisión de datos.

El uso de GPRS en los terminales tales como MODEM inalámbrico, portátiles...tiene un aplicación inmediata y evidentes; podemos conectar entre ellos, con la ventaja de de ser inalámbricos.

Los terminales se pueden clasificar en cinco tipos, en función del uso que se vaya a dar al usuario:

- Teléfonos móviles
- Terminales tipo agenda electrónica, con funciones mixtas de voz y datos
- Terminales tipo PDA con gran capacidad grafica
- Computadoras que utilicen un móvil GPRS para su conexión inalámbrica
- Dispositivos con comunicación móvil y funciones especiales tales como sistemas de navegación o tarjetas de comunicación inalámbrica.

2.2.3.3.2.9 VENTAJAS/INCOVENIENTES

La conmutación de paquetes utilizado por GPRS presenta algunas ventajas e inconvenientes:

VENTAJAS

. *Alta eficiencia:* Aprovecha mejor el ancho de banda disponible, ya que no es necesario que un canal de comunicación sea utilizado exclusivamente para la transmisión de un punto a otro.

. *Cambio de velocidad:* Ya que es posible recibir datos a una velocidad y transmitir a otra (normalmente más baja).

. *Manejo de congestión:* Puede continuar aceptando datos aún cuando los recursos estén ocupados y es capaz de establecer prioridades.

DESVENTAJAS

. Colas de espera en cada nodo, lo que conlleva un cierto retardo que es mayor que en conmutación de circuitos.

. Posibilidad de congestión, ya que la red acepta paquetes más allá de su capacidad para despacharlos.

2.3 PROPAGACION DE ONDAS ELECTROMAGNETICAS

Dado que nuestro proyecto se basa en el diseño de una red inalámbrica en un entorno vehicular, debemos hacer un breve repaso teórico sobre las ondas electromagnéticas, como se propagan, que problemas se encuentran...

Por último y para complementar estos conceptos, se explicara que tipos de modelos se pueden utilizar para caracterizar la propagación de las ondas de radio

2.3.1 ONDAS ELECTROMAGNETICAS

En primer lugar, tenemos que responder a una pregunta:

- Que es una onda electromagnética?
- Como se transmite?
- Que efectos tiene dicha transmisión?
- Que problemas se encuentran?

Una onda electromagnética (EMW – *Electronic Magnetic Wave*) es la perturbación simultánea de campos eléctricos y magnéticos existentes en una misma región. Este parámetro fue descubierto por Maxwell, quien escribió ecuaciones sobre el campo electromagnético (hasta su descubrimiento, el magnetismo y la electricidad eran consideradas como un fenómeno donde se estudiaba cada campo por distintas partes).

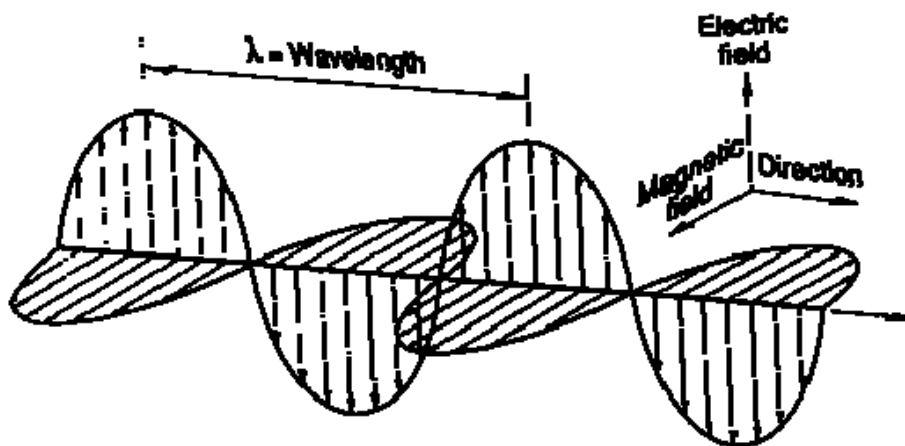


Fig 30: Onda electromagnética

Las ondas originadas por los campos eléctricos y magnéticos son de carácter transversal, encontrándose en fase, pero estando las vibraciones accionadas en planos perpendiculares entre sí. Son aquellas ondas que no necesitan un medio material para propagarse. Incluyen, entre otras, la luz visible y las ondas de radio, televisión y telefonía. Seguido de estas explicaciones, tendremos que aclarar algunos conceptos de ondas

2.3.2 POLARIZACION

Un aspecto bastante importante es la polarización de una onda electromagnética.

Dicha polarización se define como la dirección del campo eléctrico. Existen tres tipos de polarización: circular, elíptica y lineal (vertical y horizontal). Una onda electromagnética tiene una polarización si el campo eléctrico se mueve a lo largo de una línea recta en lugar de cualquier tipo de rotación.

La polarización inicial una onda de radio se determina por la antena lanzando ondas en el espacio. El medio ambiente y los incidentes, tales como reflexión de una superficie, puede causar un cambio en la polarización. Las antenas del receptor y los nodos transmisores, especialmente en aplicaciones de línea de visibilidad directa, deben tener la misma polarización para maximizar la transferencia de energía entre dos antenas.

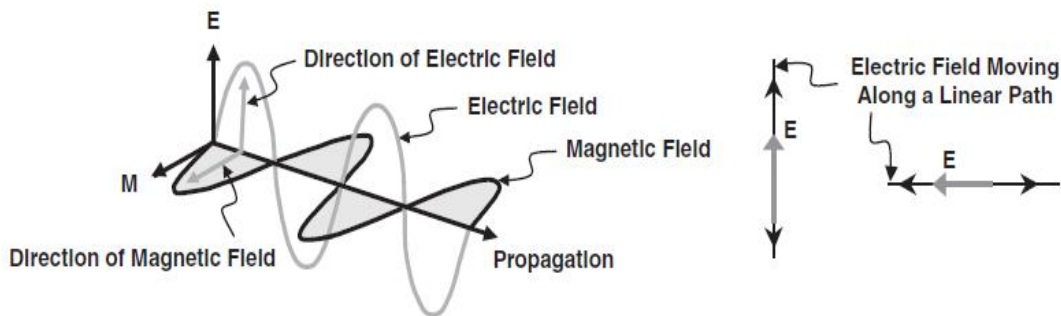


Fig 31: Onda electromagnética y su polarización lineal (vertical y horizontal) [1]

En el siguiente apartado, se expondrá las diferentes efectos de propagación de las ondas electromagnéticas.

2.3.3 ABSORCION DE LAS ONDAS

La absorción es la conversión de la energía electromagnética transmitida en otra forma.

Este fenómeno ocurre cuando las ondas de radio se topan con un obstáculo, una parte de su energía se absorbe y se convierte en otro tipo de energía, mientras que otra parte se atenúa y sigue propagándose. Puede ser posible que una parte se refleje.

La atenuación es descrita matemáticamente por la ley del cuadrado inverso que describe cómo se reduce la densidad de potencia con la distancia de 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 el caso de transmisiones inalámbricas, la atenuación es muy común.

La atenuación aumenta cuando sube la frecuencia o se aumenta la distancia. Asimismo, cuando la señal choca con un obstáculo, el valor de la atenuación depende fuertemente del tipo de material del obstáculo. Los

obstáculos metálicos tienden a reflejar una señal, mientras que el agua tiene a absorber la señal.

Object (at Room Temperature)	Signal Frequency	Signal Attenuation (dB)
Soft cloth partition wall (2 inches) [1]	914 MHz	1.5
Building floor [1]	914 MHz	17
Building floor [6]	1-2 GHz	23
Interior concrete wall (4 inches) [6]	1-2 GHz	6
Interior brick wall (5 inches) [6]	1-2 GHz	2.5
Plaster board [6]	1-2 GHz	1.5
Reinforced glass [6]	1-2 GHz	8

Fig 32: Tabla de atenuación de objetos [1]

2.3.4 REFLEXION DE LAS ONDAS

La reflexión se refiere al choque de una onda electromagnética con la frontera entre dos medios y parte o toda de la potencia de la onda no se propaga en el medio sino que es reflejada en dirección opuesta al segundo medio como se muestra en la siguiente figura:

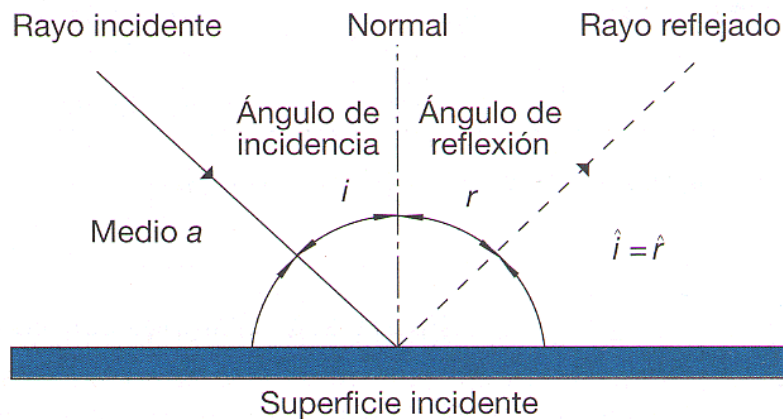


Fig 33: Reflexión

El frente de onda incidente choca con el segundo medio (de aire a agua, de aire a metal...) con un ángulo de incidencia i . Este frente de onda es reflejado en su totalidad con un cambio de dirección llamado r (los ángulos serán los mismos).

En nuestros escenarios, debido a que tiene bastantes objetos de distintos materiales (plástico, vidrio, metal...), las ondas de radio serán afectados por dichos elementos.

2.3.5 DIFRACCION DE ONDAS

La difracción es el fenómeno que permite que las ondas o luminosas se propaguen en torno a las esquinas. Se produce cuando la onda “choca” contra un obstáculo o penetra por un agujero. La mayor difracción se produce cuando el tamaño del agujero o del obstáculo son parecidos a la longitud de la onda incidente. Cuando ese frente de onda pasa cerca de un obstáculo o discontinuidad cuyas dimensiones sean de un tamaño comparable a una longitud de onda, no se puede usar el análisis geométrico. En estos casos, se debe usar el principio de Huygens.

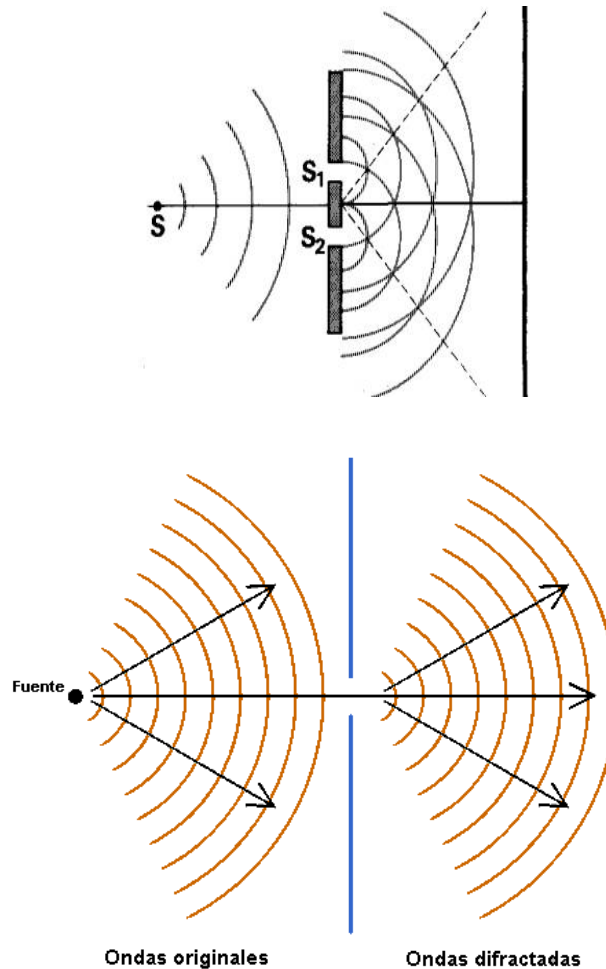


Fig 33 y 34: Fenómeno de difracción (principio de Huygens)

En consecuencia, el frente de onda se reparte hacia fuera, o se dispersa a lo que se llamaría difracción. Este fenómeno se puede observar cuando abrimos una puerta de un cuarto oscuro. Los rayos de luz se difractan en torno a la orilla de la puerta, iluminan lo que hay detrás de ella.

2.3.6 REFRACCIÓN DE LAS ONDAS

La refracción es el fenómeno que se refiere al cambio de dirección de un rayo al pasar en dirección oblicua de un medio a otro con distinta velocidad de propagación. La velocidad a la que se propaga una onda electromagnética es

inversamente proporcional a la densidad del medio en el que lo hace. Es el redireccionamiento de un frente de onda que pasa a través de un medio que tiene un índice de refracción distinto.

Para dos medios de diferentes índices de refracción, el ángulo de refracción es aproximado por la ley de Snell

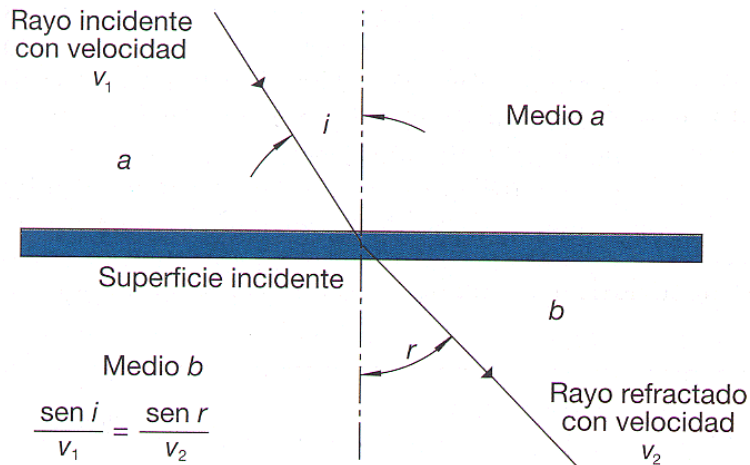
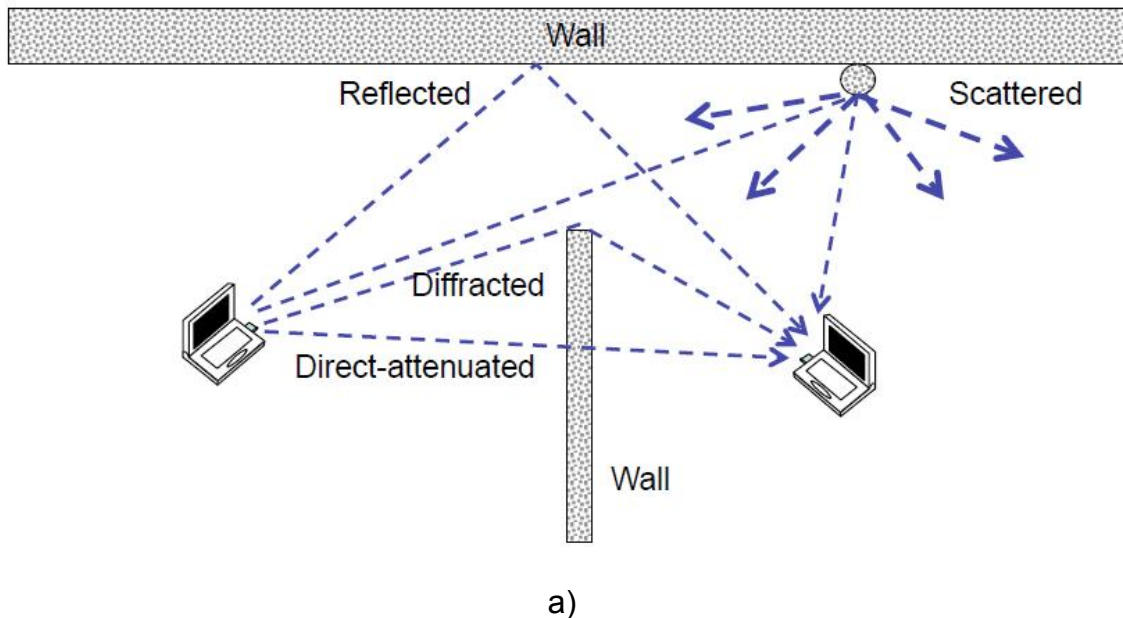


Fig 35: Fenómeno de refracción (ley de Snell)

En la siguiente, vemos un resumen de todos los efectos de propagación de una onda de radio en un entorno interior y exterior



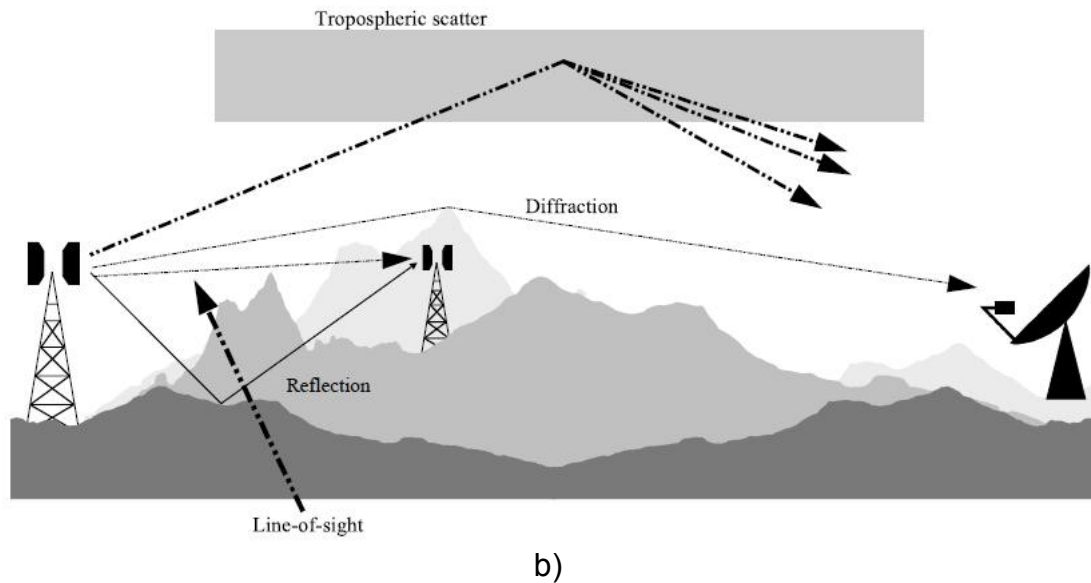


Fig 36: Tipos de propagación en entorno a) interior y b) exterior [14][29]

2.3.7 PROPAGACION MULTITRAYECTO

En muchas ocasiones, la señal transmitida no llega directamente al receptor sino que llega por diferentes caminos o rutas debido a la reflexión, difracción y scattering.

La dispersión o *scattering* ocurre cuando una onda electromagnética es incidente sobre una superficie rugosa. La rugosidad de la superficie depende de la longitud de la señal (llamada λ).

En general, si la variación en una superficie es más grande que $\lambda/8$, la superficie es considerada rugosa y dispersará la señal en múltiples direcciones.

Volviendo a la explicación general, explicamos el fenómeno de multitrayecto.

Considerando dos caminos, el retardo de propagación es el tiempo que tiene que coger desde la señal hasta llegar al receptor. Si consideramos las distancias d_1 y d_2 (en metros) que no son iguales, la señal recibida desde los caminos 1 y 2 tienen distintos retardos. El retraso de propagación es igual a d/C , siendo d la distancia entre el emisor y el receptor y c la velocidad de la luz ($3e+08$ m/s). Por ejemplo, si d_1 y d_2 son iguales a 10 m y 15 m respectivamente, los retardos de las dos señales recibidas de la ruta 1 y 2 serán iguales a 33 ns y 50 ns respectivamente.

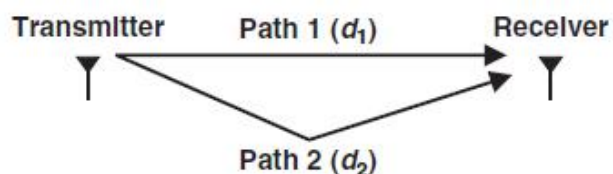


Fig 37: Representación del multitrayecto con dos rayos [1]

La diferencia temporal en la propagación (llamada *retraso de propagación*) entre dos señales que toman diferentes rutas puede interferir en la recepción, ya que los flujos de datos que se reciben se superponen entre sí.

Esta interferencia se incrementa a medida que aumenta la velocidad de transmisión, ya que los intervalos de recepción de los flujos de datos se hacen cada vez más cortos. Por lo tanto, la multitrayecto limita la velocidad de transmisión en redes inalámbricas.

A continuación, vemos una representación equivalente al multitrayecto en dos escenarios: escenario *indoor* (interior) y escenario *outdoor* (exterior).

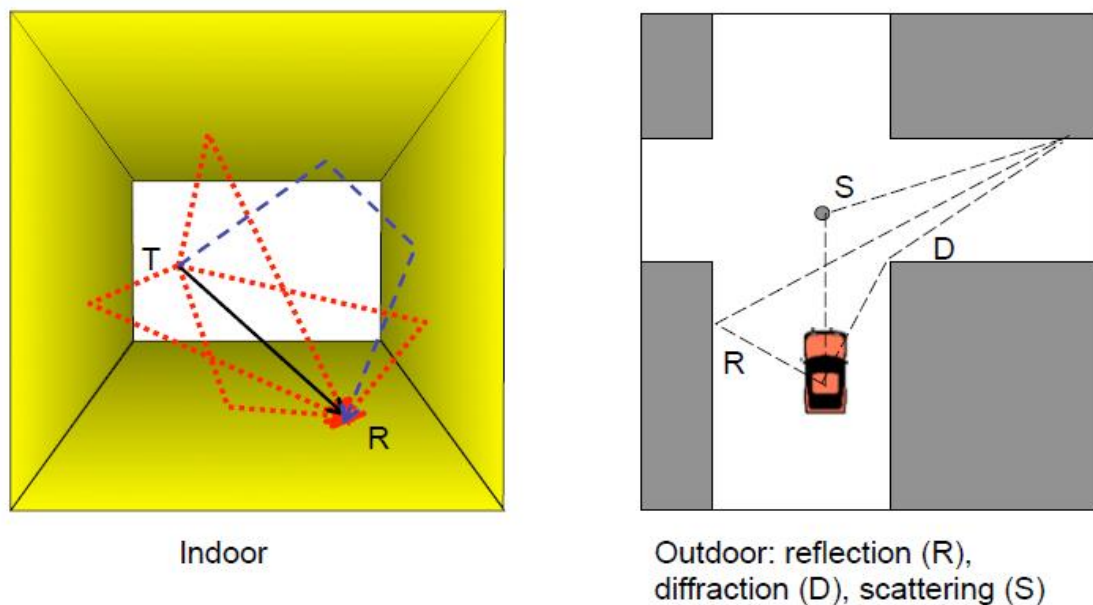


Fig 38: Multitrayecto *indoor* (interior) y *outdoor* (exterior) [29]

2.3.8 RADIO PROPAGACIÓN

Como el objetivo de este proyecto es de diseñar un red de sensores dentro de un vehiculo, trataremos de dar a conocer unos conceptos de propagación de ondas, como las perdidas que con llevan, los modelos de perdidas que se pueden aplicar, efectos de la radio propagación, etc....

2.3.8.1 INTRODUCCIÓN

La radio propagación se define, como dice su propio termino, es la propagación de las ondas de radio.

La propagación de ondas de radio, o radio propagación, es en particular una forma de transmisión de las ondas electromagnéticas. Su valor depende de los parámetros del campo y de las características del medio.

Dicha propagación se puede estudiar a partir de las ecuaciones de Maxwell, analizando las soluciones compatibles con las condiciones de contorno que impongan el medio. Dicho estudio puede resultar bastante complejo, en cuyo caso las predicciones de perdidas de propagación serán sujetas a modelos basados en la óptica geométrica. Si fallan dichos modelos, se acudiría a modelos empíricos

$$\begin{aligned}\vec{\nabla} \cdot \vec{D} &= \rho , \\ \vec{\nabla} \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} , \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{B} &= 0 , \\ \vec{\nabla} \times \vec{H} &= \vec{J} + \frac{\partial D}{\partial t} .\end{aligned}$$

Fig 39: Ecuaciones de Maxwell [2]

Sin embargo, las características de la propagación de las ondas dependerán de las situaciones del trayecto de la propagación respecto a obstáculos (suelos, edificios,...), de propiedades físicas (humedad) y de la frecuencia y dolarización de la onda.

2.3.8.2 MODELOS DE PROPAGACION

Un modelo es una representación simplificada de la realidad, por medio de un conjunto de restricciones e hipótesis. También se puede definir como una explicación de determinados fenómenos naturales representada de una forma determinada.

En las siguientes líneas, se expondrá una visión general de las distintas formas de modelar los procesos que ocurren en la propagación de señales de radiofrecuencia.

Los modelos de propagación se han enfocado en predecir la potencia promedio de la señal recibida, así como la variación de la potencia en la proximidad espacial. [6]

Existen diferentes tipos de modelos, según la precisión, que son los siguientes:

- Modelos matemáticos
- Modelos empíricos/estadísticos
- Modelos teóricos
- Modelos deterministas
- Modelos estocásticos
- Modelos de caja negra

> Modelos matemáticos

Son procedimientos matemáticos que describen el comportamiento del fenómeno modelado. Dependiendo de la complejidad de las fórmulas matemáticas aplicadas y del número de parámetros de las que dependan, pueden llegar a necesitar gran cantidad de potencia de computación para generar los resultados.

> Modelos empíricos o estadísticos

Se basan en la extrapolación estadística de resultados a partir de medidas del fenómeno realizadas sobre el terreno.

La principal ventaja de este tipo de modelos es que se tienen en cuenta de forma implícita las influencias propias del entorno en su conjunto, sin ser reconocidas cada una de ellas de manera aislada.

Por el contrario, su precisión depende no sólo de la precisión de las medidas, si no de la similitud entre el entorno donde fueron llevadas a cabo las medidas y el entorno a analizar

> Modelos teóricos

Se basan en los principios fundamentales del medio que se intenta modelar (por ejemplo los principios de la física, si se modelan fenómenos físicos). Pueden ser aplicados en diferentes entornos sin que se vea afectada su precisión.

En la práctica la implementación de modelos teóricos requiere enormes bases de datos de características relativas al entorno, las cuales en la práctica son imposibles de obtener en muchos casos, o muy difíciles de obtener.

Los algoritmos usados por los modelos teóricos son generalmente muy complejos y computacionalmente poco eficientes. Por esta razón su implementación se restringe a pequeñas áreas. Por el contrario, si su implementación es correcta, proporcionan gran precisión en su predicción, en comparación con los modelos empíricos.

> Modelos deterministas

En este tipo de modelos los resultados de la simulación no tienen ninguna distribución de probabilidad, y son valores que sólo dependen de las condiciones de simulación (entradas). Siempre con la misma entrada van a producir la misma salida.

> Modelos estocásticos

Son modelos en los que los resultados del modelo tienen una distribución de probabilidad. La misma entrada no tiene por qué producir los mismos resultados, en distintas simulaciones del modelo.

> Modelos de caja negra

Son modelos en los que sólo se reproduce la entrada y salida del fenómeno, sin preocuparse de lo que pase en el interior.

2.3.8.3 VALIDEZ DEL MODELO

Para definir si un modelo es correcto, se pueden utilizar varios criterios:

- El modelo puede explicar las observaciones realizadas del fenómeno
- Se utiliza el modelo para predecir el comportamiento de fenómeno modelado.
- El modelo es consistente con otras ideas acerca del funcionamiento del fenómeno modelado

No obstante, el decir que un modelo que es “correcto” no es adecuado, sino más bien “aceptable”, ya que debe responder a los tres criterios citados anteriormente. Por un lado, los modelos no siempre son fijos, es decir, no siempre se usan los mismos modelos sino que se utilizan varios para mejorar diversas observaciones del fenómeno, y tampoco se utiliza el mismo modelo (modelo fijo) sino que puede cambiar según la situación.

2.3.8.3.1 MODELOS DE PROPAGACION EN REDES INALAMBRICAS

Generalmente, se clasifican los modelos de propagación en dos tipos: los modelos *outdoor* (exteriores) y los modelos *indoor* (interiores). En nuestro caso concreto, para el estudio del diseño de una red inalámbrica en una villavesa, se utilizara el modelo indoor, ya que se trate de un “recinto” cerrado.

2.3.8.3.1.1 MODELOS DE PROPAGACION INDOOR (INTERIOR)

En entornos cerrados, los niveles de señal van cambiando en mayor medida que en entornos abiertos. Esto se debe a que el campo eléctrico se forma por un número mayor de componentes indirectos respecto al entorno abierto.

2.3.8.3.1.1.1 MODELO DE PROPAGACION DETERMINISTA

Se basan en principios fundamentales de la física por lo que respecta la propagación de ondas de radio y los fenómenos que le rodean. Los algoritmos usados por dichos modelos son bastante complejos y resultan poco eficientes computacionalmente, por lo que a la hora de utilizarlos en la práctica, resultaría inviable dado que requiere una base de datos bastante grande (los algoritmos son aplicados a todos los puntos del espacio, teniendo en cuenta las condiciones de contorno de cada punto).

En la actualidad, existen muchos modelos deterministas como son:

- Modelo FDTD (Finite Difference Time Domain)
- Modelo basado en el método de los momentos (MoM)
- Modelo de trazado de rayos

También existen otros que son tanto deterministas como empíricos, pero no entraremos en ellos, de manera que no resulte pesada la lectura del proyecto. Explicaremos a continuación uno de los modelos citados anteriormente, el trazado de rayos

2.3.8.3.1.1.2 MODELO BASADO EN EL TRAZADO DE RAYOS

Existen numerosas técnicas de modelado deterministas. Una de las más utilizadas en entornos interiores es la basada en Óptica Geométrica (*Geometrical Optics*). Las técnicas basadas en trazado de rayos se fundamentan en la aplicación de esta Óptica Geométrica.

Este método es uno de los más antiguos que se utilizan para alta frecuencia, ya que se desarrolló originalmente para analizar la propagación de la luz. En esta teoría se considera el transporte de energía en rayos, sin precisar si la energía se propaga en forma de ondas o de partículas.

La teoría de la Óptica Geométrica se basa en los siguientes conceptos:

- Las líneas de flujo de energía o rayos son rectas en un medio homogéneo. En medios heterogéneos, siguen el camino de longitud mínima (principio de Fermat).
- Los rayos son reflejados por la superficie conductora según la ley de Snell. Por tanto, a un punto determinado llegarán únicamente los rayos provenientes de unos puntos de reflexión concretos, y no del resto de la superficie de los objetos.
- La variación de la amplitud del campo a lo largo del recorrido de los rayos está determinada por la ley de conservación de la energía.

En estos algoritmos, la señal se propaga al igual que si fuesen rayos ópticos (aproximación del frente de onda), lo que hace que el análisis sea más sencillo. Los fenómenos que se contemplan en la propagación son principalmente la reflexión, refracción y difracción. Aunque también existen otros fenómenos como el *Scattering* (Dispersión) que algunos algoritmos también contemplan.

Uno de los principales modos de trazar los rayos es el método de lanzado de rayos. Este es el modo que se usa en el programa con el que se va a trabajar en este estudio. Esta técnica, también conocida como *Ray Launching*, consiste en lanzar un número finito de rayos desde el transmisor. La distribución de los rayos en el ángulo sólido deseado debe ser uniforme, cubriéndolo en su totalidad.

Para cada rayo se consideran múltiples reflexiones y refracciones hasta alcanzar el receptor. El número de estas reflexiones y refracciones dependerá de la naturaleza de los obstáculos que encuentre en el camino y del nivel de la señal transmitida. En la siguiente figura, se muestra un esquema de esta técnica.

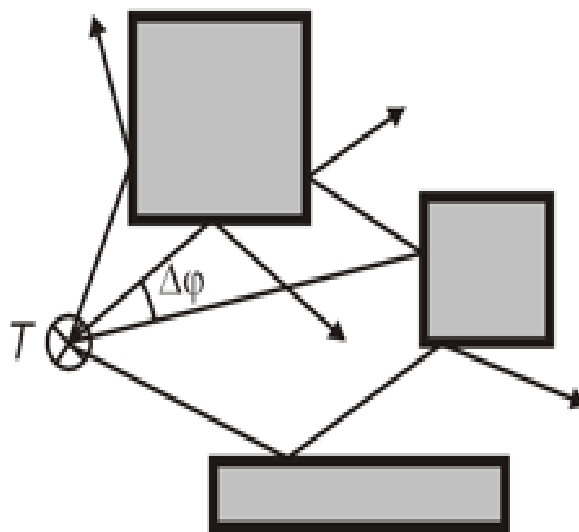


Fig 40: Método de *Ray Launching*

Las soluciones que se obtienen con los modelos basados en Óptica Geométrica son relativamente simples, aunque la calidad de estos resultados depende del tamaño de los objetos. Si son grandes, los resultados serán mejores.

2.3.8.3.1.1.3. MODELO EMPIRICO/ESTADISTICO

El campo de la propagación indoor es bastante nuevo y las primeras investigaciones datan de los años 80. Debido a la llegada de nuevas redes

(WLAN), es necesario de disponer de modelos indoor de predicción de cobertura.

Estos modelos se basan en la extrapolación estadística de resultados a partir de medidas realizadas sobre el terreno. Existen dos tipos de modelos empíricos: banda estrecha (predicción de perdidas de propagación) y de banda ancha (predicción de los perfiles de retardo de potencia en función del delay spread promediado de distintas mediciones en entornos similares).

Existen diferentes tipos de modelos, según la precisión, que son los siguientes:

- Propagación en el espacio libre
- Dual Slope Model
- Linear Path Attenuation Model

2.3.8.3.1.1.3.1 PROPAGACION EN EL ESPACIO LIBRE

Los cálculos de Propagación en Espacio Libre se utiliza para predecir la potencia de la señal cuando entre el transmisor y el receptor existe una clara línea de vista (LOS), o lo que es un balance de potencias de antenas

Son las pérdidas producidas sólo en el aire en condiciones de línea de vista y sin problemas producidos por el ambiente (multitrayectoria). Las pérdidas de espacio libres, serían como las pérdidas en veces que existirían entre dos antenas enfrentadas sin obstáculo alguno.

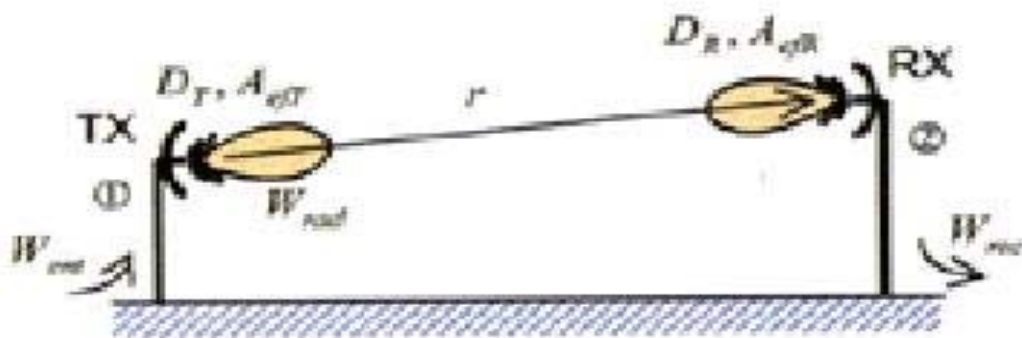


Fig 41: Balance de potencia entre dos antenas

Partiendo de las ecuaciones de Friis, llegamos a la siguiente expresión:

$$L_{prop} \text{ (dB)} = 32,45 + 20 \log f \text{ (Mhz)} + 20 \log d \text{ (km)}$$

Donde:

- f es la frecuencia en Mhz
- d es la distancia entre las dos antenas (Km)

El balance de enlace de antenas es la relación que expresa la potencia en el receptor en función de la potencia en el transmisor, con las pérdidas y ganancias que aparecen en el trayecto.

La ecuación del balance de potencias de antenas sería la siguiente:

$$Pr = Pt + Gtx + Grx - Lprop$$

Donde:

- Pr es la potencia recibida (dBm)
- Pt es la potencia transmitida (dBm)
- Gtx, Grx son las ganancias tanto del transmisor como del receptor (dB)
- Lprop es la pérdida por propagación en el espacio libre.

2.3.8.3.1.1.3.2 MODELO DE ATENUACION DE RUTA LINEAL (LINEAR PATH ATTENUATION MODEL)

Andelman expuso este modelo cuando tanto el transmisor como el receptor se encuentran en la misma planta.

Se obtiene del modelo de propagación en espacio libre con un factor lineal medido de forma experimental. Su fórmula es la siguiente:

$$PL(d) = PL(fs) + x d$$

Donde:

- x es un coeficiente de atenuación lineal
- d es la distancia entre transmisor y receptor

En el caso de un escenario de oficinas, el coeficiente de atenuación valdría 0.47dB/m. Este modelo toma solo en consideración la pérdida en espacio libre. También es específico de un escenario único, ya que el valor de x varía de un entorno a otro y debe de ser medido con mucha precisión para poder demostrar los beneficios que puede aportar dicho modelo.

2.3.8.3.1.1.3.3 DUAL SLOPE MODEL

Este modelo fue desarrollado por Beber Feuerstein, debido a que observaron la pérdida de propagación a distintas distancias.

El Dual Slope Model trabaja con dos modelos path loss, tanto para distancias largas como cortas. El primero tiene un rango corto y tiene su propio índice de decaimiento, mientras que el segundo depende del primero.

Las fórmulas serán las siguientes:

$$PL1(d) = 10 \times n1 \times \log(4 \pi d/\lambda) - a0$$

$$PL2(d) = PL1(dbr) + 10 n2 \log(d/dbr)$$

Donde:

- Dbr es la distancia de ruptura
- λ es la longitud de onda
- N1 es el exponente de path loss antes de la distancia de ruptura

- N_2 es el exponente de path loss después de la distancia de ruptura
- A_0 es la diferencia entre los dos modelos a distancia de 1 metro (varia entre 0 y 5dB)

En las regiones cercanas, n_1 suele establecerse a 2, y para regiones lejanas, n_2 suele establecerse con un valor o superior a 6. Este modelo es mas específico para un escenario concreto al poder introducir los valores n_1 y n_2 .

Existen otros modelos pero debido a no cargar la lectura, hemos preferido enunciar y exponer los tres modelos citados anteriormente

3. SIMULACIONES DE CANAL INALAMBRICO EN TRANSPORTE URBANO

3.1 INTRODUCCION

Uno de los temas actuales en cuestión de comunicaciones inalámbricas, es la importante influencia del desarrollo de sistemas inalámbricas dentro de un vehículo. La tecnología está creciendo, de la misma manera que aumenta las nuevas formas de comunicación vehiculares. Los vehiculares representan un gran avance, y por eso, tiene que ser tratado en este proyecto.

Las simulaciones que se presentarán a continuación, representan el análisis de topología de esquema radioeléctrico dentro de un vehículo, especialmente, un transporte público.

3.2 HERRAMIENTAS UTILIZADAS

Para la realización de este proyecto se ha utilizado un ordenador portátil *Toshiba Satellite L Series L40* con un sistema operativo Windows XP.

El software utilizado para simular ha sido Matlab R2009b 64 Bits de MathWorks.; para el análisis y obtención de los datos y gráficas se ha utilizado SigmaPlot 12; y para la realización de la memoria se ha utilizado el editor de textos Microsoft Office® 2007.

HARDWARE

El hardware principal utilizado para las simulaciones consta de una computadora Lenovo ThinkStation D20 con las siguientes características.

- Procesador Intel® Xeon® x5650 de doble núcleo (2,66 GHz, Turbo Boost, caché de nivel 2 (L2) de 12 MB)
- Memoria SDRAM DDR2 de 64 GB
- Tarjeta gráfica nVidia Quadro 600 GS de 128 MB
- Disco duro de 1 TB a 7200 rpm



Figura 41: Ordenador Lenovo ThinkStation D20

El otro Hardware utilizado para simulaciones secundarias, ha sido un ordenador portátil *Toshiba Satellite L Series*. Debido a que dicha computadora no tiene un núcleo bastante potente, ni una memoria bastante grande como para trabajar en las simulaciones del trabajo, se le adjudicó tareas secundarias como la elaboración de la memoria, la creación de gráficas, ...

SOFTWARE

Todo el Software ha sido utilizado sobre un sistema operativo Windows XP

MATLAB

MATLAB (MATrix LABoratory) es un entorno de desarrollo integrado de computación numérica que utiliza el lenguaje de programación M desarrollado en 1984 por la empresa Math-Works.

La elección de usar Matlab para implementar el algoritmo en el lenguaje de programación M ha sido promovida por el hecho de que éste permite realizar operaciones matemáticas numéricas de un modo muy sencillo, gracias a la simplicidad de su sintaxis. Además, Matlab ofrece una gran facilidad a la hora de mostrar los resultados gracias a sus potentes herramientas gráficas. Las características más importantes de Matlab son:

- Lenguaje de programación de alto nivel.
- Entorno de desarrollo para la gestión de código, archivos y datos.
- Funciones matemáticas para el álgebra lineal, estadística, análisis de Fourier, filtrado, optimización y integración numérica.
- Funciones para la visualización de datos en gráficas en 2 y 3 dimensiones.
- Herramientas para la creación de interfaces gráficas de usuario personalizadas.
- Funciones para integrar los algoritmos basados en MATLAB con aplicaciones externas, e idiomas, tales como C, C++, Fortran, Java, COM y Microsoft Excel.

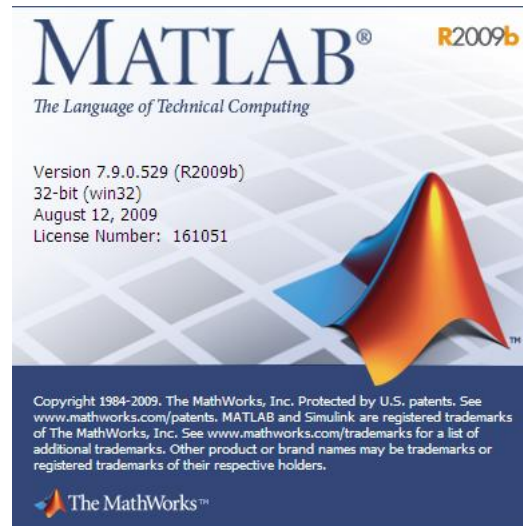


Fig 42: Programa de lenguaje de alto nivel MATLAB

SIGMAPLOT

SigmaPlot es un programa de graficación, el cual tiene guías de análisis estadístico con más de 50 métodos estadísticos y 100 tipos de gráficos. Es un programa creado por la empresa SYSTAT® y ha sido galardonado varias veces.

La elección de usar SigmaPlot para representar la mayor parte de los datos obtenidos de las simulaciones ha sido promovida por el hecho de que éste permite la representación de un modo muy sencillo, gracias a su simplicidad, y la gran capacidad de personalización de estos.

- Dispone de más de 80 tipos de gráficos de 2-D y 3-D.
- Personalización de cada detalle se los gráficos.
- Dibuja rápidamente los datos desde plantillas gráficas.
- Puede compartir gráficos de alta calidad en la Web.
- Combina las capacidades estadísticas de SPSS con SigmaPlot.
- Integración total con Microsoft Office.
- Puede dibujar cualquier fórmula matemática.



Fig 43: Programa SigmaPlot 11.0

SOFTWARE DE TRAZADO DE RAYOS

Para elaborar los mapas de potencia de los diferentes escenarios que se van a presentar a continuación, se ha utilizado un programa de trazado de rayos en tres dimensiones, que ha sido diseñado por un equipo de trabajo de la Universidad Pública de Navarra. Este software ha sido programado íntegramente con el lenguaje de programación Matlab (que veremos algunas explicaciones mas adelante) con el fin de poder ser utilizado como una herramienta practica y útil para el calculo de la radio propagación en entornos interiores específicamente.

El método de trazado de rayos en 3D utilizado para este proyecto se basa en el algoritmo Ray-Launching (comentado anteriormente), que consiste en el lanzamiento de rayos desde el transmisor con un cierto ángulo, que va aumentando de manera discreta. Cada rayo es calculado y computado de manera individual y el campo eléctrico de cada píxel es la suma de todas las contribuciones de los rayos que atraviesan ese píxel.

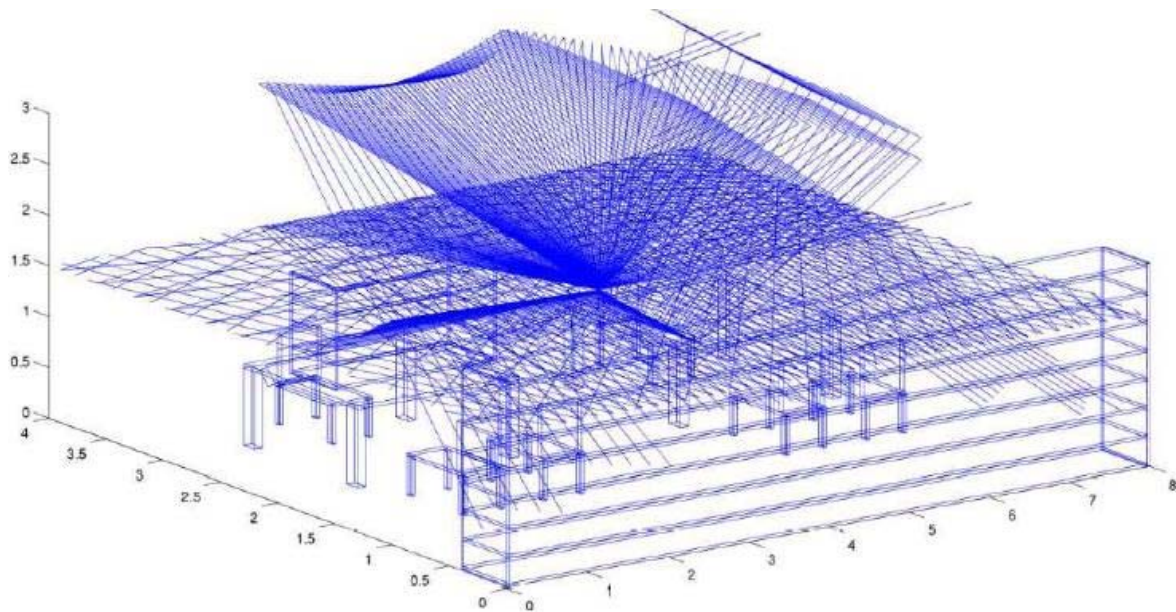


Fig 44: Trazado de rayos en una sala cualquiera

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 los interiores. El algoritmo es recursivo con cada rayo, por lo que el tiempo de computación depende en gran medida tanto en el incremento del ángulo de salida como los otros fenómenos permitidos (reflexión y refracción). En la mayoría de los casos, dos o tres proporcionan el 95% de la energía pero en este caso se ha utilizado hasta un máximo de seis reflexiones y refracciones por rayo para mejorar la precisión. Dicho procedimiento aumenta de manera creciente, el tiempo de cálculo, sin embargo, el coste computacional no ha sido elevado ya que los escenarios de simulación no son muy grandes.

A la hora de crear el escenario para este trabajo, se puede construir cualquier tipo de objeto que pueda ser simplificado en hexaedros. Todos los objetos, en general, son definidos por su material de construcción, su constante dieléctrica y su tangente de pérdidas. Además de estos parámetros, se pueden incluir también antenas emisoras y receptoras definida mediante unos parámetros básicos (potencia salida, frecuencia, polarización,...).

Los resultados que se pueden extraer de este programa son de gran interés en la caracterización radio. Se puede calcular la potencia recibida en cada punto del espacio pudiendo crearse así mapas de cobertura tanto horizontales (altura fija) como verticales (distancia longitudinal fija). Se pueden crear mapas de interferencia cuando varias antenas emiten a la vez y gracias al cálculo del tiempo de propagación de cada rayo se pueden obtener perfiles de retardo-potencia para cada punto así como mapas de dispersión.

A la hora de trabajar con dicho programa, ha sido su comprensión del código, ya que al principio no se conocía muchos parámetros en el sentido de

la radio propagación; por eso, necesitábamos aclarar al máximo detalle dicho código para permitirnos programar los escenarios correspondientes así como los parámetros que tendríamos que extraer de dicho código.

Según iba avanzando el proyecto, se encontró algunos errores de código que se corrigieron. Además, se implementa otros códigos, que resultan bastante interesantes, a la hora de extraer algún parámetro (se vera en detalle en los anexos, al final de esta memoria).

Las principales limitaciones de este programa son que no se han implementado todavía fenómenos importantes en la propagación *indoor* como son difracción y el scattering y que solo admite la construcción de formas a partir de hexaedros.

3.3 PARAMETROS

Antes de centrarnos en las medidas y resultados, tendremos que aclarar algunos parámetros importantes a la hora de colocar una red inalámbrica de sensores:

- Ganancia

La ganancia es una magnitud que relaciona la salida y la entrada. En el caso de antenas, se refiere a la aportación de dBs que se desea añadir a una antena en referencia a una isotropica (omnidireccional)

- Sensibilidad del receptor:

En el estándar IEE 802.15.4, la sensibilidad del receptor es definida como la mínima potencia de señal recibida. Dicho estándar requiere solo unos -85 dBm de sensibilidad para operaciones en la banda de 2.4 GHz. En la banda de 868/919 Mhz, si utilizamos la modulación BPSK, la sensibilidad requerida es de unos -92 dBm. Existen otros modos de operaciones en la dicha banda que utilizan las modulaciones ASK y QPSK. En este caso, para ambas modulaciones la sensibilidad requerida será de unos -85 dBm.

Los transceptores comerciales son capaces de llegar a unos niveles de sensibilidad entre -95 y -100 dBm.

- Relación Señal Ruido

En un transmisor de información, cuando el receptor recibe la señal, utiliza una combinación de filtros analógicos y digitales para remover términos espectrales fuera de banda de frecuencia de interés. El ruido es modelado como una señal que posee una densidad de potencia espectral muy ancha. Cuando la señal es filtrada, el único ruido que puede plantear problemas es el ruido con la banda de frecuencia de interés. La relación entre la potencia total de la señal y la potencia total de ruido con la banda de frecuencia de interés se denomina la relación señal ruido (SNR). Es un indicador de la calidad de la señal: incrementando la SNR podemos mejorar la tasa de error de paquete (PER) si el receptor no sufre daños por el efecto multicamino.

IEE 802.15.4 utiliza métodos de ensanchamiento para mejorar el nivel de sensibilidad, aumentando la resistencia de bloqueo, y reduciendo el efecto del multitrayecto. El método de ensanchamiento requerido por el estándar IEE 802.15.4 para la banda de frecuencia de 2.4 Ghz se llama espectro ensanchado de secuencia directa (DSSS), que hemos comentado anteriormente.

Como resultado de un desanchamiento (el espectro de la señal es ensanchado y mas tarde, vuelva a su forma original), la energía de la señal se concentra cerca del ancho de banda original de 250 KHz, pero dicho método no podrá afectar al nivel de la señal en la banda de la

frecuencia de interés. Desde que la energía de la señal es incrementada en la banda deseada sin el nivel de ruido, el SNR efectivo es aumentado por el ensanchamiento de la señal. Dicha mejora en la relación señal a ruido (SNR) se refiere a un proceso de ganancia, que es igual a la relación entre la tasa de bit de la señal antes de ensanchar y la tasa de bits de la señal después de ensanchar. En IEE802.15.4, el proceso de ganancia es de 9 dB.

