

# REDES DE DATOS INALÁMBRICAS Y DESPLIEGUE DE UNA RED IEEE 802.11b EN LA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN DE VALENCIA

*Elsa Domínguez Tortajada*

Departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones  
Universidad Politécnica de Cartagena  
Dr.Flemming s/n. 30202, Cartagena  
[elsa.dominguez@upct.es](mailto:elsa.dominguez@upct.es)

*Miguel Ferrando Bataller*

Departamento de Comunicaciones  
Universidad Politécnica de Valencia  
Camino de Vera s/n. 46022, Valencia  
[mferrand@dcom.upv.es](mailto:mferrand@dcom.upv.es)

## ABSTRACT

Over recent years, the market for wireless communications has enjoyed tremendous growth. Hundreds of millions of people exchange information every day using cellular telephones, and other wireless communication products. The major motivation and benefit from wireless LANs is increased mobility. This article introduces the WLAN technologies, with emphasis on IEEE 802.11.b, that is the most developed one. A review of the existing propagation models suggests a loss propagation model that is compared with the measures, and in this way its good behavior is proved.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las redes de área local inalámbrica suponen un gran número de ventajas, entre las cuales destacan la movilidad y la facilidad de instalación. No necesitan visión directa para establecer la comunicación y los últimos avances hacen de estas soluciones una opción con muy buenas prestaciones en cuanto a rendimiento resultando muy asequibles económicamente.

Estos estándares funcionan en la banda ICM (Industrial, Científica y Médica) a 2.4 GHz, sin necesidad de licencia y las potencias emitidas son muy débiles, gracias a las técnicas de ensanchado de espectro utilizadas.

El estándar IEEE 802.11, es el fundamento de muchas de las actuales redes inalámbricas y tiene como objetivo principal proporcionar conectividad y acceso a las redes de cable ya existentes de forma flexible y sin los inconvenientes que impone el cable, fundamentalmente en cuestiones de instalación. Sus múltiples versiones están enfocadas a distintos fines, siendo IEEE 802.11 b la más aceptada actualmente por empresas para ampliar sus redes de datos y por fabricantes de productos, lo que se deduce del gran número de soluciones para esta tecnología que se encuentran en el mercado[1][2].

Bluetooth es una especificación cuya finalidad es la de interconectar diferentes aparatos de forma inalámbrica, como teléfonos móviles, Asistentes Personales Digitales (PDAs), ordenadores y muchos otros dispositivos, utilizando una conexión inalámbrica de corto alcance. Aún siendo este su propósito, Bluetooth también pretende ofrecer acceso a Internet a través de LAN. [3]

HomeRF, o lo que es lo mismo, la especificación SWAP, tiene una finalidad muy similar a la de Bluetooth, sin embargo está más orientado hacia la conectividad sin cables dentro del hogar. Proporciona soporte para tráfico de voz y servicios de datos, pudiendo interoperar con las redes públicas de telefonía e Internet. Combina elementos de los estándares IEEE 802.11 y DECT.[4][5]

HiperLAN es un estándar del Instituto de Estándares de Telecomunicaciones Europeo (ETSI) cuyo objetivo primordial es conseguir una mayor tasa de transferencia que la ofrecida por el IEEE 802.11. HiperLAN2 es una de las versiones, que gracias a la modulación OFDM y al soporte de parámetros de calidad del servicio, QoS, es capaz de alcanzar una velocidad de transmisión de 54 Mbps a nivel físico. Contrariamente al resto de tecnologías, funciona a 5 GHz y competirá en este aspecto con la versión a del IEEE 802.11. HiperLAN1 sería el competidor de IEEE 802.11b, con una velocidad de 23.5 Mbps, pero todavía no ha salido a la luz dicha especificación.[6][7]

## 2. EL ESTÁNDAR IEEE 802.11

### 2.1. Versiones del IEEE 802.11

IEEE 802.11 tiene una gran variedad de versiones, IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11c, IEEE 802.11d e IEEE 802.11e. [8]

La versión *b* es la más desarrollada y de la que se pueden obtener fácilmente productos en el mercado. Todavía no ha salido a la luz el estándar del IEEE 802.11 a, pero se

conoce que funcionará en la banda de 5 GHz y que conseguirá 54 Mbps, mejorando las deficiencias que el estándar IEEE 802.11b pudiera tener en ese aspecto.