En la siguiente figura, vemos un ejemplo de ensanchamiento y desanchamiento de la señal, lo que permite reducir los efectos producidos por las interferencias y mejorar la relación señal a ruido

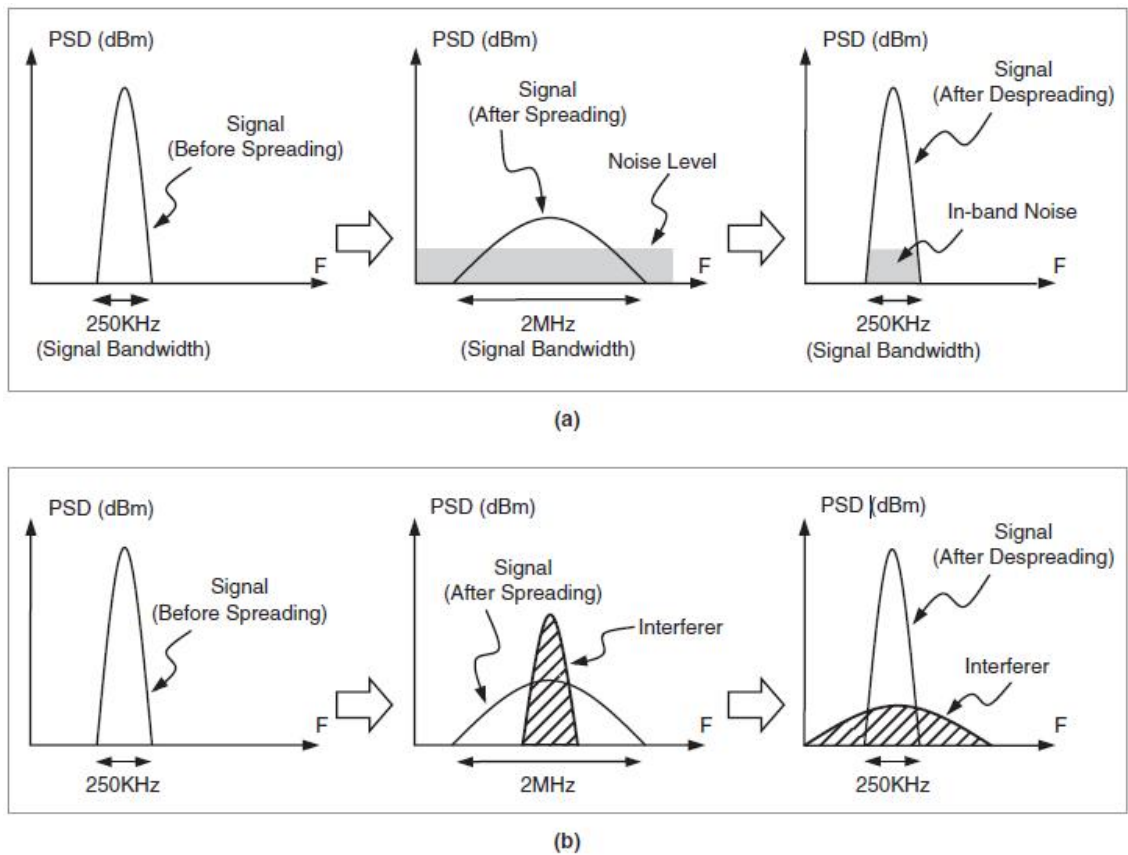


Fig 46: Ensanchamiento/Desanchamiento de la señal con a) ruido y b) interferencias [1]

Cuando ambas señales (deseada e interferida) llegan al mismo tiempo, el desanchamiento concentrara la energía de la señal deseada alrededor de 250 KHz. Sin embargo, los resultados del procedimiento de desanchamiento en ensanchar la energía de la señal ocupan un ancho de banda bastante amplio. Después, un filtro elimina el contenido espectral fuera de la banda de frecuencia de interés (250 KHz), la porción restante de la interferencia dentro de la banda de frecuencia de interés tiene mucho menos potencia comparado con la señal original interferente. En ese caso, la señal ensanchada puede mejorar la resistencia de un receptor frente a otros interferentes. Un parámetro que

permite cuantificar la calidad de la señal en presencia de una interferencia es la relación señal-interferencia (SIR), que es la relación entre la potencia de la señal deseada y la potencia residual total de todas las señales no deseadas en la banda de frecuencia de interés. Su fórmula se puede expresar como

$$\text{SIR} = \text{Potencia de la señal deseada} / \text{Potencia total de las señales interferentes}$$

- Modulaciones

En 802.15.4 hay tres tipos de modulación: BPSK, ASK y O-QPSK. En BPSK y O-QPSK los datos viajan en la fase de la señal, mientras en ASK los datos viajan en la amplitud de la señal.

En las siguientes figuras, observamos los distintos tipos de modulación

BPSK: En este tipo de modulación (Binary Phase Shift Keying), se utiliza solamente dos símbolos, con un bit de información cada uno. Es el más sencillo de todas las modulaciones; eso conlleva a que sea inmune al ruido, ya que la diferencia entre símbolos es mayor (180°). En cambio, su velocidad de transmisión es la más baja de las modulaciones de fase

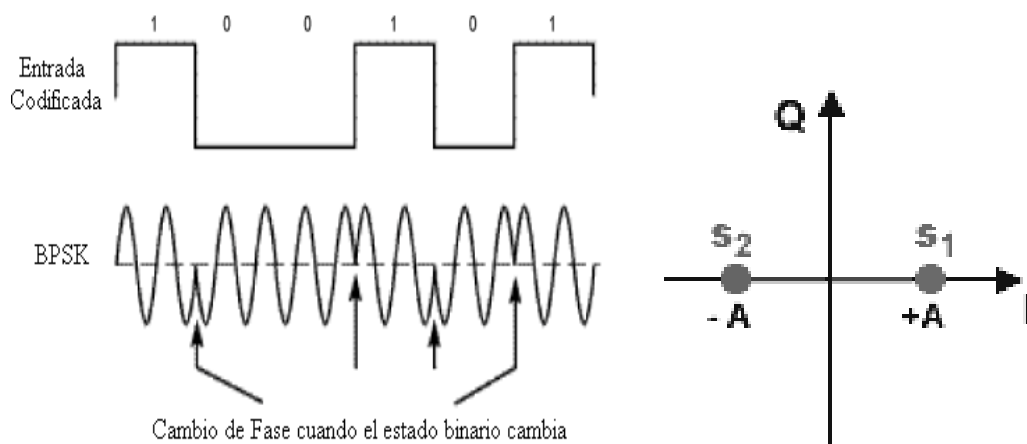


Fig 47: Modulación BPSK

ASK: Este tipo de modulación utiliza una amplitud distinta a la frecuencia portadora, según el estado de los datos. Es muy sensible a las interferencias, además de no permitir técnicas para optimizar el ancho de banda. Prácticamente, no se usa en las transmisiones por radio.

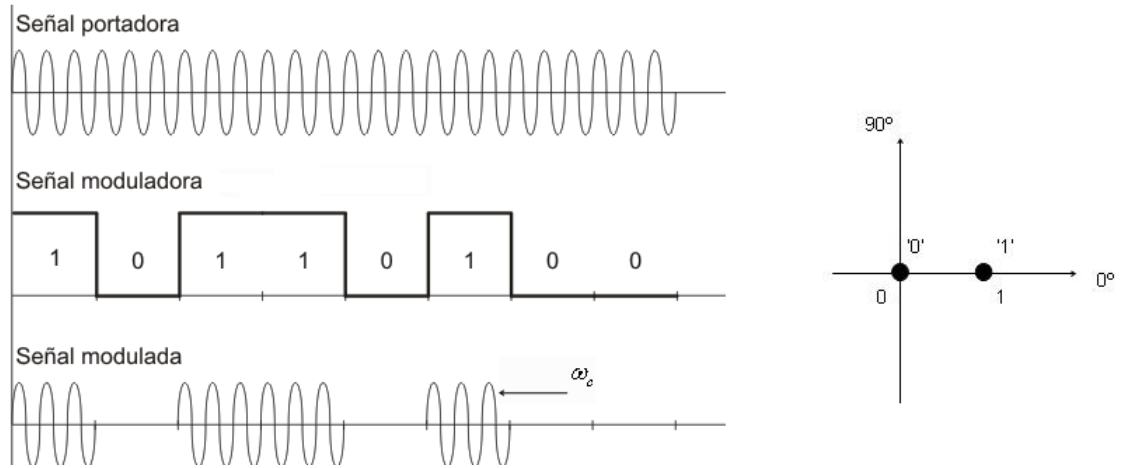


Fig 48: Modulación ASK y constelación

O-QPSK: También conocido como QPSK compensada, es un tipo de modulación por desplazamiento de fase en cuadratura escalonada, donde las formas de las ondas I e Q se desplazan entre si en la mitad de un tiempo de bit.

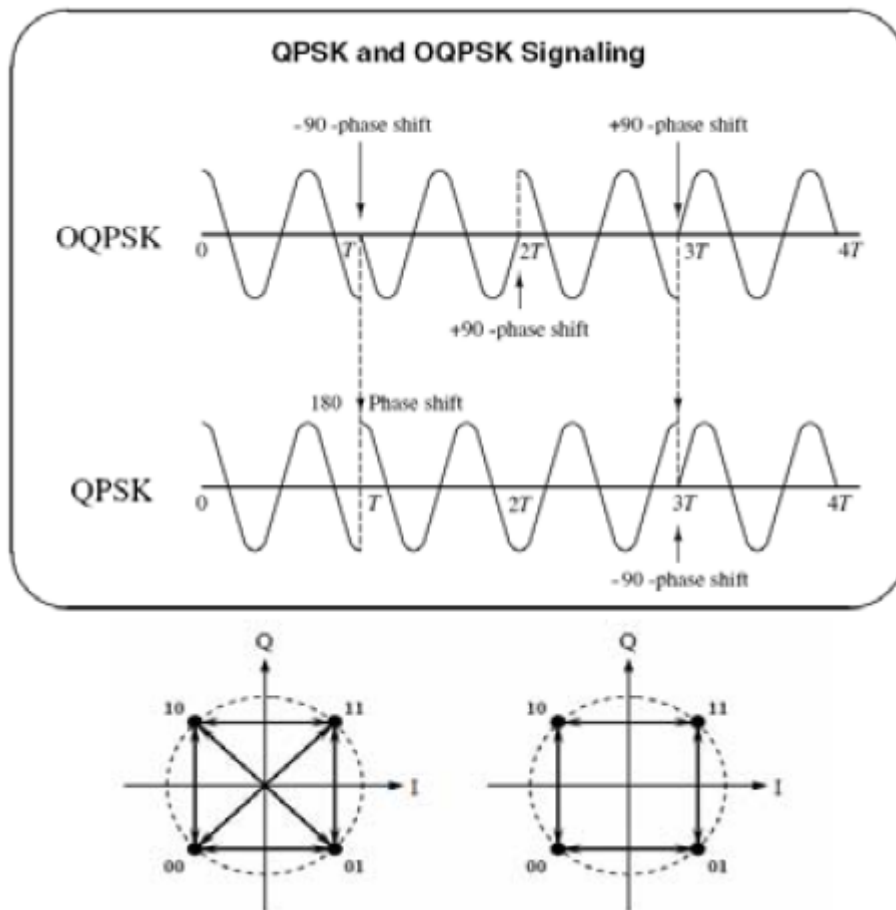


Fig 49: Modulación QPSK, O-QPSK, y sus constelaciones

Todas esta modulaciones son representativas (constelaciones) en caso de una modulación ideal. Obviamente, no existe un caso perfecto, y la

señal se ve afectada por ruido (normalmente ruido blanco, ruido gaussiano,...), por lo que todas las constelaciones de las modulaciones cambian, afectando a los parámetros de amplitud y fase. En la siguiente figura, vemos unos ejemplos de modulaciones, tanto en el caso ideal, como el caso real (añadiendo ruido)

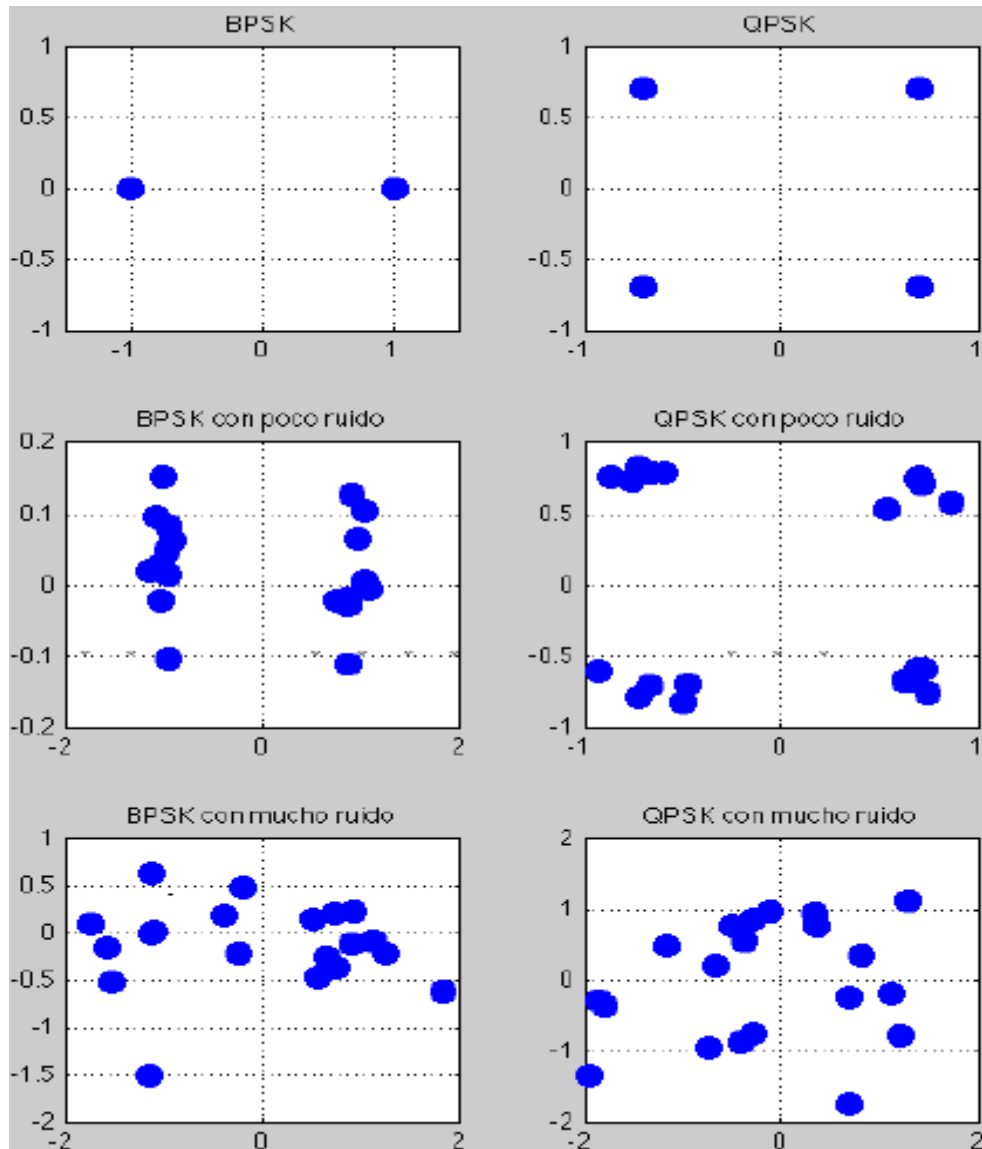


Fig 50: Constelaciones de distintas modulaciones sin/con ruido

Cuanto más cerca estén los símbolos de la constelación unos de otros, más fácil será que, debido al ruido, los puntos se confundan entre sí. La distancia entre los puntos de la constelación depende de dos factores:

1. Potencia de transmisión: si los símbolos se transmiten con mucha potencia, la portadora tiene mucha amplitud y los símbolos estarán más separados. Para la misma cantidad de ruido, más potencia de transmisión implica mayor SNR, lo que implica menos errores.

2. Orden de la constelación: cuantos más puntos tenga la constelación (más señales diferentes), menos distancia habrá entre ellas (más parecidas serán las señales) y más fácil será confundir, debido al ruido, unas con otras.

Debido a todos estos problemas e incógnitas, entra un nuevo parámetro importante a la hora de discernir el mínimo error entre símbolos: el vector magnitud de error.

- Magnitud del vector (EVM)

La magnitud del vector error (EVM) es un indicador de la precisión de la modulación. Esta variable se aplica para todos los tipos de modulaciones citados anteriormente (comprendidos en IEE 802.15.4).[1]

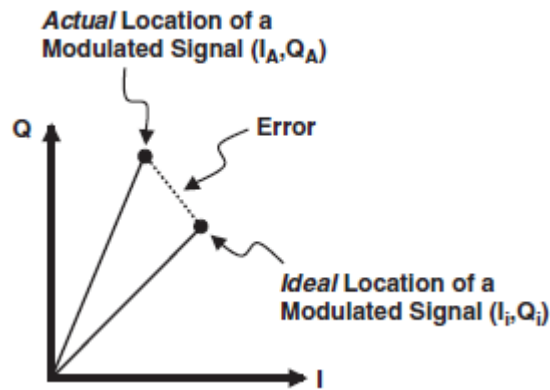


Fig 51: EVM [1]

Como hemos discutido anteriormente, la señal de salida tiene todos los puntos de constelación en localidades ideales. Pero, en realidad, la ubicación de la señal en el diagrama I-Q (fase y cuadratura) puede ser deteriorada por el ruido, entendiéndose una posición incorrecta, lo que conlleva a una mala interpretación de dichos puntos.

El error de amplitud (rms) para n símbolos se formula de la siguiente manera:

$$\text{Error amplitud (rms)} = \sqrt{\frac{1}{N} \left(\sum_{k=1}^N \Delta I_k^2 + \Delta Q_k^2 \right)}$$

Si la amplitud de una señal ideal es S, el error vector magnitud (EVM) será definido por:

$$\text{EVM}(\%) = \frac{\text{Error Amplitud (rms)}}{\text{Ideal Signal Amplitude}} \times 100 = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \left(\sum_{k=1}^N \Delta I_k^2 + \Delta Q_k^2 \right)}}{S} \times 100$$

El estándar IEE 802.15.4 requiere una medida de la amplitud del error para 1000 chips. El resultado debe mostrar una EVM de menos del 35 % para aprobar el requisito del EVM del estándar IEE 802.15.4.

Los diferentes escenarios se realizaran dentro de un autobús de transporte público, especialmente una villavesa comarcal de Pamplona. A la hora de construir y diseñar dicho escenario, se ha tenido muchos detalles como la posición de los asientos de los pasajeros, la colocación de las barras de apoyo en caso de caídas, materiales de los distintos elementos.

Además, para dicho diseño, se quiere simular en distintas situaciones de manera que podamos ver el entorno radioeléctrico y la forma en que la potencia de la señal enviada se reparte en varias zonas (al tratarse de un entorno complejo y por fenómenos como el multitrayecto, difracción, refracción,...).

Como hemos mencionado anteriormente, hemos tratado de que las dimensiones del escenario como los parámetros de los materiales utilizados sean una aproximación y no corresponde en su totalidad al entorno real.

3.4 OBJETIVO/METODOLOGIA

El objetivo del proyecto es de analizar el comportamiento de las transmisiones de ondas de radiofrecuencia en un entorno interior, de tal manera que, valorando los resultados, podamos diseñar una red de sensores inalámbricos dentro de un entorno interior, en nuestro caso, una villavesa o autobús comarcal, para poder ofrecer servicios para los usuarios que utilicen dicho transporte publico.

Para ello, se utilizaran varios métodos para comprobar el correcto funcionamiento de dicha red.

La primera parte del proyecto consistirá en analizar el comportamiento ante un lanzado de rayos por radiofrecuencia, intentaremos aproximarnos a dichos resultados mediante los correspondientes métodos, tanto empíricos como modelos deterministas. La elección del modelo más adecuado para este tipo de escenarios será muy importante, dado que nos proporcionara una aproximación a la realidad de los escenarios en cuestión.

Después de esto, se procederá a diseñar la red de sensores inalámbricos.

3.4.1 PRIMEROS ESCENARIOS

En este apartado, hemos querido hacer varias simulaciones del entorno, en nuestro caso, la villavesa, para poder ver el efecto de la propagación multitrayecto de las ondas.

En primer lugar, hemos decidido de construir cuatro escenarios, con distintas fuentes, distintas potencias, diferentes frecuencias de manera que podemos ver el diferente efecto al transmitir en el interior de una villavesa.

ESCENARIO 1: VILLAVESA TIPO 11

En este apartado, vamos a recrear un escenario que será nuestro transporte urbano. Dado que existen varios tipos de villavesas disponibles en la comarca de Pamplona (tipo sin fuelle y con fuelle), en nuestro primer caso de medidas, realizaremos nuestras medidas partiendo de un modelo sin muelle. En la siguiente figura se puede apreciar el escenario en cuestión:

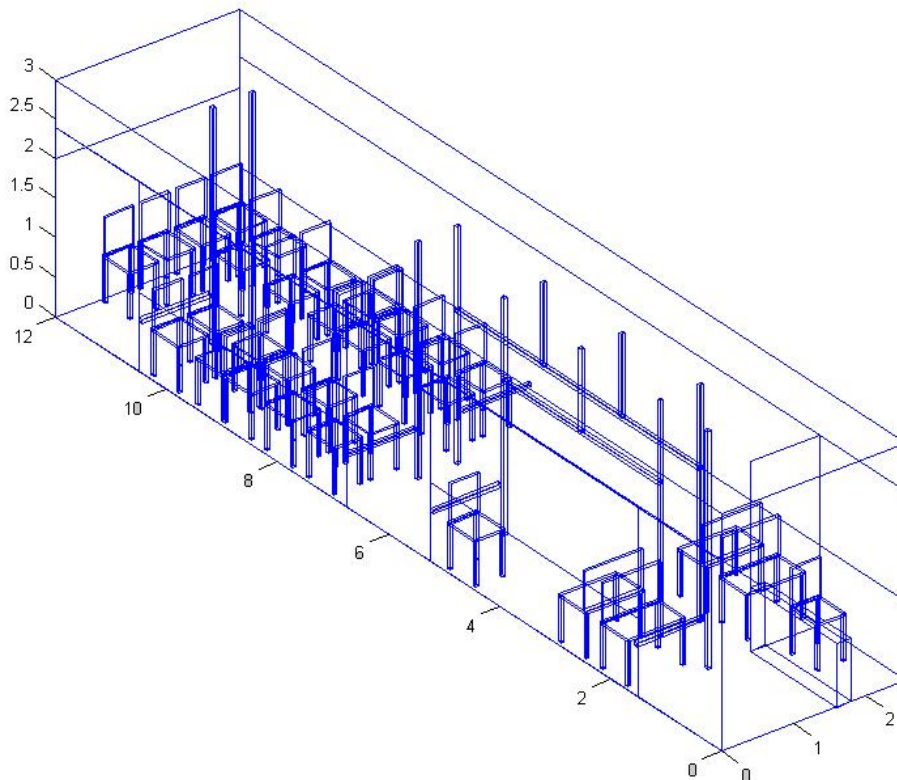


Fig 52: Escenario original de transporte común

Para nuestra primera simulación, hemos decidido construir un escenario con las siguientes dimensiones: 2.55 x 12 x 3 m (dimensiones aproximadas a la realidad). Hemos variado los parámetros de resolución para intentar buscar una adecuada de manera que podamos trabajar con ella y sacar buenos datos.

Al principio de las simulaciones, la resolución era de 20 cm, que resultaba bastante grande a la hora de sacar resultados. Volvimos a elegir una nueva resolución, en este caso unos cuboides de 10 cm, lo cual resultaba adecuado

En resumen, con una resolución de 10 cm y unas dimensiones adecuadas del escenario, serían suficientes para visualizar resultados.

Para nuestro primer caso, decidimos colocar una antena omnidireccional con posición $x=1.45$, $y=6.775$, a una altura de $z=2.3$ m. La altura será primordial en el caso de dichos escenarios, que comentaremos más adelante.

Los resultados se pueden apreciar a continuación, en la siguiente imagen:

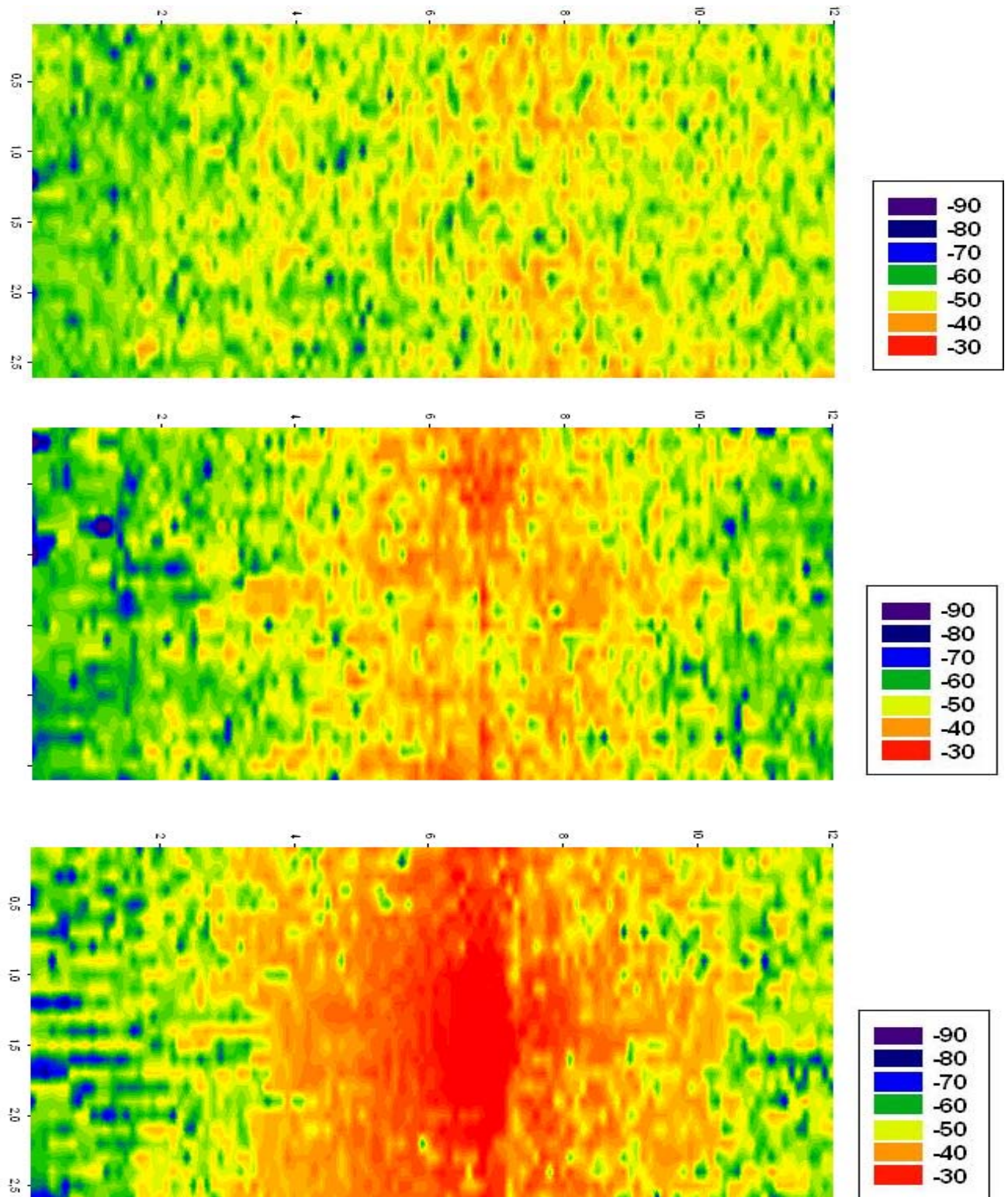


Fig 53: Potencia recibida a 2.4 Ghz a distintas alturas (60cm, 1.5m y 2.3m correspondiente a la altura de la antena)

A continuación, vemos otra situación pero siguiendo en el mismo escenario. En este caso, la antena transmisora ha sido colocada en $x=1,1$, $y=2.4$, con una altura de $z=2.3$ m. Las frecuencias utilizadas serán de 868 Mhz, 2.4 GHz, y 5.8 Ghz, con una potencia de 0dB. Los mapas de potencia recibida se ven reflejado en la siguiente figura:

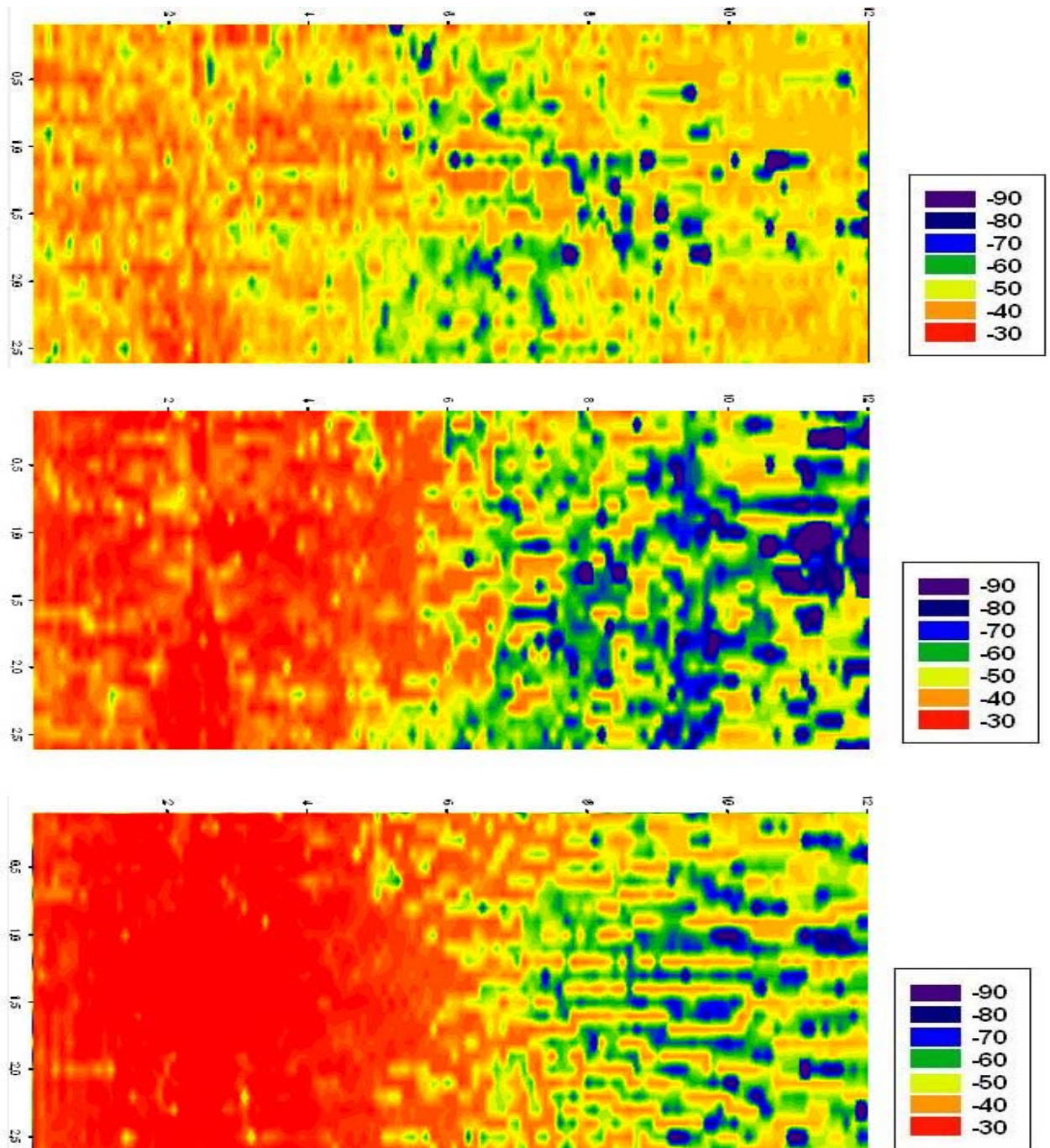


Fig 54: Mapas de potencia recibida a 868Mhz con distintas alturas (70cm, 1.5m y 2.3 m que corresponde a la altura de la antena, respectivamente)

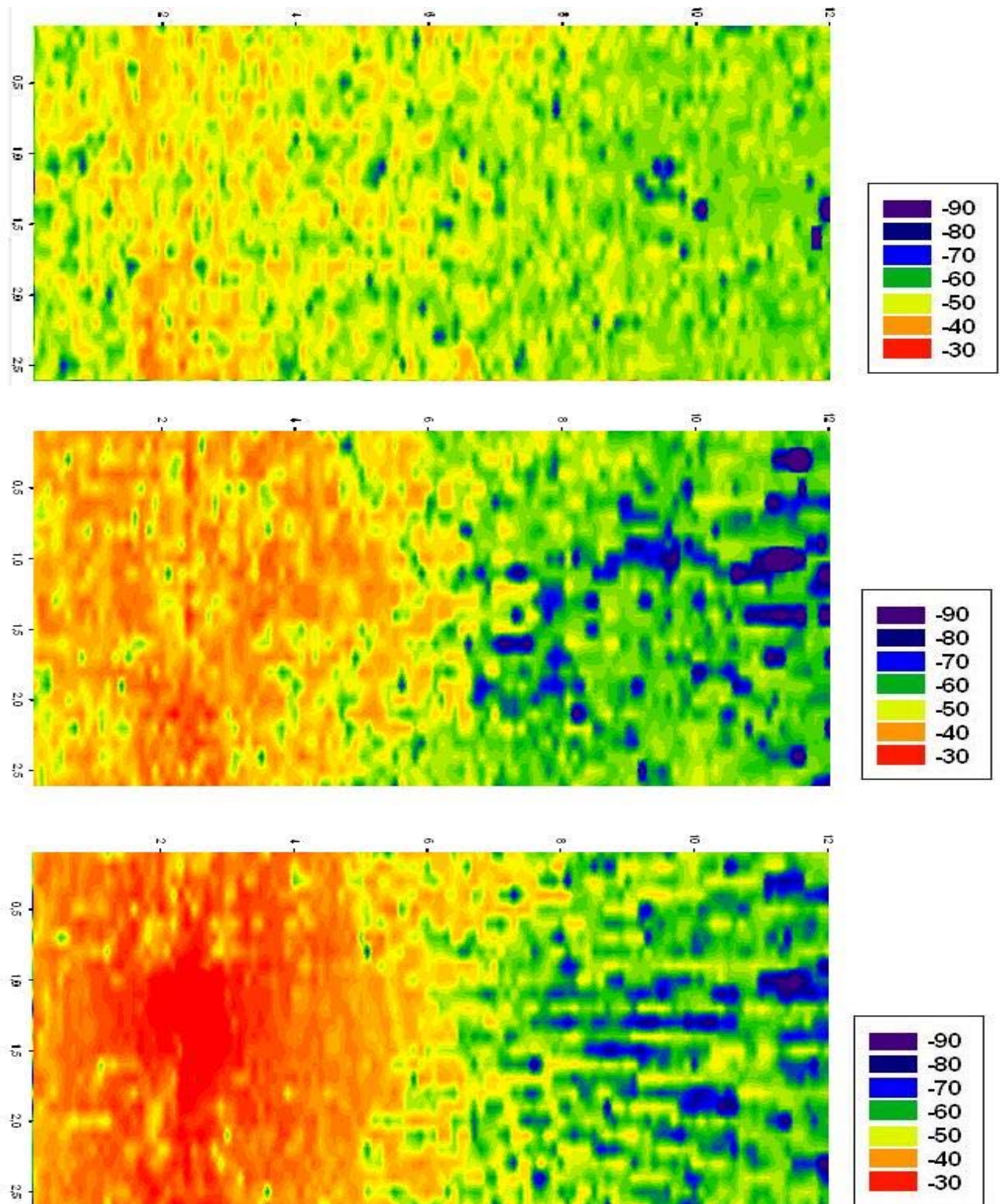


Fig 55: Mapas de potencia recibida a 2.4 Ghz con distintas alturas (60cm, 1.5m y 2.3 m que corresponde a la altura de la antena, respectivamente)

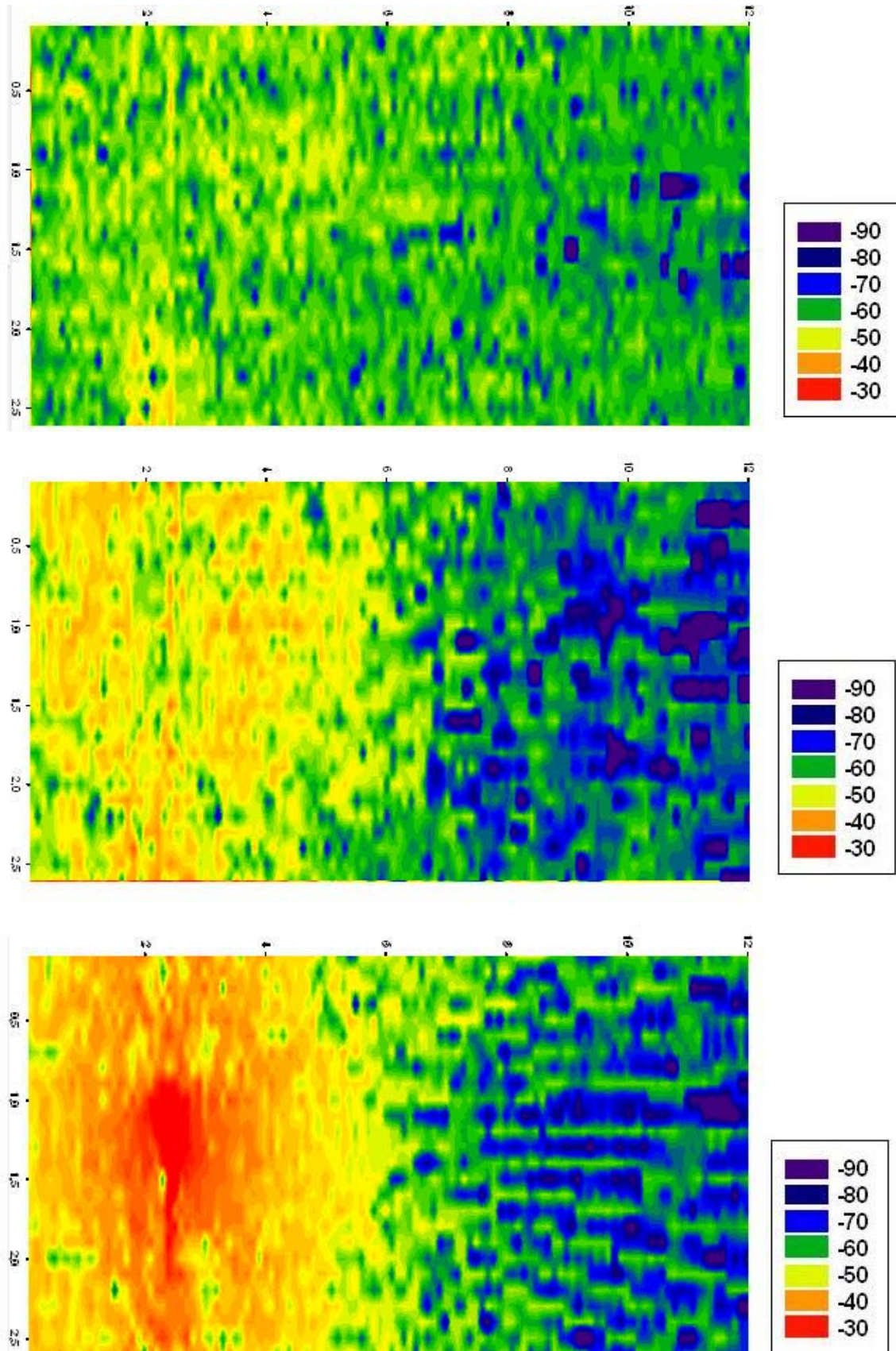


Fig 56: Mapas de potencia recibida a 5 Ghz con distintas alturas (70cm, 1.5m y 2.3 m que corresponde a la altura de la antena)

A la vista de estos resultados, podemos sacar varias conclusiones: la transmisión de la antena se efectúa de manera correcta. Debido a los materiales que componen los objetos del escenario (sillas, barras de apoyo, cristales), los valores de la potencia recibida se verán afectados por las componentes multitrayecto o otros fenómenos como la difracción o reflexión (la onda se refleja con alta porcentaje en zonas de metal, por ejemplo), y se repartirán de manera no uniforme para llegar a dichas mapas de potencia.

Debido a la limitación del programa utilizado para el modelo de simulación de trazado de rayos, ciertos puntos se verán afectados porque los rayos no pudieron llegar hasta dichos puntos, por eso en los mapas anteriores, algunos puntos acogen un nivel de potencia recibida de -200dBm, que es un error del programa por su limitación (en los mapas anteriores, dichas zonas no se aprecian ya que hemos adecuado la escala para visualizar de una manera mas cómoda las distintas graficas).

Se puede apreciar en dichos mapas que observamos diferentes zonas: zonas más claras donde el nivel de potencia recibida es menor debido a que tenido menos interferencias.

Para poder crear una posible red de conexión inalámbrica, concretamente una red de sensores destinados a aplicaciones variadas, es importante saber y cumplir con la siguiente ecuación:

$$Prx = Ptx + Gtx + Grx - Lprop$$

Donde:

- Prx corresponde a la potencia del receptor (dB)
- Ptx corresponde a la potencia del transmisor (dB)
- Gtx, Grx corresponden a las ganancias del transmisor y receptor, respectivamente
- Lprop es igual a las perdidas de propagación (toma en cuenta diversos factores como la absorción de las personas, etc...)

Para que la futura red inalámbrica funcione correctamente, en general, la potencia recibida en un punto debe ser mayor o igual a la sensibilidad del receptor (es decir, cuando coloquemos sensores para diversas aplicaciones en diversos puntos, la sensibilidad deber tener un nivel menor o igual al valor de potencia recibida en dicho punto, de tal manera que pueden detectar dichos niveles y poder funcionar correctamente).

Dado que estamos realizando unas medidas tanto teóricas como prácticas (en comparación con modelo de trazado de rayos), un dato importante es saber como se comporta la propagación de la señal de la antena transmisora, ya que será muy importante en el momento en que comparemos con medidas reales. Para el primer escenario, la antena esta colocada en la parte frontal (al

principio del transporte común). Para ello, decidimos escoger una radial (corte en el eje Y) correspondiente a la antena y el resultado es el siguiente:

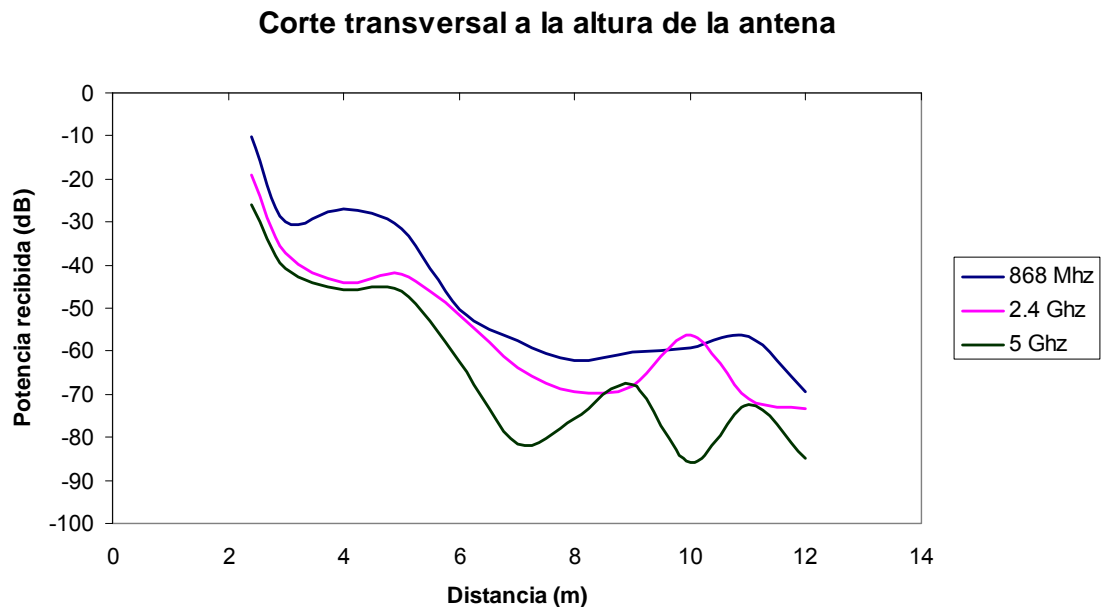


Fig 57: Modelo de simulación de la antena transmisora

Como podemos apreciar en la figura anterior, observamos que la potencia emitida por dicha antena transmisora decae conforme la distancia aumenta.

También podemos decir que cuanto mas elevada será la frecuencia, menor será la potencia recibida en distintos puntos (puntos alejados de la fuente emisora).

Un parámetro importante, al igual que los perfiles de retardo de potencia, es el delay spread, o retardo de propagación, que es la diferencia entre el tiempo de llegada al punto concreto más largo y el tiempo más corto. Es un parámetro bastante importante sobre la fuerza del multitrayecto en un canal de comunicación. Se muestra un ejemplo a continuación:

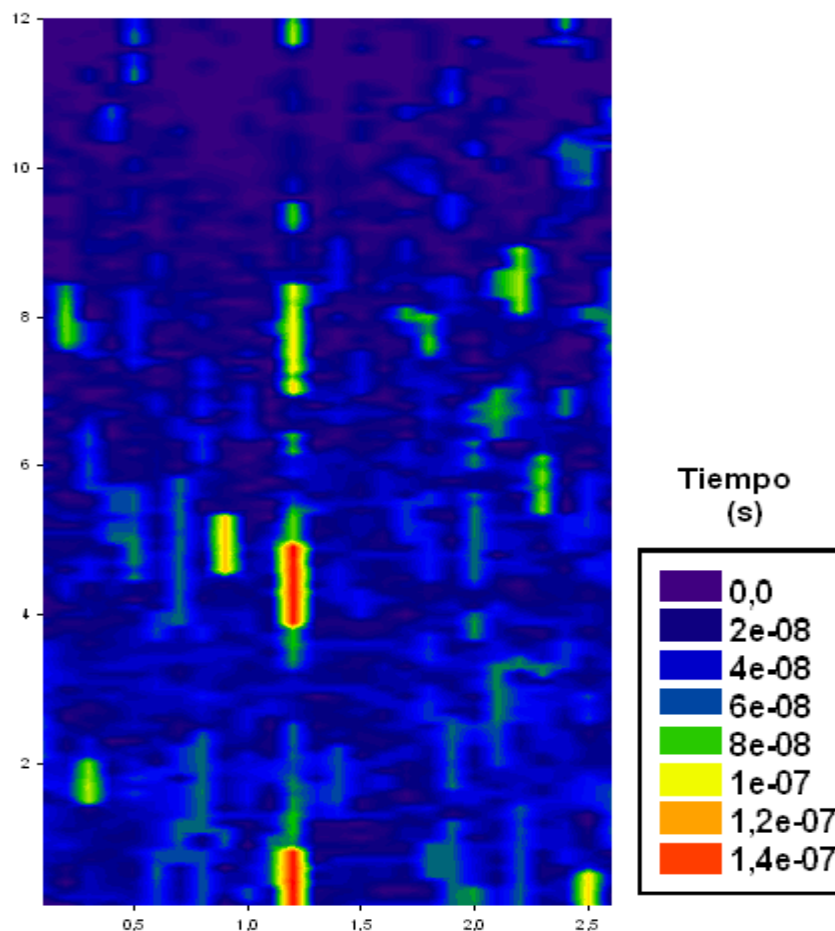


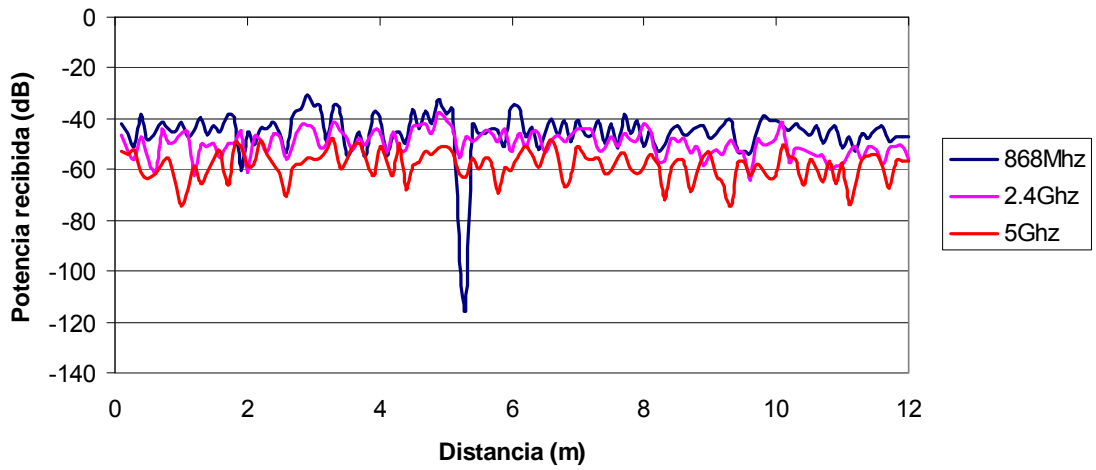
Fig 58: Delay Spread

En la siguiente figura, se puede comprobar que hay zonas donde la diferencia entre estos dos tiempos de llegada es mínima. Por lo contrario, también aparecen zonas que la diferencia es mucho mayor, lo que equivaldría a que los rayos emitidos por la fuente van a recorrer mucho más distancia, y por lo tanto, tardar menos, por lo que dichas zonas se descartarían para el objeto del proyecto.

Debido a la caracterización del escenario, que dispone de barras, ventanas, puertas y asientos, la colocación de los sensores será ambigua de manera que buscaremos una colocación más realista. Por ejemplo, la colocación de los sensores se puede realizar cerca de las paredes del escenario.

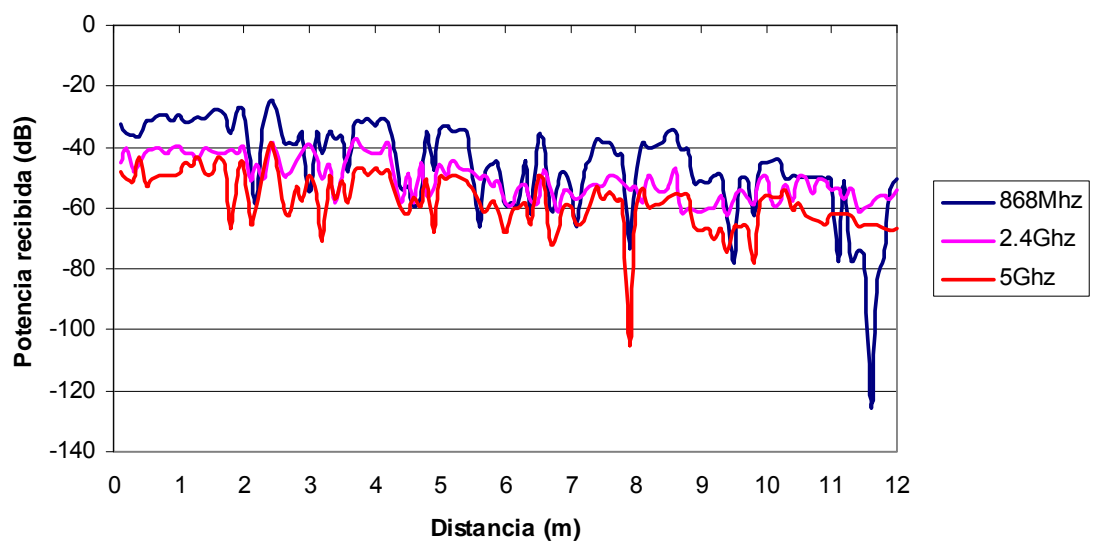
Para nuestro primer escenario, hemos realizado unas radiales cerca de dichas paredes para observar su comportamiento a niveles de potencia recibida. En la siguiente figura, se podrá observar los resultados. Los parámetros utilizados serán: tres frecuencias utilizadas (868, 2.4 y 5.8Ghz), potencia de transmisión de 0 dB, antena omnidireccional, ganancia de 1.5 dBi.

Radial a nivel de pared derecha a z=70 cm



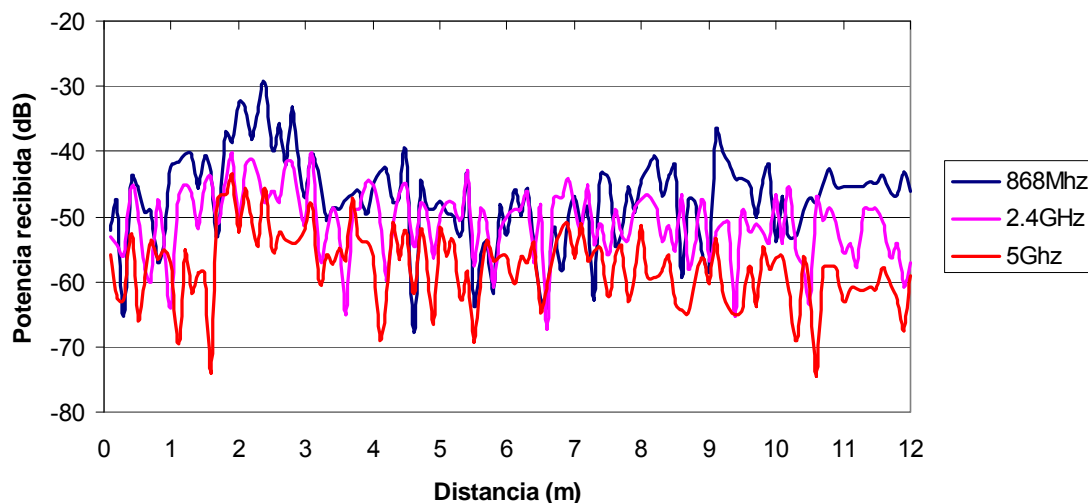
a)

Radial de la pared derecha a z=150 cm



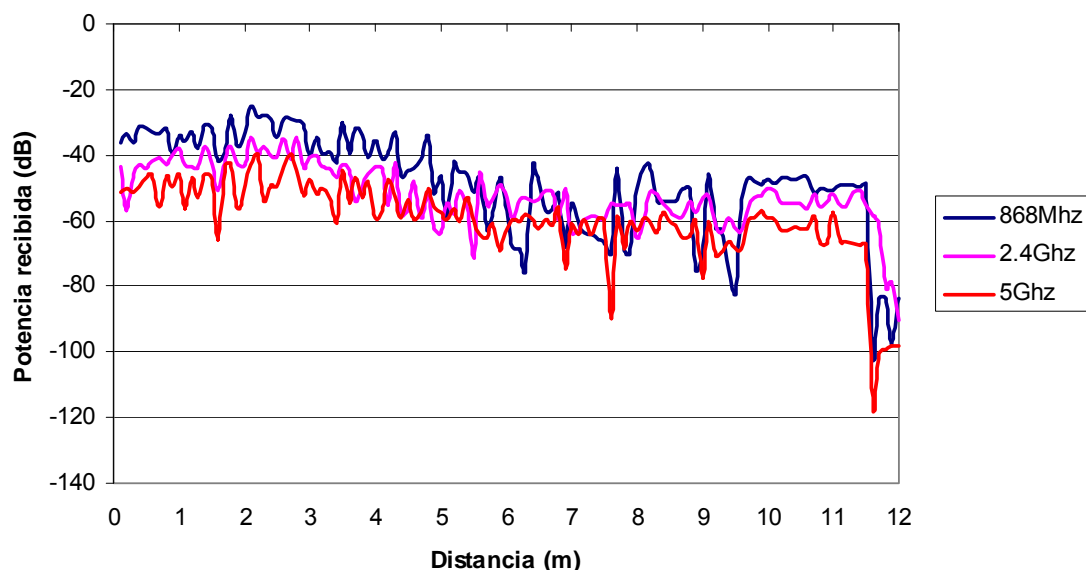
b)

Radial de la pared izquierda a z= 70 cm



c)

Radial de la pared izquierda a z=150 cm



d)

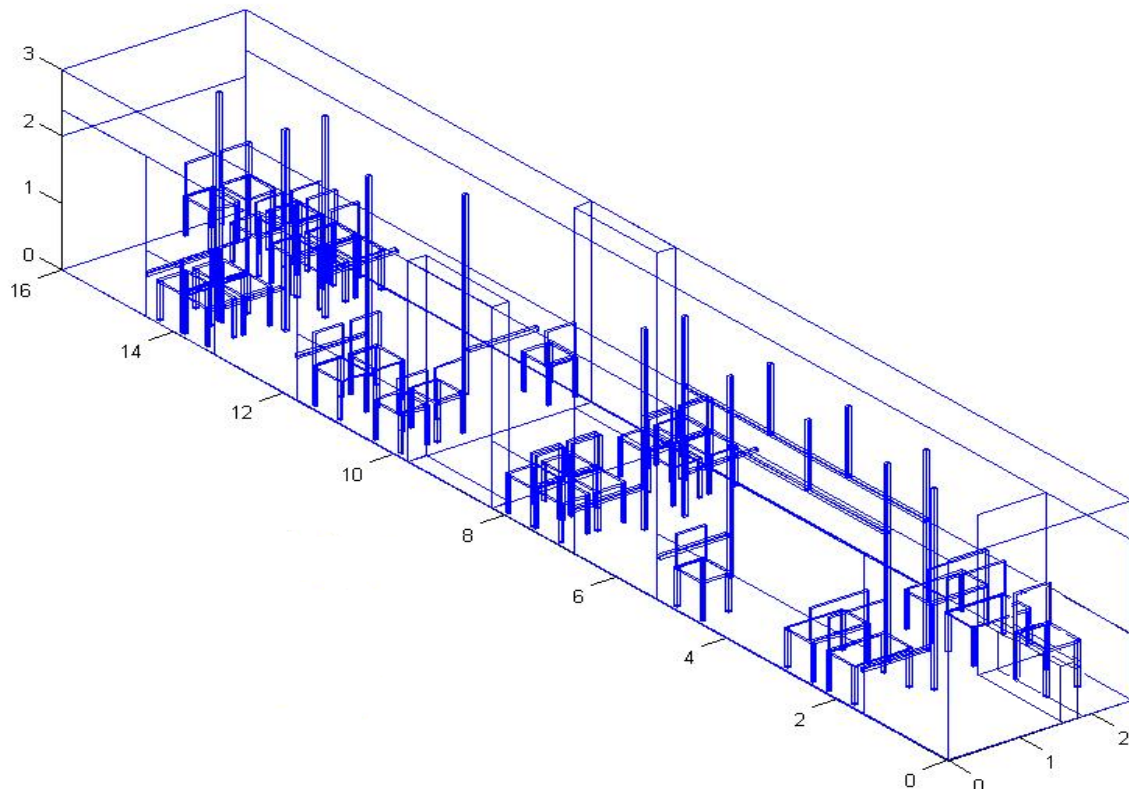
Fig 59: Cortes correspondientes a diferentes radiales relativas a pared: a) derecha a 70 cm b) derecha a 150 cm, c) izquierda a 150 cm y d) izquierda a 150 cm

Debido a las limitaciones del programa, según las graficas que vemos anteriormente, algunos puntos llegan a alcanzar unos niveles de potencia recibida de -120 dB aproximado, es decir que algún rayo lanzado ha encontrado múltiples obstáculos por el camino, y no ha podido llegar al

transmisor con cierta precisión. Por eso, puede aparecer puntos en que la potencia recibida es muy baja en zonas puntuales. Ante estos problemas, descartaremos dichos puntos.

ESCENARIO 2: VILLAVESA CON FUELLE

En este según apartado, veremos datos experimentales relacionados con otro tipo de escenario (en este caso, el segundo tipo de villavesa, con fuelle (línea 4, línea 16 en la comarca de Pamplona)). El escenario original donde se va a realizar las medidas se ve reflejado en la siguiente figura:



Para este escenario, se va a proceder a realizar diferentes modelos de escenarios, al igual que el primero. Al ser un escenario bastante grande, se ha procedido a colocar una o varias antenas en lugares específicos. Como comentábamos anteriormente, dicha colocación es primordial, por lo cual elegimos colocar las antenas a una altura de $z = 2.3$, que la altura a la cual están las barras metálicas, de manera que, cuando transmite las ondas de radio, al ser un material bastante reflectante (del orden entre el 90 y el 95%), lo que se repartirá en distintas zonas.

Para nuestro primer escenario, colocaremos una antena en el centro de la villavesa, es decir, en la parte del fuelle, a una altura de $z = 2,7$ m. Los mapas de potencia se ven reflejados en la siguiente figura:

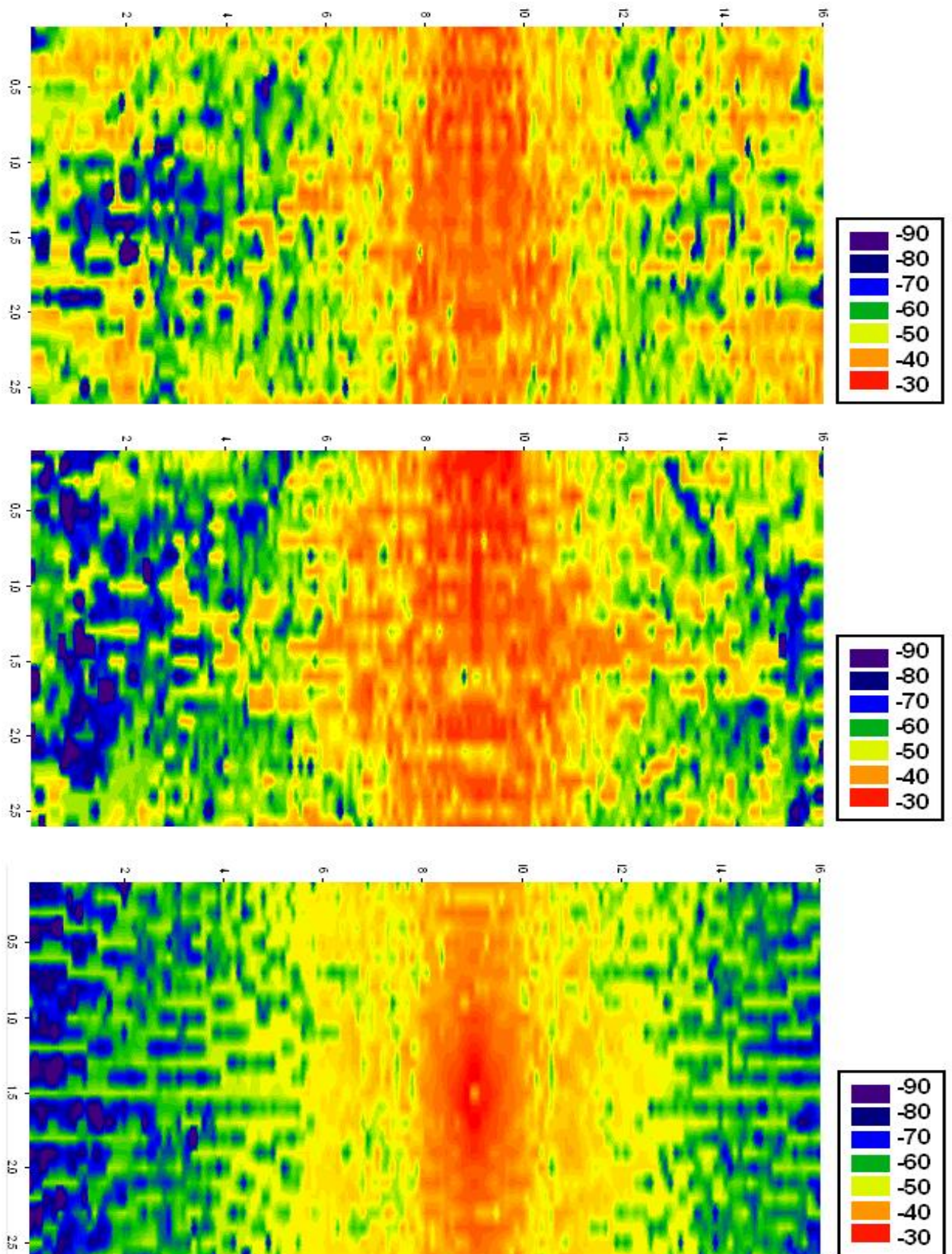


Fig 60: Escenario con antena en el centro en distintas alturas (70, 150 y 220cm) y frecuencia de 868 Mhz

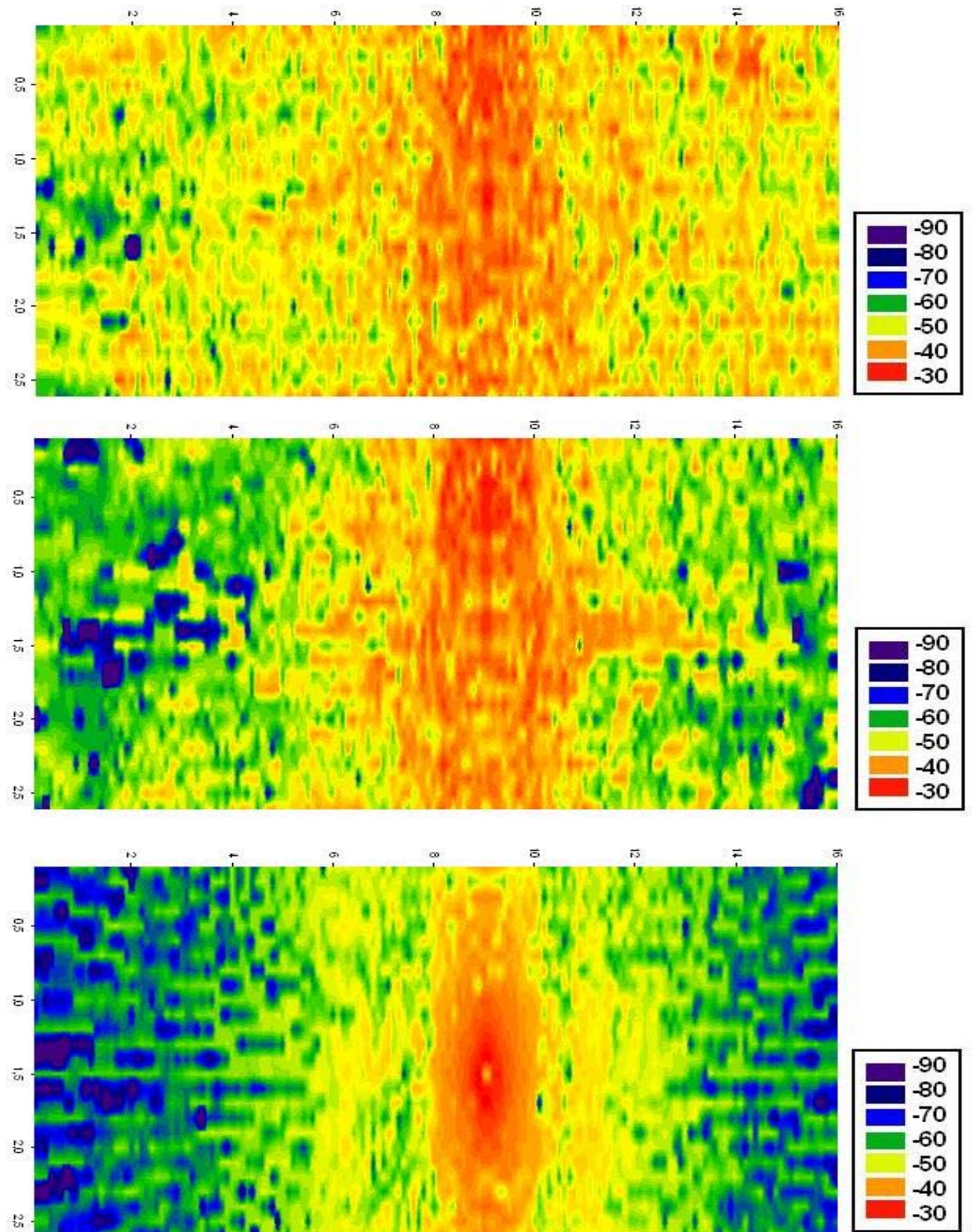


Fig 61: Escenario con antena en el centro en distintas alturas (70, 150 y 220cm) y frecuencia de 2.4 Ghz

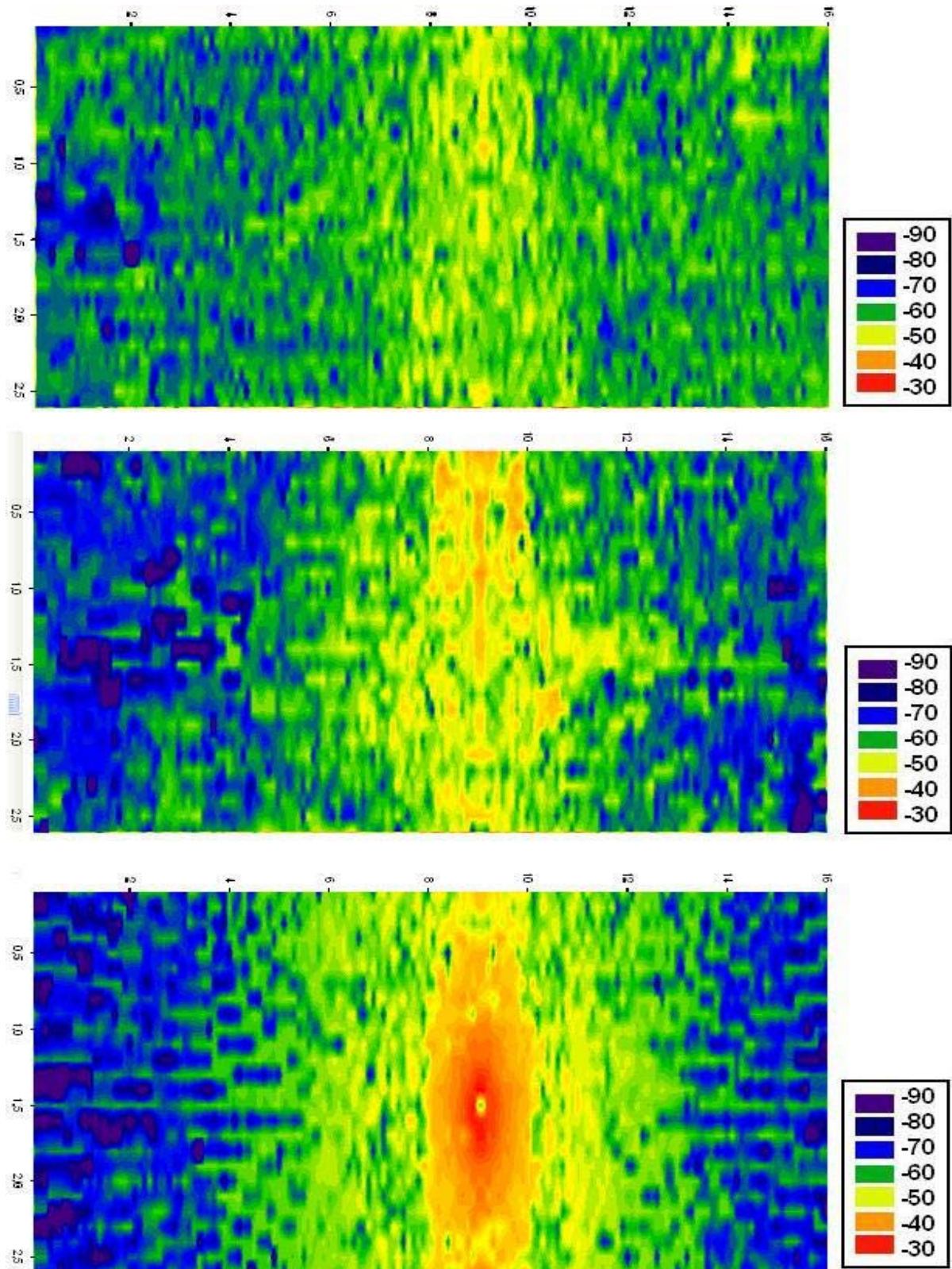


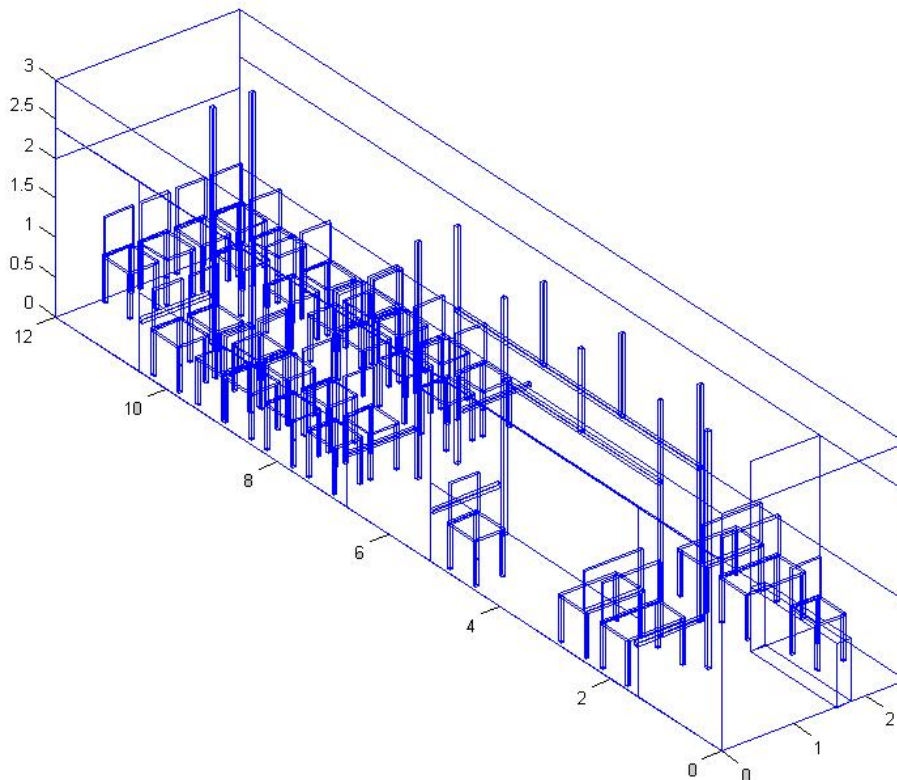
Fig 62: Escenario con antena en el centro en distintas alturas (70, 150 y 220cm) y frecuencia de 5 Ghz

3.4 MEDIDAS DE RADIOFRECUENCIA

PLANIFICACION

Para poder implementar una red inalámbrica que funcione en condiciones óptimas, el primer paso antes de nada, es de planificar según es el escenario, en la forma en que se conectarán los dispositivos inalámbricos para asegurar unos enlaces óptimos (tanto ascendente como descendente) en el fin de obtener una buena relación a cuanto a la comunicación de datos, garantizar una buena cobertura para los usuarios y maximizar la capacidad de dichos usuarios, de tal forma que evitemos sobrecargar la red con mucho material de comunicación.

Para empezar, trabajaremos con dos escenarios, en nuestro caso, dos modelos de villavesas (tipo convencional y doble). Se pueden apreciar dichos escenarios en las figuras siguientes:



a)

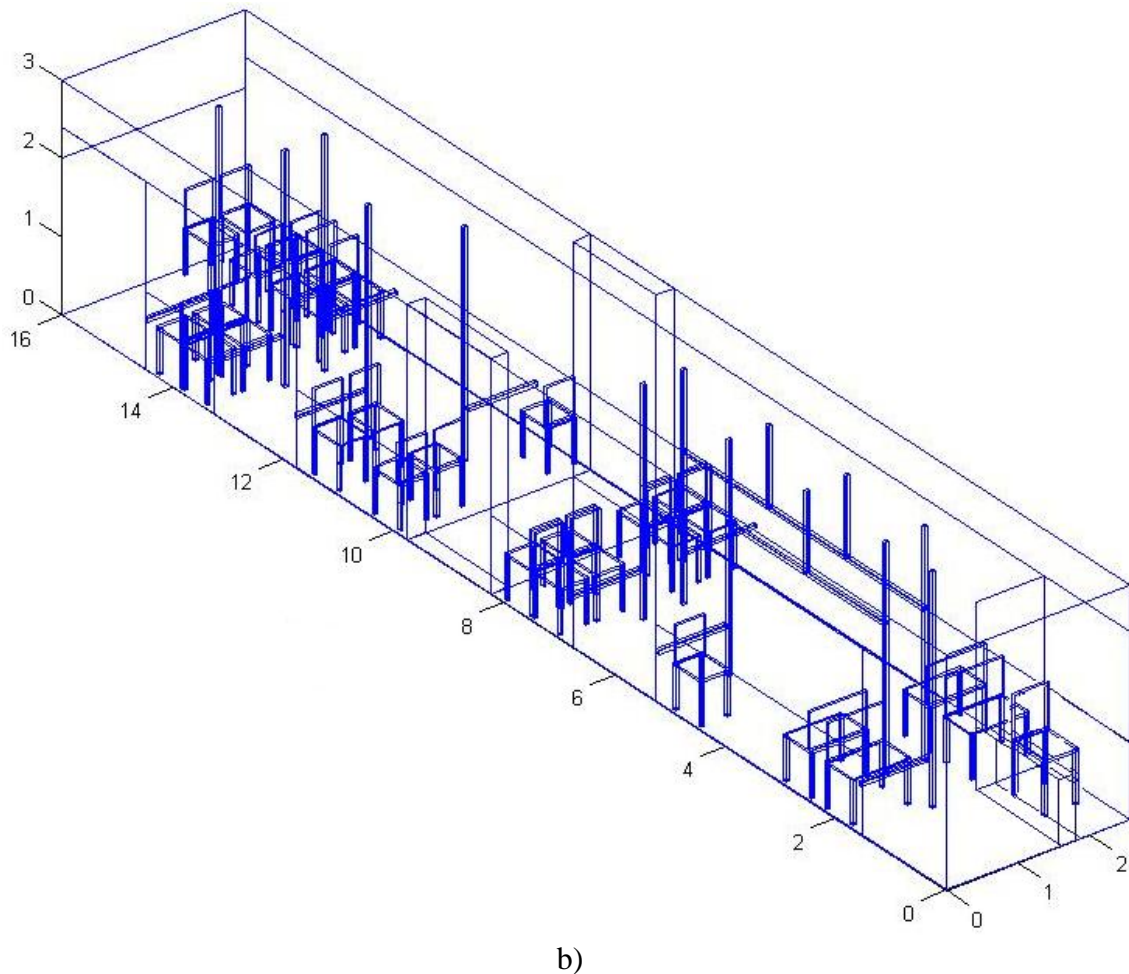


Fig : Escenarios de villavesas de tipo a) convencional y b) doble

A continuación, analizaremos distintas zonas para observar los niveles de potencia en cada uno de ellos, de manera que valoraremos unas zonas de cobertura donde la antena radia hasta que llega a una zona en la que se desvanece la señal por completo y posteriormente, valor la capacidad que podría tener la red de sensores.

Se ha procurado hacer una división en retículas de los escenarios, de manera equidistante, es decir, unas zonas de dimensiones iguales entre ellas. La contribución en celdas de los dos escenarios se puede apreciar en las siguientes figuras:

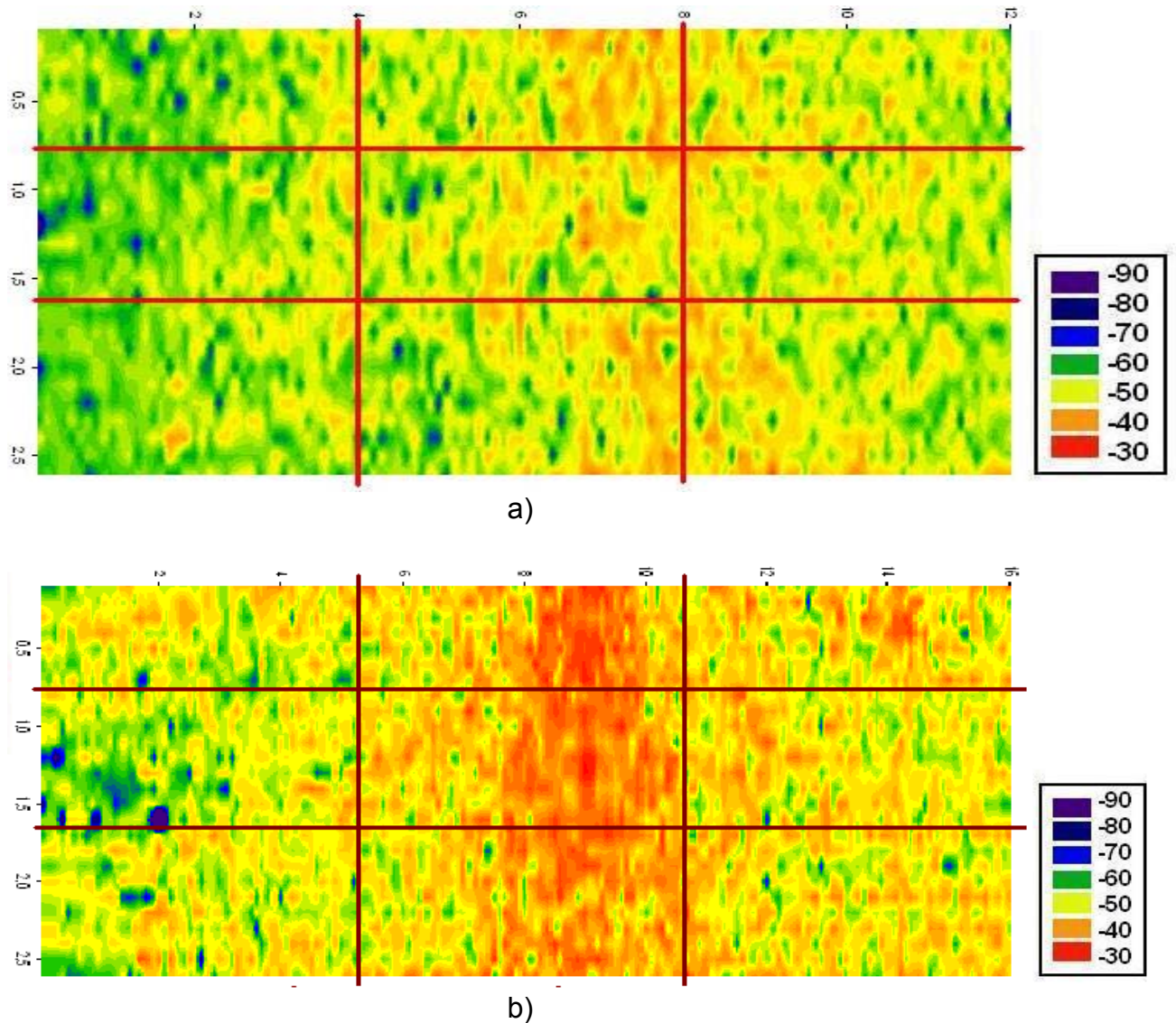
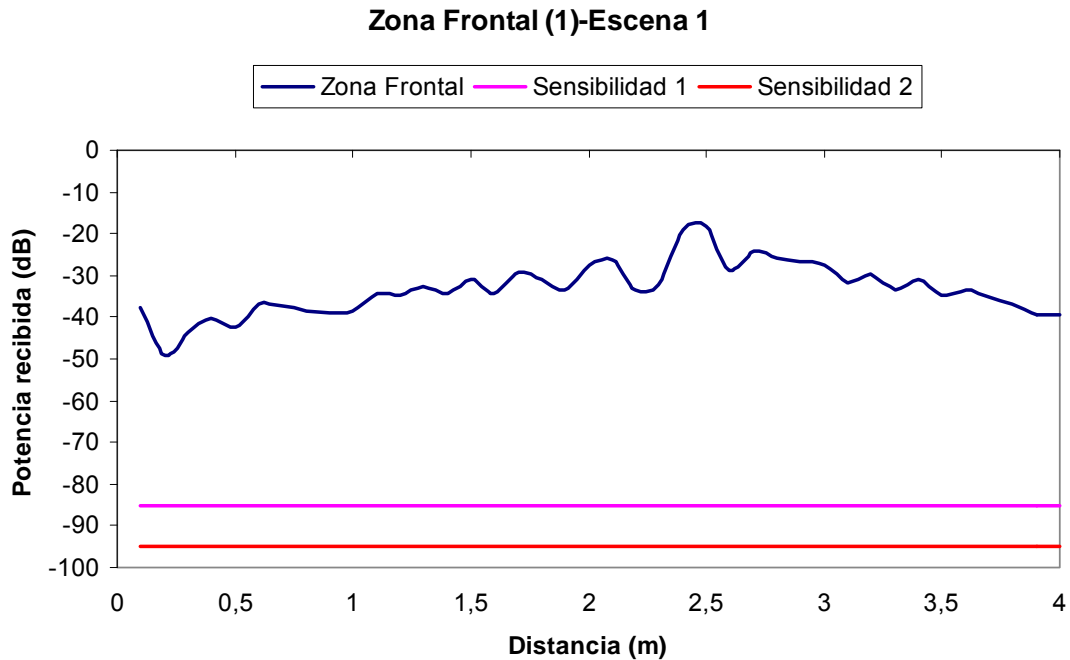


Fig 63: División en retículas de los diferentes escenarios a) tipo convencional b) tipo doble

Seguidamente, se procede a escoger unas radiales en el escenario de manera que reflejen los niveles de potencia dentro del autobús. Al ser un escenario complejo, debido a todos sus los objetos que lo compone (sillas, barras, apoyos...) y de los distintos tipos de materiales de dichos objetos (plástico, metal, vidrio,...), la señal emitida por la antena perderá potencia conforme aumenta la distancia, pero no de manera “lineal”, sino que estará expuesta a diferentes fenómenos de propagación como la reflexión, difracción o multitrayecto. Se explicaran las figuras a continuación:



Para todas las simulaciones que se realizaran y explicaran a continuación, la potencia de emisión de la antena será de 0 dBm. Esta grafica corresponde a un corte a la altura de la antena ($z=2.3m$). En ella, se puede apreciar diversas variables: en color azul, es el corte de la antena donde se ve claramente la colocación de la antena (punto donde el nivel de potencia es máxima), en la coordenada $y= 2.4$. Respecto a los tres colores (amarillo y rosa), son los niveles de sensibilidad de una mota, nivel máximo donde si colocaríamos un sensor, podría identificar dicha señal. Como hemos mencionado anteriormente, debido al escenario, la señal sufre pérdidas de potencia conforme va aumentando la distancia.

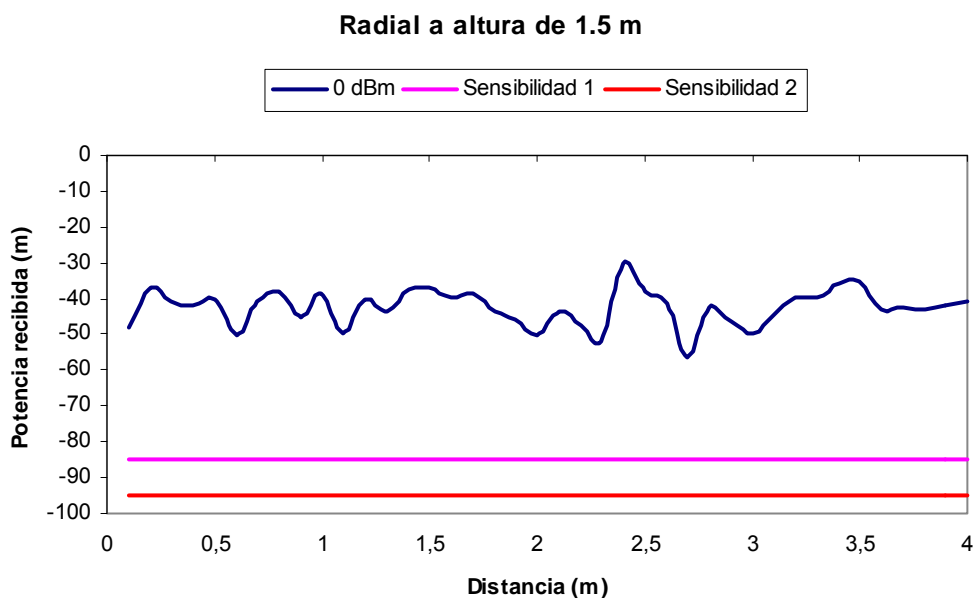
Por ejemplo, en este caso concreto y modelando con el método de trazado de rayos, a una distancia de 10 cm, se aprecia como la señal sufre pérdidas en el trayecto, pasando de recibir -38 dB a -50dB aprox, lo que sería una diferencia de 12dB.

El siguiente paso es calcular un balance de enlace radioeléctrico.

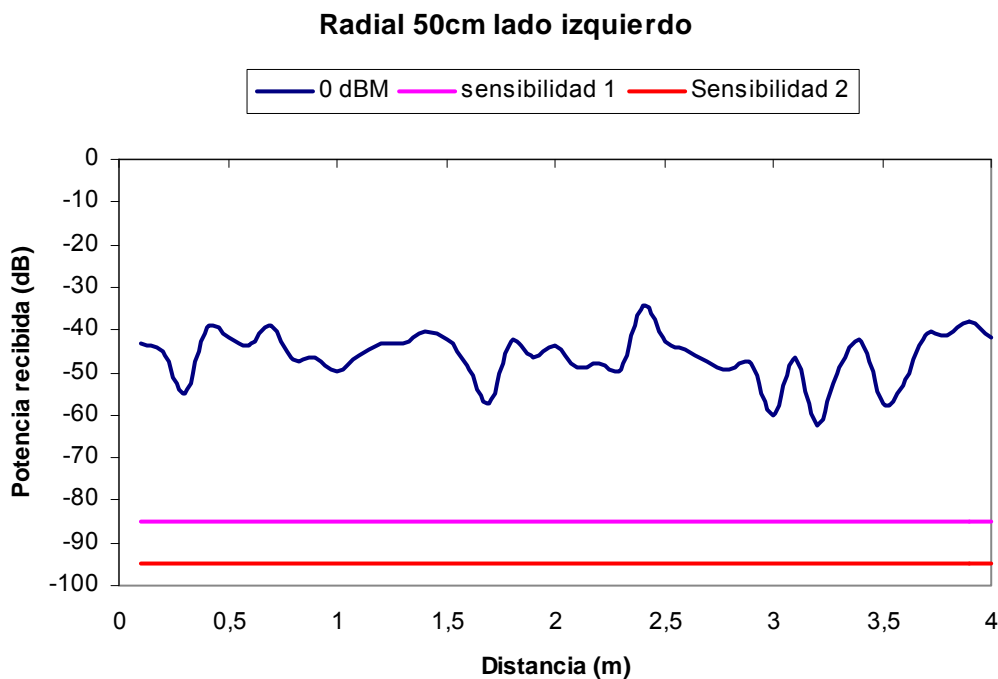
Dicho balance nos permite hacer una correcta planificación del radio enlace que queremos hacer, para de esta manera alcanzar una buena disponibilidad del sistema. Por ello, es importante conocer los parámetros de los equipos: potencia de transmisor, ganancias de las antenas, distancia, sensibilidad del receptor, disponibilidad, etc....

Otro parámetro muy importante es que la potencia recibida en el receptor sea mayor o igual que la sensibilidad de dicho receptor, de manera que si colocamos sensores, dichos elementos pudieran percibir ese mínimo nivel de señal para que pueda actuar en su red correspondiente (sensor de movimiento, sensor de luz,...)

Para este primera paso de la planificación, haremos el siguiente experimento: comprobaremos una ciertas radiales a la altura de 150 cm (altura de una persona aprox.), para que podemos observar como se comporta. A continuación presentamos un corte en la primera zona (la antena transmisora esta colocada en $x=1.1$, $y=2.4$ y $z=2.3$) a la altura de la persona. El resultado se puede observar en la siguiente figura:



a)



b)

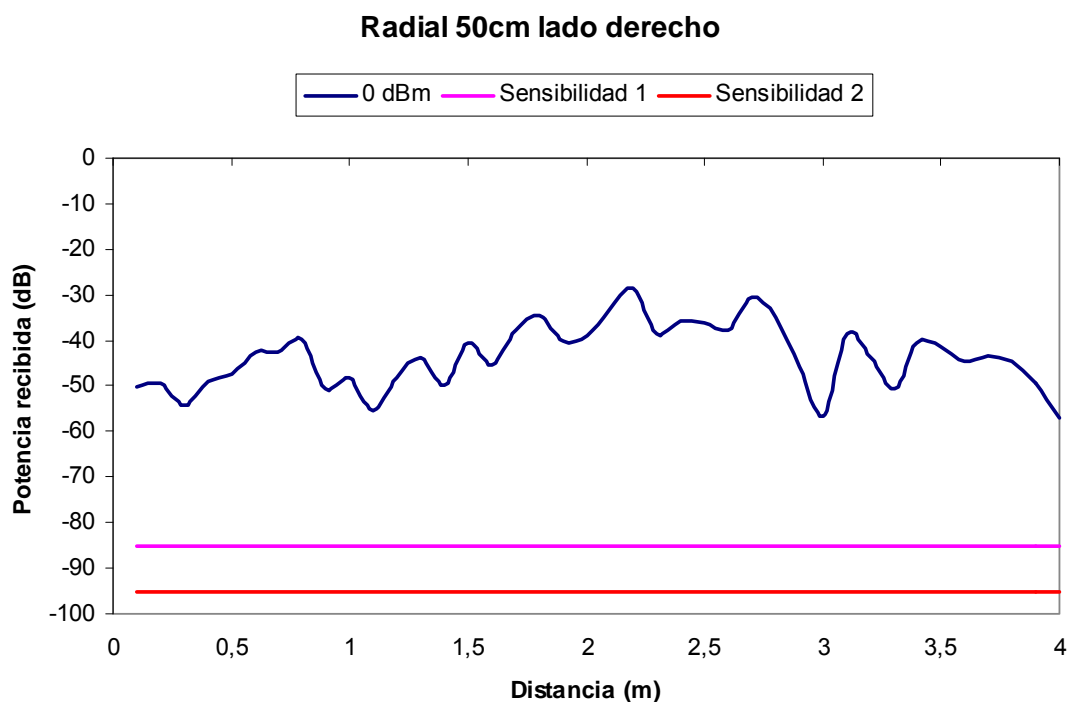


Fig 64: Radiales correspondientes a una altura de 1.5 m: a) en $y=1.1$ m (debajo de la antena) b) en $y=50$ cm y c) en $y=2.05$ m

Haciendo el cálculo de balance de potencias, según la tabla siguiente:

Distancia (m)	Lprop	Ptx	Gtx	Grx	Prx	Sens Mota 1	Sens Mota 2	Sens Mota 3	Sens Mota 4
0,1	80,04422483	0	1,5	1,5	-77,04422	-95	-73	-68	-61
0,2	86,06482475	0	1,5	1,5	-83,06482	-95	-73	-68	-61
0,3	89,58664993	0	1,5	1,5	-86,58665	-95	-73	-68	-61
0,4	92,08542466	0	1,5	1,5	-89,08542	-95	-73	-68	-61
0,5	94,02362492	0	1,5	1,5	-91,02362	-95	-73	-68	-61
0,6	95,60724984	0	1,5	1,5	-92,60725	-95	-73	-68	-61
0,7	96,94618563	0	1,5	1,5	-93,94619	-95	-73	-68	-61
0,8	98,10602457	0	1,5	1,5	-95,10602	-95	-73	-68	-61

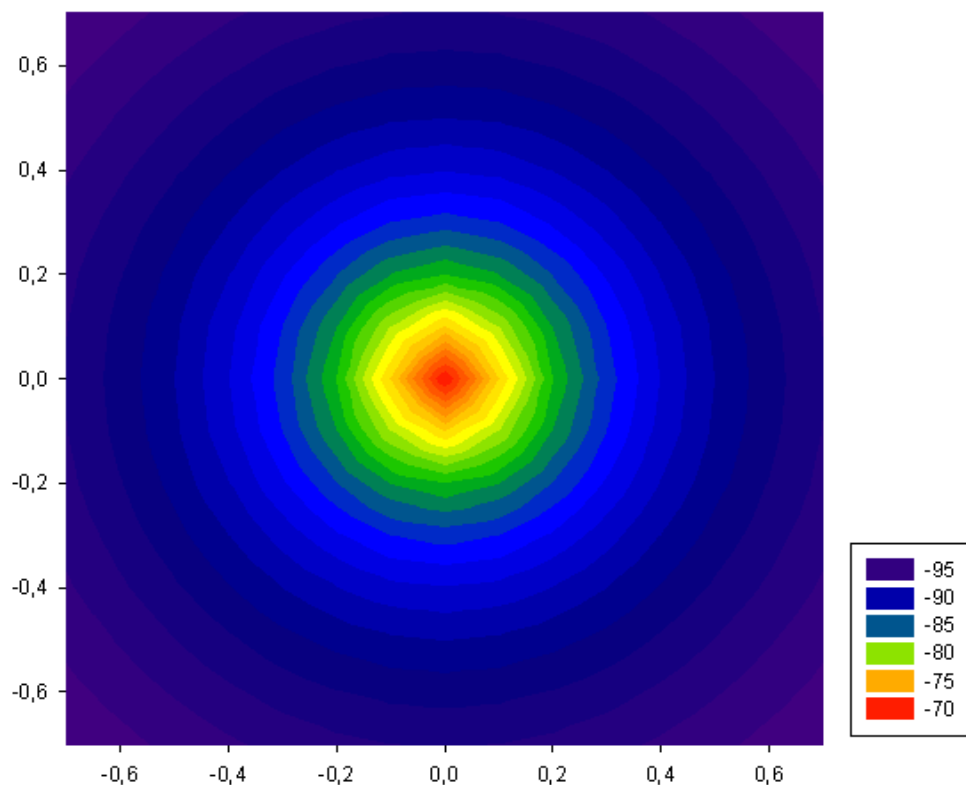
En la tabla anterior, se refleja el cálculo de balance de potencias.

Por lo que nos haríamos una idea de la cobertura de la antena emitiendo a ciertos parámetros (ganancias, frecuencia, potencia de transmisión,...).

Observando los datos de la tabla anterior, podemos sacar varias conclusiones: al considerar la antena omnidireccional con una potencia de 0dB y una ganancia de 1.5 dB (antena isotropica), según el calculo, vemos que la

antena tendrá una cobertura máxima de 0.7 m de radio (1.4 m en total) si consideramos unas motas con sensibilidad de -95 dBm, por lo que en dicha zona, la cobertura máxima sería de aproximadamente unos 1.5 m, sin tener en cuenta obstáculos (problemas de reflexión, refracción, etc..).

La imagen siguiente refleja la cobertura de dicha antena:



En este caso, la cobertura sería insuficiente, ya que al colocar unos sensores a la altura de una persona, la distancia entre la antena emisora y dicho plano (150 cm), habría una diferencia de 0.8 m en línea recta. Siendo la distancia máxima de cobertura de 0.7 m, por lo tanto, la potencia recibida sería menor que la sensibilidad, con lo cual no sería aceptable.

Sabiendo dichos parámetros, el único modo de aumentar la cobertura es de modificar los parámetros de la antena; en este caso, cambiar los valores de la ganancia o la potencia de transmisión.

Distancia (m)	Lprop	Ptx	Gtx	Grx	Prx	Sens Mota 1	Sens Mota 2	Sens Mota 3	Sens Mota 4
0,1	80,04422483	2	3	3	-72,04422	-95	-73	-68	-61
0,2	86,06482475	2	3	3	-78,06482	-95	-73	-68	-61
0,3	89,58664993	2	3	3	-81,58665	-95	-73	-68	-61
0,4	92,08542466	2	3	3	-84,08542	-95	-73	-68	-61
0,5	94,02362492	2	3	3	-86,02362	-95	-73	-68	-61
0,6	95,60724984	2	3	3	-87,60725	-95	-73	-68	-61
0,7	96,94618563	2	3	3	-88,94619	-95	-73	-68	-61

Análisis del Impacto Topo-Morfológico en el Despliegue de redes de Sensores Inalámbricos en Autobuses de Transporte Urbano

0,8	98,10602457	2	3	3	-90,10602	-95	-73	-68	-61
0,9	99,12907502	2	3	3	-91,12908	-95	-73	-68	-61
1	100,0442248	2	3	3	-92,04422	-95	-73	-68	-61
1,1	100,8720785	2	3	3	-92,87208	-95	-73	-68	-61
1,2	101,6278498	2	3	3	-93,62785	-95	-73	-68	-61
1,3	102,3230919	2	3	3	-94,32309	-95	-73	-68	-61
1,4	102,9667855	2	3	3	-94,96679	-95	-73	-68	-61

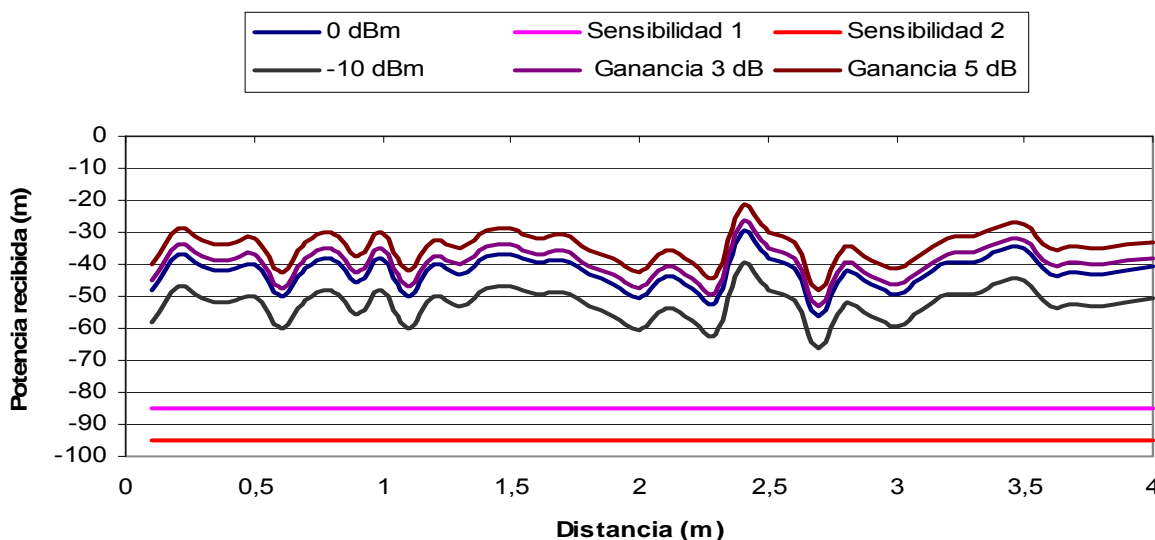
Las tablas anteriores reflejan los cálculos de balance considerando la modificación de algunos parámetros. En cuanto a nuestro estudio, decidimos observar la cobertura que tiene a una altura de 150 cm, en la altura de una persona aproximadamente.