Es de destacar también la versión *e* que aporta mejoras a nivel de MAC, en QoS, seguridad, selección dinámica de frecuencia y control de potencia.

### 2.2. Modos de funcionamiento

El estándar 802.11 define dos modos de operación:

En el *modo infraestructura* la red inalámbrica consiste en al menos un punto de acceso conectado a la infraestructura de la red de cable y un conjunto de estaciones finales inalámbricas. Esta configuración se llama Conjunto de Servicio Básico (Basic Service Set, BSS). Toda la LAN inalámbrica interconectada, incluyendo las diferentes celdas, sus respectivos Puntos de Acceso y el Sistema de Distribución, es visto por los niveles superiores del modelo OSI como una sola red 802 y se conoce en el estándar como Conjunto de Servicio Extendido (Extended Service Set ó ESS). De modo que si una red inalámbrica requiere acceder a servicios de la red de cable (servidor de archivos, impresoras, enlaces a Internet) deben operar en el modo infraestructura.

El *modo ad-hoc* (también llamado peer-to-peer o conjunto de servicio básico independiente Independent Basic Service Set, IBSS) es simplemente un conjunto de estaciones inalámbricas 802.11 que se comunican directamente unas con otras sin utilizar el punto de acceso u otra conexión a la red de cable. Al no haber Punto de Acceso, parte de su funcionalidad la realiza una de las estaciones de usuario pero otras funciones no se realizan. Este modo es útil para establecer rápidamente y de forma sencilla redes en lugares donde no existe una infraestructura de red inalámbrica o no se requieren servicios de ella, tal como una habitación de hotel, un centro de una convención, en el aeropuerto, o donde el acceso a la red de cable está restringido. Es posible realizar así, una transferencia de ficheros entre dos agendas de dos usuarios, dos compañeros de trabajo que se encuentran fuera de la oficina...[9]

### 2.3. Especificaciones del IEEE 802.11b

En la Tabla 1 se presentan los diferentes parámetros del estándar IEEE 802.11:

Tasa física máxima	11 Mbps
Frecuencia de operación	2.4 GHz
Método de ensanchado de espectro	Secuencia Directa
Protocolo de acceso al medio	CSMA/CA
Potencia máxima del transmisor	Europa y Japón: 100 mW EEUU: 1 W

Sensibilidad del receptor	-84 dBm
Modulación y codificación	8 CCK QPSK

Tabla 1: *Especificaciones del estándar IEEE 802.11 b*

### 3. MODELO DE PROPAGACIÓN DISEÑADO PARA EL DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES DE LA ETSIT DE VALENCIA

Dados los modelos existentes para pérdidas por propagación entornos indoor, se aborda la cuestión de escoger uno de ellos y aplicarlo a las condiciones del Departamento de Comunicaciones de la ETSIT. Con los primeros datos procedentes de medidas realizadas, se probó la validez de los modelos empíricos, pero resultaron excesivamente simples para el estudio que se pretendía realizar. Más concretamente, los modelos dependientes exclusivamente de la distancia, no parecían la mejor solución observando la curva que describían las medidas. Tampoco el Modelo de Motley y Keenan ni el Multi-Wall Model resultaron lo suficientemente buenos para aproximarse a dicha curva. La razón de este comportamiento es que estos modelos son utilizados cuando no se requiere demasiada precisión. En el estudio que nos ocupa, no se pretendía llegar a obtener una precisión muy fina, pero como mínimo el objetivo era comprobar que los modelos se adaptan aproximadamente a las pérdidas percibidas al realizar las medidas y éstos no cumplían dicho objetivo.

En cuanto a los modelos deterministas, el Método de las Imágenes Virtuales cumplía las condiciones de sencillez y prometía un cierto grado de precisión por lo que se optó por desarrollar este modelo, como veremos a continuación.

Los Métodos de Lanzado de Rayos y Lanzado de Tubos, presentan mayor complejidad computacional y se les atribuyen diferentes problemas. Esto realiza las cualidades del Método de las Imágenes para el estudio que nos ocupa.