Por la complejidad del escenario y la topología que tiene un transporte público, la colocación de la antena no es tarea simple ya que debido a las construcciones que nos debemos de adaptar, elegiremos una situación en concreto.

Dicha colocación resulta situada en $x=1.1$, $y=2.4$ y una altura de 230 cm, ya que resulta una altura adecuada para evitar interferencias con los pasajeros del autobús

Aparentemente, la señal emitida por el escenario permite tener a esta altura unos niveles de potencia aceptables, lo que permitiría colocar unos sensores en varios lugares. Al variar los parámetros de ganancia y de potencia, las graficas que se muestran a continuación se modificaran, dando lugar a nuevas curvas:

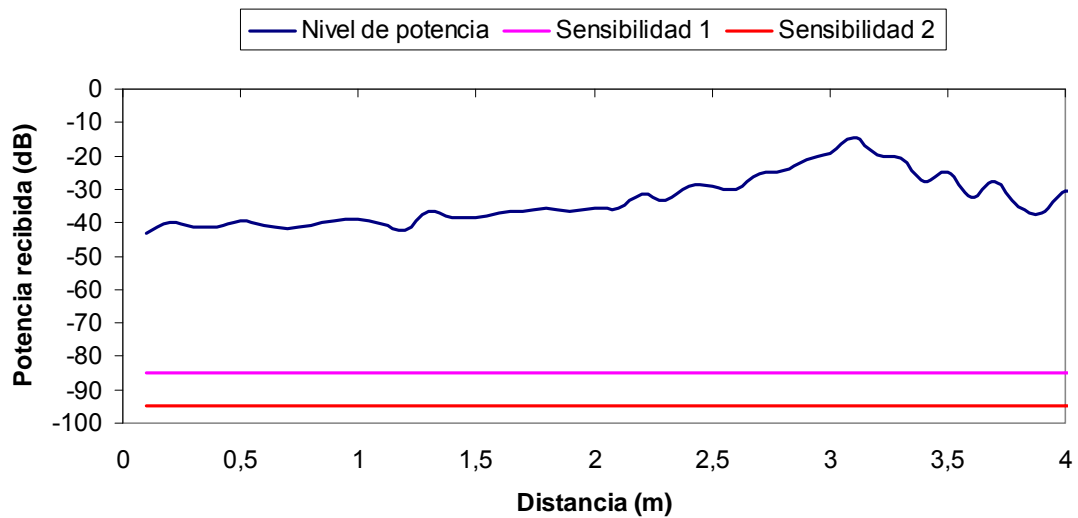
Radial a altura de 1.5 m



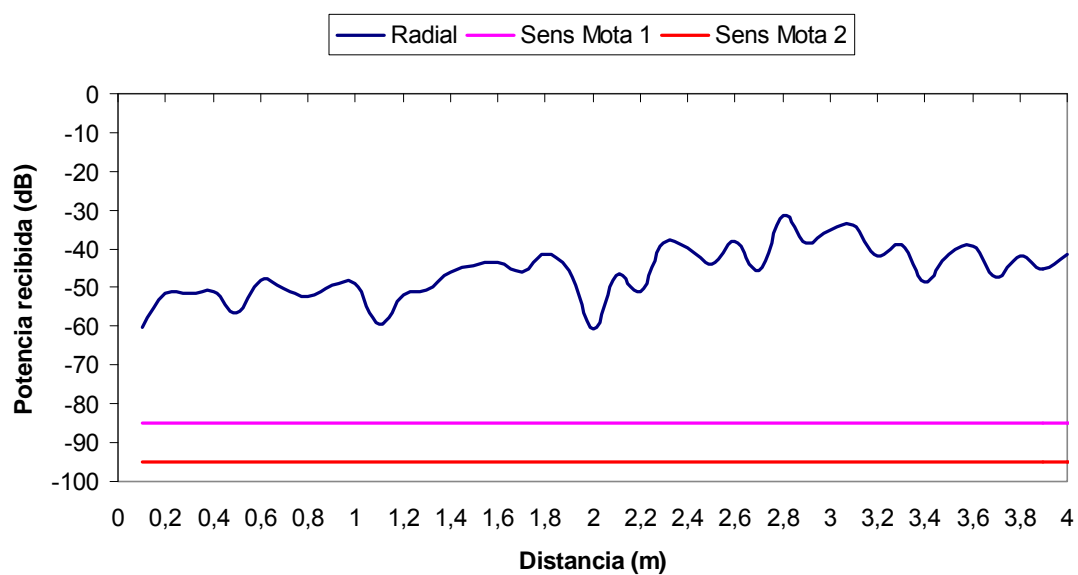
Zona 2: En este paso, vamos a analizar la zona dos, correspondiente a la zona del centro. De la misma manera que para la primera zona (zona frontal del autobús), visualizaremos la cobertura correspondiente en caso de que pudiéramos una antena en el centro, claro esta que dependerá la colocación de

dicha antena respecto a la topología del interior del vehículo. Por lo tanto, la cobertura será la misma para la segunda zona.

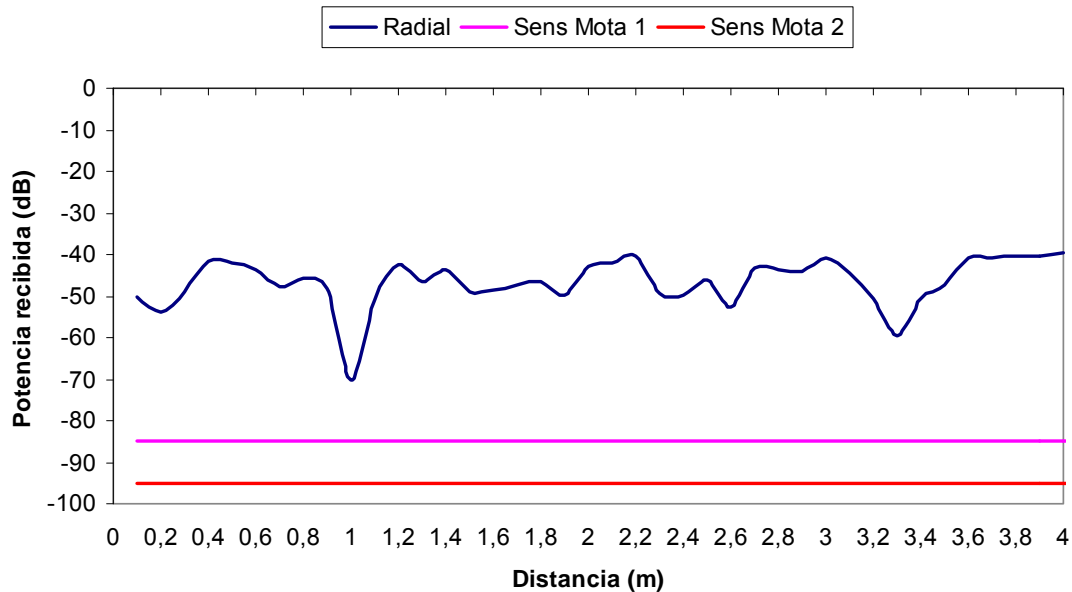
ZonaCentral (2)



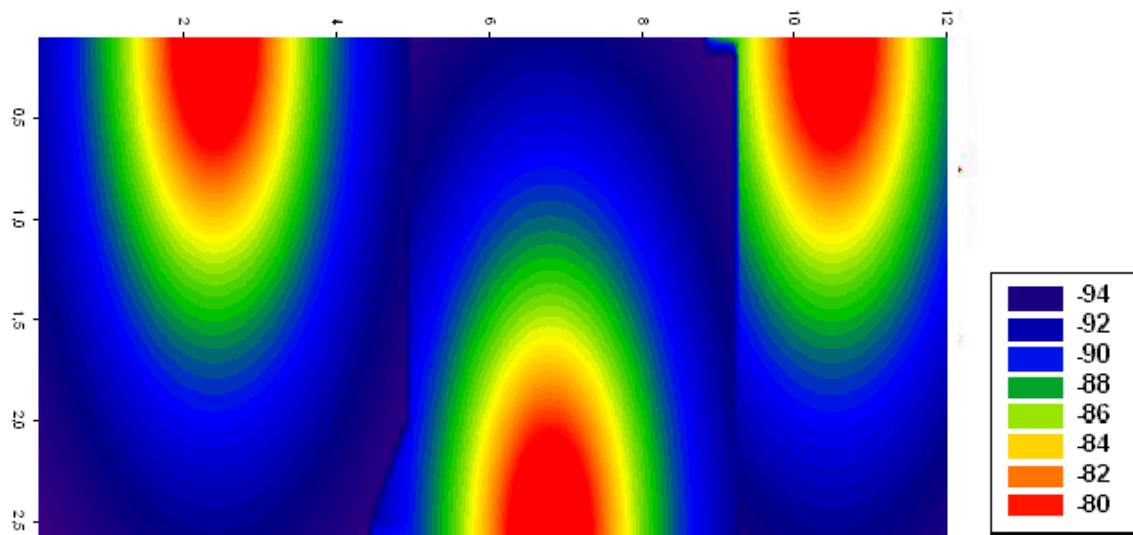
Radial 50 cm del lado izquierdo Altura z=1.5m. Zona Central



Radial 50 cm del lado derecho Altura z=1.5m. Zona Central



Al igual que la primera zona, tendremos que hacer un balance de potencias de manera que la potencia recibida en el receptor será al menos, mayor o igual que la sensibilidad del dispositivo que queremos colocar (en este caso, sensores para nuestra red inalámbrica). En la siguiente imagen, observamos el mapa de cobertura correspondiente a las tres antenas:



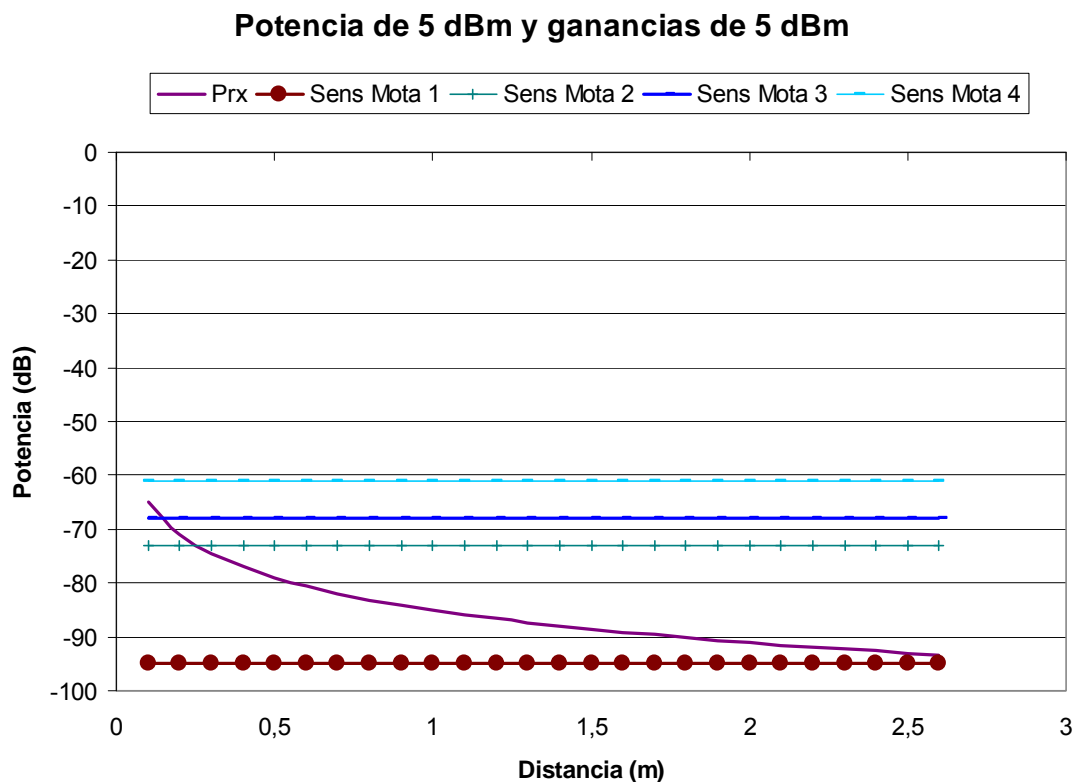
Como hemos dicho anteriormente, para tener un máximo de cobertura posible, es imprescindible alternar algunos de los parámetros de los dispositivos de emisión como la ganancia del emisor, la potencia del emisor y la ganancia del receptor ya que las pérdidas de propagación serán constantes, al realizar el balance de potencias de enlace, también comentado anteriormente.

Análisis del Impacto Topo-Morfológico en el Despliegue de redes de Sensores Inalámbricos en Autobuses de Transporte Urbano

En el caso anterior, la cobertura mostrada en la imagen anterior correspondería a una potencia transmisión de 5 dB y ganancias, tanto en el transmisor como en el receptor a 5 dB. La tabla que refleja el balance es la siguiente:

Distancia (m)	Lprop	Ptx	Gtx	Grx	Prx	Sens Mota 1	Sens Mota 2	Sens Mota 3	Sens Mota 4
0,1	80,04422	5	5	5	-65,04	-95	-73	-68	-61
0,2	86,06482	5	5	5	-71,06	-95	-73	-68	-61
0,3	89,58665	5	5	5	-74,59	-95	-73	-68	-61
0,4	92,08542	5	5	5	-77,09	-95	-73	-68	-61
0,5	94,02362	5	5	5	-79,02	-95	-73	-68	-61
0,6	95,60725	5	5	5	-80,61	-95	-73	-68	-61
0,7	96,94619	5	5	5	-81,95	-95	-73	-68	-61
0,8	98,10602	5	5	5	-83,11	-95	-73	-68	-61
0,9	99,12908	5	5	5	-84,13	-95	-73	-68	-61
1	100,0442	5	5	5	-85,04	-95	-73	-68	-61
1,1	100,8721	5	5	5	-85,87	-95	-73	-68	-61
1,2	101,6278	5	5	5	-86,63	-95	-73	-68	-61
1,3	102,3231	5	5	5	-87,32	-95	-73	-68	-61
1,4	102,9668	5	5	5	-87,97	-95	-73	-68	-61
1,5	103,5661	5	5	5	-88,57	-95	-73	-68	-61
1,6	104,1266	5	5	5	-89,13	-95	-73	-68	-61
1,7	104,6532	5	5	5	-89,65	-95	-73	-68	-61
1,8	105,1497	5	5	5	-90,15	-95	-73	-68	-61
1,9	105,6193	5	5	5	-90,62	-95	-73	-68	-61
2	106,0648	5	5	5	-91,06	-95	-73	-68	-61
2,1	106,4886	5	5	5	-91,49	-95	-73	-68	-61
2,2	106,8927	5	5	5	-91,89	-95	-73	-68	-61
2,3	107,2788	5	5	5	-92,28	-95	-73	-68	-61
2,4	107,6484	5	5	5	-92,65	-95	-73	-68	-61
2,5	108,003	5	5	5	-93	-95	-73	-68	-61
2,6	108,3437	5	5	5	-93,34	-95	-73	-68	-61

Y su correspondiente grafica:

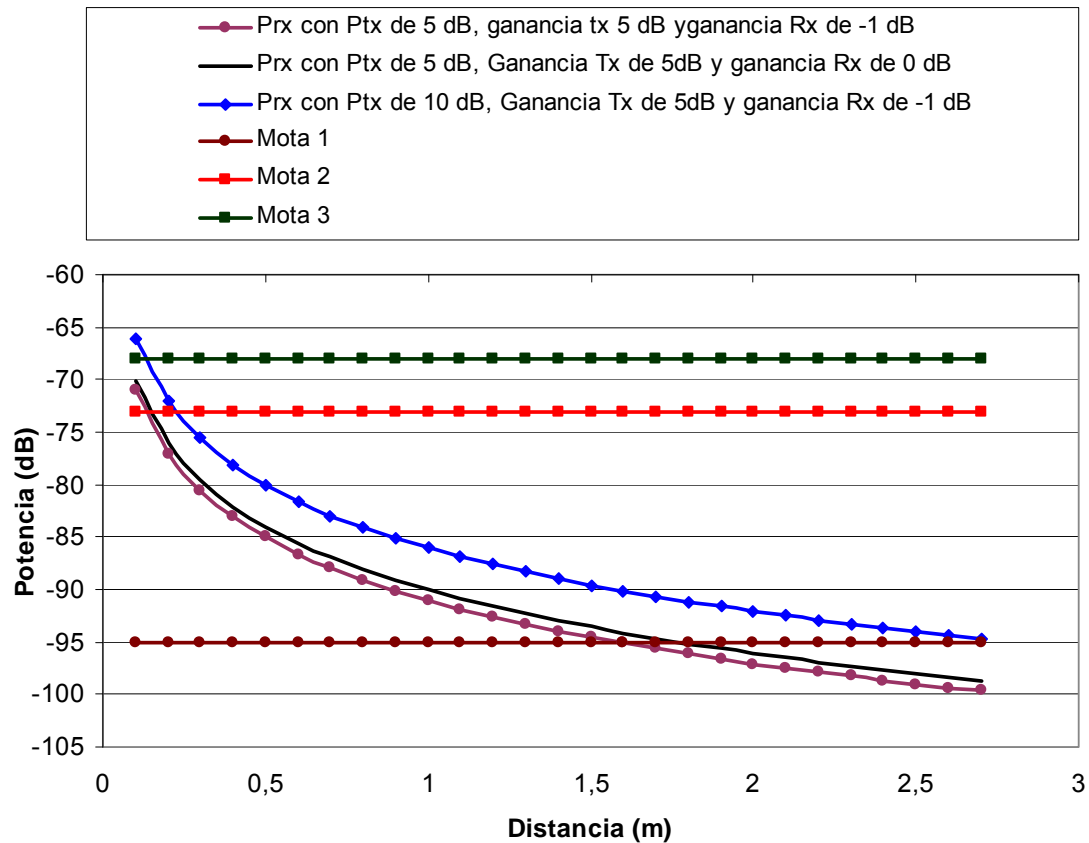


En la planificación de nuestra red inalámbrica, continuaremos a medir y comprobar diferentes puntos de manera que podemos analizar las diferentes posibilidades de crear nuestra red y de esa manera, permitir la comunicación entre los dispositivos que incorporan dicha red.

Hemos hecho ya la primera aproximación, donde medimos la cobertura de la antena transmisora y los posibles lugares donde pondríamos dichos sensores. En este segundo paso, vamos a analizar un segundo escenario, donde veremos como actúa la antena transmisora al emitir y comunicarse con un dispositivo integrado a una persona

En la siguiente grafica, observamos como cambia el valor de potencia recibida según el valor de la ganancia y la potencia de transmisión

Análisis del Impacto Topo-Morfológico en el Despliegue de redes de Sensores Inalámbricos en Autobuses de Transporte Urbano



El ejemplo anterior muestra una curva de balance de potencias considerando una potencia de transmisión de 5dBm con ganancia variable. En la siguiente tabla, vemos el cálculo del balance de enlace

Distancia (m)	Lprop	Ptx	Ptx	Gtx	Gtx	Grx	Grx	Prx	Prx	Prx	Mota 1	Mota 2	Mota 3	Mota 4
0,1	80,04422	5	10	5	5	0	-1	-71,04422	-70,04	-66,0442	-95	-73	-68	-61
0,2	86,06482	5	10	5	5	0	-1	-77,06482	-76,06	-72,0648	-95	-73	-68	-61
0,3	89,58665	5	10	5	5	0	-1	-80,58665	-79,59	-75,5866	-95	-73	-68	-61
0,4	92,08542	5	10	5	5	0	-1	-83,08542	-82,09	-78,0854	-95	-73	-68	-61
0,5	94,02362	5	10	5	5	0	-1	-85,02362	-84,02	-80,0236	-95	-73	-68	-61
0,6	95,60725	5	10	5	5	0	-1	-86,60725	-85,61	-81,6072	-95	-73	-68	-61
0,7	96,94619	5	10	5	5	0	-1	-87,94619	-86,95	-82,9462	-95	-73	-68	-61
0,8	98,10602	5	10	5	5	0	-1	-89,10602	-88,11	-84,106	-95	-73	-68	-61
0,9	99,12908	5	10	5	5	0	-1	-90,12908	-89,13	-85,1291	-95	-73	-68	-61
1	100,0442	5	10	5	5	0	-1	-91,04422	-90,04	-86,0442	-95	-73	-68	-61
1,1	100,8721	5	10	5	5	0	-1	-91,87208	-90,87	-86,8721	-95	-73	-68	-61
1,2	101,6278	5	10	5	5	0	-1	-92,62785	-91,63	-87,6278	-95	-73	-68	-61
1,3	102,3231	5	10	5	5	0	-1	-93,32309	-92,32	-88,3231	-95	-73	-68	-61
1,4	102,9668	5	10	5	5	0	-1	-93,96679	-92,97	-88,9668	-95	-73	-68	-61
1,5	103,5661	5	10	5	5	0	-1	-94,56605	-93,57	-89,5661	-95	-73	-68	-61
1,6	104,1266	5	10	5	5	0	-1	-95,12662	-94,13	-90,1266	-95	-73	-68	-61
1,7	104,6532	5	10	5	5	0	-1	-95,6532	-94,65	-90,6532	-95	-73	-68	-61
1,8	105,1497	5	10	5	5	0	-1	-96,14967	-95,15	-91,1497	-95	-73	-68	-61
1,9	105,6193	5	10	5	5	0	-1	-96,6193	-95,62	-91,6193	-95	-73	-68	-61
2	106,0648	5	10	5	5	0	-1	-97,06482	-96,06	-92,0648	-95	-73	-68	-61

Análisis del Impacto Topo-Morfológico en el Despliegue de redes de Sensores Inalámbricos en Autobuses de Transporte Urbano

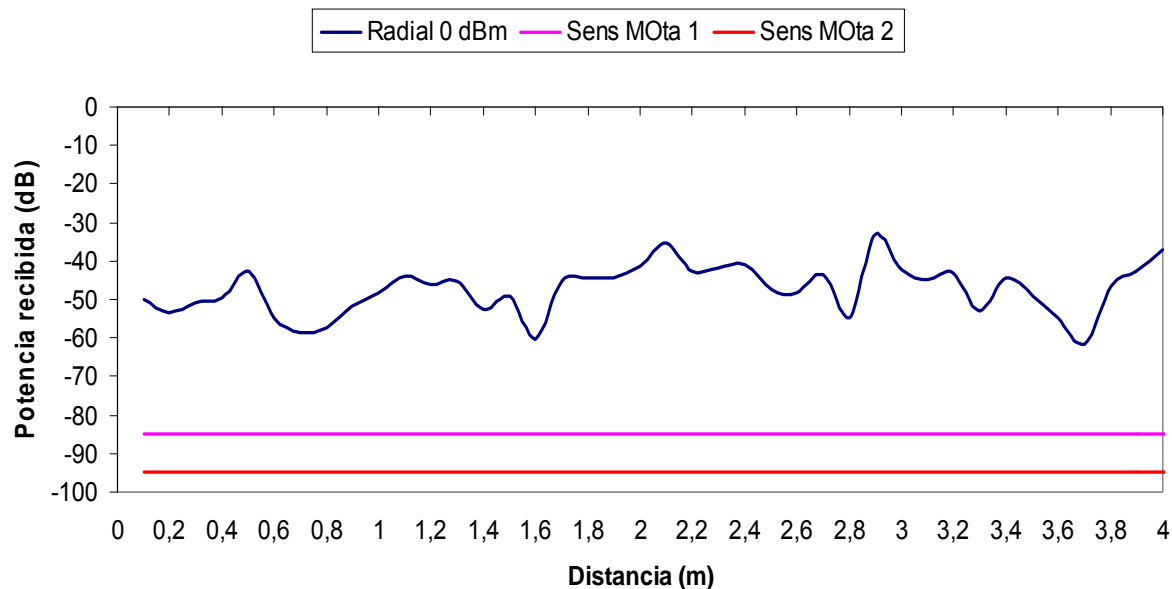
2,1	106,4886	5	10	5	5	0	-1	-97,48861	-96,49	-92,4886	-95	-73	-68	-61
2,2	106,8927	5	10	5	5	0	-1	-97,89268	-96,89	-92,8927	-95	-73	-68	-61
2,3	107,2788	5	10	5	5	0	-1	-98,27878	-97,28	-93,2788	-95	-73	-68	-61
2,4	107,6484	5	10	5	5	0	-1	-98,64845	-97,65	-93,6484	-95	-73	-68	-61
2,5	108,003	5	10	5	5	0	-1	-99,00303	-98	-94,003	-95	-73	-68	-61
2,6	108,3437	5	10	5	5	0	-1	-99,34369	-98,34	-94,3437	-95	-73	-68	-61
2,7	108,6715	5	10	5	5	0	-1	-99,6715	-98,67	-94,6715	-95	-73	-68	-61

Como podemos comprobar, la cobertura cambia al disminuir o aumentar los parámetros de la antena. Observamos que cambiando el valor de la ganancia en el receptor (suponiendo un dispositivo sobre una persona) en 1 dB por debajo del valor de ganancia del transmisor, la cobertura puede variar de tener 1.7 m a 20 cm menos, lo cual es totalmente probable.

Según esta tabla, también observamos que al tener una potencia mayor (10 dB) con una ganancia de 5 dB en el transmisor y una ganancia de -1 dB en el receptor (posible ganancia en pequeñas antenas, como la de un teléfono móvil o pequeño dispositivo), su radio de cobertura será de alrededor de 5,4 m (en este caso, consideramos un entorno vacío, sin presencia de personas).

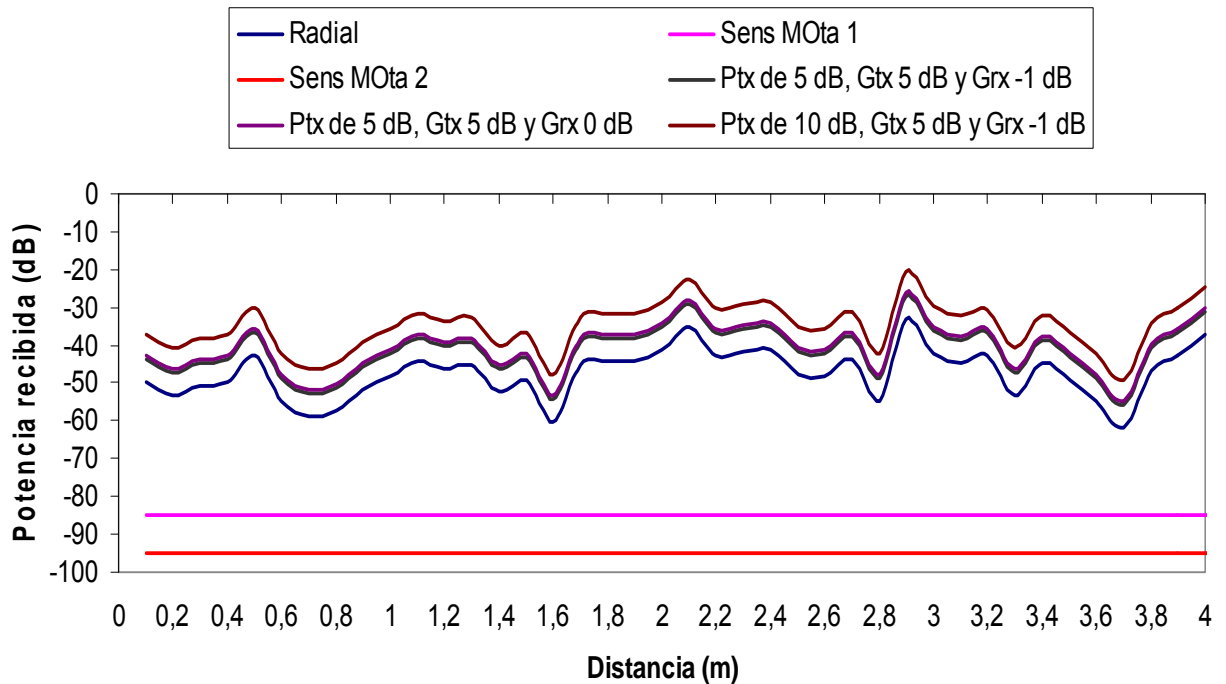
Consideramos una persona situada en el centro del autobús con un dispositivo a la altura de metro y medio. La siguiente grafica nos muestra un corte del autobús en su centro de su eje X:

Radial Altura z=1.5m. Zona Central



Como variamos los distintos parámetros, los niveles de potencia serán diferentes, de manera tanto el mapa bidimensional como los cortes del autobús cambiarán significativamente. En las siguientes graficas, representamos las graficas de los cortes variando dichos parámetros:

Radial Altura z=1.5m. Zona Central



. PERSONA A PERSONA

En este apartado trataremos de dar brevemente un vistazo en lo que sería la cobertura de dispositivos cuando están incorporados a personas (suponiendo que dichos elementos se consideran fijos; en caso contrario, sería otra tema que no debatiremos en el objetivo de este proyecto).

Como comentamos en anteriores párrafos, la primera etapa sea calcular el balance de enlace de manera que la cobertura sea la máxima posible, respetando siempre normas y seguridades sobre las ondas de radiofrecuencia. La potencia tiene que ser mayor o igual que la sensibilidad del dispositivo. Las tablas siguientes resumen dichos cálculos, variando los parámetros de la antena, y sus respectivas ganancias.

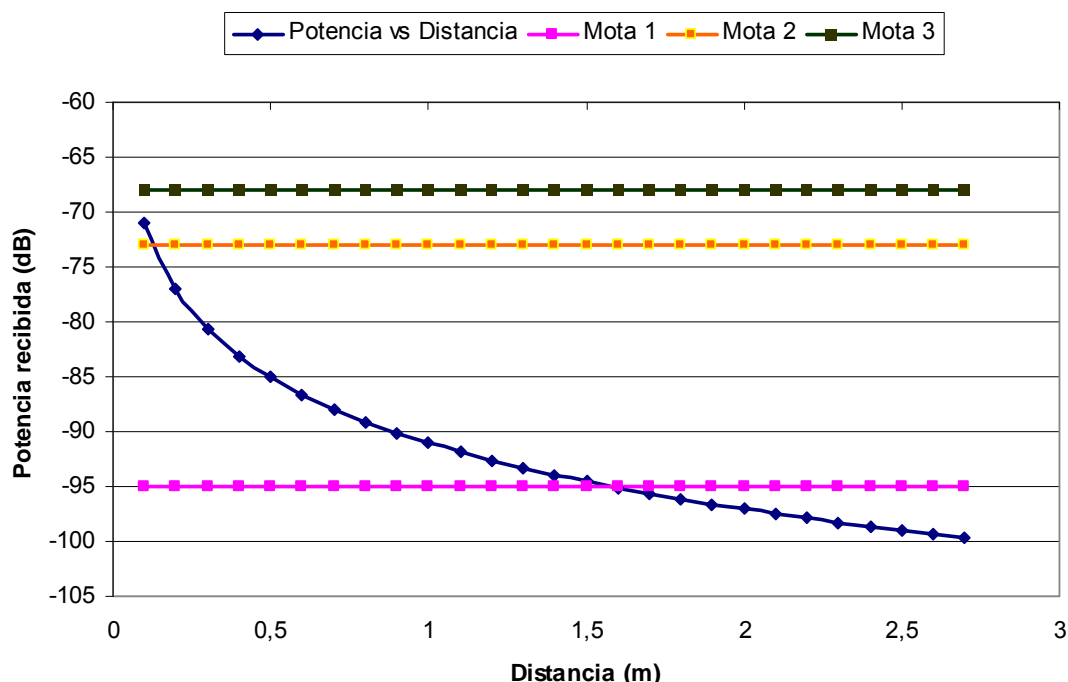
Distancia (m)	Lprop	Ptx	Ptx2	Gtx2	Gtx	Grx	Grx2	Prx	Prx3	Mota 1	Mota 2	Mota 3	Mota 4
0,1	80,0442248	10	10	5	-1	0	-1	71,0442248	72,0442248	-95	-73	-68	-61
0,2	86,0648247	10	10	5	-1	0	-1	77,0648247	78,0648247	-95	-73	-68	-61
0,3	89,5866499	10	10	5	-1	0	-1	80,5866499	81,5866499	-95	-73	-68	-61
0,4	92,0854247	10	10	5	-1	0	-1	83,0854247	84,0854247	-95	-73	-68	-61
0,5	94,0236249	10	10	5	-1	0	-1	85,0236249	86,0236249	-95	-73	-68	-61

Análisis del Impacto Topo-Morfológico en el Despliegue de redes de Sensores Inalámbricos en Autobuses de Transporte Urbano

0,6	95,6072498	10	10	5	-1	0	-1	-	86,6072498	87,6072498	-95	-73	-68	-61
0,7	96,9461856	10	10	5	-1	0	-1	-	87,9461856	88,9461856	-95	-73	-68	-61
0,8	98,1060246	10	10	5	-1	0	-1	-	89,1060246	90,1060246	-95	-73	-68	-61
0,9	99,129075	10	10	5	-1	0	-1	-	-90,129075	-91,129075	-95	-73	-68	-61
1	100,044225	10	10	5	-1	0	-1	-	91,0442248	92,0442248	-95	-73	-68	-61
1,1	100,872079	10	10	5	-1	0	-1	-	91,8720785	92,8720785	-95	-73	-68	-61
1,2	101,62785	10	10	5	-1	0	-1	-	92,6278498	93,6278498	-95	-73	-68	-61
1,3	102,323092	10	10	5	-1	0	-1	-	93,3230919	94,3230919	-95	-73	-68	-61
1,4	102,966786	10	10	5	-1	0	-1	-	93,9667855	94,9667855	-95	-73	-68	-61
1,5	103,56605	10	10	5	-1	0	-1	-	-94,56605	-95,56605	-95	-73	-68	-61
1,6	104,126624	10	10	5	-1	0	-1	-	95,1266245	96,1266245	-95	-73	-68	-61
1,7	104,653203	10	10	5	-1	0	-1	-	95,6532033	96,6532033	-95	-73	-68	-61
1,8	105,149675	10	10	5	-1	0	-1	-	96,1496749	97,1496749	-95	-73	-68	-61
1,9	105,619297	10	10	5	-1	0	-1	-	96,6192969	97,6192969	-95	-73	-68	-61
2	106,064825	10	10	5	-1	0	-1	-	97,0648247	98,0648247	-95	-73	-68	-61
2,1	106,488611	10	10	5	-1	0	-1	-	97,4886107	98,4886107	-95	-73	-68	-61
2,2	106,892678	10	10	5	-1	0	-1	-	97,8926785	98,8926785	-95	-73	-68	-61
2,3	107,278782	10	10	5	-1	0	-1	-	98,2787816	99,2787816	-95	-73	-68	-61
2,4	107,64845	10	10	5	-1	0	-1	-	98,6484497	99,6484497	-95	-73	-68	-61
2,5	108,003025	10	10	5	-1	0	-1	-	-99,003025	100,003025	-95	-73	-68	-61
2,6	108,343692	10	10	5	-1	0	-1	-	99,3436918	100,343692	-95	-73	-68	-61
2,7	108,6715	10	10	5	-1	0	-1	-	99,6715001	-100,6715	-95	-73	-68	-61

En este caso, para una potencia en transmisor de 10 dB, se considera que la cobertura tendrá un radio de 3 m aprox., siempre considerando el espacio vacío.

POtencia de 10 dB, ganancia en transmisor de -1 dB y en receptor de 0 dB



En la grafica anterior, observamos lo comentado en el apartado anterior. Conforme aumenta la distancia, las perdidas por propagación aumentan. Variando los parámetros de la antena en cuestión, haremos que aumente o disminuya la cobertura.

Otro ejemplo de cálculo de balance de enlace:

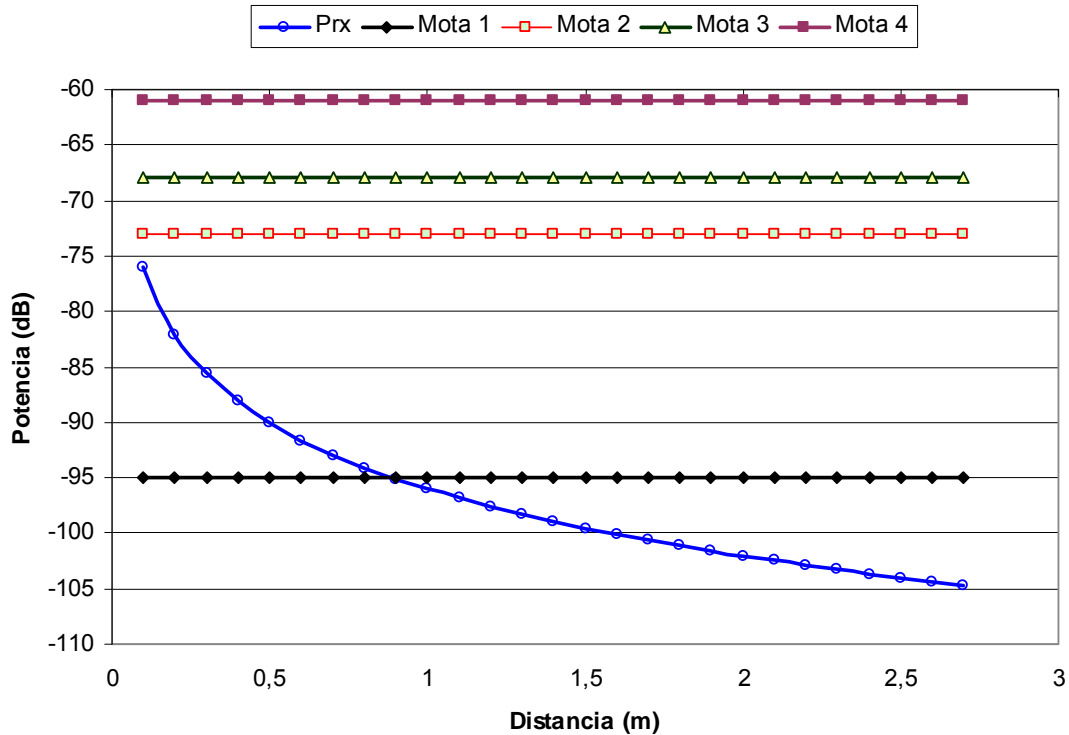
Distancia (m)	Lprop	Ptx	Ptx2	Gtx2	Gtx	Grx	Grx2	Prx	Prx3	Mota 1	Mota 2	Mota 3	Mota 4
0,1	80,0442248	5	10	5	-1	0	-1	76,0442248	66,0442248	-95	-73	-68	-61
0,2	86,0648247	5	10	5	-1	0	-1	82,0648247	72,0648247	-95	-73	-68	-61
0,3	89,5866499	5	10	5	-1	0	-1	85,5866499	75,5866499	-95	-73	-68	-61
0,4	92,0854247	5	10	5	-1	0	-1	88,0854247	78,0854247	-95	-73	-68	-61
0,5	94,0236249	5	10	5	-1	0	-1	90,0236249	80,0236249	-95	-73	-68	-61
0,6	95,6072498	5	10	5	-1	0	-1	91,6072498	81,6072498	-95	-73	-68	-61
0,7	96,9461856	5	10	5	-1	0	-1	92,9461856	82,9461856	-95	-73	-68	-61
0,8	98,1060246	5	10	5	-1	0	-1	94,1060246	84,1060246	-95	-73	-68	-61
0,9	99,129075	5	10	5	-1	0	-1	95,129075	85,129075	-95	-73	-68	-61
1	100,044225	5	10	5	-1	0	-1	96,0442248	86,0442248	-95	-73	-68	-61
1,1	100,872079	5	10	5	-1	0	-1	96,8720785	86,8720785	-95	-73	-68	-61
1,2	101,62785	5	10	5	-1	0	-1	-	-	-95	-73	-68	-61

Análisis del Impacto Topo-Morfológico en el Despliegue de redes de Sensores Inalámbricos en Autobuses de Transporte Urbano

								97,6278498	87,6278498						
1,3	102,323092	5	10	5	-1	0	-1	-	-	98,3230919	88,3230919	-95	-73	-68	-61
1,4	102,966786	5	10	5	-1	0	-1	-	-	98,9667855	88,9667855	-95	-73	-68	-61
1,5	103,56605	5	10	5	-1	0	-1	-	-	-99,56605	-89,56605	-95	-73	-68	-61
1,6	104,126624	5	10	5	-1	0	-1	-	-	100,126624	90,1266245	-95	-73	-68	-61
1,7	104,653203	5	10	5	-1	0	-1	-	-	100,653203	90,6532033	-95	-73	-68	-61
1,8	105,149675	5	10	5	-1	0	-1	-	-	101,149675	91,1496749	-95	-73	-68	-61
1,9	105,619297	5	10	5	-1	0	-1	-	-	101,619297	91,6192969	-95	-73	-68	-61
2	106,064825	5	10	5	-1	0	-1	-	-	102,064825	92,0648247	-95	-73	-68	-61
2,1	106,488611	5	10	5	-1	0	-1	-	-	102,488611	92,4886107	-95	-73	-68	-61
2,2	106,892678	5	10	5	-1	0	-1	-	-	102,892678	92,8926785	-95	-73	-68	-61
2,3	107,278782	5	10	5	-1	0	-1	-	-	103,278782	93,2787816	-95	-73	-68	-61
2,4	107,64845	5	10	5	-1	0	-1	-	-	-103,64845	93,6484497	-95	-73	-68	-61
2,5	108,003025	5	10	5	-1	0	-1	-	-	104,003025	-94,003025	-95	-73	-68	-61
2,6	108,343692	5	10	5	-1	0	-1	-	-	104,343692	94,3436918	-95	-73	-68	-61
2,7	108,6715	5	10	5	-1	0	-1	-	-	-104,6715	94,6715001	-95	-73	-68	-61

Y su grafica correspondiente:

Potencia Tx de 5 dB, Ganancias en Tx y Rx de -1 dB



Al igual que la tabla anterior, cambiamos los parámetros. Todos estos parámetros se reflejan en la siguiente tabla:

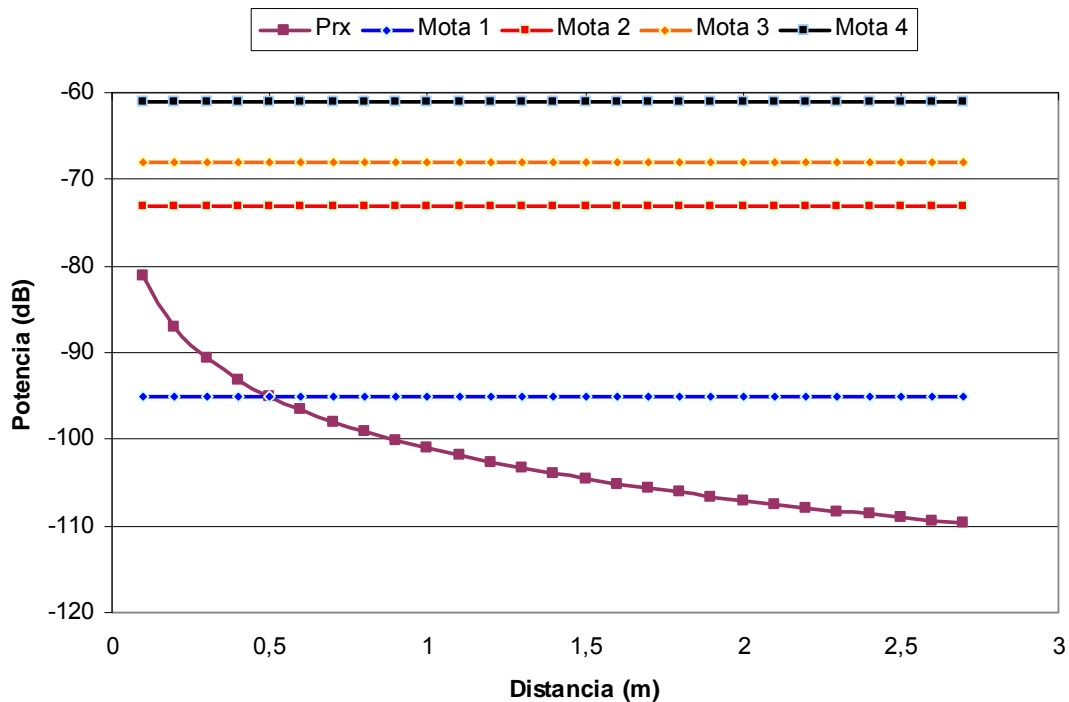
Distancia (m)	Lprop	Ptx	Ptx2	Gtx2	Gtx	Grx	Grx2	Prx	Prx3	Mota 1	Mota 2	Mota 3	Mota 4
0,1	80,0442248	0	10	5	-1	0	-1	81,0442248	66,0442248	-95	-73	-68	-61
0,2	86,0648247	0	10	5	-1	0	-1	87,0648247	72,0648247	-95	-73	-68	-61
0,3	89,5866499	0	10	5	-1	0	-1	90,5866499	75,5866499	-95	-73	-68	-61
0,4	92,0854247	0	10	5	-1	0	-1	93,0854247	78,0854247	-95	-73	-68	-61
0,5	94,0236249	0	10	5	-1	0	-1	95,0236249	80,0236249	-95	-73	-68	-61
0,6	95,6072498	0	10	5	-1	0	-1	96,6072498	81,6072498	-95	-73	-68	-61
0,7	96,9461856	0	10	5	-1	0	-1	97,9461856	82,9461856	-95	-73	-68	-61
0,8	98,1060246	0	10	5	-1	0	-1	99,1060246	84,1060246	-95	-73	-68	-61
0,9	99,129075	0	10	5	-1	0	-1	100,129075	-85,129075	-95	-73	-68	-61
1	100,044225	0	10	5	-1	0	-1	101,044225	86,0442248	-95	-73	-68	-61
1,1	100,872079	0	10	5	-1	0	-1	101,872079	86,8720785	-95	-73	-68	-61
1,2	101,62785	0	10	5	-1	0	-1	-102,62785	87,6278498	-95	-73	-68	-61
1,3	102,323092	0	10	5	-1	0	-1	-	-	-95	-73	-68	-61

Análisis del Impacto Topo-Morfológico en el Despliegue de redes de Sensores Inalámbricos en Autobuses de Transporte Urbano

								103,323092	88,3230919						
1,4	102,966786	0	10	5	-1	0	-1	-	-	103,966786	88,9667855	-95	-73	-68	-61
1,5	103,56605	0	10	5	-1	0	-1	-104,56605	-89,56605	-95	-73	-68	-61		
1,6	104,126624	0	10	5	-1	0	-1	-	-	105,126624	90,1266245	-95	-73	-68	-61
1,7	104,653203	0	10	5	-1	0	-1	-	-	105,653203	90,6532033	-95	-73	-68	-61
1,8	105,149675	0	10	5	-1	0	-1	-	-	106,149675	91,1496749	-95	-73	-68	-61
1,9	105,619297	0	10	5	-1	0	-1	-	-	106,619297	91,6192969	-95	-73	-68	-61
2	106,064825	0	10	5	-1	0	-1	-	-	107,064825	92,0648247	-95	-73	-68	-61
2,1	106,488611	0	10	5	-1	0	-1	-	-	107,488611	92,4886107	-95	-73	-68	-61
2,2	106,892678	0	10	5	-1	0	-1	-	-	107,892678	92,8926785	-95	-73	-68	-61
2,3	107,278782	0	10	5	-1	0	-1	-	-	108,278782	93,2787816	-95	-73	-68	-61
2,4	107,64845	0	10	5	-1	0	-1	-108,64845	93,6484497	-95	-73	-68	-61		
2,5	108,003025	0	10	5	-1	0	-1	-	-	109,003025	-94,003025	-95	-73	-68	-61
2,6	108,343692	0	10	5	-1	0	-1	-	-	109,343692	94,3436918	-95	-73	-68	-61
2,7	108,6715	0	10	5	-1	0	-1	-109,6715	94,6715001	-95	-73	-68	-61		

Y su correspondiente grafica:

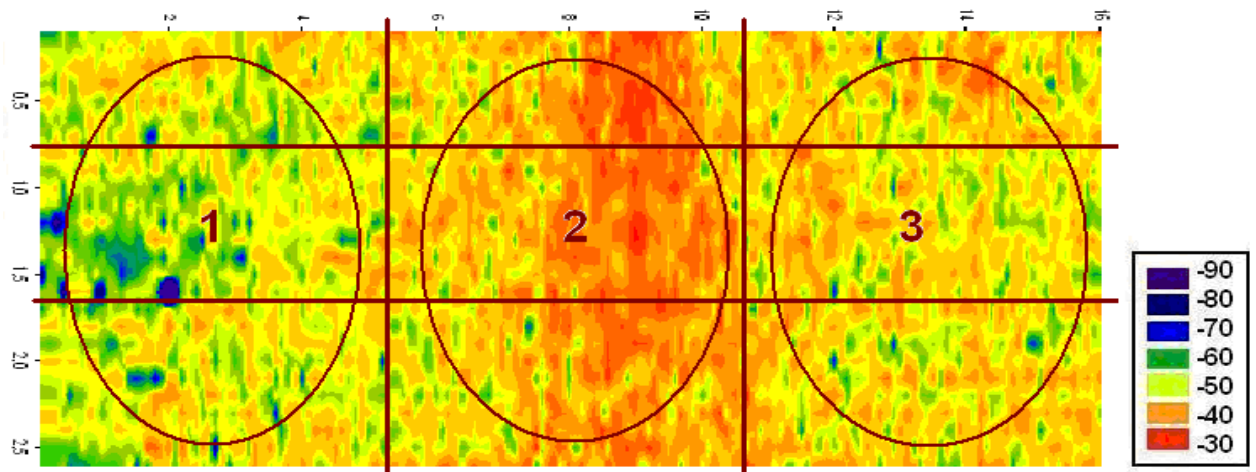
Potencia de 0 dB, ganancia Tx de -1 dB y ganancia en Rx de 0 dB



Estudiemos ahora el caso de la segunda villavesa, que es de tipo doble fuelle.