#### 3.1. Introducción al modelo de pérdidas

Partiendo de la expresión de campo para una onda esférica y de la ecuación de transmisión, la expresión de las pérdidas considerando reflexiones de orden *n* en paredes es la siguiente:

$$L = 20 \cdot \log \left[ \frac{\exp(-j \cdot k \cdot r_{directo})}{4 \cdot \pi \cdot r_{directo}} + \sum_{i=1}^n \rho^i \cdot \frac{\exp(-j \cdot k \cdot r_i)}{4 \cdot \pi \cdot r_i} \right] \quad (1)$$

siendo  $\rho$  el coeficiente de reflexión de la pared donde el rayo de refleja,  $r_i$  la distancia recorrida por el rayo que se

refleja  $i$  veces y  $k$  el número de onda para una frecuencia  $f = 2.4$  GHz.

Más adelante se observará que en ocasiones el coeficiente de reflexión se ha tomado constante y real, por el simple hecho de simplificar los cálculos. A continuación normalmente se comprueba la misma situación para el coeficiente de reflexión verdadero y se advierte la similitud de los resultados obtenidos en ambas situaciones. Por lo tanto, en ocasiones sólo será necesario evaluar los resultados con el coeficiente de reflexión que se estime oportuno, sin necesidad de acudir a complejas expresiones que resultan prescindibles en situaciones puntuales.

El coeficiente de reflexión se calcula de forma diferente para polarización horizontal y para polarización vertical. Teniendo en cuenta la nomenclatura utilizada en la Figura 1, la expresión del coeficiente de pérdidas para polarización horizontal tiene la siguiente forma:

$$\rho = \frac{\sin \phi - (\epsilon' - j \cdot \epsilon'' - \cos^2 \phi)^{1/2}}{\sin \phi + (\epsilon' - j \cdot \epsilon'' - \cos^2 \phi)^{1/2}} \quad (2)$$

siendo  $\epsilon' - j \cdot \epsilon''$  la constante dieléctrica compleja.

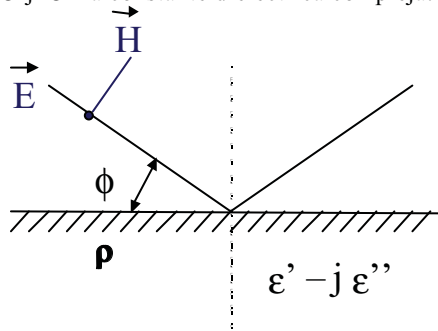


Figura 1. Cálculo del coeficiente de reflexión para polarización horizontal.

### 3.2. Aplicación del modelo de pérdidas a un pasillo

En este caso se muestran unas condiciones similares a las que se presentan en el Departamento de Comunicaciones de la ETSIT, de forma que luego se pueda establecer una relación con los resultados obtenidos de la campaña de medidas.

Así pues, el pasillo tiene unas dimensiones de  $24 \times 1.2$  metros y la antena se ha situado en uno de los extremos, donde se puede apreciar que las pérdidas son menores. Una de las simplificaciones consiste en que los cálculos se han realizado teniendo en cuenta sólo dos dimensiones, despreciándose las alturas del transmisor y del receptor, así como tampoco se incluyen las reflexiones en suelo y techo. Se han considerado reflexiones de primer y segundo orden en las dos paredes del pasillo y el

coeficiente de reflexión, como ya se advertía anteriormente, es constante e igual a 0.4 en la primera figura y real en la segunda. A lo largo de todas las comparativas el valor constante estimado para el coeficiente de reflexión es de 0.4, ya que es el que mejor se adapta a los resultados exactos.

Considerando reflexiones de primer y segundo orden, la cantidad de rayos trazados aumenta de la forma que se muestra en la Figura 2.