En primer lugar, como hemos citado anteriormente, dividiremos en celdas el escenario de manera que podemos analizar la cobertura necesaria para que los usuarios puedan intercambiar comunicación de manera satisfactoria.

Recordemos el escenario dividido en retículas:

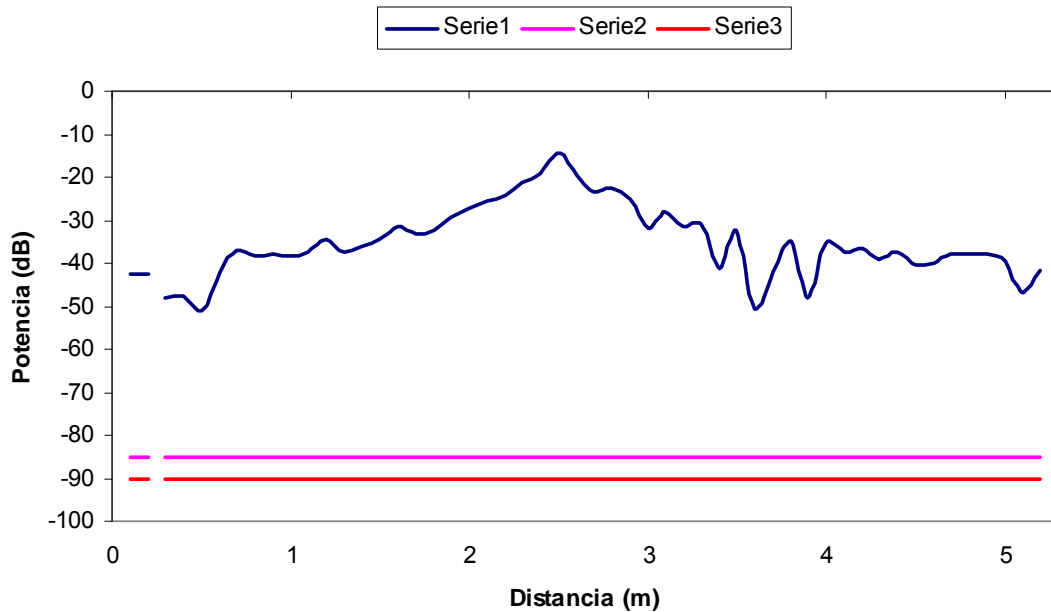


Al igual que el primer escenario, hemos dividido en tres zonas: parte frontal, parte central y parte trasera. Cada una de ellas se divide en tres zonas secundarias. En las zonas principales (las tres zonas citadas anteriormente), se colocará una antena para poder visualizar y analizar su cobertura en dichas zonas.

Al igual que el primer escenario, analizaremos una primera zona correspondiente a la zona trasera del autobús (representada por la zona 3 en el mapa bidimensional anterior).

La gráfica siguiente muestra un corte efectuado a la altura de la antena, es decir $z=2.3$ m y en el centro, es decir $x=1,45$ m.

Radial Central (Altura Antena) en zona trasera

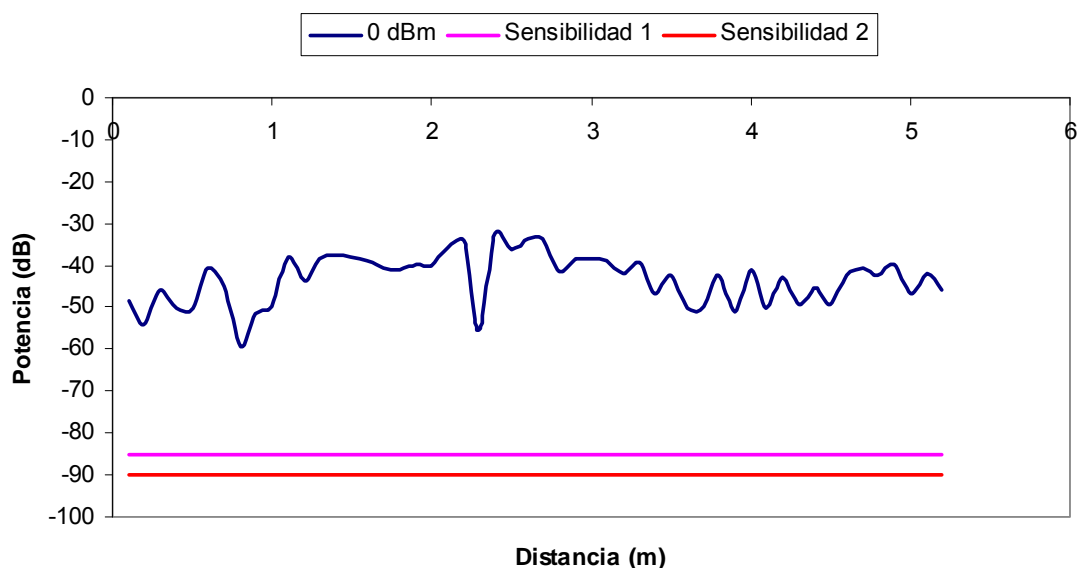


a)

Como cabe esperar, los niveles de potencia recibida disminuyen proporcionalmente con la distancia del emisor. En esta grafica, podemos apreciar donde la antena esta situada (el punto mas alto de la grafica, donde pierde menos potencia).

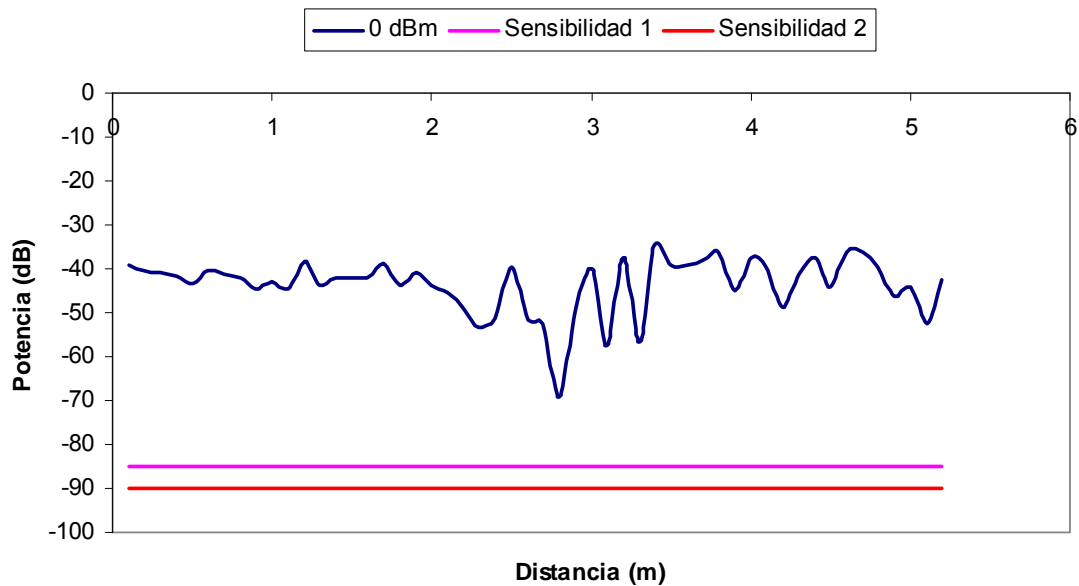
Al ser un escenario complejo (compuesto por muchos objetos como asientos, barras, ventanas,...), la curva de nivel de potencia comentado anteriormente no será lineal, sino que estará expuesta a diversos factores como la componente multitrayecto, donde un rayo emitido por la antena puede tomar una dirección (rayo directo) o emprender varios caminos (multitrayecto).

Radial a 50 cm del lado izquierdo



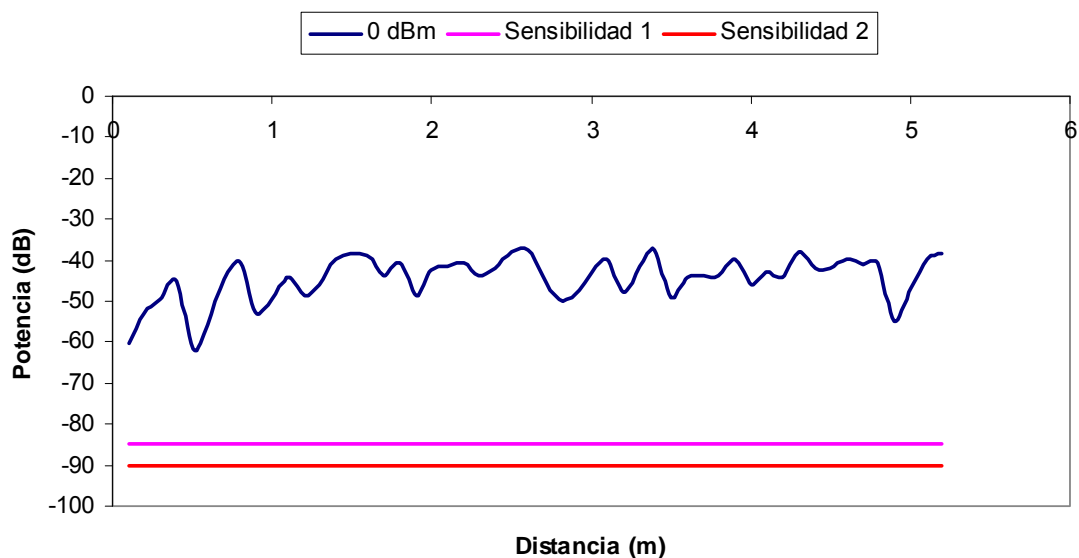
b)

Radial en el centro (paralelo en plano z a antena)



c)

Radial a 50 cm del lado derecho



d)

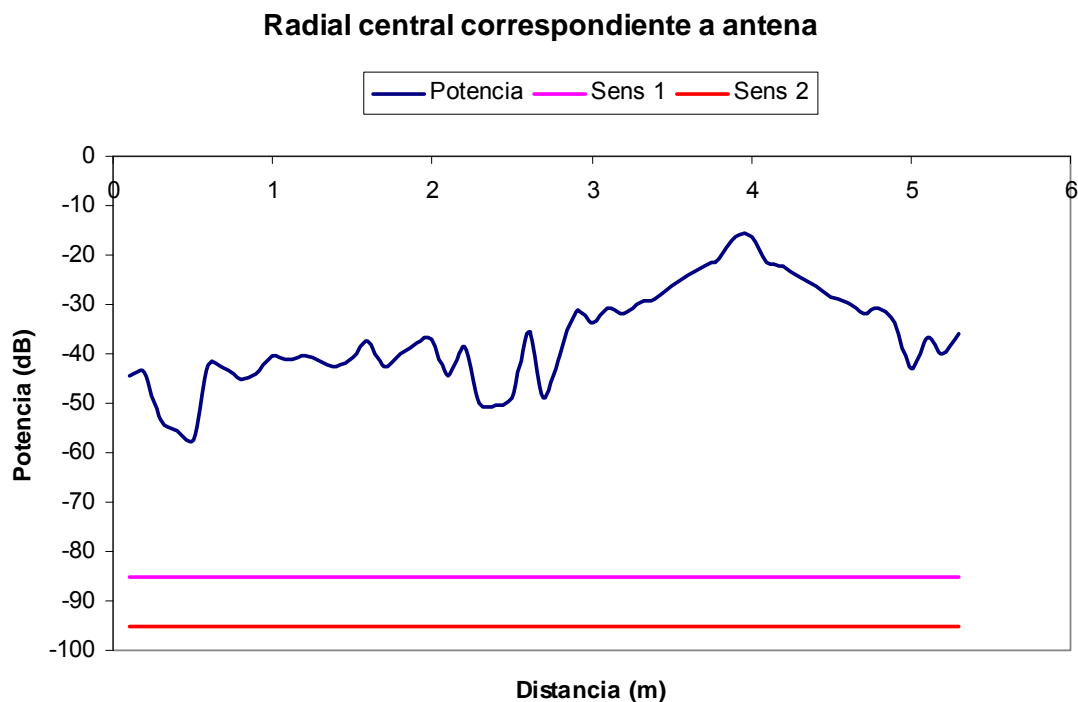
Fig 65: Cortes transversales correspondientes a la zona central (zona2): a) Altura antena ($h=2.3\text{m}$), b) 50 cm del lado izquierdo, c) $h=1.5\text{ m}$ y d) 50 cm del lado derecho

Para corroborar que los niveles de potencia no decaen de forma lineal, hemos considerado exponer varias radiales a ese efecto. En nuestro caso, al dividir en pequeñas celdas, consideramos sacar unos cortes correspondientes a la altura de una persona, ya que pudiera disponer de dispositivos con los que

podiera comunicarse con otro (comunicación para gente con discapacidades: una persona ciega vía bluetooth con su perro, dos personas con discapacidad auditiva,...) .

A continuación, analizaremos una segunda zona correspondiente a la zona central del autobús (representada por la zona 1 en el mapa bidimensional anterior).

La grafica siguiente muestra un corte efectuado a la altura de la antena, es decir $z=2.3$ m y en el centro, es decir $x=1,45$ m. La grafica siguiente muestra dicho corte:

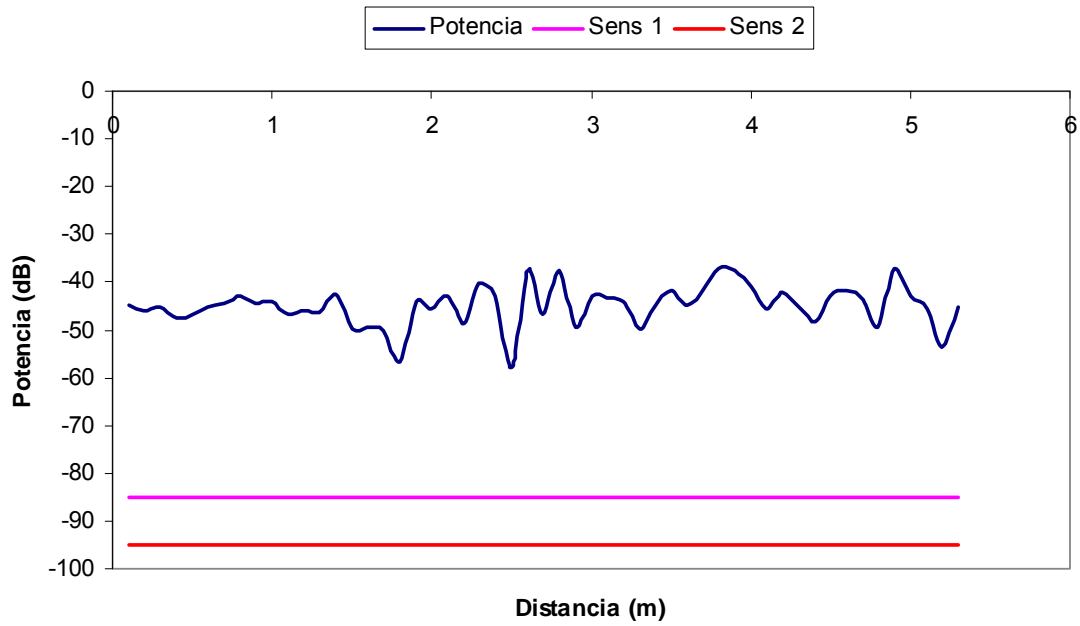


a)

Como cabe esperar, al igual que el escenario y cortes anteriores, los niveles de potencia recibida disminuyen proporcionalmente con la distancia del emisor. En esta grafica, podemos apreciar donde estará situada la antena (el punto mas alto de la grafica, donde pierde menos potencia).

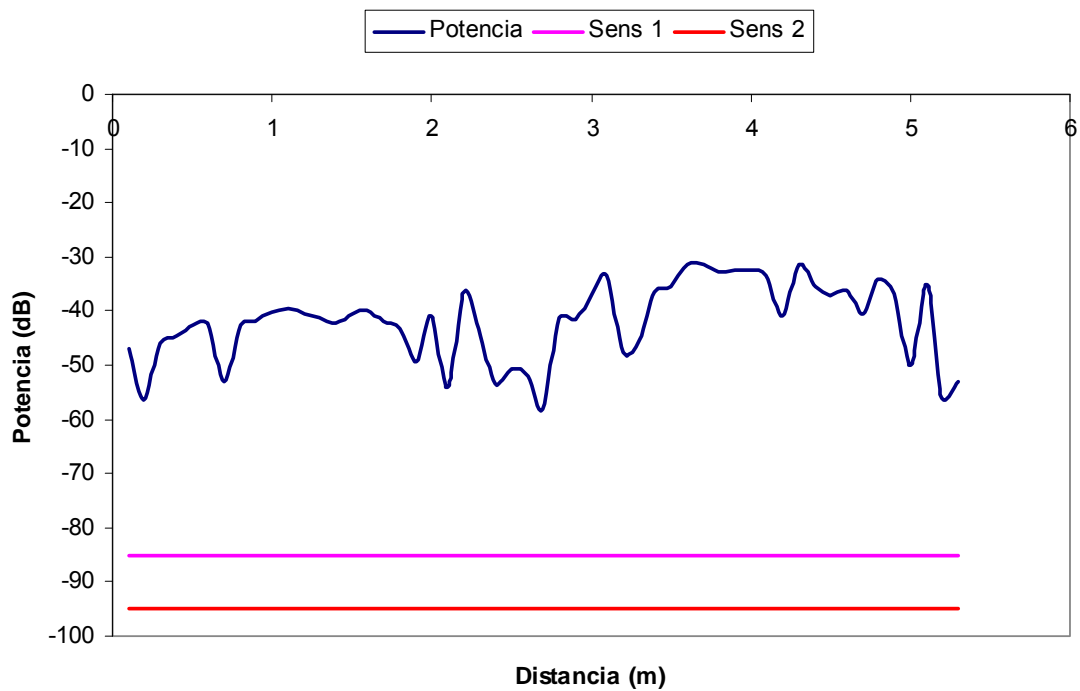
También se puede observar como varia de una manera no lineal el nivel de potencia recibido en cada punto debido a las componentes multitrayecto, además de las posibles interferencias de las ondas cuando se encuentran con un obstáculo, tal como la reflexión, refracción, difusión (comentado en el apartado “Propagación de ondas”)

Radial correspondiente a $z=150$ cm (paralelo a antena en eje z)



b)

Radial a 50 cm del lado izquierdo



c)

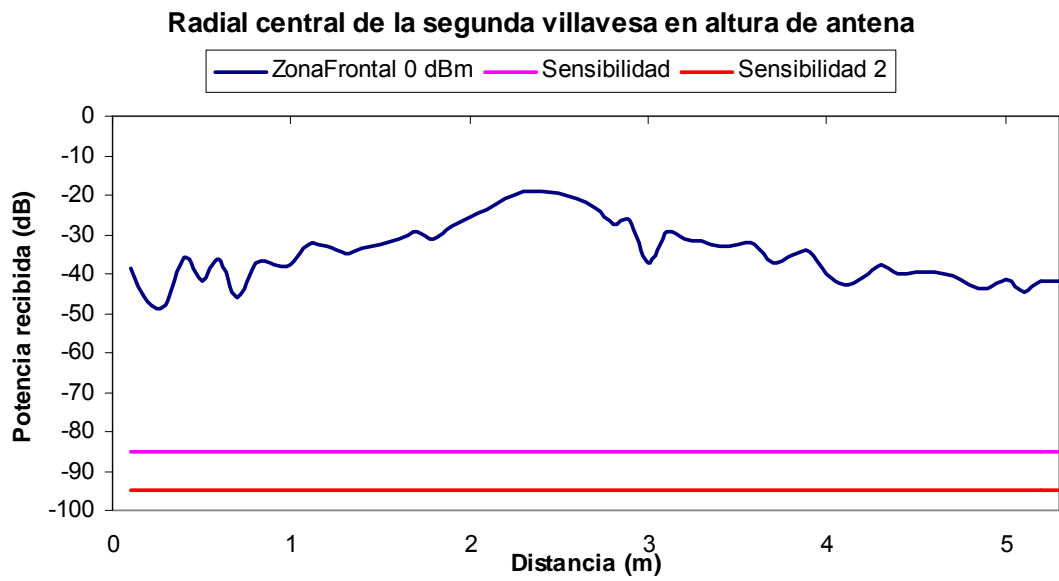


d)

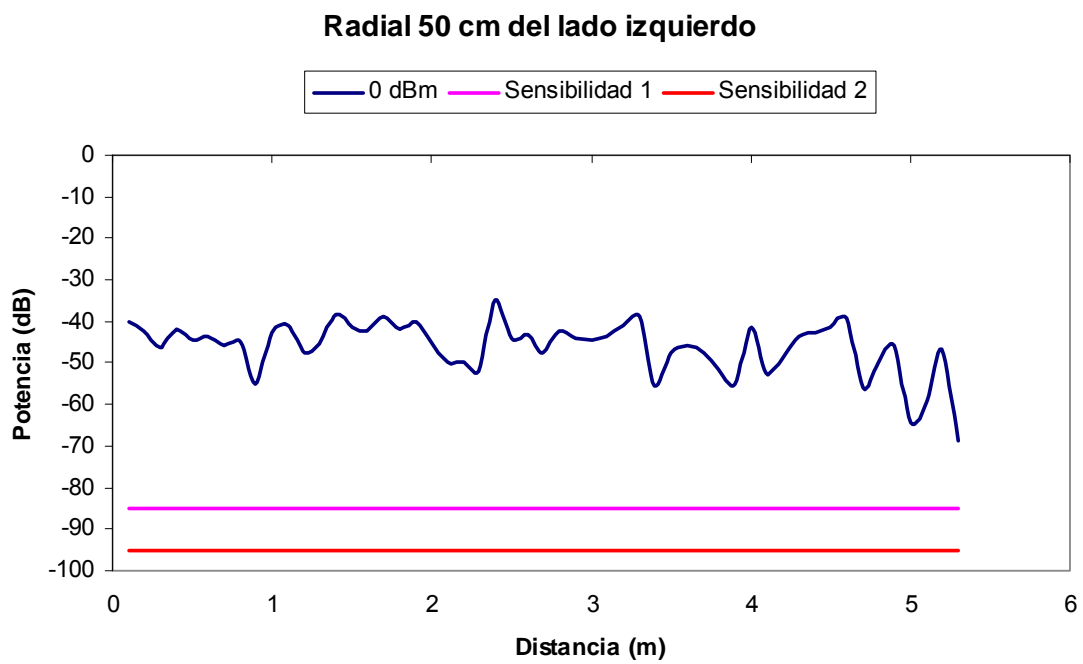
Fig 66: Cortes transversales correspondientes a la zona central (zona2): a) Altura antena ($h=2.3\text{m}$), b) 50 cm del lado izquierdo, c) $h=1.5\text{ m}$ y d) 50 cm del lado derecho

Al igual que el apartado anterior, vemos que los niveles de potencia cumplen con el requisito de que la potencia recibida en un transmisor colocada en esa radial es mayor que el valor de sensibilidad del receptor. Por lo tanto, podemos decir que en esta zona tendremos cobertura suficiente para colocar sensores.

Tercera zona, zona frontal:

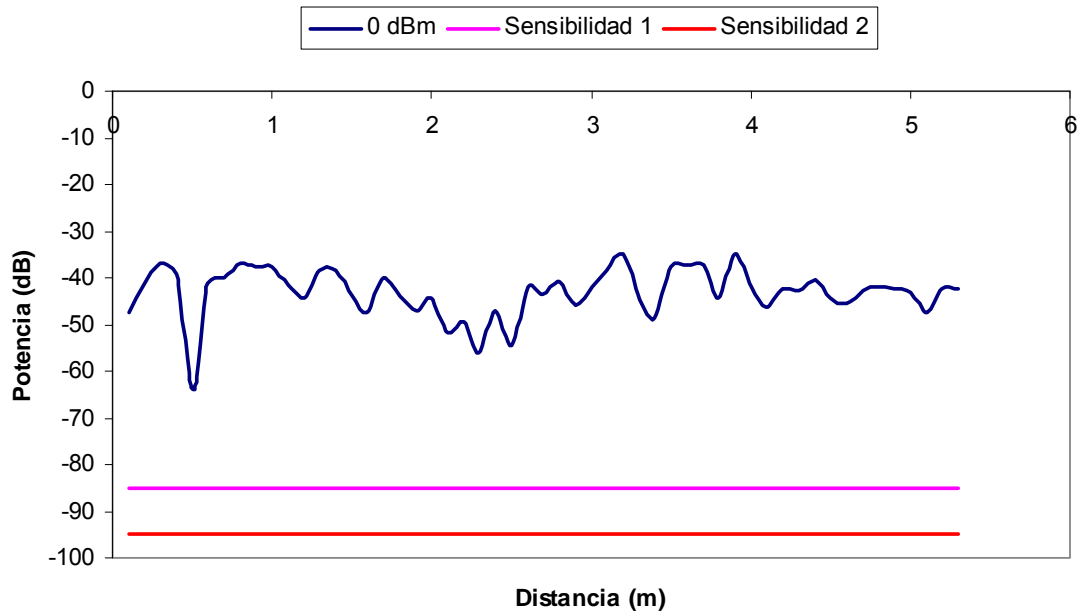


a)



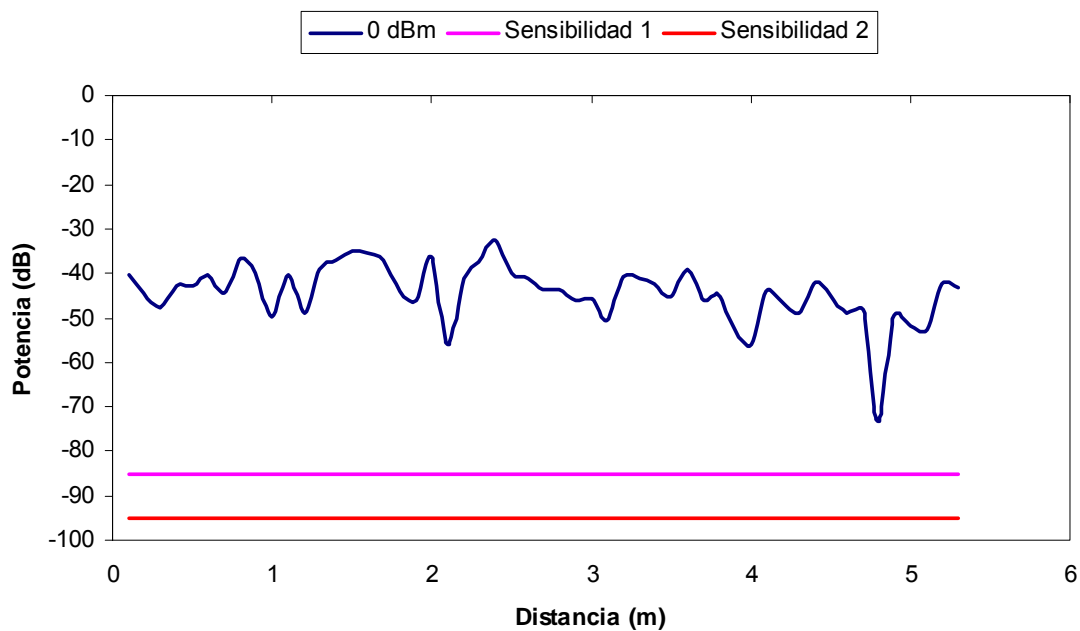
b)

Radial respecto a antena (paralelo en eje z) z =150cm



c)

Radial 50 cm del lado derecho



d)

Fig 67: Cortes transversales correspondientes a la zona central (zona2): a) Altura antena (h=2.3m), b) 50 cm del lado izquierdo, c) h=1.5 m y d) 50 cm del lado derecho

Al igual que el apartado anterior, vemos que los niveles de potencia cumplen con el requisito de que la potencia recibida en un transmisor colocada en esa radial es mayor que el valor de sensibilidad del receptor. Por lo tanto, podemos decir que en esta zona tendremos cobertura suficiente para colocar sensores.

3.3 EVALUACION DE RESULTADOS

La evaluación de resultados se ha dividido en dos partes:

- la primera nos muestra una serie de simulaciones, basándonos en modelos de propagación empíricos, para darnos una cierta idea del efecto de propagación de las ondas radio.

- la segunda nos muestra una serie de medidas efectuadas in situ, que compararemos previamente con los datos de las simulaciones utilizando otros modelos de propagación.

Como hemos podido comprobar anteriormente, al utilizar varios modelos empíricos (en este caso, el método de trazado de rayos), los mapas bidimensionales reflejaban unos ciertos valores de potencias recibidas. Como ya sabemos, para mantener una buena comunicación y que haya buena relación entre dispositivos, necesitamos que la potencia recibida sea mayor o igual que la sensibilidad de los dispositivos sensoriales. Tras observar las graficas e imágenes correspondientes anteriores, podemos decir que en cualquier caso, la relación citada anteriormente se cumple

3.3.1 MEDIDAS IN SITU

Nuestro proyecto trata sobre los transportes urbanos, especialmente las villavesas (transporte público comarcal). Para realizar las medidas in situ, nos hemos traslado hasta la cochera de villavesas de Pamplona donde ahí realizaremos dichas medidas. Hemos seleccionado diferentes escenarios, que en nuestro caso serán de cuatro escenarios, ya que todos los escenarios son distintos entre si. Se trata de observar la propagación de la señal en una frecuencia determinada (en nuestro caso, una frecuencia igual a 2'4 GHz) en dicho entorno (entorno indoor), analizar los niveles de potencia recibidas en este entorno en varios puntos, de manera que podamos planificar nuestra red de sensores para determinadas aplicaciones citadas anteriormente.



Fig: Ubicación de la cochera de villavesas de Pamplona

ESCENARIO 1: VILLAVESA DE TIPO CONVENCIONAL

El primer escenario se caracteriza por una villavesa de tipo convencional, es decir, un autobús de transporte público común. Para nuestro caso, elegiremos dos escenarios relativos al autobús de transporte público dependiendo de los tipos de fabricación: con mucha y con menos cantidad de carrocería metálica.

Para nuestro primer caso, analizaremos con el escenario de tipo convencional con mucha carrocería. El autobús contiene las siguientes características:

- Barras y apoyos de metal (aluminio)
- Protección externas del motor de plástico (PVC)
- Suelo de madera
- Recubrimiento de sillas para pasajeros de tela (poliéster 100%)

A continuación, mostramos unas imágenes del lugar del escenario:



Fig: Villavesa convencional

Y su disposición de los elementos que componen la villavesa en su interior:

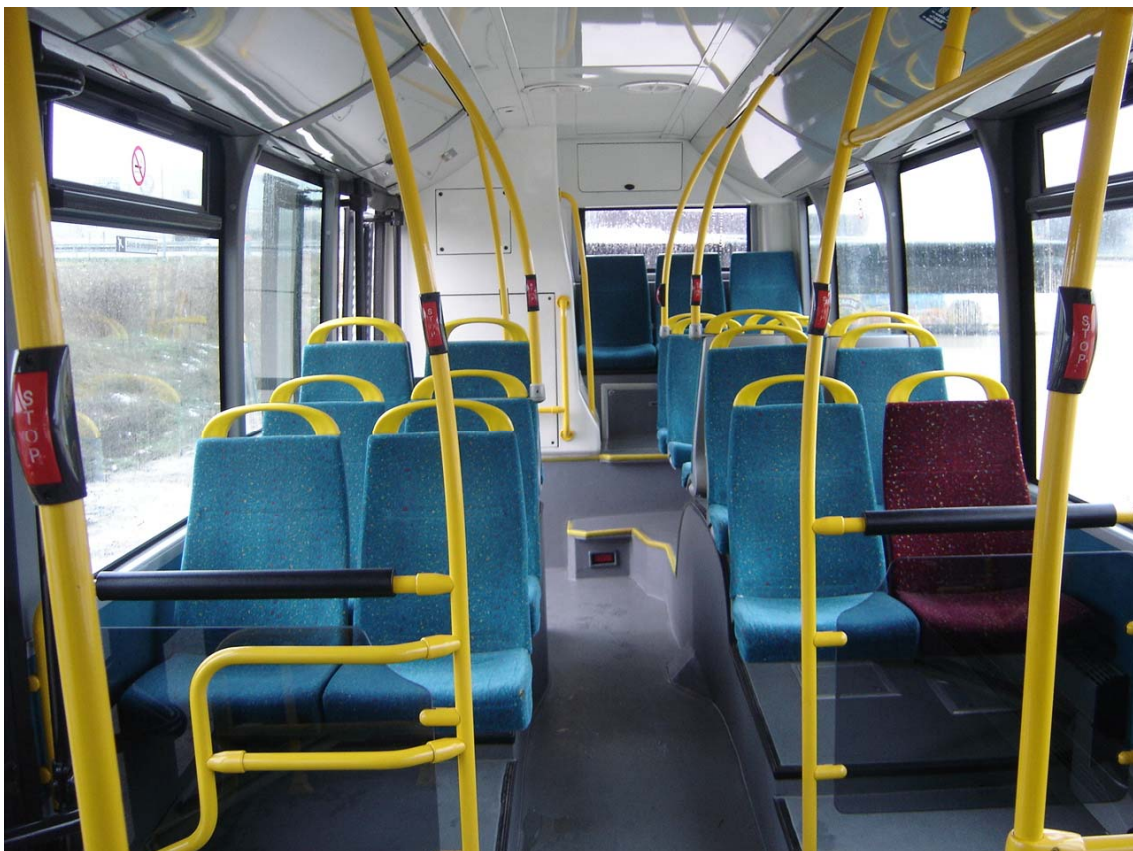


Fig: Vista interior villavesa convencional

En base a dichas imágenes, se ha visto necesario a reconstruir un nuevo modelo de escenario para su posterior simulación, ya que las medidas del anterior modelo analítico son diferentes que el modelo real.

Por lo tanto, el nuevo escenario será el siguiente:

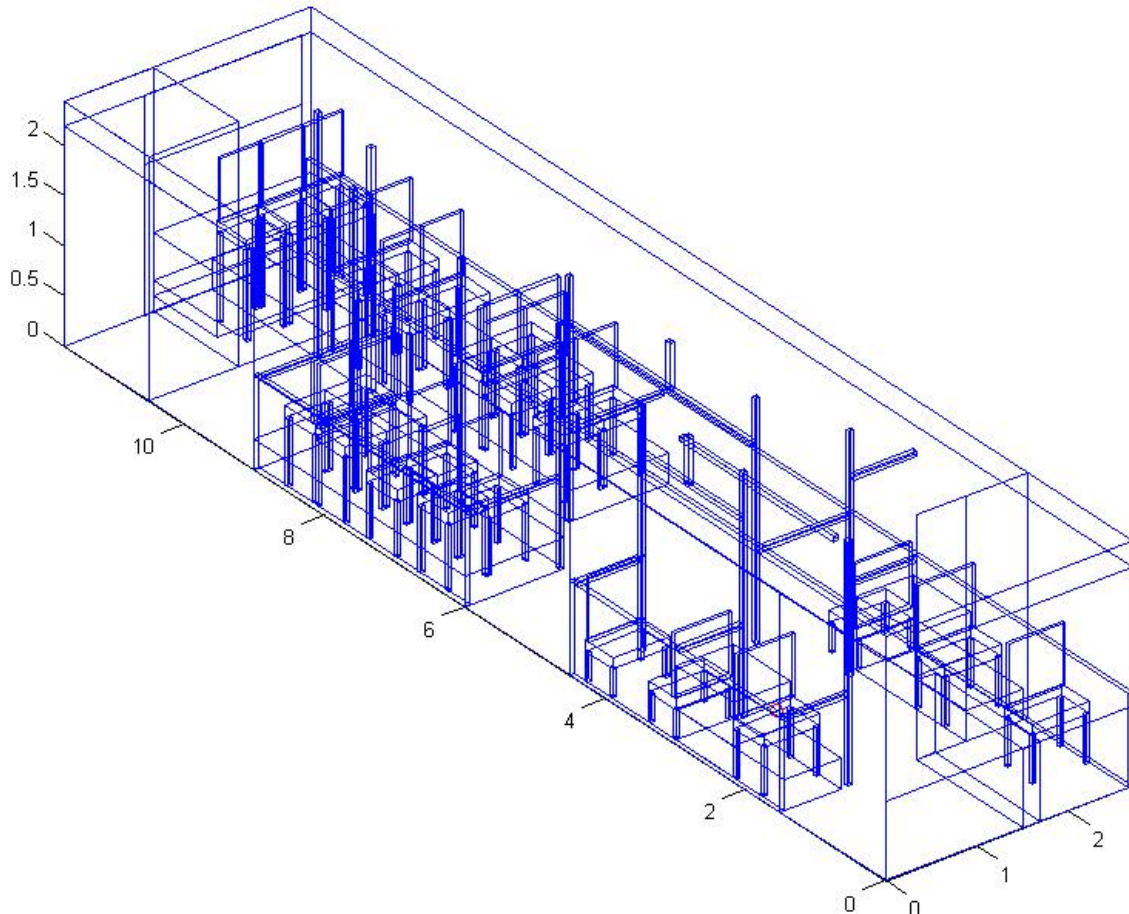


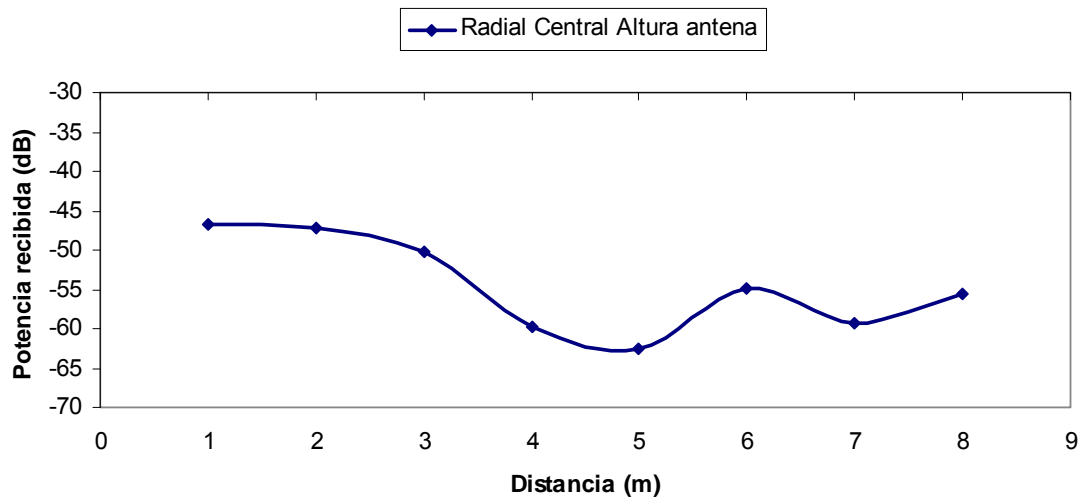
Fig: Modelo real de villavesa de tipo convencional simulado

En primer lugar, se tomo unas mediciones de radiofrecuencia dentro de nuestro escenario. La idea era tomar una radial de manera que podamos comparar con las medidas hechas con el modelo de trazado de rayos RayLaunching.

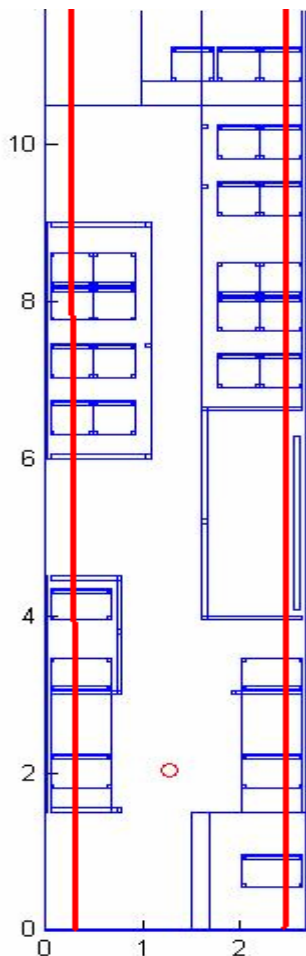
Previamente, se coloco la antena sobre un trípode, de manera que la antena esta dispuesta en medio del pasillo del escenario, aproximadamente en el medio del autobús (eje Y), a una distancia de la luna delantera de 203 cm aprox. y a una altura de 110 cm aprox. La ganancia de dicha antena será de 5 dBi y con una potencia de transmisión de -10 dBm. Al igual, se realizara dichas medidas en la frecuencia de 2.4 Ghz, frecuencia que nos interesa durante este proyecto. Cualquier tipo de información adicional se reflejara en los anexos de este proyecto, en el párrafo “Instrumentación”

El resultado de las medidas será el siguiente:

Radial central



A continuación, se realizó una toma de medidas en cada asiento de los laterales, tanto por la parte izquierda como por la parte derecha. Las graficas siguientes muestran el esquema de las radiales y sus correspondientes niveles de potencia recibida:



	Altura (cm)	Potencia recibida (dBm)
Asiento 2	48	-60,25
Asiento 3	68	-66,98
Asiento 4	68	-60,65
Asiento 5	68	-65,17
Asiento 6	78	-63,71
Asiento 7	78	-63,75

	Altura (cm)	Potencia recibida (dBm)
Asiento 2	48	-59,34
Asiento 3	68	-62,06
Asiento 4	74	-66,47
Asiento 5	78	-68,33
Asiento 6	78	-61,44
Asiento 7	78	-62,27
Asiento 8	102	-64,33

A continuación se procederá a montar una red como ejemplo, de forma que podamos medir en los distintos nodos que componen dicha red.

La red de sensores estará compuesta por unos nodos (cuyos módulos incorporados serán de tipo Zigbee), de tipo Xbee (para más información, ver "Instrumentación" en el apartado de ANEXOS). Cada grupo de sensores se agruparan, de tal forma que formen una red en malla. La configuración de dicha red trabajara de la siguiente forma: el nodo mas al fondo, llamado nodo se pondrá en estado activo y hará de rol de transmisor; los otros nodos serán activados y tomaran los roles de sensores. Cuando el primer nodo transmitirá información a su vecino (nodo 2), de modo que mediremos el nivel de potencia recibido. Acto seguido, el nodo 2 pasara a ser transmisor y enviara información al nodo 3; seguidamente mediremos nuevamente el nivel de potencia recibida, y el proceso se repite hasta llegar al ultimo nodo.

Los nodos estarán situados según el esquema de conexión siguiente:

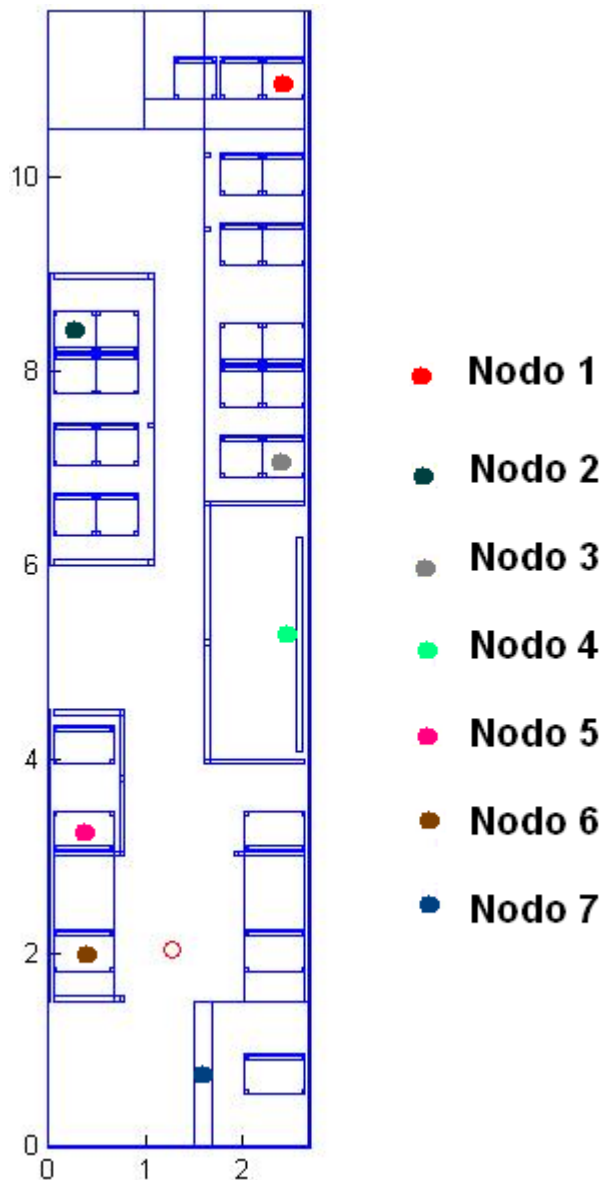


Fig: Ejemplo de red de sensores en villavesa de tipo convencional

Los niveles de potencia recibida seran los siguientes:

	Potencia recibida (dBm)
Nodo 2	-42,57
Nodo 3	-41,51
Nodo 4	-56,05
Nodo 5	-51,82
Nodo 6	-40,64
Nodo 7	-43,49

Estos niveles medidos se compararan con los resultados de las radiales
obtenidas en las simulaciones en curso

ESCENA 2: VILLAVESA DOBLE CON/SIN CARROCERIA METALICA

El segundo escenario se caracteriza por una villavesa de tipo doble, es decir, tiene un eje articulado que corresponde al fuelle (parecido a un acordeón). Para nuestro caso, elegiremos dos escenarios relativos al autobús de transporte público dependiendo de los tipos de fabricación: con mucha y con menos cantidad de carrocería metálica.

Para nuestro segundo caso, analizaremos con el escenario de tipo doble con mucha de carrocería de metal. El autobús contiene las siguientes características:

- Barras y apoyos de metal (aluminio)
- Protección externas del motor de plástico (PVC)
- Suelo de madera
- Recubrimiento de sillas para pasajeros de tela (poliéster 100%)

A continuación, mostramos unas imágenes del lugar del escenario:



Fig: Villavesa de tipo doble

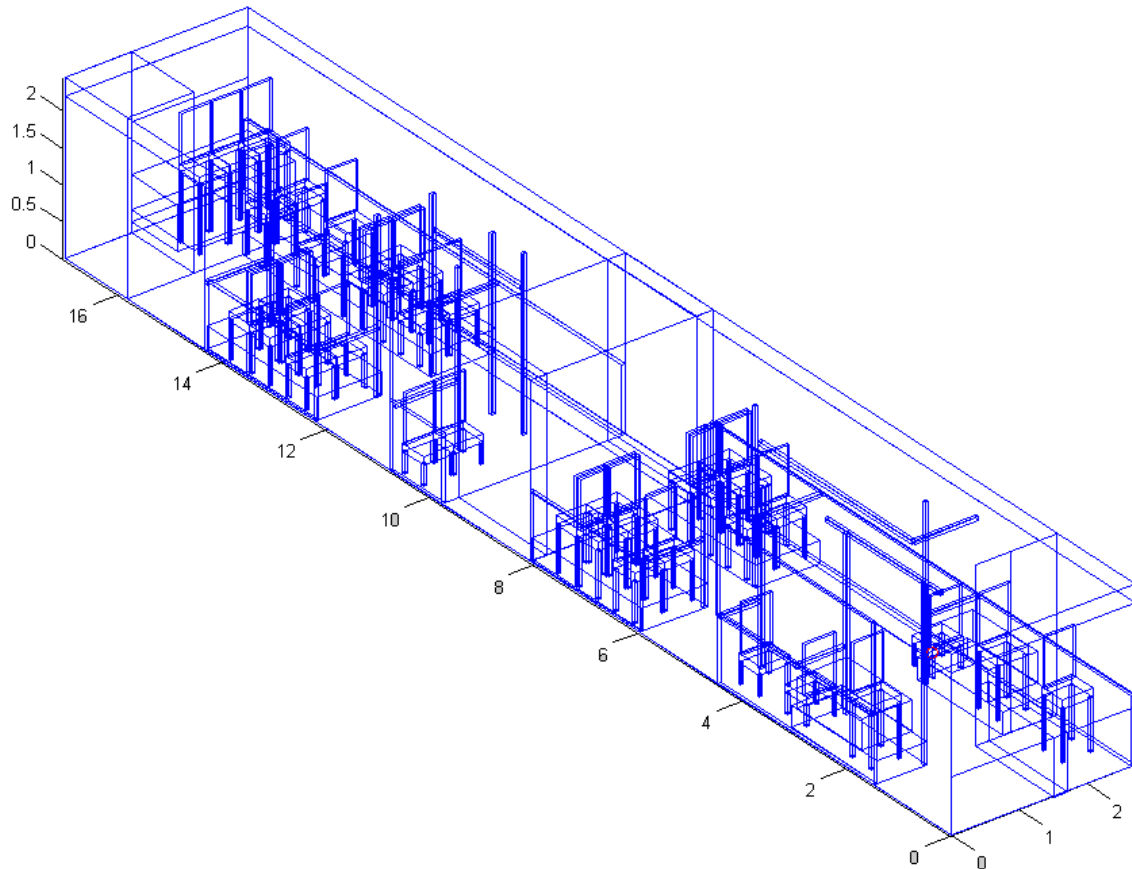
Y su disposición de los elementos que componen la villavesa en su interior:



Fig: Vista interior de la villavesa de tipo doble

En base a dichas imágenes, se ha visto necesario a reconstruir un nuevo modelo de escenario para su posterior simulación, ya que las medidas del anterior modelo analítico son diferentes que el modelo real.

Por lo tanto, el nuevo escenario será el siguiente:

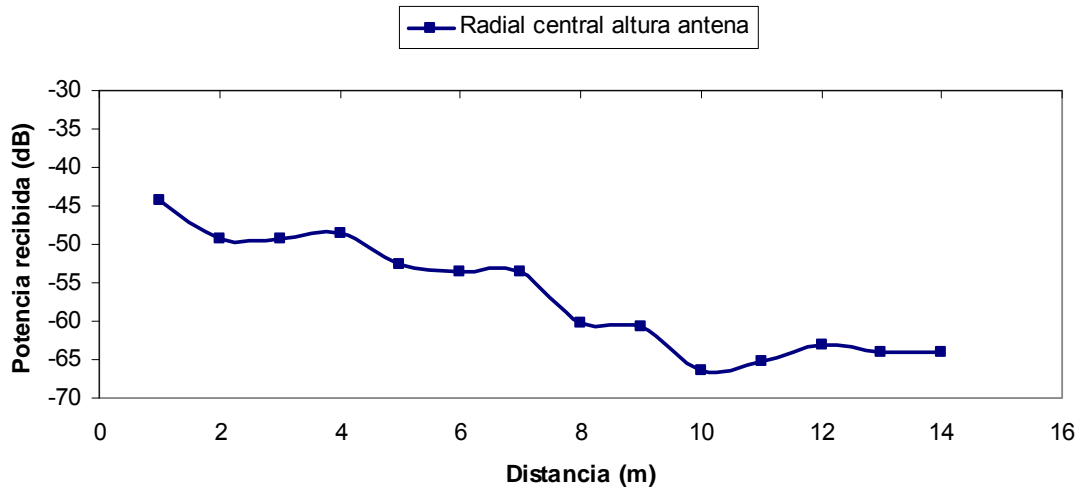


En primer lugar, se tomo unas mediciones de radiofrecuencia dentro de nuestro escenario. La idea era tomar una radial de manera que podamos comparar con las medidas hechas con el modelo de trazado de rayos RayLaunching.

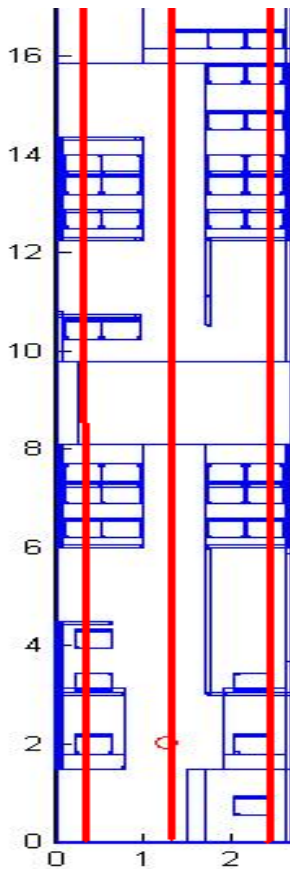
Al igual que el escenario anterior, se colocó la antena sobre un trípode, de manera que la antena está dispuesta en medio del pasillo del escenario, aproximadamente en el medio del autobús (eje Y), con las mismas características y posicionamiento que la antena anterior. Cualquier tipo de información adicional se reflejará en los anexos de este proyecto, en el párrafo “Instrumentación”.

El resultado de las medidas es la siguiente:

Radial central



A continuación, se realizó una toma de medidas en cada asiento de los laterales, tanto por la parte izquierda como por la parte derecha. Las graficas siguientes muestran el esquema de las radiales y sus correspondientes niveles de potencia recibida:



	Altura (cm)	Potencia recibida (dBm)
Asiento 2	48	-60,1
Asiento 3	48	-61,47
Asiento 4	68	-68,5
Asiento 5	78	-73,58
Asiento 6	78	-64,04
Asiento 7	48	-67,25
Asiento 8	68	-62,8
Asiento 9	78	-62,54
Asiento 10	78	-70,41

	Altura (cm)	Potencia recibida (dBm)
Asiento 2	48	-61,62
Asiento 3	68	-53,94
Asiento 4	78	54,61
Asiento 5	78	-55,08
Asiento 6	68	-68,08
Asiento 7	78	-65,96
Asiento 8	78	-65,52
Asiento 9	73	-69,72
Asiento 10	71	-74,3
Asiento 11	106	-69,49

A continuación se procederá a montar una red como ejemplo, de forma que podamos medir en los distintos nodos que componen dicha red.

Al igual que el primer escenario, se colocara en distintos puntos de la villavesa.

La metodología será la siguiente: cada nodo actuara como transmisor, de manera que transmita con su vecino, que su vecino transmitirá con el otro ... empezando por el nodo situado más al fondo de la villavesa (nodo 1 en las graficas). Mediremos con el analizador RF el nodo donde se transmite (del nodo 1 al nodo 2) y valoraremos un nivel de potencia recibida en dicho nodo, y así sucesivamente.

Los nodos estarán situados según el esquema de conexión siguiente:

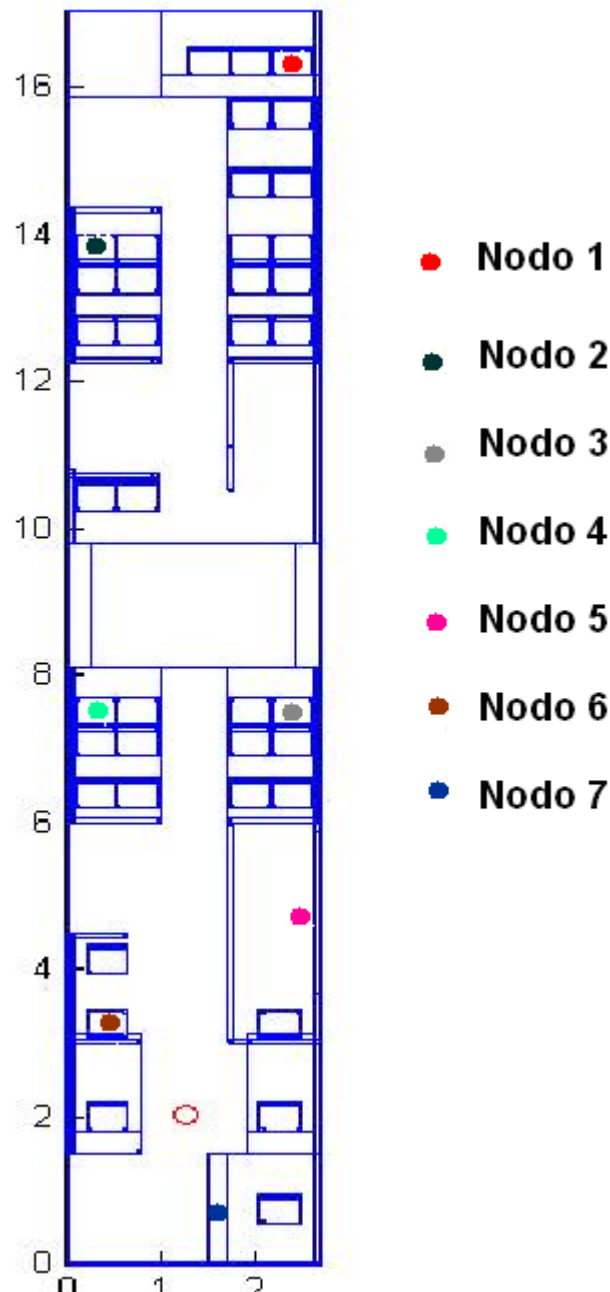


Fig: Ejemplo de red de sensores en villavesa de tipo doble

Los niveles de potencia recibida serán los siguientes:

	Potencia recibida (dBm)
Nodo 2	-42,57
Nodo 3	-41,51
Nodo 4	-56,05
Nodo 5	-51,82
Nodo 6	-40,64
Nodo 7	-43,49

Estos niveles medidos se compararán con los resultados de las radiales obtenidas en las simulaciones en curso

4. CONCLUSIONES / LINEAS FUTURAS

Siguiendo el esquema del objetivo del proyecto, se ha podido comprobar que aplicando diferentes métodos, tanto de modelado como de parámetros de radiofrecuencia, podemos sacar varias conclusiones:

- Al ser un entorno bastante metálico, no habrá dificultad ninguna en ofrecer cobertura para los usuarios ya que cumple con los niveles de sensibilidad, hecho que se ha podido comprobar mediante la técnica de trazado de rayos y las medidas in situ.

- El despliegue de una red de sensores no es única ni original, es decir, el diseño de dicha red podrá resultar ser diferente para muchos casos y aplicaciones. Ofrece una mayor libertad en diseñar y planificar la red que vaya a soportar dicho transporte interior urbano

Sobre las líneas futuras que podría aportar este proyecto, las premisas serán las siguientes:

- Gran diversidad y libertad sobre la planificación de las redes, ya que existiran muchos casos posibles o no solo un unico

- Se estudiara mas en profundidad en cuanto a capacidad, al no saber el numero exacto de pasajeros y su posición (estaran fijos o en movimiento), del mismo se efectuara en los proximos dias nuevos casos para finalizar el estudio al completo sobre la planificación de una red de sensores en un interior de transporte urbano.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Sahin Farahani, “*Zigbee Wireless Networks and Transceivers*”
- [2] Jose Maria Hernando Rabanos, “*Transmision por radio, 1º Edición*”
- [3] Bensky A, “*Short Range Wireless Communication: Fundamentals of RF System Design and Application*”, 2004
- [4] Yang Xiao, Yi Pan, “*EMERGING WIRELESS LANs, WIRELESS PANs, AND WIRELESS MANs: IEEE 802.11, IEEE 802.15, 802.16 WIRELESS STANDARD FAMILY*”, Avril 2009
- [5] M. Ahmed, C.U. Saraydar, T. ElBatt, J. Yim, T. Talty, M. Ames, “*Intra-Vehicular Wireless Networks*”, IEEE Globecom Workshop 2007, 26-30 Noviembre, 2007.
- [6] <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11761/fichero/Vol%C3%BAmen2%252F11-Cap%C3%ADtulo6+-+Modelos+de+propagaci%C3%B3n+en+interiores.pdf>
“Volumen 2 Radio Propagacion Indoor Capitulo 6: Modelos de propagacion en interiores” Universidad de Sevilla
- [7] <http://es.kioskea.net/contents/wireless/wlpropa.php3> , “Propagacion de ondas de radio”
- [8] <http://es.kioskea.net/contents/wireless/wpan.php3> , “WPAN (Wireless Personal Area Network)”
- [9] <http://electronicdesign.com/communications/fundamentals-short-range-wireless-technology>, “The Fundamentals of Short-Range Wireless Technologies (Tabla recapitulativa)”
- [10] <http://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies/intelligent-transport>
- [11] <http://blogs.heraldo.es/ciencia/?p=1417>,” Dispositivos inalámbricos, ¿cómo conviven?”
- [12] http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/vila_b_ca/capitulo1.pdf, “Capitulo 1: Propagacion de ondas electromagneticas”
- [13] <http://www.escet.urjc.es/~fisica/Docencia/ITeleco/tema1.pdf>, “Tema 3 Modelos de Propagación electromagnética: Propagación en entorno urbano” Alexandre Wagemakers y Borja Ibarz, 29 de octubre de 2007
- [14] www.xirio-online.com , “Mecanismos permanentes de propagacion de la interferencia
- [15] <http://www.motas.es/sirsima/wsn.html>

[16] http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/archundia_p_fm/capitulo3.pdf

[17] Pagina web de Bluetooth, www.bluetooth.com

[18] <http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No8/Joffre%20Perez/Bluetooth.1.html>

[19] <http://ows.edb.utexas.edu/site/collaborative-bluetooth-edumanet/bluetooth>

[20] Pagina oficial de Zigbee, www.zigbee.org

[21] <http://es.kioskea.net/contents/telephonie-mobile/gprs.php3>

[22] <http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page§ionid=243>

[23] <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11372/fichero/Memoria%252F03+-+GPRS.pdf>

[24] “Aplicación de las redes de sensores en el entorno vehicular”, Alberto Los Santos Arransay, Universidad de Vigo, Mayo de 2009

[25] Sitio web de la compañía Siskonper, www.siskonper.es

[26] Tabla comparativa de tecnologías inalámbricas, <http://redessensoresinalambricas.blogspot.com.es/>

[27] Sitio web de la compañía Agilent, www.agilent.com

[28] Sitio web de la compañía Libelium, www.libelium.com

[29] “Radio-wave propagation basics”, Ryszard Struzak, ICTP-ITU-URSI School on Wireless Networking for Development The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics ICTP, Trieste (Italy), 6 to 24 February 2006

[30] “Inter/Intra-Vehicle Wireless Communication”, Gregory S. Bickel http://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-06/ftp/vehicular_wireless/index.html

[31] “Automotive InternetWorking”, Timo Kosck, Christoph Schroth, Markus Strassberger and Marc Becheler, 2012, Edition Wiley

[32] “Architecture of a passenger information system for public transport services”, Hannikainen, M.; Laitinen, A.; Hamalainen, T.; Kaisto, K.; Leskinen, K.

Vehicular Technology Conference, 2001. VTC 2001 Fall. IEEE VTS 54th

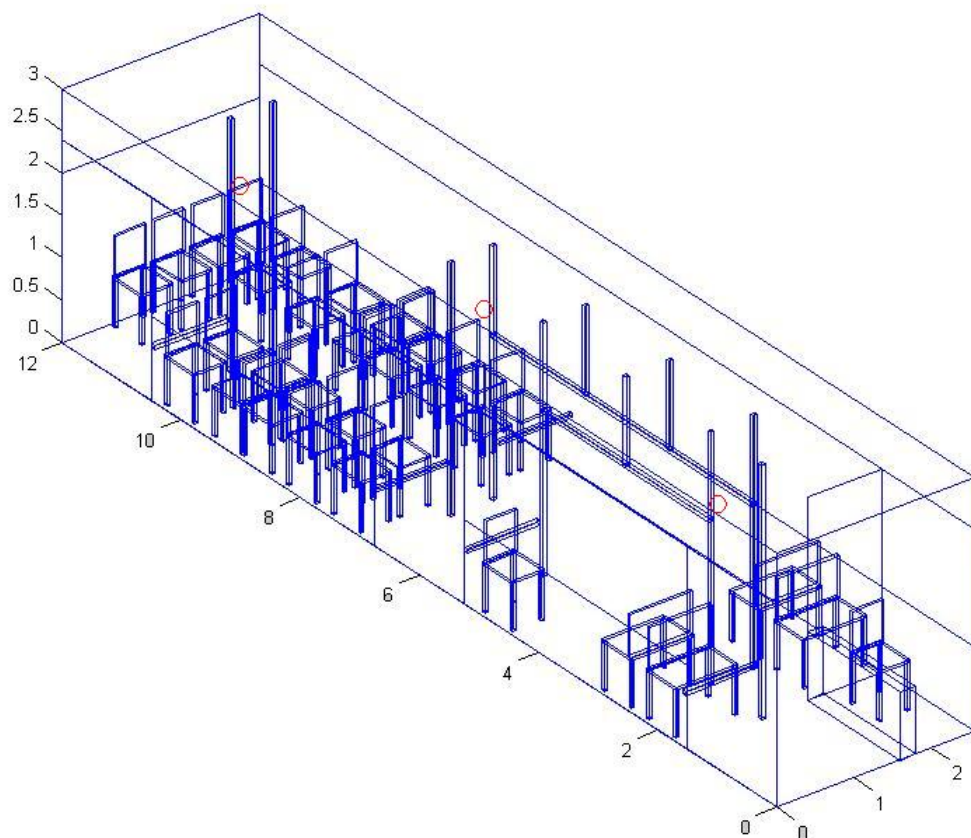
<http://ieeexplore.ieee.org/search/searchresult.jsp?newsearch=true&queryText=utpis&x=0&y=0>

6. ANEXOS

6.1 MEDIDAS ADICIONALES

En este apartado, incluiremos medidas adicionales que hemos realizado a lo largo de este proyecto, pero no era relevante mostrarlos en el cuerpo principal de la memoria

Otro escenario que podríamos considerar, es el hecho de no tener cobertura en todos los lugares, colocaremos varias antenas (de dos hasta tres). Los resultados se ven reflejados en las siguientes situaciones del primer modelo de villavesa:



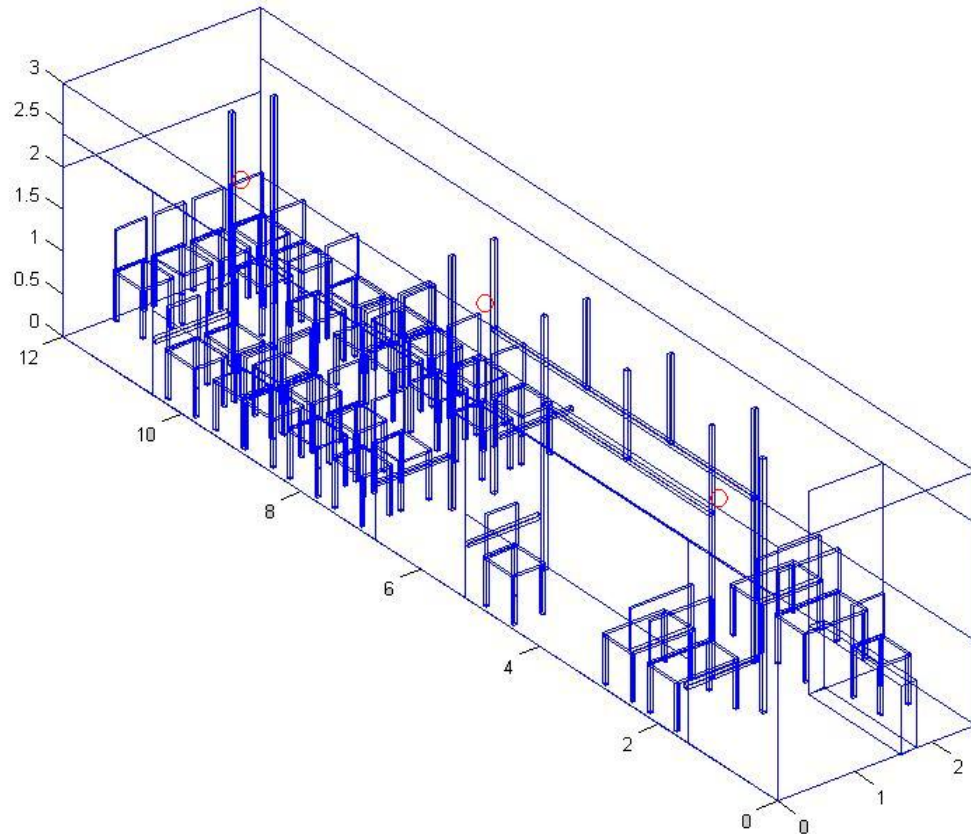
Este escenario contiene las siguientes características:

- Barras de sujeción para los viajeros de metal
- Sillas recubiertas en PVC
- Ventanas y puertas en cristal

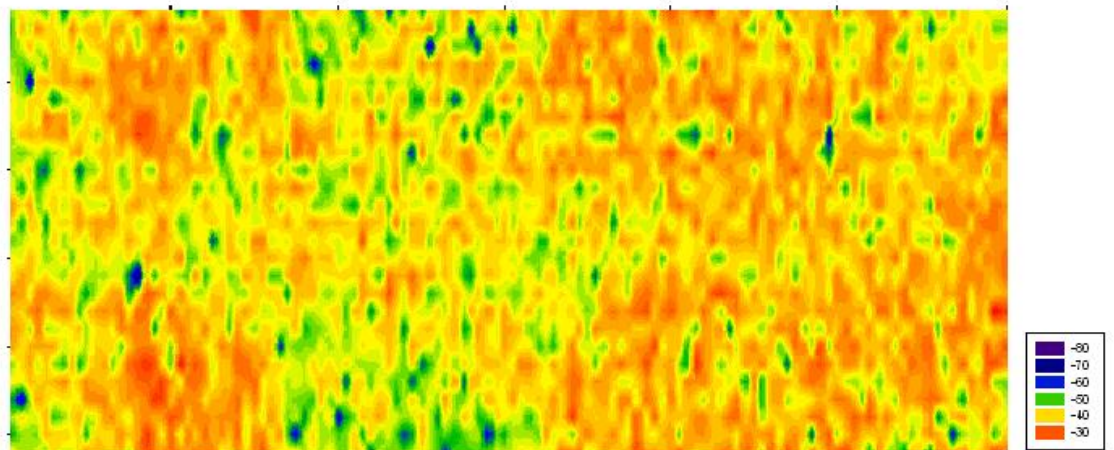
Observamos en las siguientes figuras la forma en la que se propaga las ondas en dichos escenarios. Para ello, hemos realizado diferentes pruebas, por un lado, con diferentes frecuencias, y por otro, con distintas potencias de transmisión. En nuestro caso, las frecuencias utilizadas para este ejercicio han

sido 868Mhz, 2.4Ghz y 5Ghz. Las potencias utilizadas serán de 10dBm y 0dbm.

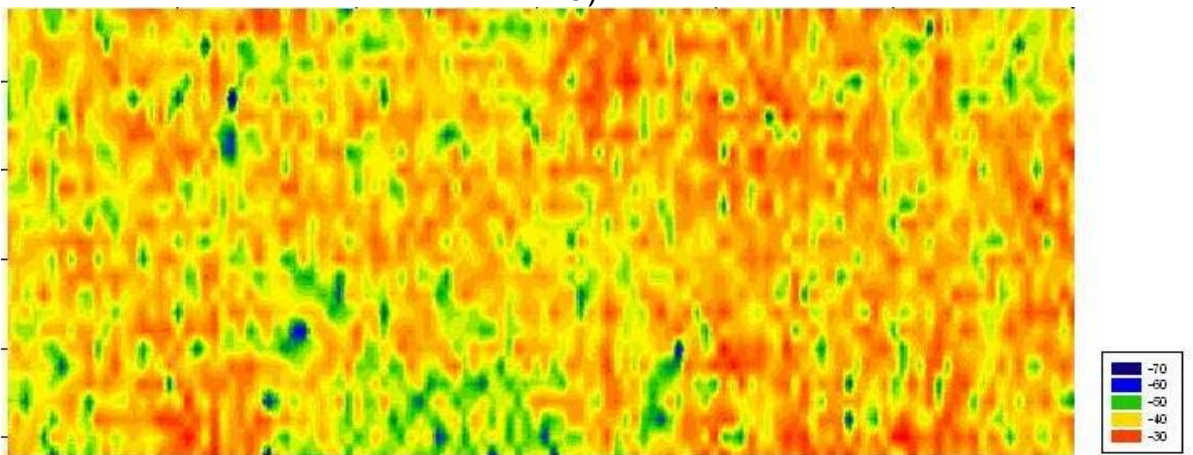
Primer escenario:



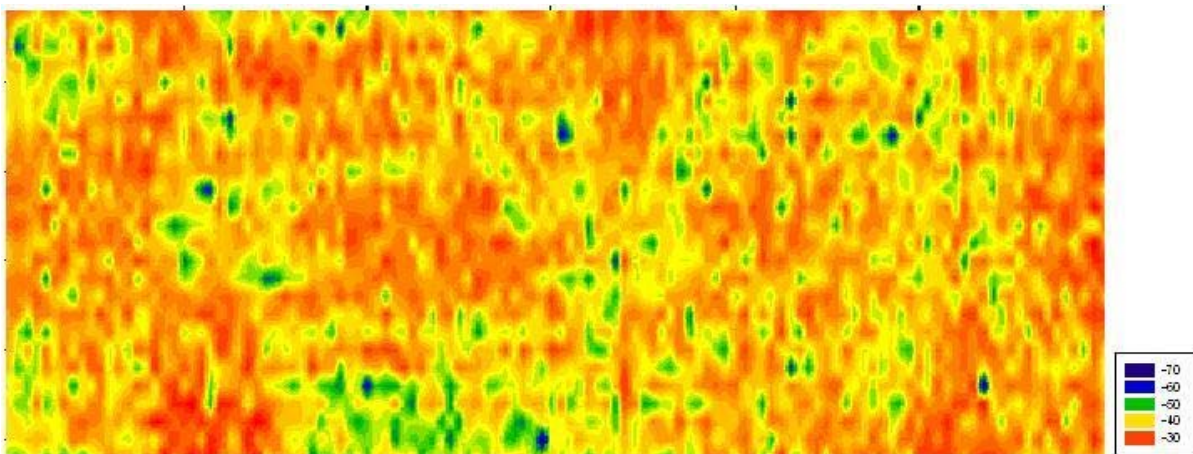
Se simuló dicho escenario con tres fuentes de potencia 0dBm, con una frecuencia de 868Mhz. Las siguientes figuras muestran los mapas de potencia, a diferentes alturas de la villavesa, concretamente, 60 cm, 70cm, y 1m



a)



b)

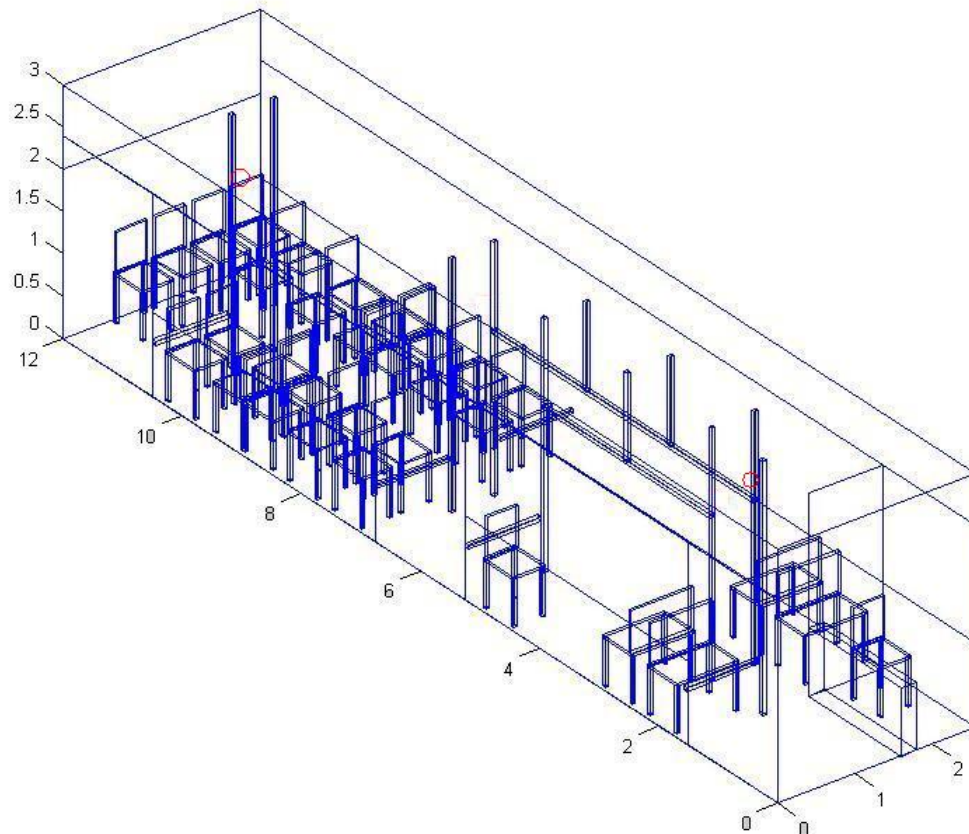


c)

Fig 2: Escenario 1 con frecuencia 868Mhz, potencia de la fuente de 0dBm, y a)corte a 60cm, b)corte a 70cm, c)corte a 1m

Según la figura anterior, podemos observar el efecto de propagación *multipath* (multitrayecto) trayecto de las ondas, al ser un entorno *indoor*. Apreciamos en los mapas de potencias anteriores cómo repercuten dichas ondas de radio. Se puede apreciar que diferentes zonas, concretamente las zonas de color naranja, pierden menos potencia, al contrario de las zonas de color azul, donde la potencia es mucho menor. Todo ello es debido al dicho efecto y la composición de la escena.

Segundo escenario:



Este escenario se simuló con dos fuentes de potencia 0dBm, con una frecuencia de 868Mhz. Las siguientes figuras muestran los mapas de potencia, a diferentes alturas de la villavesa, concretamente, 60 cm, 70cm, y 1m

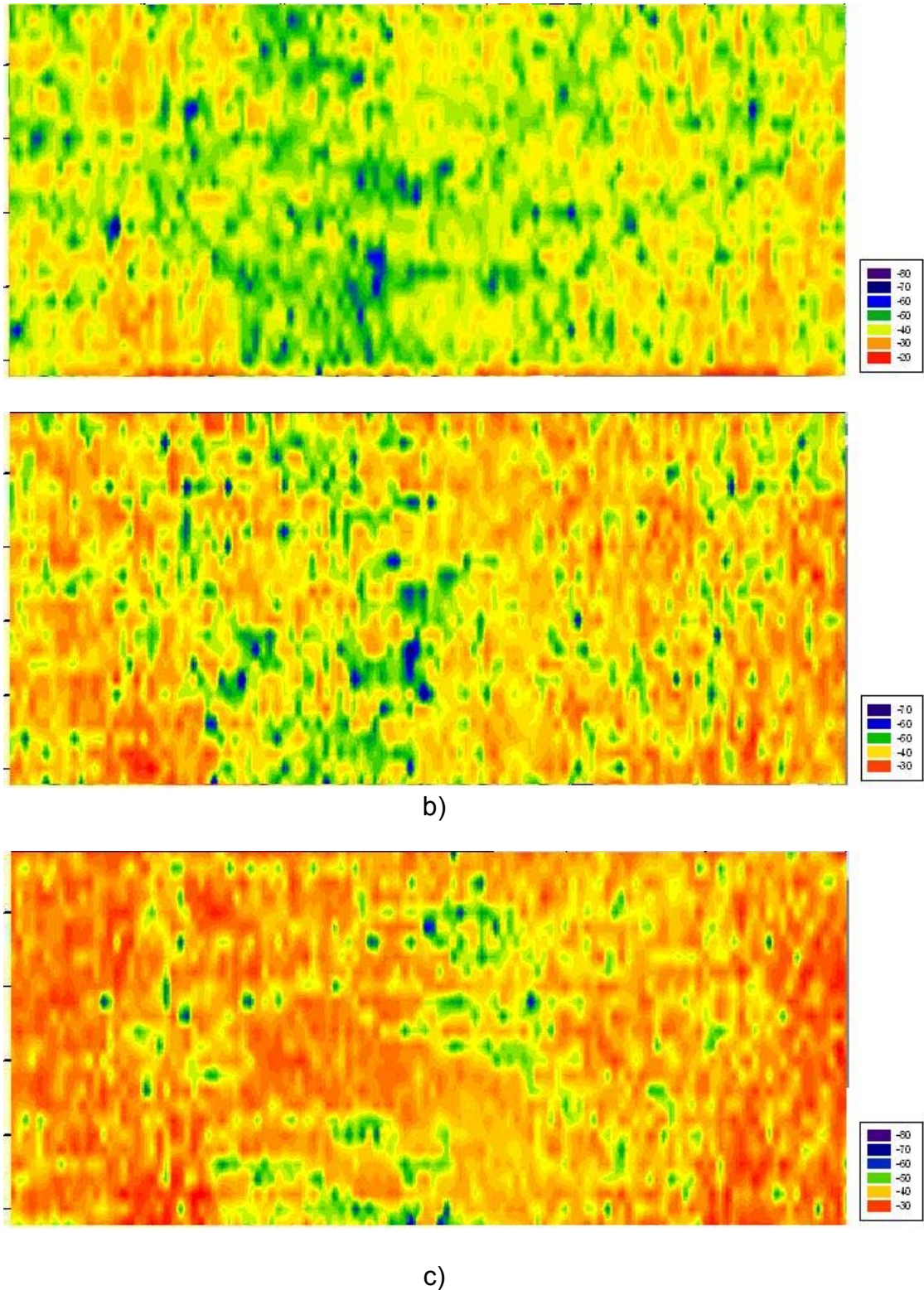
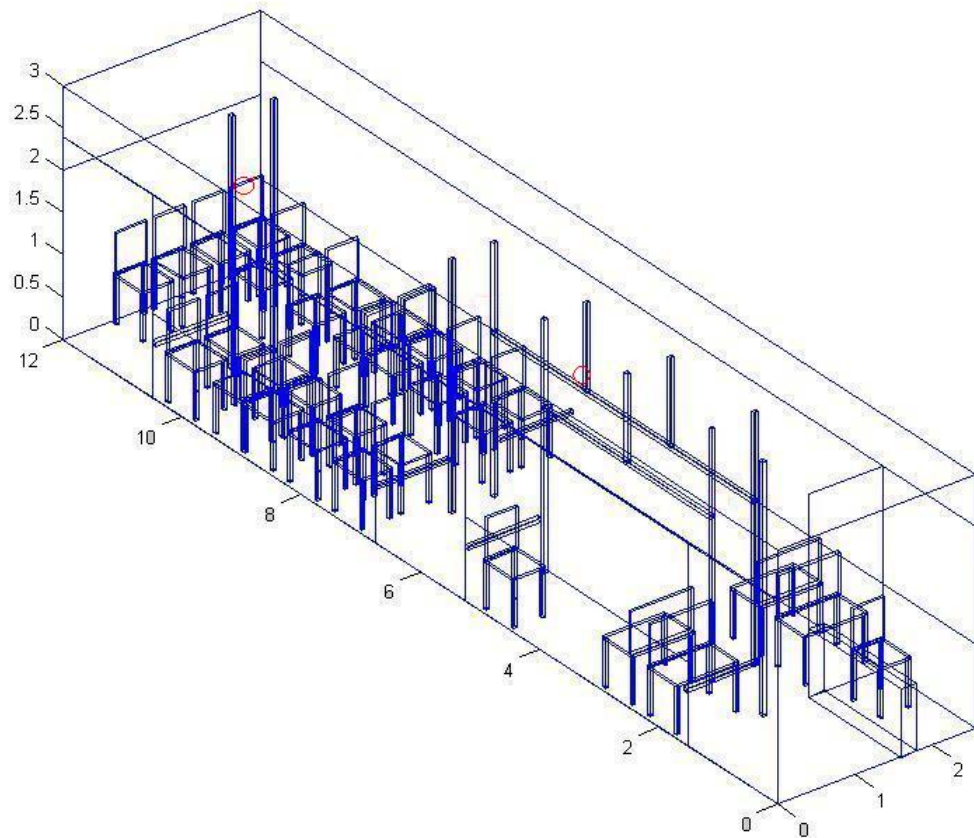
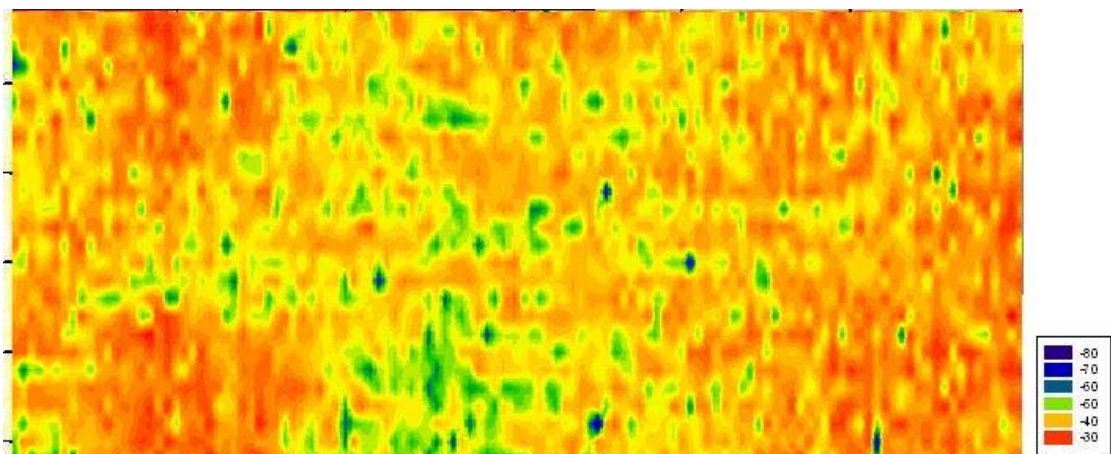


Fig 3: Escenario 2 con frecuencia 868Mhz, potencia de la fuente de 0dBm, y a)corte a 60cm, b)corte a 70cm, c)corte a 1m

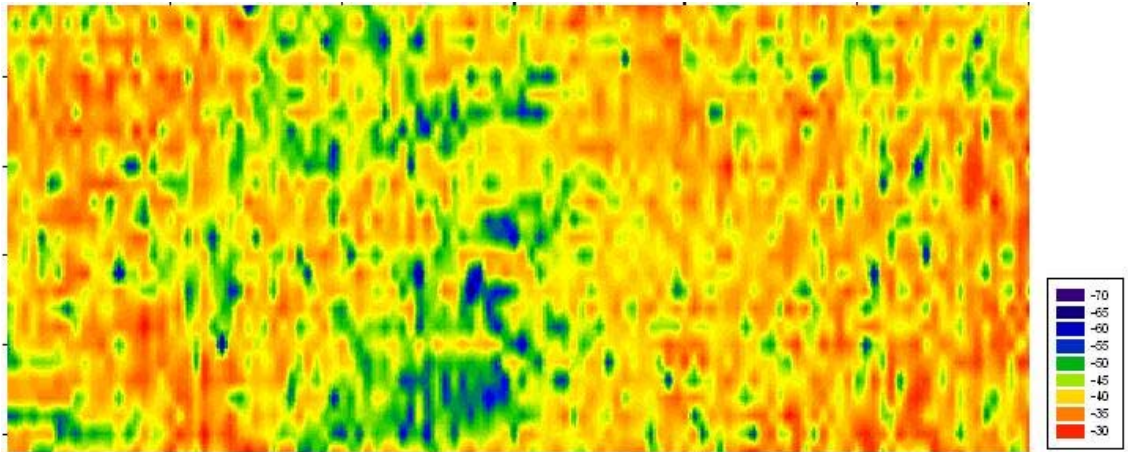
Tercer escenario:



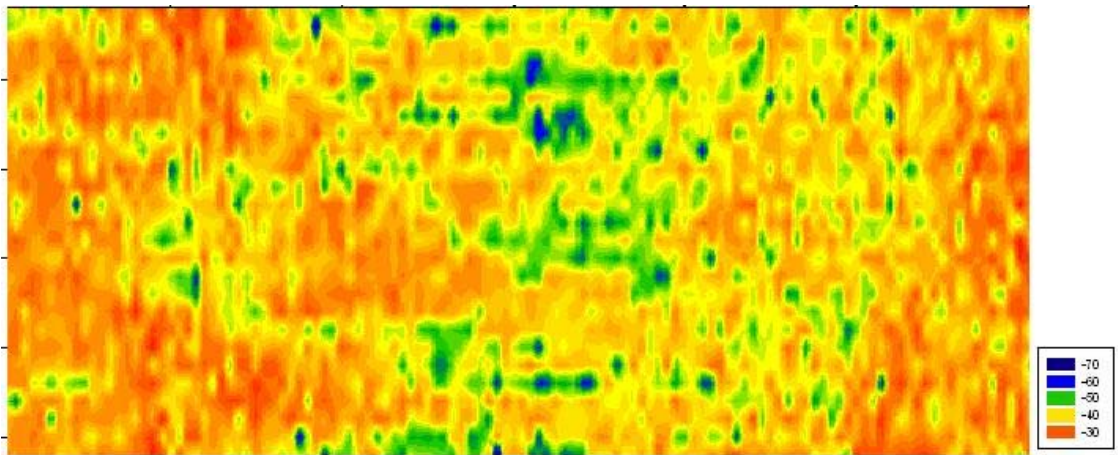
Este escenario se simuló con dos fuentes de potencia 0dBm, con una frecuencia de 868Mhz. Las siguientes figuras muestran los mapas de potencia, a diferentes alturas de la villavesa, concretamente, 60 cm, 70cm, y 1m



a)



b)

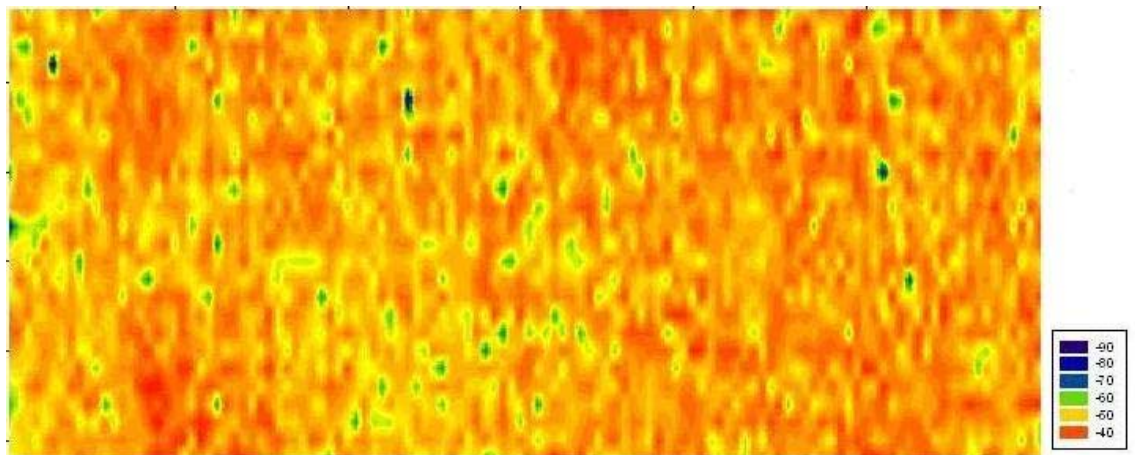


c)

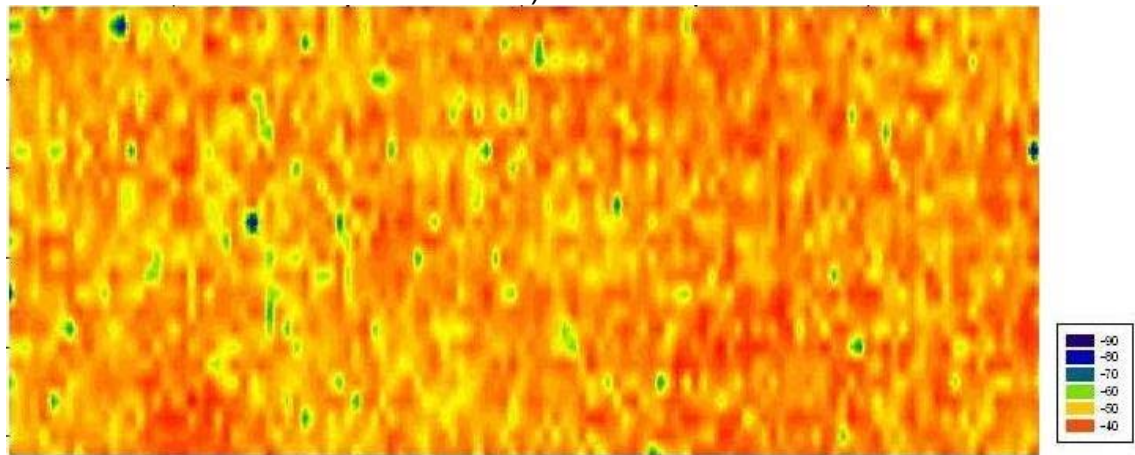
Fig 4: Escenario 3 con frecuencia 868Mhz, potencia de la fuente de 0dBm, y a)corte a 60cm, b)corte a 70cm, c)corte a 1m

Vamos el resultado volviendo a calcular los mapas de potencia, pero con distintas frecuencias. Mostraremos dos escenarios (escena 1 y 4), ya que no se quiere cargar mucho este capítulo

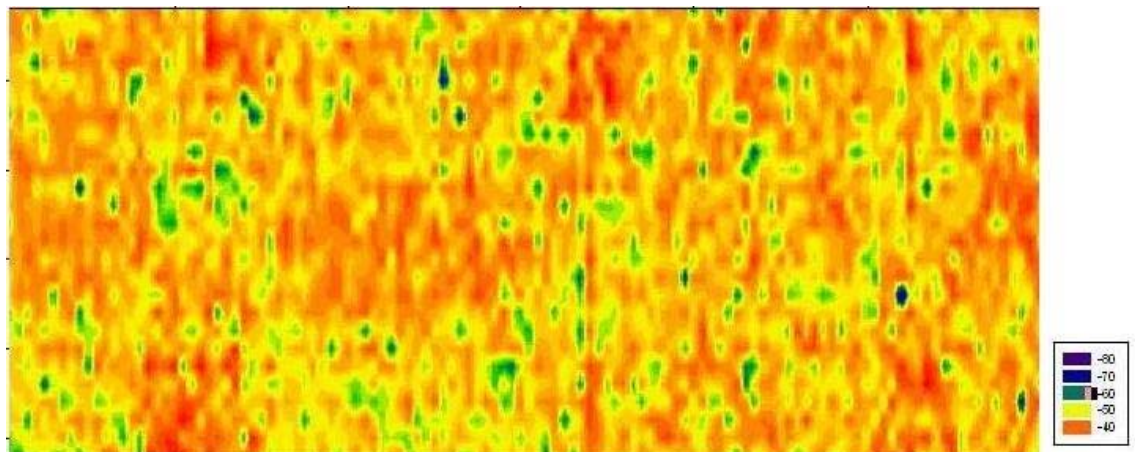
Escena1 a 2.4Ghz:



a)



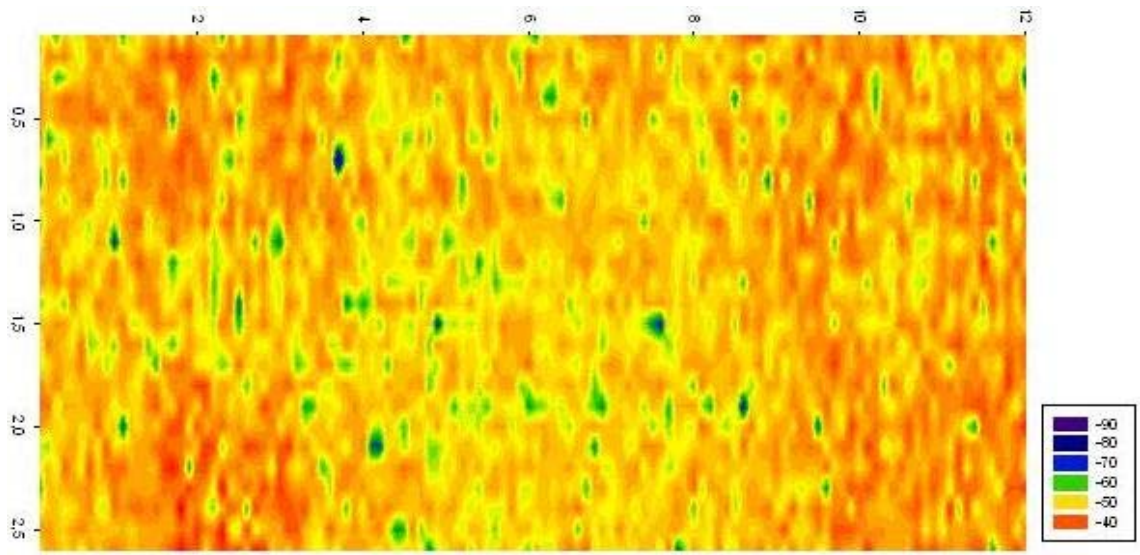
b)



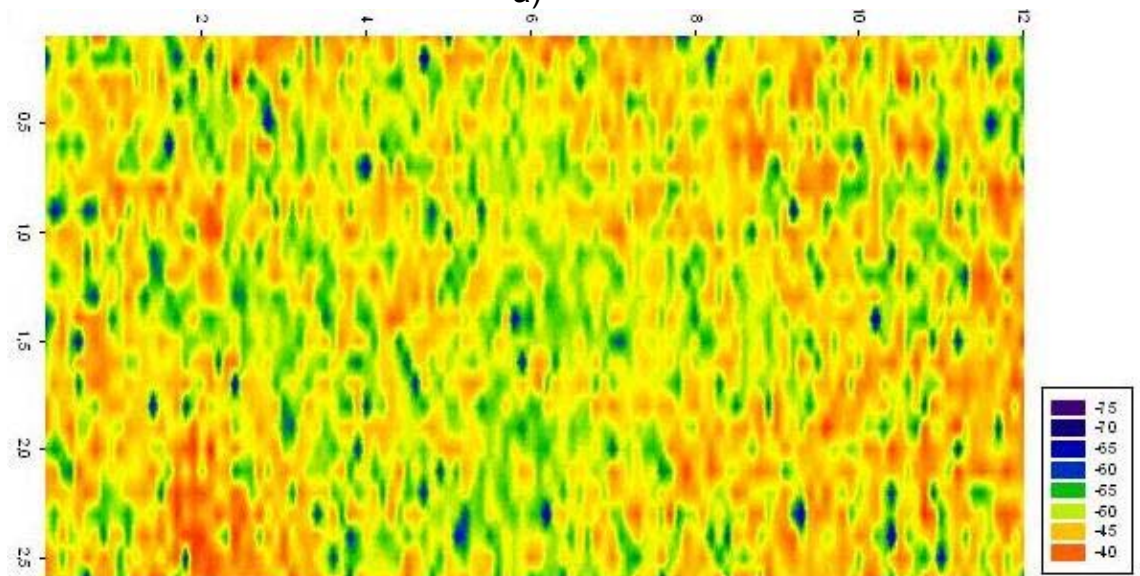
c)

Fig 4: Escenario 1 con frecuencia 2.4Ghz, potencia de la fuente de 0dBm, y a)corte a 60cm, b)corte a 70cm, c)corte a 1m

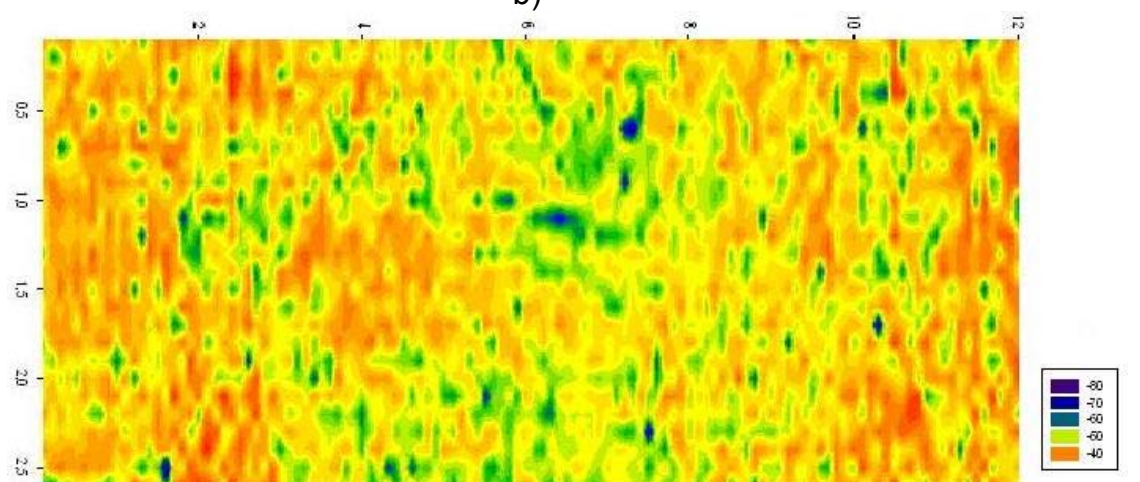
Escena2 a 2.4 Ghz:



a)



b)



c)

Fig 5: Escenario 3 con frecuencia 868Mhz, potencia de la fuente de 0dBm, y a)corte a 60cm, b)corte a 70cm, c)corte a 1m