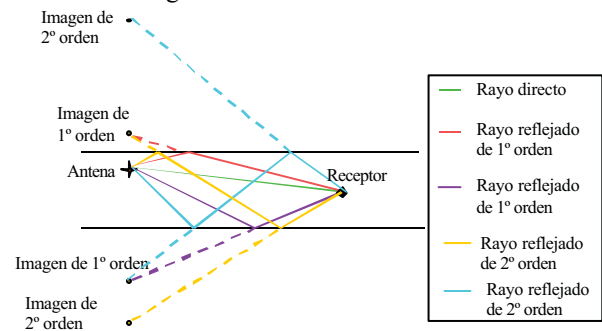


Figura 2. Modelo de rayo directo y reflexiones de primer y segundo orden para un pasillo

Con todos los datos expuestos, sólo resta mostrar la distribución, en forma de curvas de nivel, de las pérdidas calculadas. La Figura 3 y la Figura 4 muestran dicha distribución para coeficiente de reflexión igual a 0.4 y coeficiente de reflexión exacto.

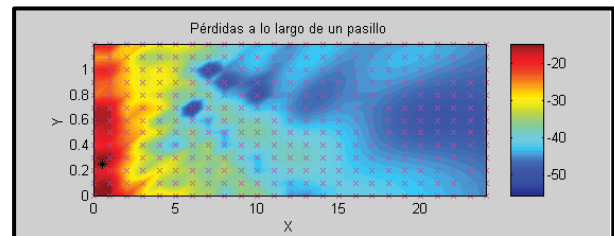


Figura 3. Modelo de pérdidas en un pasillo considerando reflexiones de primer y segundo orden en paredes laterales y coeficiente de reflexión igual a 0.4.

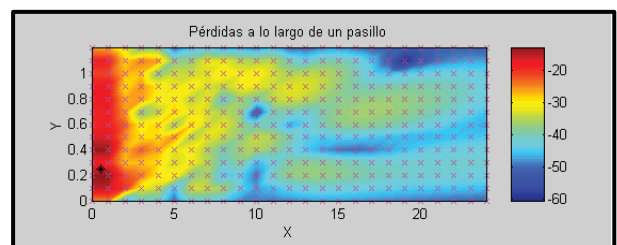


Figura 4. Modelo de pérdidas en un pasillo considerando reflexiones de primer y segundo orden en paredes laterales y coeficiente de reflexión real.

En las figuras se observa cómo en las proximidades de la antena transmisora, marcada con un asterisco negro, las

pérdidas son menores y a medida que nos alejamos van aumentando, habiendo zonas con más pérdidas y zonas con menos para una misma distancia, debido a que no es el único factor a tener en cuenta. La franja de colores situada al lado de la distribución de pérdidas del pasillo indica la correspondencia entre los dBs de pérdidas y los colores utilizados en la imagen.

#### 4. RESULTADOS MEDIDOS Y MODELADOS

En los apartados siguientes se va a establecer una comparativa entre el modelo de pérdidas de propagación descrito para la ETSI de Telecomunicación y las medidas realizadas en el área de cobertura definida por el punto de acceso situado en el Departamento de Comunicaciones de dicho edificio, cuya tecnología como ya se ha indicado anteriormente corresponde al estándar IEEE 802.11b. Para evaluar el modo infraestructura se toma como transmisor la antena del punto de acceso y como receptor un ordenador portátil, del cual se van leyendo las medidas. En este escenario la polarización de las antenas es vertical/horizontal (punto de acceso/portátil). Por otra parte, también se han realizado pruebas en modo ad-hoc, en el cual dos ordenadores portátiles hacen las veces de transmisor-receptor, siendo en este caso polarización horizontal/horizontal.

##### 4.1. Modo infraestructura

Con el fin de verificar la validez del modelo de pérdidas descrito para la ETSIT, se realizó una campaña de medidas en la zona de cobertura determinada por el punto de acceso situado en el Departamento de Comunicaciones. Para ello, aunque se realizaron medidas en toda la planta, donde mejor se aprecia la eficacia del modelo es en el pasillo más largo, desde donde se encuentra la antena transmisora, pasando por secretaria, hasta llegar al Salón de Grados.