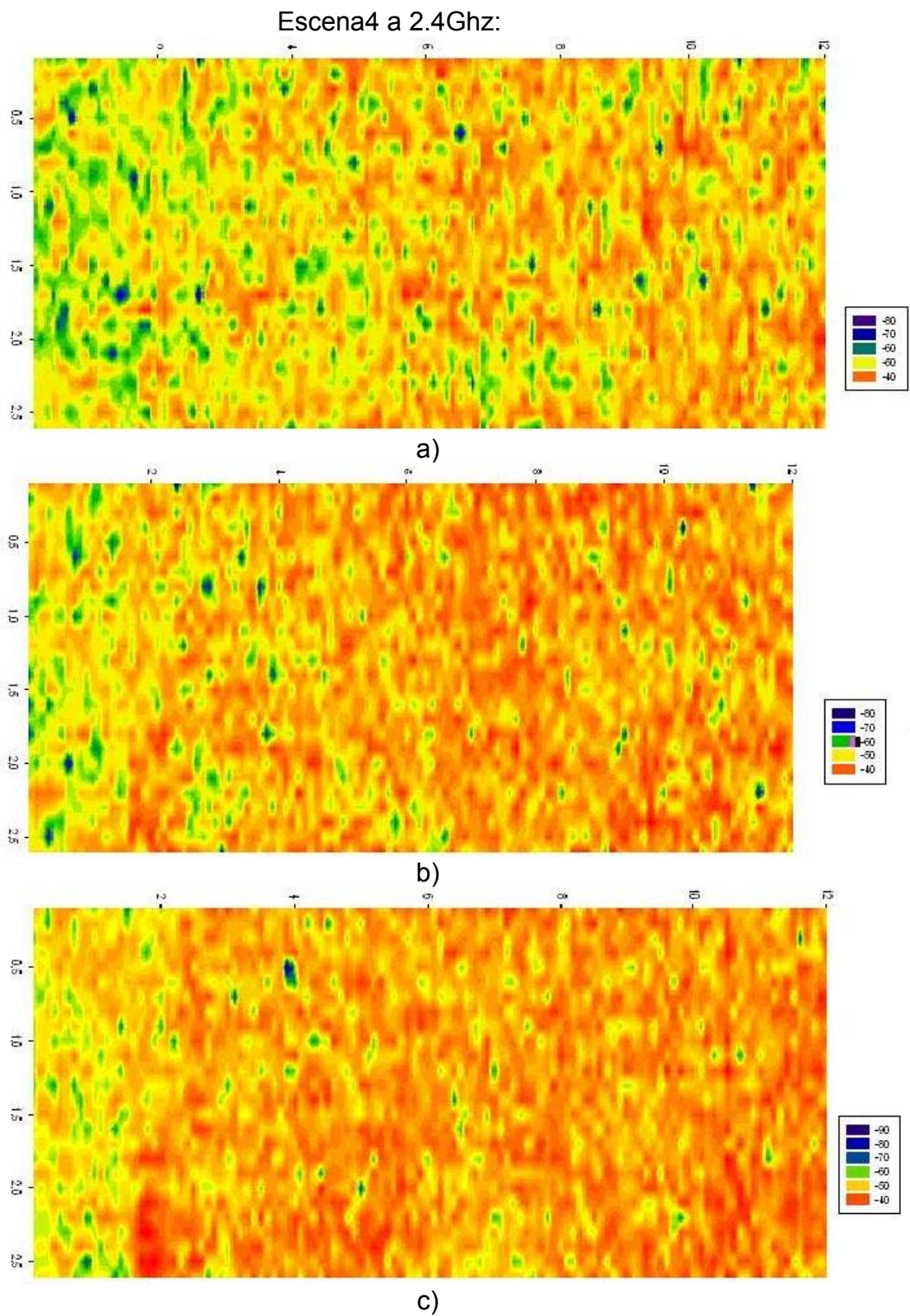
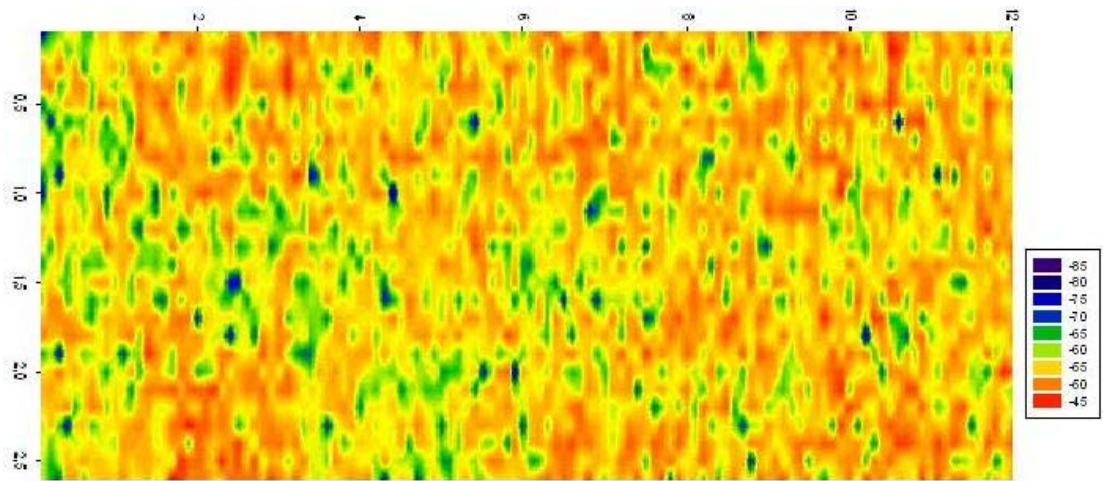
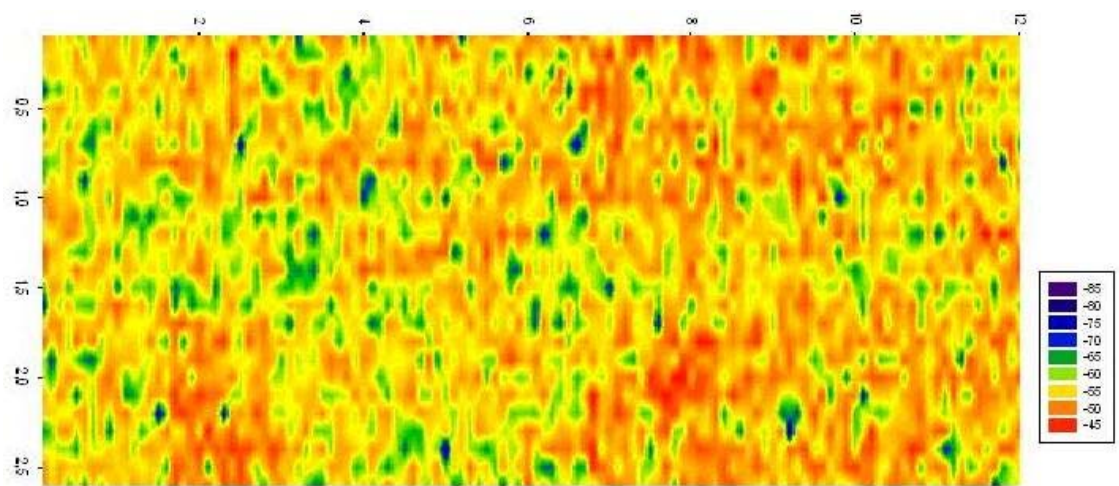


Fig 6: Escenario 4 con frecuencia 2.4Ghz, potencia de la fuente de 0dBm, y a)corte a 60cm, b)corte a 70cm, c)corte a 1m

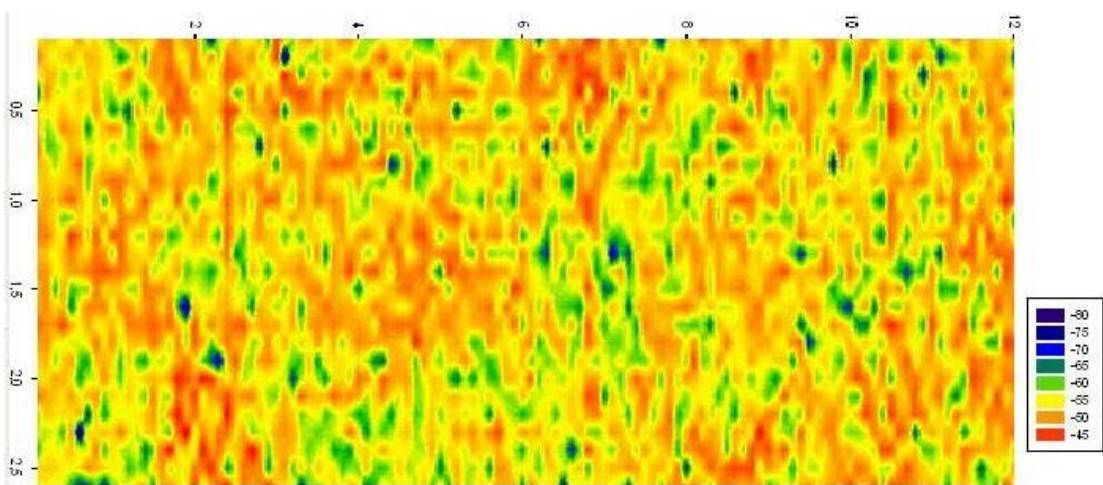
Escena1 a 5Ghz:



a)



b)



c)

Fig 7: Escenario 13 con frecuencia 5Ghz, potencia de la fuente de 0dBm, y a)corte a 60cm, b)corte a 70cm, c)corte a 1m

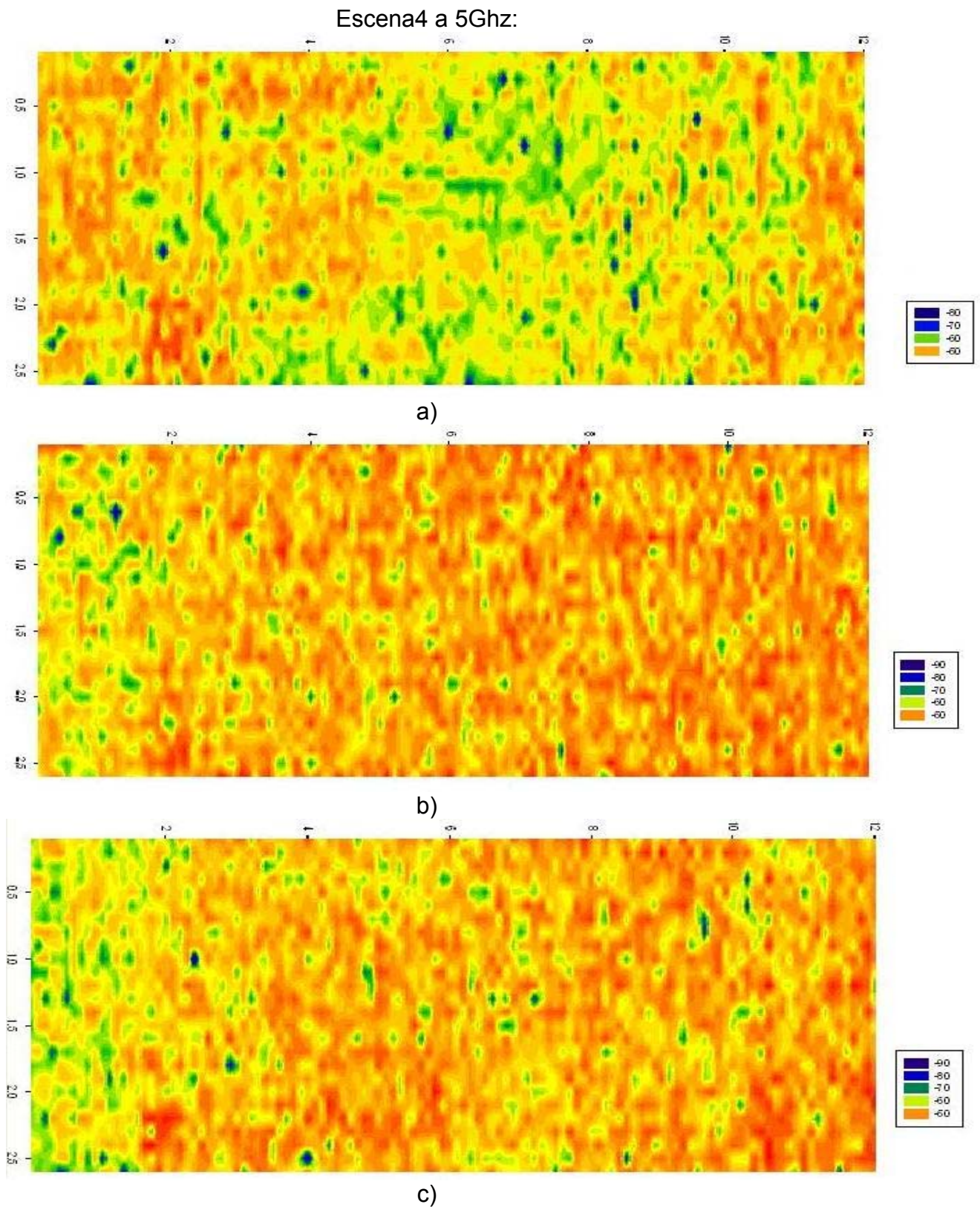


Fig 8: Escenario 43 con frecuencia 5Ghz, potencia de la fuente de 0dBm, y a)corte a 60cm, b)corte a 70cm, c)corte a 1m

Como podemos observar en todas las figuras anteriores, las potencias de señal recibida se ven afectadas por el multitrayecto, por eso los mapas no son uniformes, y no se reparten de la misma manera. Podemos comprobar que aparecen zonas donde la señal emitida no llega, o llega con poca potencia (zonas azules). Por otro lado, aparecen zonas rojizas/naranjas donde la potencia recibida es mucho mayor, por lo que serian ideales para poner sensores en dicha zona.

Con el fin de mostrar el efecto de las componentes multitrayecto que afectan a la propagación de ondas, se ha preparado un informe en el que se intenta dejar claro y de forma visual este efecto.

Para ello se vamos a utilizar varios escenarios para poder mejor apreciar la distribución de dichas componentes. Los diferentes escenarios tendrán una configuración distinta entre ellas, desplazando las antenas de sitio.

Para tal fin se han elegido cinco radiales de los escenarios, o lo que es lo mismo, cortes de ellas.

Los cortes se han efectuado a distintas alturas específicas, ya que son las alturas que nos importan, para el objeto de este proyecto, concretamente a 60cm, 70 cm y 1m. También se han realizados dichos cortes a diferentes frecuencias, 868 Mhz, 2.4Ghz y 5Ghz.

Para no sobrecargar la pagina, mostramos unos cortes de dos escenarios, concretamente el escenario 1 y 4 (los cortes están marcados en rojo)

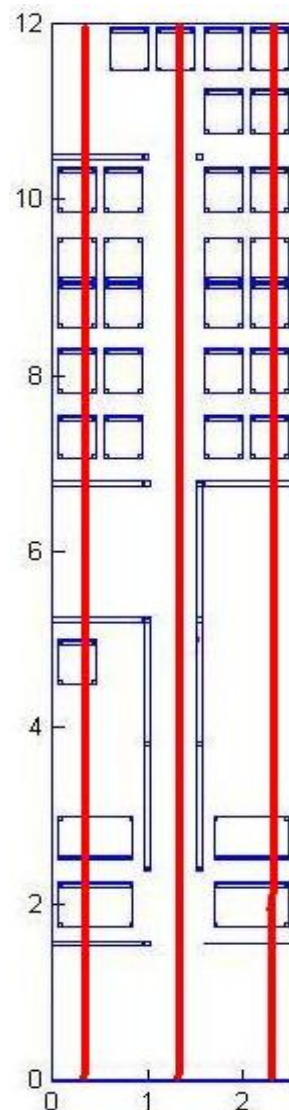


Fig: Escenario con los diferentes cortes en color rojo

Los diferentes cortes se muestran a continuación:

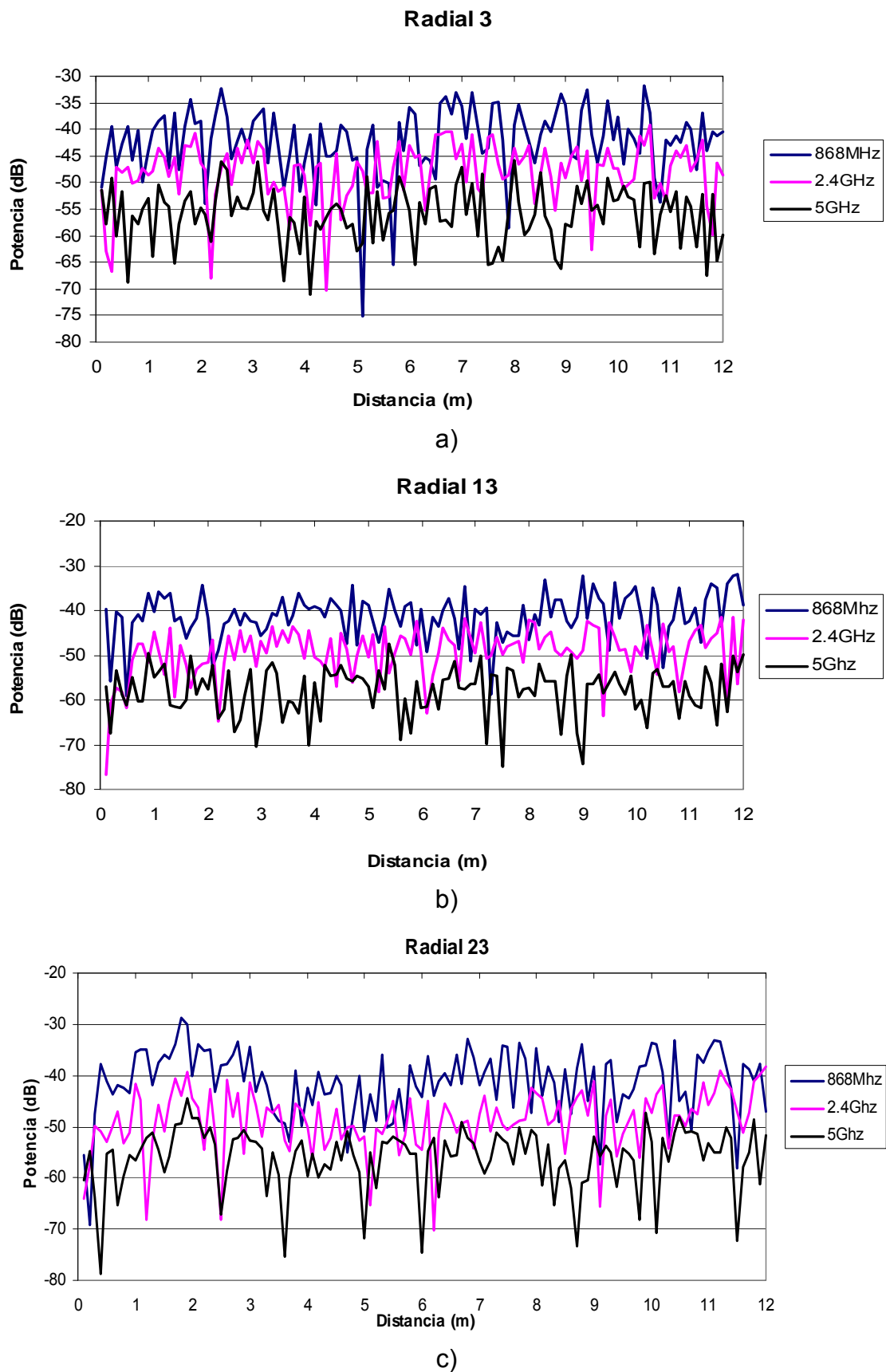


Fig.: Cortes de la escena 1 en el eje X, a 60 cm del suelo en eje Z
a) a 30cm b) a 1.3m c) a 2.3m

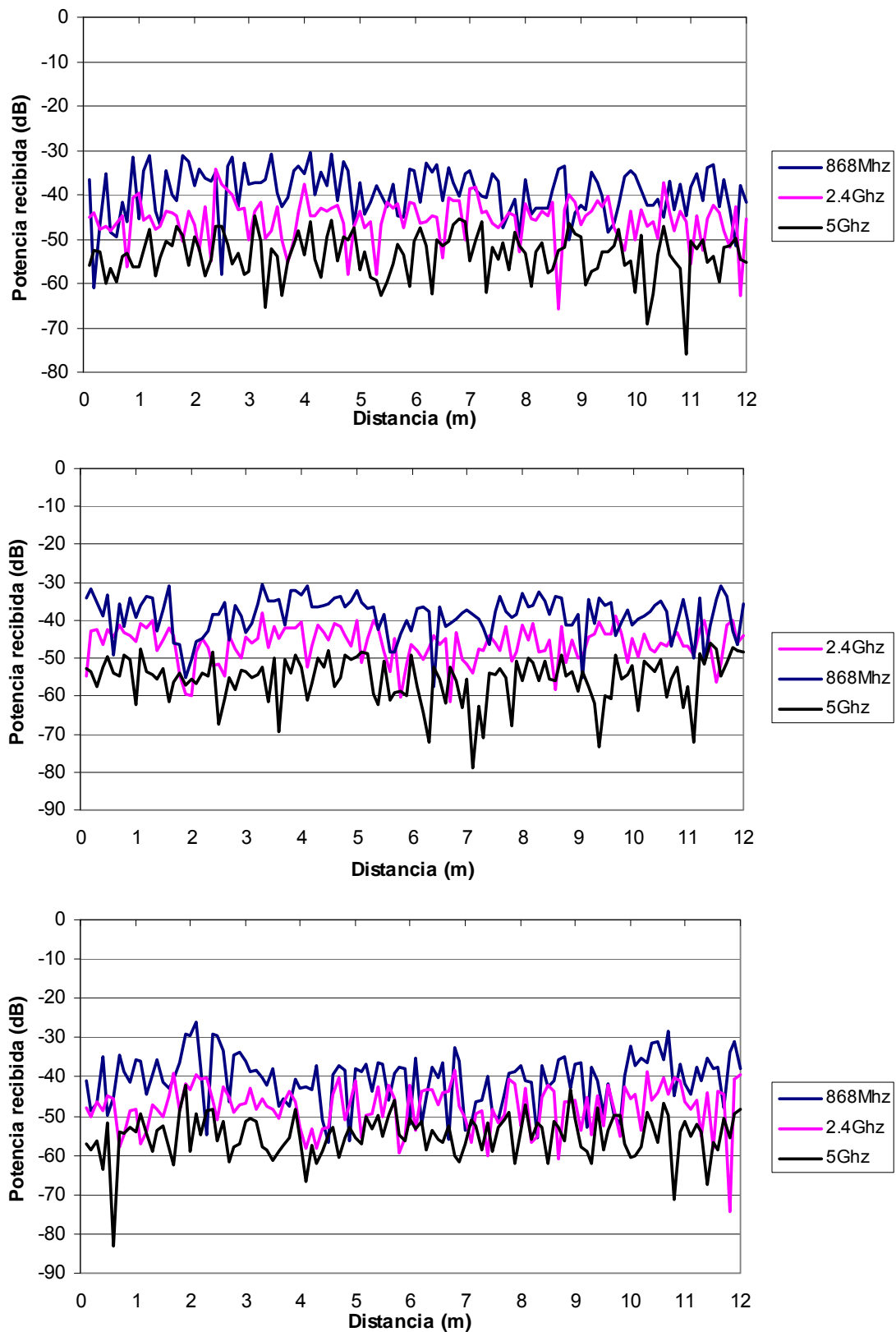
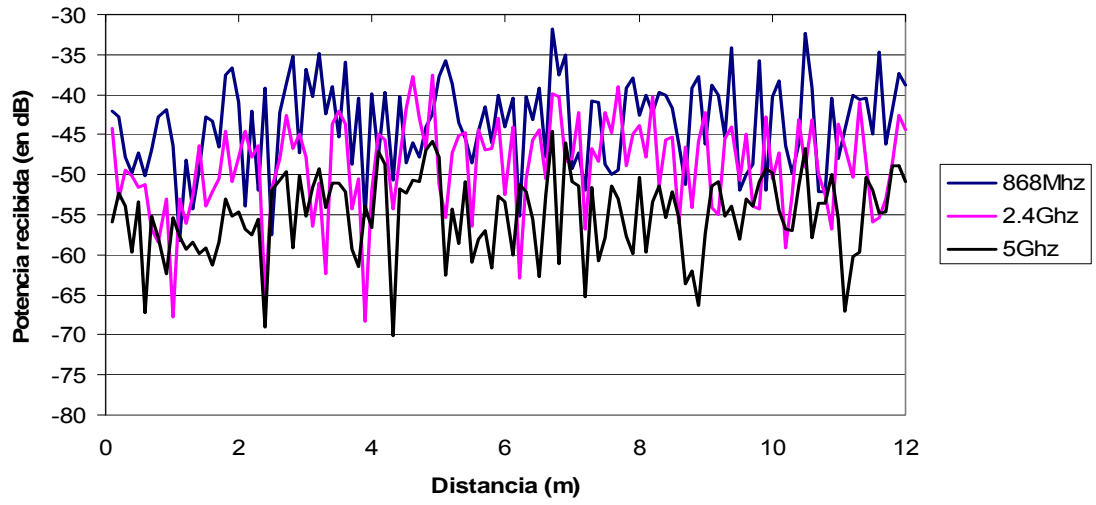
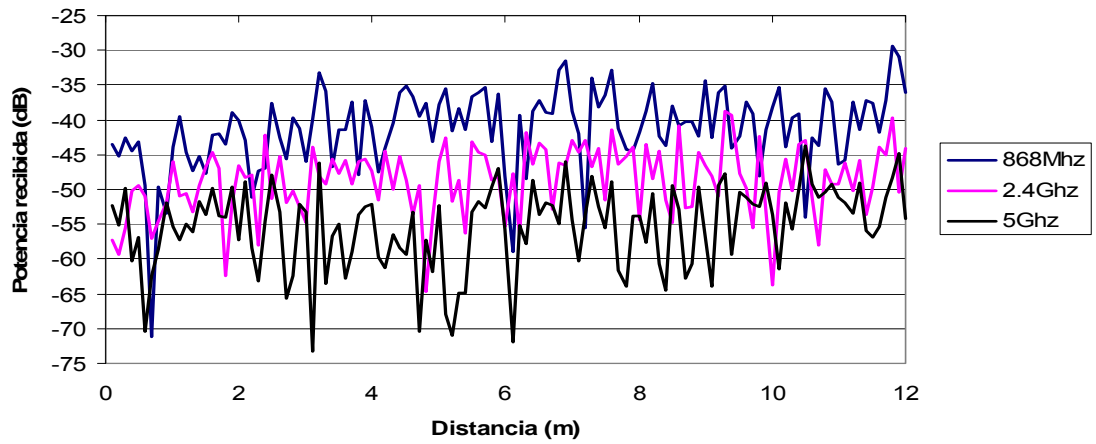


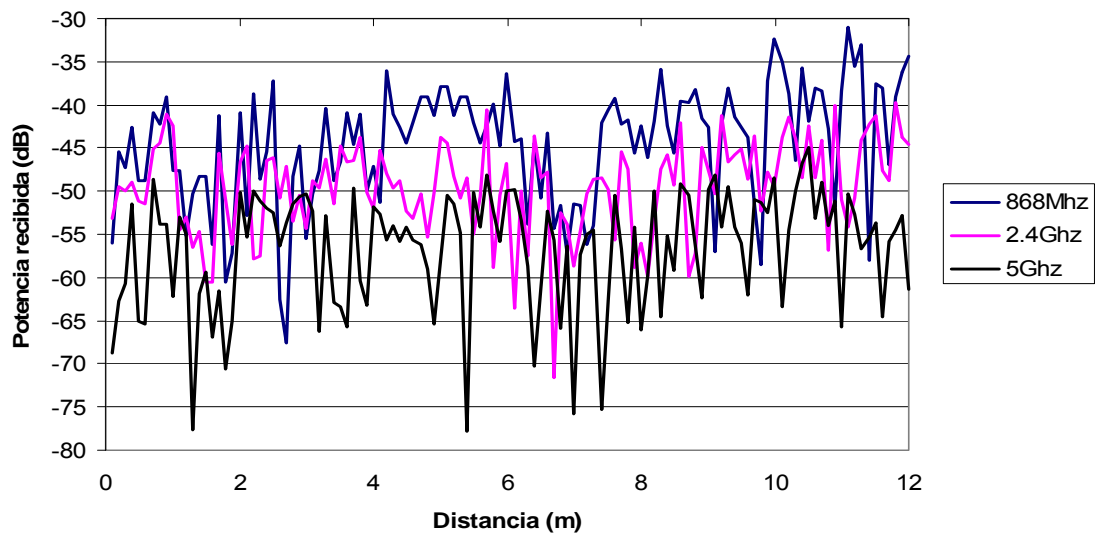
Fig.: Cortes de la escena 1 en el eje X, a 1m del suelo en eje Z
a) a 30cm b) a 1.3m c) a 2.3m



a)

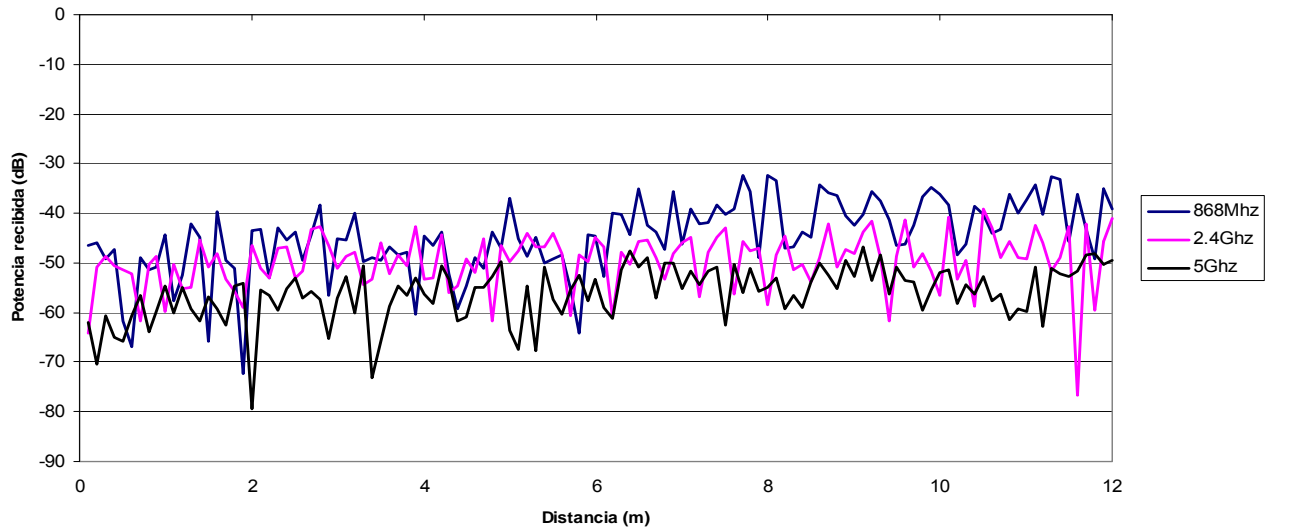


b)

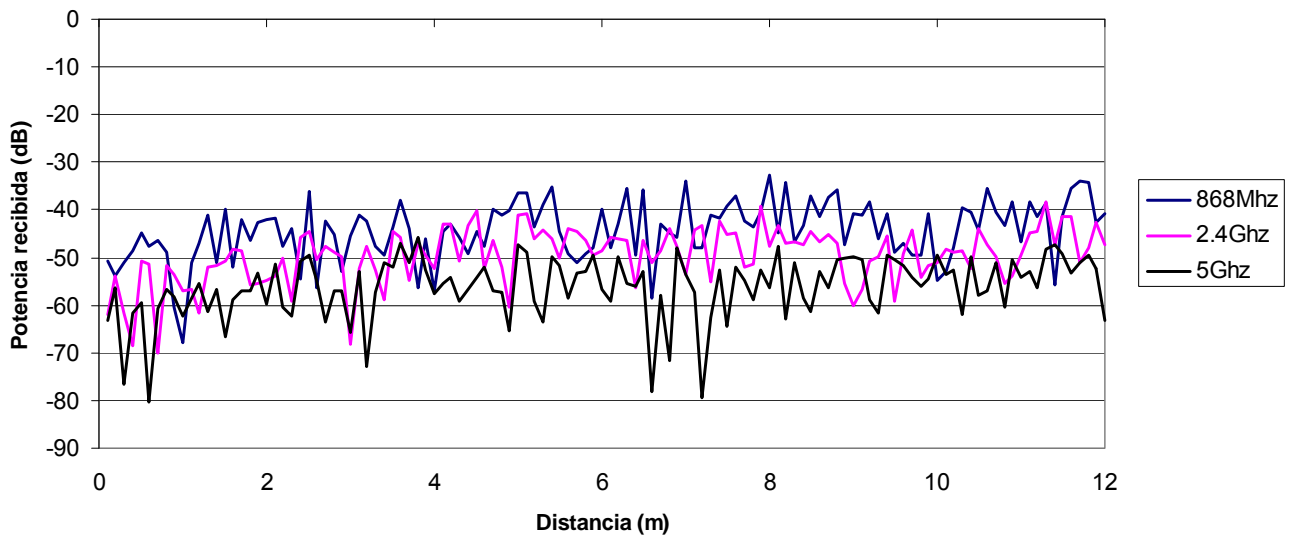


c)

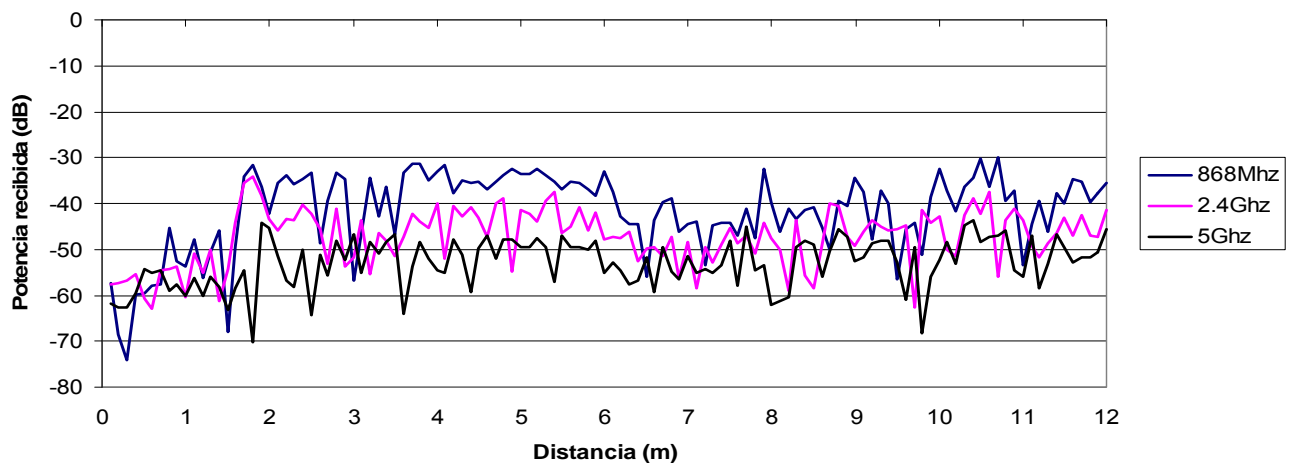
Fig.: Cortes de la escena 4 en el eje X, a 60 cm del suelo en eje Z
b) a 30cm b)a 1.3m c) a 2.3m



a)



b)



c)

Fig.: Cortes de la escena 4 en el eje X, a 1m del suelo en eje Z

c) a 30cm b) a 1.3m c) a 2.3m

d)

Observamos como se distribuye la potencia recibida por todo el escenario. A medida que aumenta la frecuencia disminuye la señal de potencia transmitida.

En el caso anterior (la escena 4 por ejemplo), si la antena transmite a 0 dBm a 868MHz, la potencia de la señal a 8 metros de la antena estará alrededor de -40dBm, mientras si mantenemos la potencia de la señal y aumentamos la frecuencia a 5Ghz, la potencia de la señal a 8 metros de la antena se verá reducida a -60 dBm.

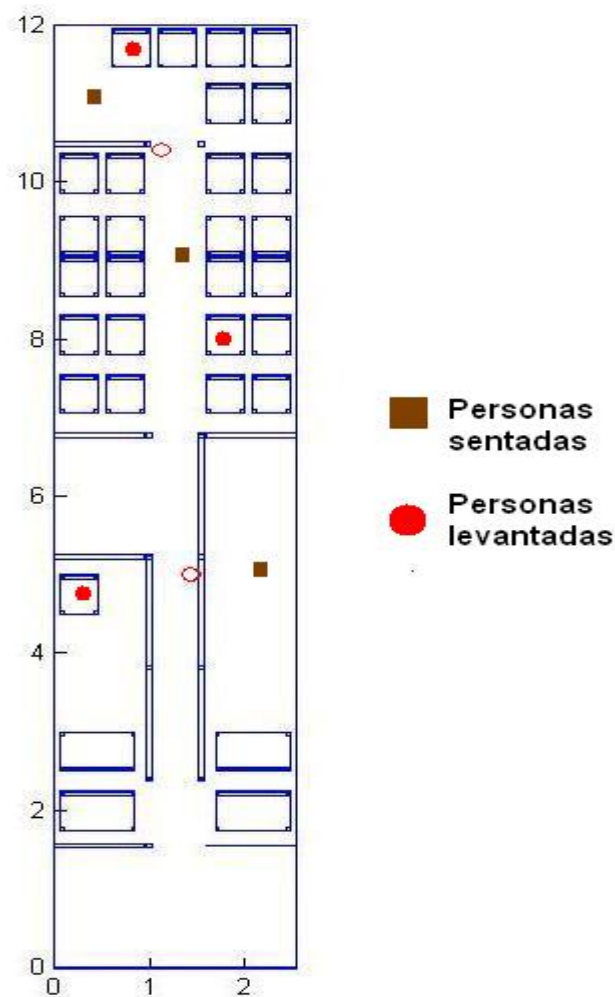
Todo esto dependerá de la organización del escenario, si contiene objetos (paredes, puertas,...) y el tipo de material (cristal, aluminio,...)

En nuestro caso, los escenarios contienen barras de metal ventanas de cristal, paredes y sillas en PVC, por lo que la distribución de la potencia parece lógica.

Otro aspecto importante a la hora de diseñar la red inalámbrica, es determinar los perfiles de retardo de potencia. Estos perfiles sirven para saber el tiempo que tarda en llegar en puntos concretos la señal de potencia de las antenas.

Vamos a observar dichos perfiles según dos escenarios:

- Primer escenario: las personas están sentadas (60cm)
- Segundo escenario: las personas dentro de la villavesa están de pie (supongamos 1.5m)

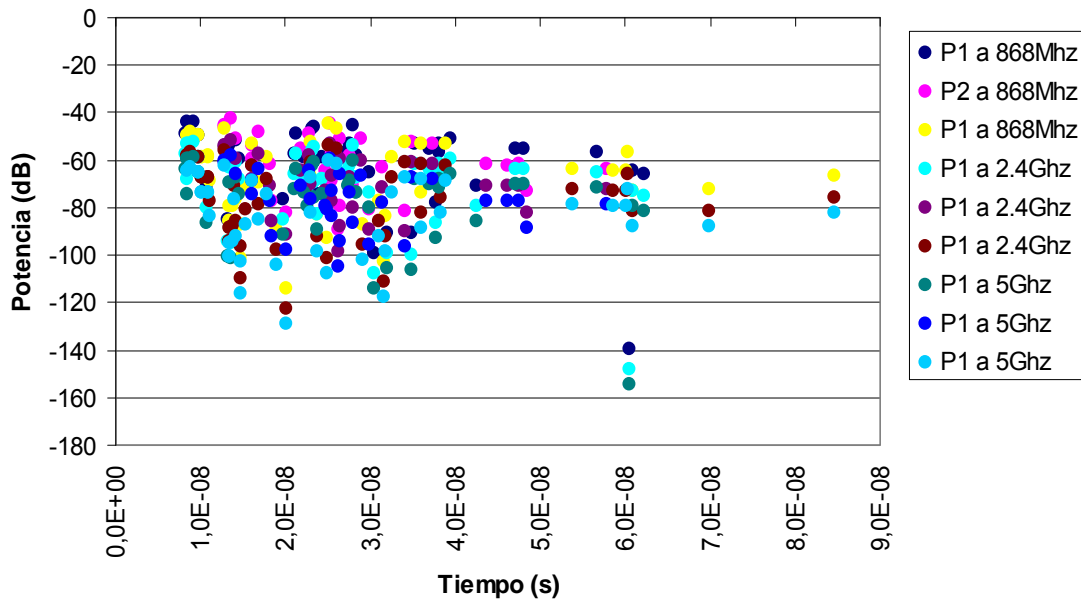


Al igual que con las graficas de las potencias recibidas, coceremos los mismos escenarios 1 y 4 para realizar dichas simulaciones.

Un aspecto importante a la hora de diseñar una red, es calcular un perfil de retardo de potencia. Dicho perfiles de potencia o PDP representan los tiempos que tardan en llegar los rayos lanzados en puntos concretos. Asi mismo, es importante tenerlo en cuenta, ya que un tiempo elevado supondría un retardo elevado para el usuario, y de esta manera, la señal llegaría con mas tiempo, lo que significaría un problema grave.

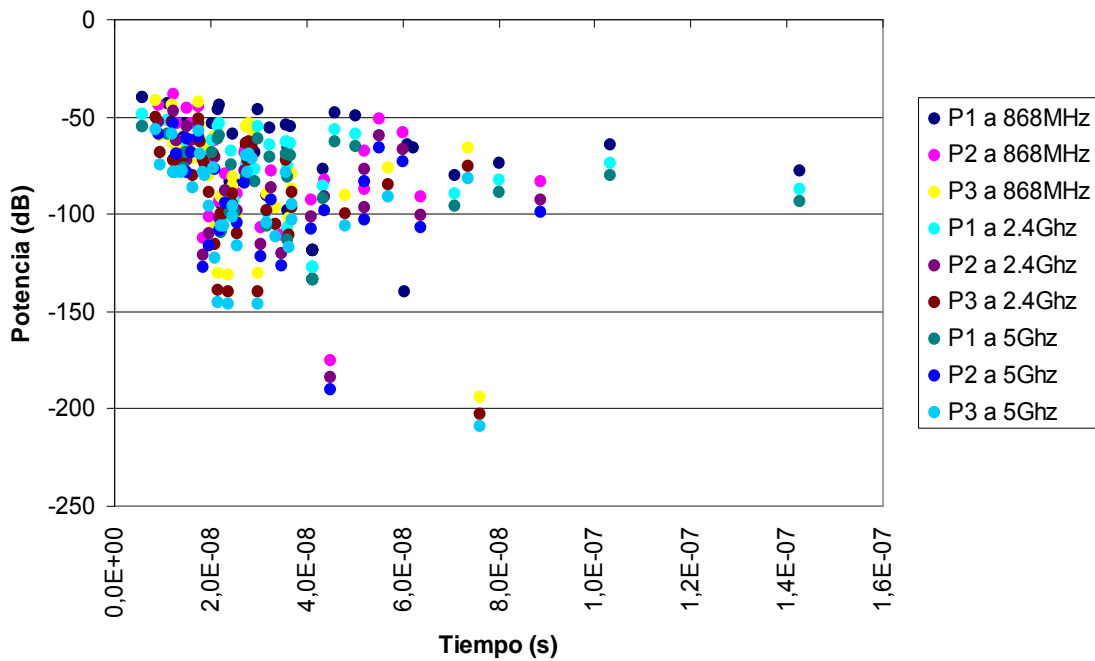
A continuación, mostramos los diferentes perfiles de retrado de potencias correspondientes a las escenas 1 y 4, en las graficas siguientes:

Retardo de potencia a diferentes frecuencias



a)

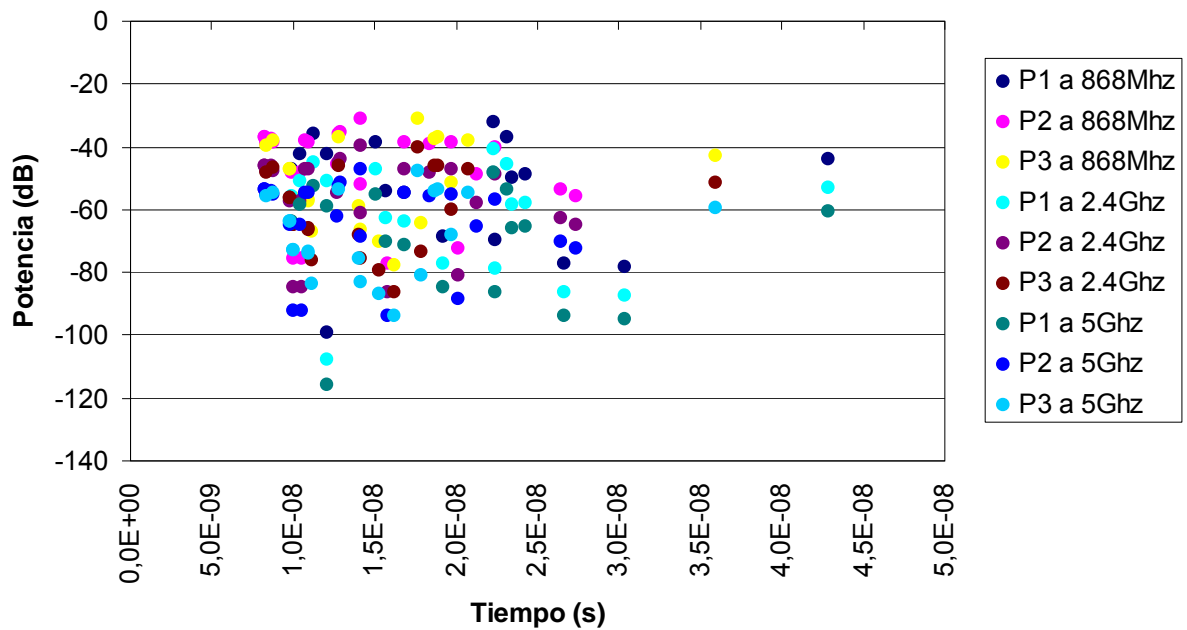
Retardos de potencia a diferentes frecuencias



b)

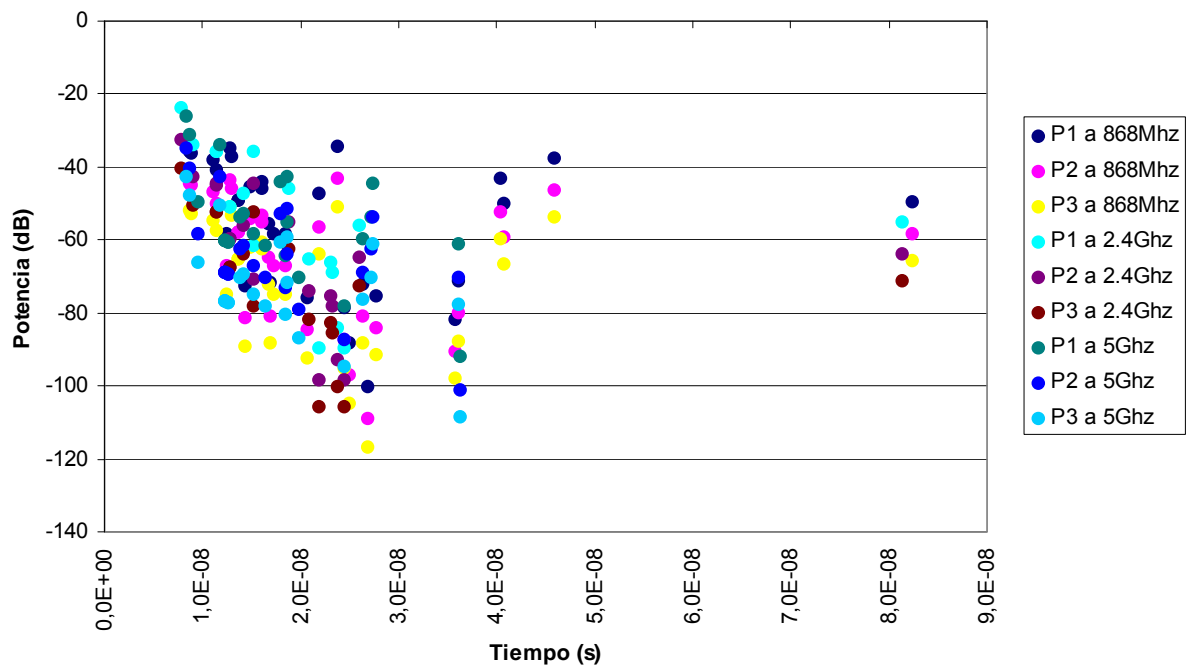
Fig: Retardo de potencia en el escenario 4 a diferentes frecuencias con a) personas sentadas b) personas de pie

Retardo de potencia con diferentes frecuencias



a)

Retardos de potencia con diferentes frecuencias



b)

Fig: Retardo de potencia en el escenario 1 a diferentes frecuencias con a) personas sentadas b) personas de pie

6.2 CODIGO MATLAB

En este apartado, expondremos el código matlab con el que se escribo para realizar los escenarios correspondientes al objetivo del proyecto.