El proceso seguido es muy sencillo, comenzando con la comparación de las medidas obtenidas con el modelo que incluye sólo el rayo directo. A continuación el modelo incluirá el rayo directo y el rayo reflejado en una de las paredes, posteriormente en la otra pared del pasillo, después en las dos paredes y por último se incluirán reflexiones de segundo orden. De esta forma se puede comprobar que a medida que incorporamos rayos al modelo, más parecidas son la curva descrita por dicho modelo y la descrita por las medidas realizadas. Asimismo se puede apreciar también que la periodicidad de las oscilaciones de una curva y de otra son similares, lo que continúa garantizando el buen funcionamiento del modelo. También hay que destacar que el pasillo no es un corredor ideal con dos paredes continuas y siempre

separadas la misma distancia, sino que hay una zona más ancha al principio del mismo y hay pasillos transversales entre otras irregularidades. Por lo tanto, aunque se han tenido en cuenta algunos de estos fenómenos, cabe esperar una diferencia entre la idealidad del modelo y la realidad del entorno.

La Figura 5 muestra la disposición seguida para realizar las medidas, de forma que sea más fácil de comprender el procedimiento utilizado.

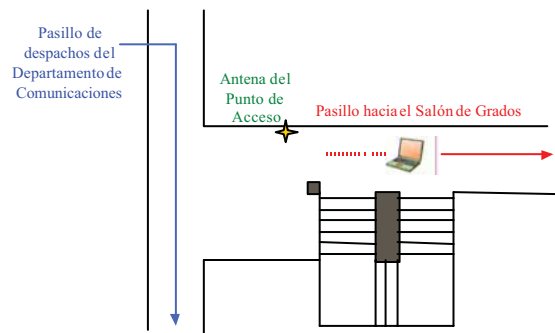


Figura 5. Disposición para realizar las medidas.

La primera aproximación, como se comentaba arriba, consiste en representar el modelo que incluye solamente el rayo directo. La Figura 6 muestra que la curva descrita por el modelo sigue la misma tendencia que la curva de las medidas.

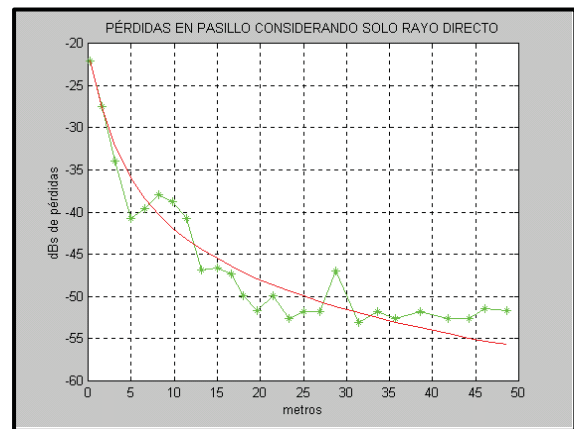


Figura 6. Modelo de rayo directo comparado con las medidas realizadas a lo largo del pasillo.

La línea roja es la curva descrita por el modelo y la verde son las medidas, indicando los puntos en los que se han tomado exactamente. Este patrón de colores se sigue utilizando en todas las figuras del artículo.

La gráfica perteneciente al modelo en la Figura 7 incluye tanto el rayo directo como los rayos reflejados en la pared más cercana y la más lejana a la antena, es decir, un total de tres contribuciones.

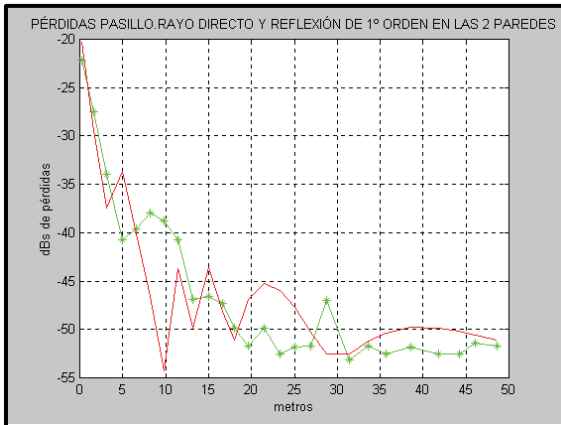


Figura 7. Modelo de rayo directo y reflexión en dos paredes comparado con las medidas realizadas. Coeficiente de reflexión 0.4.

Por último se presenta en la el modelo incluyendo el rayo directo, reflexiones de primer y segundo orden en las dos paredes. Tanto en ésta como en las figuras anteriores se observa un comportamiento al final del pasillo, que se podría interpretar como un efecto de guía de onda, ya que las pérdidas disminuyen muy lentamente en este último tramo.