6.2.1 Crearescenariobus.m (código original)

```
function [room,conexiones,antenastx,antenasrx]= crearescenariobus

clear all
clc
figure()

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%                VILLAVESA 1                %%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

a1=2.55; %largo en x
b1=12; %ancho en y
c1=3; %alto en z
Resx1=ceil(a1/0.1);
Resy1=ceil(b1/0.1);
Resz1=ceil(c1/0.1);
m1=0; %material interior

% a1=2.7; %largo en x
% b1=1.5; %ancho en y
% c1=1; %alto en z
% Resx1=ceil(a1/0.27); %resoluciones
% Resy1=ceil(b1/0.15);
% Resz1=ceil(c1/0.1);
% m1=0; %material interior

%%%Silla de prueba
silla1=fabricasilla(0.45,2,0.6,0.8,0.5,0.03,0.04,0.5,1,10);

%%%fabricasilla(x0,y0,z0,Ax,Ay,Az,Apata,hrespaldo,posicionrespaldo,n)
% silla2=fabricasilla(0.25,2,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,1,1);
% silla3=fabricasilla(0.75,2,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,1,1);
silla4=fabricasilla(2.1,2,0.6,0.8,0.5,0.03,0.04,0.5,1,10);

silla5=fabricasilla(0.45,2.75,0.6,0.8,0.5,0.03,0.04,0.5,3,10);%%%silla
invertida
% silla6=fabricasilla(0.75,2.55,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,3,1);
% silla7=fabricasilla(2.3,2.55,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,3,1);
silla8=fabricasilla(2.1,2.75,0.6,0.8,0.5,0.03,0.04,0.5,3,10);

% silla9=fabricasilla(0.25,4,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,1,1);
% silla10=fabricasilla(0.75,4,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,1,1);
% silla11=fabricasilla(1.8,4,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,1,1);
% silla12=fabricasilla(2.3,4,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,1,1);

silla13=fabricasilla(0.25,4.75,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,1,10);
% silla14=fabricasilla(0.75,4.55,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,1,1);
% silla15=fabricasilla(2.3,4.55,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,1,1);
```

Análisis del Impacto Topo-Morfológico en el Despliegue de redes de Sensores Inalámbricos en Autobuses de Transporte Urbano

```
% silla16=fabricasilla(1.8,4.55,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,1,1);

silla17=fabricasilla(1.8,7.3,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,1,10);
silla18=fabricasilla(2.3,7.3,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,1,10);
silla19=fabricasilla(0.25,7.3,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,1,10);
silla20=fabricasilla(0.75,7.3,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,1,10);

silla21=fabricasilla(2.3,8.05,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,1,10);
silla22=fabricasilla(0.25,8.05,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,1,10);
silla23=fabricasilla(0.75,8.05,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,1,10);
silla24=fabricasilla(1.8,8.05,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,1,10);

silla25=fabricasilla(0.25,8.8,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,1,10);
silla26=fabricasilla(0.75,8.8,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,1,10);
silla27=fabricasilla(1.8,8.8,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,1,10);
silla28=fabricasilla(2.3,8.8,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,1,10);

silla29=fabricasilla(0.25,9.3,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,3,10);
silla30=fabricasilla(0.75,9.3,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,3,10);
silla31=fabricasilla(1.8,9.3,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,3,10);
silla32=fabricasilla(2.3,9.3,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,3,10);

silla33=fabricasilla(0.25,10.1,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,1,10);
silla34=fabricasilla(0.75,10.1,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,1,10);
silla35=fabricasilla(1.8,10.1,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,1,10);
silla36=fabricasilla(2.3,10.1,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,1,10);

silla37=fabricasilla(1.8,11,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,1,10);
silla38=fabricasilla(2.3,11,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,1,10);

% silla39=fabricasilla(1.8,11.1,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,1,1);
% silla40=fabricasilla(2.3,11.1,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,1,1);

silla41=fabricasilla(0.8,11.7,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,1,10);
silla42=fabricasilla(1.3,11.7,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,1,10);
silla43=fabricasilla(1.8,11.7,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,1,10);
silla44=fabricasilla(2.3,11.7,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,1,10);

% silla39=fabricasilla(0.25,9.85,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,3,1);
% silla40=fabricasilla(0.75,9.85,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,3,1);
% silla41=fabricasilla(1.8,9.85,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,3,1);
% silla42=fabricasilla(2.3,9.85,0.6,0.4,0.5,0.03,0.04,0.5,3,1);

%%%Apoyos
apoyo1=fabricacaja(0.475,10.475,0.65,0.95,0.05,0.05,0,6);%%%fabricacaja(x0,y0,z0,Ax,Ay,Az,A,m)
apoyo2=fabricacaja(0.475,5.225,0.65,0.95,0.05,0.05,0,6);
apoyo3=fabricacaja(0.475,1.55,0.65,0.95,0.05,0.05,0,6);
apoyo4=fabricacaja(0.475,6.775,0.65,0.95,0.05,0.05,0,6);
%apoyo5=fabricacaja(2.075,10.475,0.65,0.95,0.05,0.05,0,6);
%apoyo6=fabricacaja(2.075,5.225,0.65,0.95,0.05,0.05,0,6);
apoyo7=fabricacaja(2.075,6.775,0.65,0.95,0.05,0.05,0,6);
%apoyo6=fabricacaja(2.075,5.225,0.65,0.95,0.05,0.05,0,6);
barral=fabricacaja(1,1.55,1.5,0.05,0.05,3,0,6);
barra2=fabricacaja(1,5.225,1.5,0.05,0.05,3,0,6);
```

Análisis del Impacto Topo-Morfológico en el Despliegue de redes de Sensores Inalámbricos en Autobuses de Transporte Urbano

```
barra3=fabricacaja(1,6.775,1.5,0.05,0.05,3,0,6);
barra33=fabricacaja(1,2.4,1.5,0.05,0.05,3,0,6);
barra4=fabricacaja(1,10.475,1.5,0.05,0.05,3,0,6);
barra44=fabricacaja(1.55,2.4,1.5,0.05,0.05,3,0,6);
barra5=fabricacaja(1.55,5.225,2.475,0.05,0.05,1.05,0,6);
barra6=fabricacaja(1.55,6.775,1.5,0.05,0.05,3,0,6);
barra7=fabricacaja(1.55,10.475,1.5,0.05,0.05,3,0,6);
barra8=fabricacaja(1,3.8175,1.95,0.05,2.825,0.05,0,6);
barra9=fabricacaja(1,3.8175,2.475,0.05,0.05,1.05,0,6);
barra90=fabricacaja(1.55,3.8175,2.475,0.05,0.05,1.05,0,6);
%barra9=fabricacaja(1,8.625,1.95,0.05,3.7,0.05,0,6);
barra10=fabricacaja(1.55,4.5875,1.95,0.05,4.375,0.05,0,6);
%barra11=fabricacaja(1.55,8.625,1.95,0.05,3.7,0.05,0,6);
separador=fabricacaja(2.075,1.55,1.2,0.95,10^-6,2.4,0,5);

paredes1=[a1/2,0,c1/2,a1,10^-9,c1,10,0.1;%%pared delante
a1/2,12,2.5,a1,10^-9,1,5,0.1;%%ventana atras
a1/2,12,1,a1,10^-9,2,10,0.1;%%pared atras
0,b1/2,2.7,10^-9,b1,0.6,10,0.1;%%pared izquierda (borde
superior)
2.55,b1/2,2.7,10^-9,b1,0.6,10,0.1;%%pared derecha (borde
superior)
0,0.75,1.2,10^-9,1.5,2.4,10,0.1;%%puerta primera izquierda
0,6,1.2,10^-9,1.5,2.4,10,0.1;%%puerta segunda izquierda
0,11.25,1.2,10^-9,1.5,2.4,10,0.1;%%puerta tercera izquierda

%%Separador

0,3.375,0.5,10^-9,3.75,1,10,0.1;%%bajo primero izquierda
0,8.625,0.5,10^-9,3.75,1,10,0.1;%%bajo segundo izquierda
0,8.625,1.7,10^-9,3.75,1.4,5,0.1;%%ventana primero izquierda
0,3.375,1.7,10^-9,3.75,1.4,5,0.1;%%ventana primero izquierda
2.55,6,0.5,10^-9,12,1,10,0.1;%%bajo derecho
2.55,6,1.7,10^-9,12,1.4,5,0.1;%%ventana derecho publico

a1/2,b1/2,0,a1,b1,10^-9,10,0.1;%%suelo
a1/2,b1/2,c1,a1,b1,10^-9,10,0.1;%%techo
];
axis([0 a1 0 b1 0 c1])
obstaculos1=[silla1;silla4;silla5;silla8;

silla13;silla17;silla18;silla19;silla20;silla21;silla22;silla23;silla24;

silla25;silla26;silla27;silla28;silla29;silla30;silla31;silla32;silla33;
silla34;silla35;silla36;
silla37;silla38;silla41;silla42;silla43;silla44;

apoyo1;apoyo2;apoyo3;apoyo4;apoyo7;barral;barra2;barra3;barra33;barra4;
;barra44;barra5;barra6;barra7;barra8;barra9;barra90;barra10;separador];

% paredes = [x,y,z,Ax,Ay,Az,material,grosor]

% material0 : aire
% material1 : madera
% material2 : pared ladrillo
% material3 : pared pladur
```

```
% material4 : puertas
% material5 : cristal
% material6 : aluminio
% material7 : hormigon
pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla1);
% pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla2);
% pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla3);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla4);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla5);
% pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla6);
% pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla7);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla8);
% pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla9);
% pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla10);
% pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla11);
% pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla12);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla13);
% pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla14);
% pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla15);
% pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla16);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla17);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla18);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla19);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla20);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla21);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla22);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla23);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla24);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla25);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla26);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla27);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla28);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla29);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla30);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla31);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla32);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla33);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla34);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla35);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla36);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla37);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla38);
% pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla39);
% pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla40);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla41);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla42);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla43);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,silla44);

pintaobstaculo(a1,b1,c1,paredes1);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,obstaculos1);

% paredes = [x,y,z,Ax,Ay,Az,material,grosor]

% En mis caso los tres materiales que seran utilizados seran los
% siguientes: aluminio, vidrio y plastico

% material0 : aire
% material1 : madera
```

Análisis del Impacto Topo-Morfológico en el Despliegue de redes de Sensores Inalámbricos en Autobuses de Transporte Urbano

```
% material2 : pared ladrillo
% material3 : pared pladur
% material4 : puertas
% material5 : cristal
% material6 : aluminio
% material7 : hormigon

room1=prepararhabitacion(al,b1,c1,Resx1,Resy1,Resz1,m1,obstaculos1,par
edes1);

room=cell(1,1); %cell{1,3} si hay tres habitaciones
room{1}=room1;
%room{2}=room2;
%room{3}=room3;

conexiones=zeros(1,14);

% CONEXIONES
[numerohabitacion,x0,y0,z0,Ax,Ay,Az,numerootrahabitacion,.....]
% da las coordenadas relativas de la conexion y tal

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%ANTENAS TX Y RX
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

antenastx=[1,1.1,2.4,2.3,0,pi/90,2*pi-
pi/90,0,pi/90,pi,6,inf,1,0,0,0,0,0,0,240000000,0]; %antena1
%1,1.45,6.775,2.3,0,pi/90,2*pi-
pi/90,0,pi/90,pi,6,inf,2,0,0,0,0,0,0,240000000,0]; %antena 2
%1,1.1,10.475,2.3,0,pi/90,2*pi-
pi/90,0,pi/90,pi,6,inf,3,0,0,0,0,0,0,240000000,0]; %antena 3
%antenastx1=[];
%antenastx2=[1,1.275,6,1.5,0,pi/90,2*pi-
pi/180,pi/2,pi/90,pi,4,inf,1,0,0,0,0,0,0,240000000,0];

plot3(1.1,2.4,2.3,'or'); % primer pto del tx; plot3 corresponde a la
funcion de dibujar en tres dimensiones
%plot3(1.45,6.775,2.3,'or'); %%segundo pto del tx
%plot3(1.1,10.475,2.3,'or'); %%tercer pto del tx

%numoderayos=length(antenastx(5):antenastx(6):antenastx(7))*length(a
ntenastx(8):antenastx(9):antenastx(10)) %numero de rayos
% antenatx [ numerohabitacion, x,y,z,phii,Aphi,phif,
tethai,Atheta,thetaf,nrebotes,taumaxima,numerodeantena,
esficticiaporrefraccion,thetao,phio,tau0,reflexion0, frecuencia] 20
movidas

antenasrx=zeros(1,8); %no pones antena tx y luego ves lo que captaría
si pusiesemos omnidireccionales en todos los cubos a la hora de sacar
parámetros
%antenasrx=[1,6,5.1,1,0,2*pi,0,2*pi];
%plot3(6,5.1,1,'xr');
%antenasrx=[3,0.2,4,2.9,0,2*pi,0,pi;1,2.5,2.5,0.95,0,2*pi,0,pi;1,6.5,3
.3,0.
%3,0,2*pi,0,pi;2,5.5,2.5,0.95,0,2*pi,0,pi;2,2.5,3.3,0.3,0,2*pi,0,pi];
```

6.2.2 Extraeparametros.m

En esta función del programa, escrito por Fermin Esparza, quien desarrolló el algoritmo de trazado de rayos, se configure los parámetros importantes que nosotros valoraremos en nuestro trabajo útiles como las directividades de las antenas, la tasa de transferencia de bits, el ángulo de lanzamiento de rayos, la frecuencia utilizada...

En este ejemplo de código, la potencia de la antena es de 0 dBm, una frecuencia de 2.4GHz, antena omnidireccional, con un máximo de 6 rebotes por cada cuboide (el escenario se divide en cuboides de manera que los rayos lanzados por la antena reboten, difracten o reflejen datos necesarios para nuestro trabajo)

```
tic

Pr=0.001; % W
Tc=4E-6; %%%Tc=4E-6;Rb=250Kbps;F=2.4GHz(Zigbee)%%Para calcular Tc es la inversa de Rb
%%Tc=1.8E-6;Rb=54Mbps;F=5GHz(Wifi estándar IEEE 802.11a)%%
%%Tc=9E-9;Rb=106Kbps;F=860-960MHz%%
%%Tc=1E-8;Rb=100Mbps;F=2GHz%%

Fc=2400000000;
Cptx=[0,1];
Cprx=[0,1];
DirectividadTx=1; %tipo
DirectividadRx=1; %tipo
Atheta=pi/90;
Rebmax=6;

parametros = calculaparametros(room,Pr,Tc,Fc,Cptx,Cprx,DirectividadTx,DirectividadRx,Atheta,Rebmax);

numerohabitaciones = length(room);

campoE=cell(1,numerohabitaciones);
for i=1:numerohabitaciones
campoE{i}=cell(room{i}{1}(4),room{i}{1}(5),room{i}{1}(6));
for k1=1:room{i}{1}(4)
for k2=1:room{i}{1}(5)
for k3=1:room{i}{1}(6)
campoE{i}{k1,k2,k3}=parametros{i}{k1,k2,k3}{1}{1};
end
end
end
end
end
```



```
PotenciaTc=cell(1,numerohabitaciones); %supuesto isotrópica
for i=1:numerohabitaciones
PotenciaTc{i}=zeros(room{i}{1}(4),room{i}{1}(5),room{i}{1}(6));
for k1=1:room{i}{1}(4)
    for k2=1:room{i}{1}(5)
        for k3=1:room{i}{1}(6)
            PotenciaTc{i}(k1,k2,k3)=parametros{i}{k1,k2,k3}{1}{2}(1);
        end
    end
end
end

PotenciaTcdB = cell(1,numerohabitaciones); %supuesto isotrópica
for i=1:numerohabitaciones
PotenciaTcdB{i}=zeros(room{i}{1}(4),room{i}{1}(5),room{i}{1}(6));
for k1=1:room{i}{1}(4)
    for k2=1:room{i}{1}(5)
        for k3=1:room{i}{1}(6)
            if PotenciaTc{i}(k1,k2,k3) == 0
                PotenciaTcdB{i}(k1,k2,k3) = -100;
            else

PotenciaTcdB{i}(k1,k2,k3)=10*log10(PotenciaTc{i}(k1,k2,k3)/1E-3); %son
dBm
            end
        end
    end
end
end

RetardoPotencia=cell(1,numerohabitaciones); %supuesto isotrópica
for i=1:numerohabitaciones
RetardoPotencia{i}=cell(room{i}{1}(4),room{i}{1}(5),room{i}{1}(6));
for k1=1:room{i}{1}(4)
    for k2=1:room{i}{1}(5)
        for k3=1:room{i}{1}(6)

RetardoPotencia{i}{k1,k2,k3}=parametros{i}{k1,k2,k3}{1}{3};
        end
    end
end
end

PotenciaTcRX=cell(1,numerohabitaciones); %supuesto antena en rx
for i=1:numerohabitaciones
PotenciaTcRX{i}=zeros(room{i}{1}(4),room{i}{1}(5),room{i}{1}(6));
for k1=1:room{i}{1}(4)
    for k2=1:room{i}{1}(5)
        for k3=1:room{i}{1}(6)

PotenciaTcRX{i}(k1,k2,k3)=parametros{i}{k1,k2,k3}{1}{4}(1);
        end
    end
end
end
```

Análisis del Impacto Topo-Morfológico en el Despliegue de redes de Sensores Inalámbricos en Autobuses de Transporte Urbano

```
PotenciaTcdBRX = cell(1,numerohabitaciones); %supuesto antena en rx
for i=1:numerohabitaciones
PotenciaTcdBRX{i}=zeros(room{i}{1}(4),room{i}{1}(5),room{i}{1}(6));
for k1=1:room{i}{1}(4)
    for k2=1:room{i}{1}(5)
        for k3=1:room{i}{1}(6)
            if PotenciaTcRX{i}(k1,k2,k3) == 0
                PotenciaTcdBRX{i}(k1,k2,k3) = -200;
            else
PotenciaTcdBRX{i}(k1,k2,k3)=10*log10(PotenciaTcRX{i}(k1,k2,k3)/1E-3);
                end
            end
        end
    end
end
end
end

RetardoPotenciaRX=cell(1,numerohabitaciones); %supuesto antena en rx
for i=1:numerohabitaciones
RetardoPotenciaRX{i}=cell(room{i}{1}(4),room{i}{1}(5),room{i}{1}(6));
for k1=1:room{i}{1}(4)
    for k2=1:room{i}{1}(5)
        for k3=1:room{i}{1}(6)

RetardoPotenciaRX{i}{k1,k2,k3}=parametros{i}{k1,k2,k3}{1}{5};
            end
        end
    end
end
end

RetardoPotenciaNormalizado=RetardoPotencia; %suma todos los retardos y
cada uno lo divide entre la suma
for i=1:numerohabitaciones
%
RetardoPotenciaNormalizado{i}=cell(room{i}{1}(4),room{i}{1}(5),room{i}{1}(6));
for k1=1:room{i}{1}(4)
    for k2=1:room{i}{1}(5)
        for k3=1:room{i}{1}(6)
            aux=0;
            for j=1:length(RetardoPotencia{i}{k1,k2,k3}(1,:))
                aux=RetardoPotencia{i}{k1,k2,k3}(1,j)+aux;
            end
            RetardoPotenciaNormalizado{i}{k1,k2,k3}(1,:) =
RetardoPotencia{i}{k1,k2,k3}(1,:)/aux;
        end
    end
end
end
end

Retardomedio = cell(1,numerohabitaciones);
for i=1:numerohabitaciones
Retardomedio{i}=zeros(room{i}{1}(4),room{i}{1}(5),room{i}{1}(6));
for k1=1:room{i}{1}(4)
```

Análisis del Impacto Topo-Morfológico en el Despliegue de redes de Sensores Inalámbricos en Autobuses de Transporte Urbano

```
for k2=1:room{i}{1}(5)
    for k3=1:room{i}{1}(6)
        aux=0;
        for j=1:length(RetardoPotencia{i}{k1,k2,k3}(1,:))

aux=RetardoPotenciaNormalizado{i}{k1,k2,k3}(1,j)*RetardoPotenciaNormal
izado{i}{k1,k2,k3}(2,j)+aux;
            end
            Retardomedio{i}(k1,k2,k3)=aux;
        end
    end
end
end

Dispersion = cell(1,numerohabitaciones); %varianza --> obtiene a
partir del retardo normalizado y del retardo medio
for i=1:numerohabitaciones
Dispersion{i}=zeros(room{i}{1}(4),room{i}{1}(5),room{i}{1}(6));
for k1=1:room{i}{1}(4)
    for k2=1:room{i}{1}(5)
        for k3=1:room{i}{1}(6)
            aux=0;
            for j=1:length(RetardoPotencia{i}{k1,k2,k3}(1,:))
                aux=(RetardoPotenciaNormalizado{i}{k1,k2,k3}(2,j)-
Retardomedio{i}(k1,k2,k3))^2*RetardoPotenciaNormalizado{i}{k1,k2,k3}(1
,j)+aux;
            end

            Dispersion{i}(k1,k2,k3)=sqrt(aux);
        end
    end
end
end

RetardoPotenciaNormalizadoRX=RetardoPotenciaRX;
for i=1:numerohabitaciones
%
RetardoPotenciaNormalizado{i}=cell(room{i}{1}(4),room{i}{1}(5),room{i}
{1}(6));
for k1=1:room{i}{1}(4)
    for k2=1:room{i}{1}(5)
        for k3=1:room{i}{1}(6)
            aux=0;
            for j=1:length(RetardoPotenciaRX{i}{k1,k2,k3}(1,:))
                aux=RetardoPotenciaRX{i}{k1,k2,k3}(1,j)+aux;
            end
            RetardoPotenciaNormalizadoRX{i}{k1,k2,k3}(1,:) =
RetardoPotenciaRX{i}{k1,k2,k3}(1,:)/aux;
        end
    end
end
end

RetardomedioRX = cell(1,numerohabitaciones);
for i=1:numerohabitaciones
RetardomedioRX{i}=zeros(room{i}{1}(4),room{i}{1}(5),room{i}{1}(6));
```

Análisis del Impacto Topo-Morfológico en el Despliegue de redes de Sensores Inalámbricos en Autobuses de Transporte Urbano

```
for k1=1:room{i}{1}(4)
    for k2=1:room{i}{1}(5)
        for k3=1:room{i}{1}(6)
            aux=0;
            for j=1:length(RetardoPotenciaRX{i}{k1,k2,k3}(1,:))

aux=RetardoPotenciaNormalizadoRX{i}{k1,k2,k3}(1,j)*RetardoPotenciaNormalizadoRX{i}{k1,k2,k3}(2,j)+aux;
            end
            RetardomedioRX{i}(k1,k2,k3)=aux;
        end
    end
end
end

DispersionRX = cell(1,numerohabitaciones);
for i=1:numerohabitaciones
DispersionRX{i}=zeros(room{i}{1}(4),room{i}{1}(5),room{i}{1}(6));
for k1=1:room{i}{1}(4)
    for k2=1:room{i}{1}(5)
        for k3=1:room{i}{1}(6)
            aux=0;
            for j=1:length(RetardoPotenciaRX{i}{k1,k2,k3}(1,:))
                aux=(RetardoPotenciaNormalizadoRX{i}{k1,k2,k3}(2,j)-RetardomedioRX{i}(k1,k2,k3))^2*RetardoPotenciaNormalizadoRX{i}{k1,k2,k3}(1,j)+aux;
            end

            DispersionRX{i}(k1,k2,k3)=sqrt(aux);
        end
    end
end
end

RetardoPotenciadB = RetardoPotencia;
for i=1:numerohabitaciones
% PotenciaTcdB{i}=zeros(room{i}{1}(4),room{i}{1}(5),room{i}{1}(6));
for k1=1:room{i}{1}(4)
    for k2=1:room{i}{1}(5)
        for k3=1:room{i}{1}(6)
            for j=1:length(RetardoPotencia{i}{k1,k2,k3}(1,:))
                if RetardoPotencia{i}{k1,k2,k3}(1,j) == 0
                    RetardoPotenciadB{i}{k1,k2,k3}(1,j) = -200;
                else

RetardoPotenciadB{i}{k1,k2,k3}(1,j)=10*log10(RetardoPotencia{i}{k1,k2,k3}(1,j)/1E-3);
            end
        end
    end
end
end
end
end
```

```
RetardoPotenciadBRX = RetardoPotenciaRX;
for i=1:numerohabitaciones
% PotenciaTcdB{i}=zeros(room{i}{1}(4),room{i}{1}(5),room{i}{1}(6));
for k1=1:room{i}{1}(4)
    for k2=1:room{i}{1}(5)
        for k3=1:room{i}{1}(6)
            for j=1:length(RetardoPotenciaRX{i}{k1,k2,k3}(1,:))
                if RetardoPotenciaRX{i}{k1,k2,k3}(1,j) == 0
                    RetardoPotenciadBRX{i}{k1,k2,k3}(1,j) = -200;
                else
                    RetardoPotenciadBRX{i}{k1,k2,k3}(1,j)=10*log10(RetardoPotenciaRX{i}{k1
,k2,k3}(1,j)/1E-3);
                end
            end
        end
    end
end
end
end

TiempoExtraeParametros=toc
% save
/home/min/Escritorio/PFC/SIMULACIONES/SENSORES/SINANTENASRX/parametros
sacados8.mat campoE PotenciaTc PotenciaTcdB RetardoPotencia
PotenciaTcRX PotenciaTcdBRX RetardoPotenciaRX
```

6.2.3 Delayspread1.m

Este programa permite calcular el delay spread de todas las matrices donde se encuentran los datos del programa principal (en este caso, serán los tiempos de retardo de potencia).

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%function x=delayspread
%Esta funcion permite calcular el delay spread de los datos obtenidos
%Representa un parámetro importante en las comunicaciones inalámbricas
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Resx=26;
Resy=120;
Resz=30;
delayspread{1,1}=cell(Resx,Resy,Resz);
habitacion=1;
for indicez=1:Resz
    load(sprintf('C:/Users/usuario/Desktop/Cristobal/2.4 GHz
Antenal/Prueba/GuardoParametros/Habitacion%d/RetPotdBRX%d.mat',habitac
ion,indicez)); %%Ejemplo de enlace de directorio donde se cargara los
datos
    for i=1:Resx
        for j=1:Resy
            b=RetPotdBRX{1,1}{i,j}; %Muestro el
            contenido de la matriz, aqui me falla: los valores muy pequeños(del
            orden de 10^-8) son sustituidos por cero directamente
            %a=size(RetPotdBRX{1,1}{i,j}); %Calculo el
            numero de filas y columnas
            longitud=size(b);
            valor1=b(2,longitud(2));
```

Análisis del Impacto Topo-Morfológico en el Despliegue de redes de Sensores Inalámbricos en Autobuses de Transporte Urbano

```
valor2=b(2,1);
resta=valor1-valor2;
delayspread{1,1}{i,j,indicez}=resta;

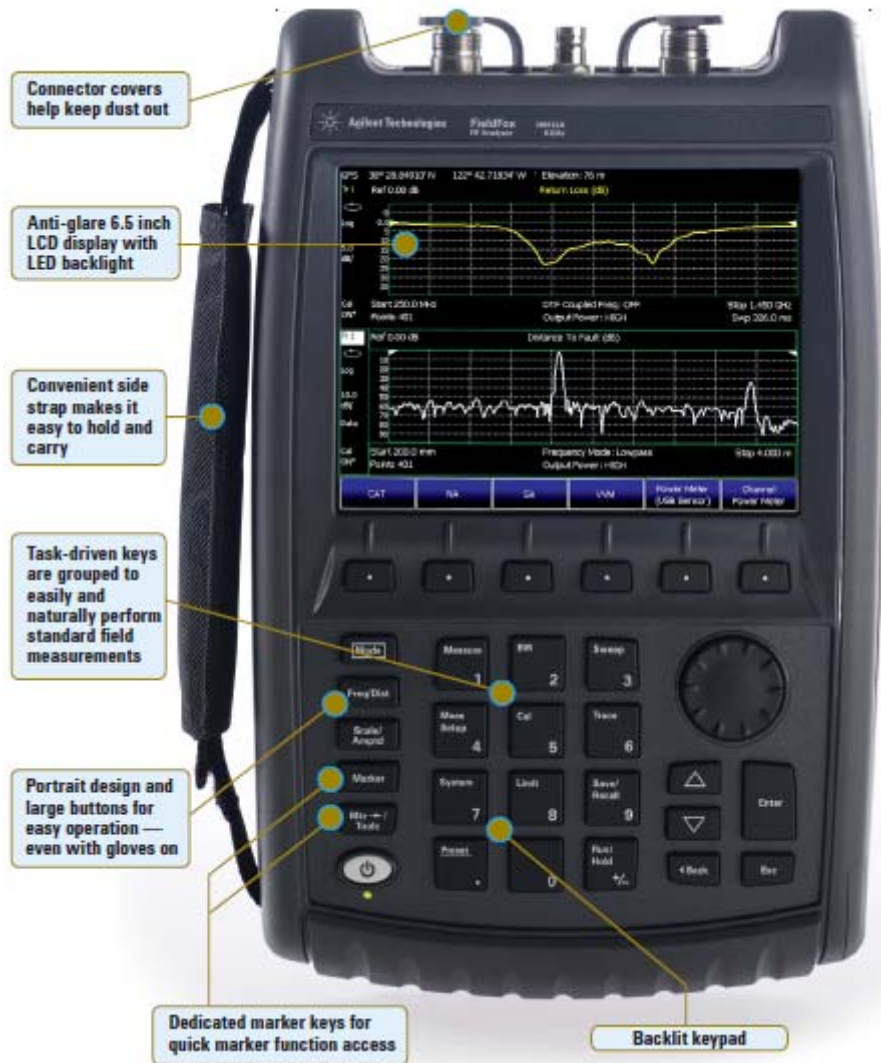
    end;
end;

end

for indicez=1:Resz
    DelaySpread=cell(1,1);
    DelaySpread{1,1}=delayspread{1,habitacion}(:, :, indicez);
    save(sprintf('C:/Users/usuario/Desktop/Cristobal/2.4      GHz
Antenal/Prueba/GuardoParametros/Habitacion%d/DelaySpread%d.mat',habita
cion,indicez), 'DelaySpread');   %%%Ejemplo de enlace de directorio
donde se guardaran los datos
end
```

6.32 INSTRUMENTACION

AGILENT FIELDFOX RF ANALYZER N9912A 4/6 GHz by Agilent Technologies



a)



b)

Fig: Analizador RF Agilent a) vista frontal b) vista lateral con vista sobre conectores exteriores

Specifications

Warranted performance. Specifications include guardbands to account for the expected statistical performance distribution, measurement uncertainties, and changes in performance due to environmental conditions. The following conditions must be met:

- FieldFox has been turned on at least 90 minutes
- FieldFox is within its calibration cycle
- Storage or operation at 25 °C ±5 °C range
(unless otherwise stated)

Typical:

Expected performance of an average unit over a 20 °C to 30 °C temperature range, unless otherwise indicated; does not include guardbands. It is not covered by the product warranty. The FieldFox must be within its calibration cycle.

Nominal:

A general, descriptive term or design parameter. It is not tested, and not covered by the product warranty.

Cable and antenna analyzer

Frequency	
Frequency range	2 MHz ¹ to 4 GHz 2 MHz ² to 6 GHz
Frequency reference	
Accuracy	±2 ppm
Aging rate	±1 ppm/yr
Temperature stability	±1 ppm over -10 to 55 °C
Frequency resolution	
2 MHz to 1.6 GHz	2.5 kHz
> 1.6 GHz to 3.2 GHz	5 kHz
> 3.2 GHz to 6 GHz	10 kHz
Measurement speed	
Return loss	1.5 ms/point (nominal) 1.75 GHz to 3.85 GHz, 1001 points, Cal ON
Distance-to-fault	2.4 ms/point (nominal) 0 to 500 ft, 601 points, Cal ON
Data points	
	101, 201, 401, 601, 801, 1001 (up to 10,001 using SCPI)
Directivity	
Corrected	> 42 dB
QuickCal (Option 111)	> 42 dB (typical) ³
Source match	
Corrected	> 36 dB
QuickCal (Option 111)	≥ 35 dB (typical) ³
Reflection tracking	
Corrected	± 0.06 dB
QuickCal (Option 111)	± 0.15 dB (typical) ³

Dynamic range

Reflection (RF Out port)	
2 MHz to 4 GHz	60 dB (typical)
> 4 GHz to 6 GHz	55 dB (typical)
Transmission measurement	
2 MHz to 2 GHz	72 dB (typical)
> 2 GHz to 3 GHz	67 dB (typical)
> 3 GHz to 5 GHz	58 dB (typical)
> 5 GHz to 6 GHz	49 dB (typical)
Output power range	
High power	
2 MHz to 4 GHz	< +8 dBm, +6 dBm (nominal)
> 4 GHz to 6 GHz	< +7 dBm, +2 dBm (nominal)
Low power	
2 MHz to 4 GHz	< -23 dBm, -25 dBm (nominal)
> 4 GHz to 6 GHz	< -24 dBm, -29 dBm (nominal)
Immunity to interference	
	+16 dBm (nominal)
Maximum input level (RF Out port)	
	+23 dBm
Maximum input DC voltage (RF Out port)	
	±50 VDC

Cable and antenna measurements

Return loss	
Display range	0 to 100 dB
Resolution	0.01 dB
VSWR	
Display range	0 to 100
Resolution	0.01
Distance to fault (DTF)	
	<ul style="list-style-type: none"> • Range = (number of points - 1)/(span*2) x Vf (velocity factor in cable) x c (light speed) • Resolution = range/(number of points - 1) • Number of points: 101, 201, 401, 601, 801, 1001 (up to 10,001 using SCPI) • Distance-to-fault display: return loss, VSWR, reflection coefficient
Cable loss (1-port)	
	Terminated cable under test with short
Insertion loss (2-ports)	
	Requires Option 110
Transmission measurement	
Frequency range	
Option 104	2 MHz to 4 GHz
Option 106	2 MHz to 6 GHz
Dynamic range	
2 MHz to 2 GHz	72 dB (typical)
2 GHz to 3 GHz	67 dB (typical)
> 3 GHz to 5 GHz	58 dB (typical)
> 5 GHz to 6 GHz	49 dB (typical)

Network analysis

S11	Vector measurement, S11 magnitude and S11 phase. Specification is listed under Cable and antenna analyzer section (S11/Return loss).
S21	Scalar measurement, S21 magnitude. Specification is listed under transmission measurement. S21 requires Option 110 transmission measurement.
A	Reflected power
R	Source power
Display	Log, linear, phase, VSWR, Smith chart, polar, group delay, unwrapped phase
Calibration types	<ul style="list-style-type: none"> Mechanical cal QuickCal Normalization
IF bandwidth selections	300 Hz, 1 kHz, 3 kHz, 10 kHz and 30 kHz
Data points	101, 201, 401, 601, 801, 1001, 1601, 4001, 10,001 (custom number of points can be set using SCPI)

Spectrum analyzer

Frequency

Frequency range	
Option 104	100 kHz to 4 GHz, usable to 5 kHz
Option 106	100 kHz to 6 GHz, usable to 5 kHz, tunable to 6.1 GHz
Frequency reference	
Accuracy	±2 ppm
Frequency aging	±1 ppm/yr
Frequency reference	
Temperature stability	±1 ppm over -10 to 55 °C
Frequency readout accuracy	
± (readout frequency x frequency reference accuracy + RBW centering + 0.5 x horizontal resolution)	
Frequency span	
Range	0 Hz (zero span), 10 Hz to maximum frequency
Span accuracy	±(2 x RBW centering + horizontal resolution)
Span resolution	1 Hz
Resolution bandwidth (RBW)	
Range (-3 dB bandwidth)	
Zero span	300 Hz to 1 MHz in 1-3-10 sequence; 2 MHz
Non-zero span	10 Hz to 300 kHz in 1/1.5/2/3/5/7.5/10 sequence; 1 MHz, 2 MHz
Accuracy	1 kHz to 1 MHz: ±5% (nominal) 10 Hz to 100 KHz non-zero span: ±1% (nominal) 2 MHz: ±10% (nominal) 300 Hz zero span: ±10% (nominal)
Selectivity (-60 dB/ -3 dB)	
4:1 (nominal)	
Video bandwidth (VBW)	
Range	1 Hz to 2 MHz in 1/1.5/2/3/5/7.5/10 sequence
Stability	
Noise sidebands, CF = 1 GHz	
10 kHz offset: -88 dBc/Hz (typical) 30 kHz offset: -89 dBc/Hz, (typical) 100 kHz offset: -95 dBc/Hz, (typical) 1 MHz offset: -115 dBc/Hz, (typical)	
Sweep acquisition, span > 0 Hz	
Range	1 to 5000, number of data acquisitions per trace point; value is normalized to the minimum required to achieve amplitude accuracy with CW signals
Resolution Readout	1 Measured value representing time required to tune receiver, acquire data, and process trace
Trace updates	
Span = 20 MHz, RBW = 3 kHz: 1.5 updates/second Span = 100 MHz, RBW auto coupled: 7 updates/second Span = 6 GHz, RBW auto coupled: 1 update/second	
Trace points	
101, 201, 401, 601, 801, 1001 points, default is 401	

Análisis del Impacto Topo-Morfológico en el Despliegue de redes de Sensores Inalámbricos en Autobuses de Transporte Urbano

Amplitude

Measurement range	Displayed average noise level (DANL) to +20 dBm	
Input attenuator range	0 to 31 dB, 1 dB steps	
Maximum DC voltage at RF In port	±50 VDC	
Maximum input power at RF In port	+27 dBm (0.5 W)	
Displayed average noise level (DANL)	10 Hz RBW, 10 Hz VBW, 50 ohm termination on input, 0 dB attenuation, average detector	
Preamplifier OFF	20 to 30 °C	
10 MHz to 2.4 GHz	-130 dBm (typical)	
> 2.4 GHz to 5.0 GHz	-125 dBm (typical)	
> 5.0 GHz to 6.0 GHz	-119 dBm (typical)	
Preamplifier ON (Option 235)	20 to 30 °C	
10 MHz to 2.4 GHz	-148 dBm (typical)	
> 2.4 GHz to 5.0 GHz	-145 dBm (typical)	
> 5.0 GHz to 6.0 GHz	-138 dBm (typical)	
	-10 to 55 °C	
10 MHz to 2.4 GHz	< -141 dBm	
> 2.4 GHz to 5 GHz	< -138 dBm	
> 5 GHz to 6 GHz	< -130 dBm	
Total absolute amplitude accuracy¹	Peak detector, 10 dB attenuation, preamplifier off, RBW < 2 MHz, input signal 0 dBm to -50 dBm, all settings auto-coupled	
	20 to 30 °C	
2 MHz to 10 MHz	±1.8 dB	±0.60 dB (typical)
> 10 MHz to 3.0 GHz	±1.5 dB	±0.50 dB (typical)
> 3.0 GHz to 5.0 GHz	±1.9 dB	±0.60 dB (typical)
> 5.0 GHz to 6.0 GHz	±2.1 dB	±0.60 dB (typical)
Second harmonic distortion (SHI)	-30 dBm signal at input mixer	
2 MHz to 1.35 GHz	< -70 dBc, +40 dBm SHI (nominal)	
1.35 GHz to 3.0 GHz	< -80 dBc, +50 dBm SHI (nominal)	

Análisis del Impacto Topo-Morfológico en el Despliegue de redes de Sensores Inalámbricos en Autobuses de Transporte Urbano

Third order intermodulation distortion (TOI)	
Two -30 dBm tones at input mixer	> 100 kHz tone separation < -96 dBc, +18 dBm TOI (nominal)
Residual responses	
Input terminated, 0 dB attenuation, preamplifier off, RBW ≤ 1 kHz, VBW auto-coupled	
20 MHz to 3 GHz	-90 dBm (nominal)
> 3 GHz to 6 GHz	-85 dBm (nominal)
Spurious responses	
Input mixer level -30 dBm	
RFsig = RFtune + 417 MHz	-70 dBc (nominal)
RFsig = RFtune + 1.716 GHz	-80 dBc (nominal)
Input mixer level -10 dBm, first IF image response	
RFsig = RFtune - 2 x 0.8346 GHz, for RFtune 5.7 to 6.0 GHz	-50 dBc (nominal)
Sidebands	-80 dBc (nominal) -60 dBc (nominal) when battery charging, 260 kHz offset
Preamplifier	
Option 230	100 kHz to 4 GHz
Option 231	100 kHz to 6 GHz
Gain	22 dB (nominal)
Reference level	
Range	-170 dBm to +30 dBm
Resolution	0.1 dB
Accuracy	0 dB (no error)
Traces	
	4 traces, data/max/average/min
Detectors	
	Normal, positive peak, negative peak, sample, average
Markers	
Marker types	Normal, noise marker, band/interval marker, frequency counter marker
Number of markers or delta markers	6
Marker functions	Peak, next peak, peak left, peak right, marker to center, minimum search
RF In VSWR	
	1.5:1 (50 ohm)
Trigger	
	External, video trigger, FFT gating with video (IF envelope) trigger

General specifications

Connector type		Type-N (female)
Input impedance		50 ohm
External reference		
	Input type	BNC female
	Reference frequency	10 MHz
	Required level	-5 dBm to 10 dBm
Display		6.5" transfective, color VGA LED backlit 640 x 480 with anti-glare coating
Speaker		Built-in speaker
Headphone jack		Built-in headphone jack
Connectivity		2 x USB 2.0; 1 x mini USB; 1 x LAN
GPS		Latitude, longitude, elevation and accurate time are provided. The GPS information can be displayed on the screen, and saved as part of the image, data, or recording file. The GPS capability is standard with all N9912A FieldFox RF analyzers. An external USB GPS receiver is required. Agilent recommends the Microsoft Streets & Trips, or Microsoft AutoRoute with GPS locator.
Internal storage		Minimum 16 MB, up to 1000 traces
External storage		1 x micro SD slot and 2 x USB 2.0
EMC		Complies with European EMC Directive 2004/108/EC <ul style="list-style-type: none"> • IEC/EN 61326-2-1) • CISPR Pub 11 Group 1, Class A • AS/NZS CISPR 11 • ICES/NMB-001
ESD		• IEC/EN 61000-4-2, functional up to 20 kV test
Safety		Complies with European Low Voltage Directive 2006/95/EC <ul style="list-style-type: none"> • IEC/EN 61010-1 2nd Edition • Canada: CSA C22.2 No. 61010-1-04 • USA: UL 61010-1 2nd Edition
Environmental		Meets MIL-PRF-28800F Class 2 specification
	Humidity	95% at 40 °C
	Temperature	
	Operating	-10 °C to +55 °C
	Non-operating	-51 °C to 71 °C
Weight		6.2 lbs / 2.8 kg including battery
Dimensions (H x W x D)		11.5" x 7.4" x 2.8" (292 x 188 x 72 mm)
Power		
	Power supply	External DC input: 15 to 19 VDC
	External AC power adapter	
	Input	100 to 250 VAC, 50 to 60 Hz; 1.25 to 0.56 A
	Output	15 VDC, 4 A
	Power consumption	12 W
	Battery	6 cell Lithium Ion, 10.8 V, 4.6 A-h
	Battery operating time	4 hours
Languages		English, Chinese, French, Spanish, Japanese, Russian, German, Italian, and Turkish

Análisis del Impacto Topo-Morfológico en el Despliegue de redes de Sensores Inalámbricos en Autobuses de Transporte Urbano

N9912A FieldFox RF analyzer

FieldFox RF Analyzer base functions:

One port cable and antenna analyzer (4 GHz), broadband calibration, CalReady, standard mechanical cal kit support. Measurements include: return loss, distance-to-fault (DTF), one port cable loss and VSWR.

Standard accessories included N9912A:

AC/DC adapter; battery; soft carrying case comes with backpack and shoulder straps; Quick Reference Guide; User's Guide

N9912A FieldFox Options

Option 104	4 GHz cable and antenna analyzer
Option 106	6 GHz cable and antenna analyzer
Option 110	Transmission measurement
Option 111	QuickCal
Option 230	4 GHz spectrum analyzer (requires Option 104)
Option 231	6 GHz spectrum analyzer (requires Option 106)
Option 235	Preamplifier for spectrum analyzer (requires Option 230 or 231)
Option 236	Interference analyzer
Option 302	External USB power sensor support
Option 303	Network analysis capability
Option 308	Vector voltmeter
Option 010	Network analyzer time domain
Option 311	Channel power meter

ANTENA



Magnetic Mount

New Models!

These antennas are free space designs and are ground plane independent. High gain coupled with low loss cable compensates for the losses that occur at higher bands. All antennas use low loss RF-195 cable to improve efficiency. The vertical radomes are black fiberglass with an ABS base assembly. All antennas are weatherproof.

The magnetic mount models have a 2.6" (66 mm) base, and use a strong commercial magnet. They provide a scratch resistant covering on the bottom. The cable exits out of the side of the base. Special "EF" elevated feed versions are available. These models have the radiating element located higher in a longer radome, providing more clearance of lightbars on police vehicles.

ECO Series Mobile Antennas (Pat.Pnd.)

Models For 2.4 - 6 GHz

Groundplane independent designs can be used on any surface.

Magnetic Mount Models

Frequency	Gain	Height	Model
-----------	------	--------	-------

2.4 - 2.5 GHz	5 dBi	12.0 in/31 cm	ECOM5-2400
---------------	-------	---------------	------------

Specifications

Frequency:		Trunk Mount Size:	1"H x 3"L x 2.75"W (25 mm x 76 mm x 70 mm)
Gain:	See above	Trunk Mount Method:	Dual set screws, allen wrench supplied
Bandwidth:	See above @2:1 SWR	Cable Length/type:	10 ft of RF-195 (3 meters)
Impedance:	50 Ohm nominal	Connector:	Male TNC, N or SMA. Specify at time of order.
Maximum Power:	10 Watts		
Radome:	Black Fiberglass		
Base/Mount:	ABS plastic & steel		
MAG Base Size:	2.6" D (66 mm)		

SENSORES

Waspote

General data:

Microcontroller:	ATmega1281
Frequency:	8MHz
SRAM:	8KB
EEPROM:	4KB
FLASH:	128KB
SD Card:	2GB
Weight:	20gr
Dimensions:	73.5 x 51 x 13 mm
Temperature Range:	[-20°C, +65°C]
Clock:	RTC (32KHz)



Consumption:

ON:	9mA
Sleep:	62µA
Deep Sleep:	62µA
Hibernate:	0.7µA

Operation without recharging: 1 year *

* Time obtained using the Hibernate mode as the energy saving mode

Inputs/Outputs:

7 Analog (I), 8 Digital (I/O), 1 PWM,
2 UART, 1 I2C, 1 USB

Electrical data:

Battery voltage:	3.3 V - 4.2V
USB charging:	5 V - 100mA
Solar panel charging:	6 - 12 V - 280mA
Auxiliary battery voltage:	3V

Built-in sensors on the board:

Temperature (+/-): -40°C, +85°C. Accuracy: 0.25°C
Accelerometer: ±2g (1024 LSB/g) / ±6g (340LSB/g)
 40Hz/160Hz/640Hz/2560Hz

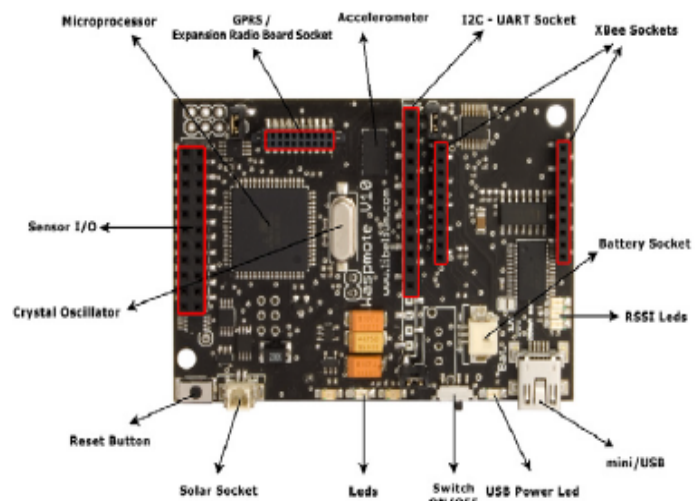
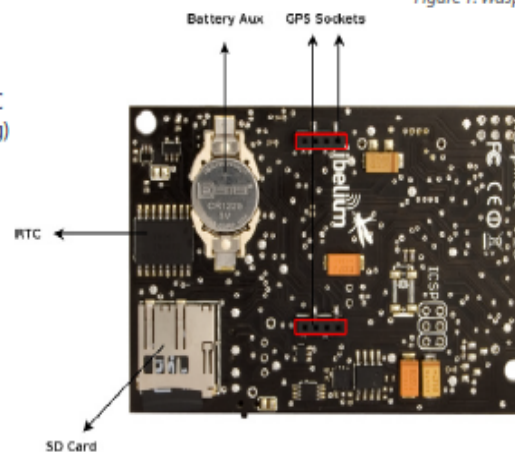


Figure 1: Waspote Board Top



802.15.4/ZigBee

Model	Protocol	Frequency	txPower	Sensitivity	Range *
XBee-802.15.4	802.15.4	2.4GHz	1mW	-92dB	500m
XBee-802.15.4-Pro	802.15.4	2.4GHz	100mW	-100dBm	7000m
XBee-ZB	ZigBee-Pro	2.4GHz	2mW	-96dBm	500m
XBee-ZB-Pro	ZigBee-Pro	2.4GHz	50mW	-102dBm	7000m
XBee-868	RF	868MHz	315mW	-112dBm	12km
XBee-900	RF	900MHz	50mW	-100dBm	10km
XBee-XSC	RF	900MHz	100mW	-106dBm	12km



Figure 3: XBee

* Line of sight and 5dBi dipole antenna

Antennas: 2.4GHz: 2dBi / 5dBi
868/900MHz: 0dBi / 4.5dBi

Connector: RPSMA

Encryption: AES 128b

Control Signal: RSSI

Standards: XBee-802.15.4 - 802.15.4 Compliant / XBee-ZB - ZigBee-Pro v2007 Compliant

Topologies: star, tree, mesh

Over the Air Programming is also possible once the node has been installed. With this technique you can reprogram wirelessly one or more Wasp mote sensor nodes at the same time by using a laptop and the Wasp mote Gateway.



Figure 32: Typical OTA process

Radio Interfaces

Model	Protocol	Frequency	txPower	Sensitivity	Range *
XBee-802.15.4	802.15.4	2.4GHz	1mW	-92dB	500m
XBee-802.15.4-Pro	802.15.4	2.4GHz	100mW	-100dBm	7000m
XBee-ZB	ZigBee-Pro	2.4GHz	2mW	-96dBm	500m
XBee-ZB-Pro	ZigBee-Pro	2.4GHz	50mW	-102dBm	7000m
XBee-868	RF	868MHz	315mW	-112dBm	12km
XBee-900	RF	900MHz	50mW	-100dBm	10km
XBee-XSC	RF	900MHz	100mW	-106dBm	12km

* Line of sight and Fresnel zone with 5dBi dipole antenna

6.4 Publicación APS

Analysis of Topo-Morphological Impact in Indoor Wireless Sensor Network Deployment in Urban Transport Buses

Cristobal Zubiri⁽¹⁾, Leire Azpilicueta ⁽¹⁾, José Javier Astráin⁽²⁾, Jesús Villadangos⁽²⁾ and Francisco Falcone⁽¹⁾

(1) Electrical and Electronic Engineering Dept., Universidad Pública de Navarra, Spain, <http://esm.unavarra.es>

(2) Mathematics and Computer Engineering Dept., Universidad Pública de Navarra, Spain, <http://www.unavarra.es>

One of the main challenges large populations are facing is the need to increase interaction of infrastructure as well as people in order to optimize resource usage, leading to the global concept of Smart Cities. Vehicular communications, including transportation of goods as well as passengers is a key element in such optimization strategy, with a variety of communication systems already in use, such as mobile PLMN or WLAN networks in order to optimize transportation routes as well as to enhance passenger interconnectivity. An additional step is not only to communicate vehicles with the surrounding infrastructure but also enable information exchange within the passenger as well as with the vehicle to further optimize energy consumption as well as to enhance user experience. In this work, the influence of the topology as well as morphology of a public transport vehicle (a passenger bus) in the deployment of an indoor wireless sensor network will be presented. The analysis has been performed with the aid of an inhouse developed 3D Ray Launching algorithm, in order to take into account realistic material parameters as well as the dimensions and location of elements such as seats or handbars, as depicted in Figure 1. The results show a clear dependence of the wireless sensor network deployment with the layout of the bus and therefore, the use of this deterministic approach can aid in the optimal network layout in terms of energy consumption as well as of expected quality of service.

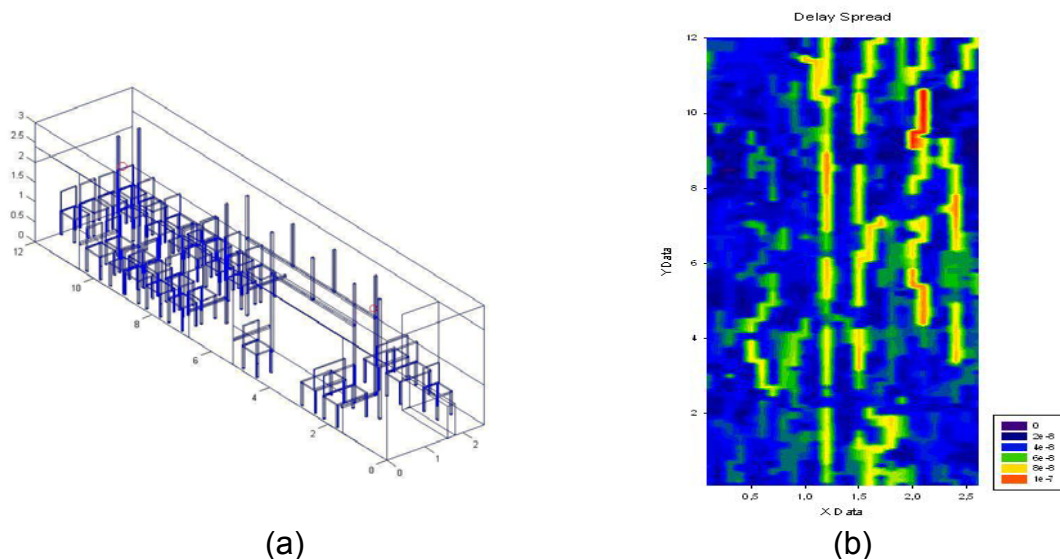


Figure 1: Schematic of the indoor configuration of an urban bus transport implemented for 3D Ray Launching Simulation b) simulation result for a bidimensional

delay spread at a height plane of 1.3m inside the bus.