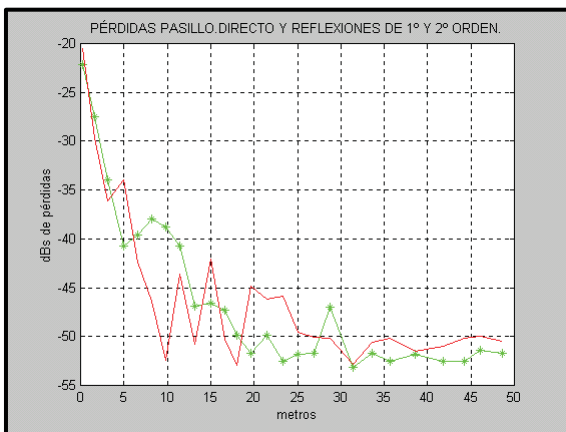


Figura 8. Modelo de rayo directo y rayo reflejado en las paredes del pasillo comparado con las medidas realizadas. Reflexiones de primer y segundo orden y coeficiente de reflexión 0.4.

#### 4.2. Modo ad-hoc

La situación que se plantea en este punto consiste en formar una red con dos ordenadores portátiles, sin establecer ninguna conexión con el punto de acceso. De esta forma se evalúan las pérdidas a lo largo del pasillo de despachos del Departamento de Comunicaciones y del pasillo hacia el Salón de Grados. En este caso las antenas, incluidas en las tarjetas de red de los portátiles, se encuentran a la misma altura y se sigue sin considerar el efecto del techo y del suelo, esta vez con más motivos.

De la misma forma que se procedió en el caso de medidas en modo infraestructura, en primer lugar se considera sólo la contribución del rayo directo, y en las siguientes figuras se van añadiendo más rayos, que colaboran a que el modelo sea más exacto.

A continuación se presenta el caso de medidas ad-hoc en el pasillo que va hacia el Salón de Grados. Como en el caso anterior se sitúa uno de los portátiles fijo en un punto del pasillo y el otro se va desplazando a lo largo del mismo mientras se anotan las medidas de nivel de señal. La figura muestra tal disposición.

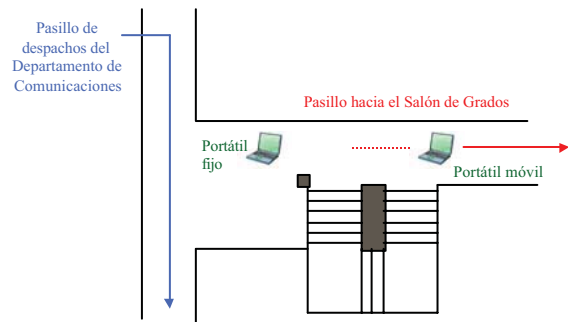


Figura 9. Disposición para realizar las medidas ad-hoc en el pasillo que va hacia el salón de grados

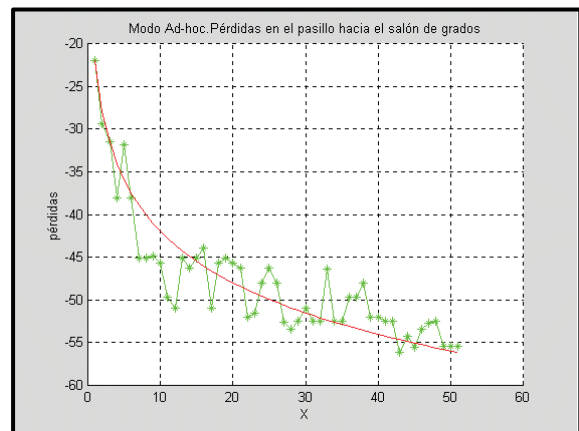


Figura 10. Modelo de rayo directo comparado con las medidas realizadas.

Las medidas en esta ocasión, presentan gran número de oscilaciones como se puede apreciar en la Figura 10. No obstante la curva roja, perteneciente al modelo de rayo directo, sigue la misma pauta de caída.

La reflexión de primer orden, hace oscilar la curva del modelo, consiguiendo al principio una periodicidad similar a la de las medidas a pesar de que la fase no coincide.

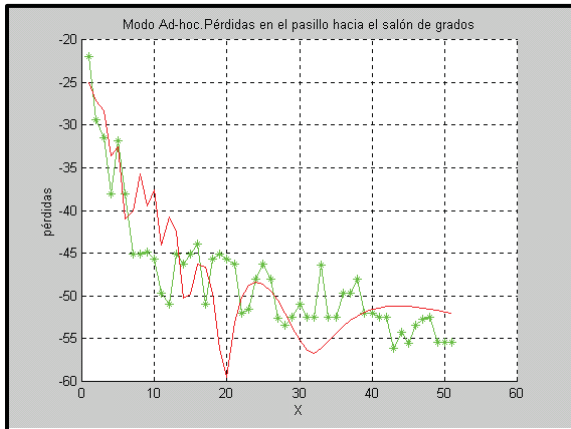


Figura 11. Modelo de rayo directo y reflexión de primer orden en las dos paredes comparado con las medidas realizadas. Coeficiente de reflexión 0.4.

En modo ad-hoc también se evaluaron las pérdidas debidas al forjado, situando un portátil en el tercer piso de la escuela y el otro en el segundo piso. Se realizaron las medidas y se estableció que las pérdidas eran de unos 17 dBs.

## 5. CONCLUSIONES

Con la prueba piloto realizada, se comprueba rápidamente el buen funcionamiento de la red inalámbrica, la facilidad de realizar las conexiones y por último, mediante la campaña de medidas, se verifica el modelo utilizado para propagación en interiores. Las campañas de medidas han pretendido simular todas las situaciones posibles de conexión de la red inalámbrica, es decir, se han realizado pruebas en modo infraestructura, utilizando el punto de acceso, y también en modo ad-hoc. De esta forma, se ha podido confirmar el buen funcionamiento del modelo propuesto para el edificio de la ETSIT y las ventajas que supone disponer de una red inalámbrica de este tipo.

De los resultados obtenidos, se deduce que para dar cobertura a todo el edificio de la Escuela es necesario situar dos puntos de acceso en cada piso colocados en extremos opuestos dentro de la misma planta y de forma alternativa entre distintos pisos.

Por lo tanto, en el edificio de la ETSIT serán necesarios un total de ocho puntos de acceso, ya que son cuatro pisos, junto con ocho antenas omnidireccionales como la que se empleó en la prueba piloto. De acuerdo con esto, los puntos de acceso se conectarán a la red de cable conservando la estructura de las direcciones correspondientes a la subred inalámbrica. En el caso de que una vez instalados aparezcan zonas de sombra, es posible utilizar Puntos de Extensión, que permiten ampliar el alcance de uno de los puntos de acceso mediante la

retransmisión de las señales de un cliente a un Punto de Acceso o al Punto de Extensión. Es posible que suceda esto, por lo que se prevé finalmente un total de diez puntos de acceso aproximadamente.

Por último, indicar que cada punto de acceso hardware ofrece un caudal de hasta 11 Mbps que se repartirá entre los diferentes usuarios del mismo. Así pues, los puntos de acceso deben planificarse de forma que los canales utilizados no se superpongan y conseguir de esta manera el mejor rendimiento e interferencias mínimas.

## 6. REFERENCIAS

- [1] <http://www.palowireless.com>
- [2] <http://krypton.mnsu.edu/~kawatra/ieee80211.htm>
- [3] <http://www.bluetooth.com>
- [4] <http://www.homerf.org>
- [5] <http://www.homerf.org/data/tech/hrfwgtec.pdf>
- [6] <http://www.hiperlan2.org>
- [7] <http://www.hiperlan2.com/web>
- [8] <http://www.wlana.com>
- [9] *Redes de Área Local Inalámbricas según el estándar IEEE 802.11*, Miquel Oliver, Ana Escuder, Rama de Estudiantes de IEEE, Buran.

## 7. AGRADECIMIENTOS

El trabajo ha sido realizado dentro del proyecto "Redes de Área Local Inalámbricas y Despliegue de una Red IEEE 802.11b en la Escuela Técnica superior de Ingenieros de Telecomunicación" financiado por la Fundación Airtel.