Recibido 4 de marzo de 2006, aprobado 7 de mayo de 2006.

Estudio del Canal de Radio en las Bandas ISM, UNII I/II, y de las Interferencias en el Hospital de la Samaritana

Fernando Andrés Sánchez G.
Estudiante de la Maestría en Ingeniería Electrónica y de Computadores. Universidad de los Andes.

Roberto Bustamante M Ph.D
Director del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Universidad de los Andes

Juan Manuel Téllez M.
Estudiante de la Maestría en Ingeniería Electrónica y de Computadores. Universidad de los Andes.

Miguel A. Rojas
Pregrado en Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Universidad de los Andes.

PALABRAS CLAVE
Radio propagación, mediciones electromagnéticas, planeación de servicios médicos, comunicaciones móviles, propagación de ondas.

RESUMEN El trabajo que se presenta en éste artículo consta de dos estudios, realizados sobre las bandas ISM, UNII I y UNII II, en el Hospital Universitario de la Samaritana. En el primer estudio se realizaron mediciones del nivel de interferencia y ruido electromagnético sobre las 3 bandas mencionadas. El objetivo de este estudio era tener indicios sobre el ambiente electromagnético en: la banda ISM, en la cual opera la red inalámbrica instalada en el hospital y sobre las bandas UNII I y UNII II, en las cuales pueden operar algunas redes inalámbricas. Se encontró que los hornos microondas emiten radiación sobre la banda ISM, la mayor potencia registrada fue -52.48dBm. Adicionalmente se encontró radiación esporádica y de muy corta duración sobre la banda ISM, aunque la fuente no pudo ser determinada. Se encuentra conveniente que los puntos de acceso que operen cerca de hornos microondas estén configurados en el canal 1. En cuanto a las bandas UNII I y UNII II, no se encontraron niveles de potencia mayores al piso de ruido del sistema empleado. En el segundo estudio se ajustaron modelos estadísticos de atenuación debido al trayecto, para una onda continua de 2.4GHz. El objetivo de este estudio era ajustar modelos de atenuación a las características particulares del hospital, porque tales modelos constituyen un punto de partida en el diseño de una red inalámbrica, aunque se aclara explícitamente que el diseño de la red inalámbrica no hace parte de este trabajo. Se encontró que en la nueva unidad renal la energía electromagnética es confinada debido a su arquitectura y a los materiales con los que fue construida, hecho que probablemente pueda emplearse para lograr una reasignación conveniente de frecuencias.

KEYWORDS

Radio propagation, electromagnetic measurements, medical services planning, mobile communications, wave propagation.

ABSTRACT The work that is presented in this paper is comprised of two studies, carried out on the ISM, UNII I and UNII II bands, in the Hospital Universitario de la Samaritana. In the first study, measurements of the level of interference and electromagnetic noise were carried out on the 3 mentioned bands. The objective of this study was to have indications on the electromagnetic environment in: the ISM band, in which operates the wireless network that is installed in the hospital and on the UNII I and UNII II bands, in which some wireless local area networks can operate. It was found that microwave ovens emit radiation on the ISM band, the greater power registered was -52.48dBm. Additionally sporadic and short term radiation was found on the ISM band, although the source could not be determined. It was found convenient that the Access Points that operate near microwave ovens were configured in the channel 1. In the UNII I and UNII II bands, it was not found levels of power greater that the noise floor of the employed system. In the second study narrow band statistical path loss models were developed. The objective of this study was to adjust path loss models to the particular characteristics of the hospital´s facilities. Such models constitute a starting point in the design of a wireless network, however it is clarified explicitly that the design of the wireless network does not do part of this work. It was found that in the new renal unit the electromagnetic energy is confined due to its architecture and to the materials with which it was built, this fact probably can be employed to achieve a convenient reassignment of frequencies.

I. INTRODUCCIÓN

En diversas situaciones es conveniente que sea posible recibir y transmitir información de forma inalámbrica dentro de un área específica. Lo anterior ocurre principalmente en casos en los que la movilidad es un factor relevante para el desarrollo eficiente de alguna tarea en particular, por ejemplo en el caso de una institución dedicada al cuidado de la salud, es útil que el personal médico pueda consultar la historia clínica de los pacientes de manera ágil, de modo que tenga las herramientas necesarias para determinar el procedimiento a seguir. Adicionalmente es favorable que el proceso de formulación y suministro de los medicamentos se realice con celeridad.

Particularmente las redes inalámbricas de área local (WLAN, *Wireless Local Area Network*) ofrecen la posibilidad de intercambiar información dentro de la zona de cobertura, por lo que no se pierden los beneficios de la movilidad como en el caso de las Redes de Área Local cableadas (LAN, *Local Area Network*). Considerando lo que se acaba de mencionar, el Hospital Universitario de la Samaritana (HUS) ha decidido implementar un sistema similar al descrito en el párrafo anterior. El hospital ha decidido utilizar ésta tecnología con el fin de brindar a los pacientes una mejor atención y reducir sus costos operativos. Es importante resaltar que el hospital se preocupa por ofrecer un servicio social a la comunidad y ha sido pionero en la implantación de este tipo de aplicaciones a nivel nacional.

Dentro del proceso de implementación del sistema descrito, es útil determinar las fuentes de interferencia o ruido electromagnético[1], que afectan el desempeño de la WLAN; dichas fuentes varían considerablemente según el ambiente en el que se encuentre la red. En la parte inicial de este trabajo, denominada Estudio 1, se consideran particularmente las fuentes que existen en el HUS, un hospital calificado como institución de salud de nivel 3. Para ello, se mide el nivel de interferencia y ruido electromagnético en las bandas ISM(2.4GHz – 2,4835GHz), UNII I(5,15GHz – 5,25GHz) y UNII II(5,25GHz – 5,35GHz) en función de la frecuencia y del tiempo. La medición del nivel de interferencia y ruido electromagnético puede emplearse, por ejemplo, para seleccionar convenientemente los canales utilizados por los puntos de acceso dentro de la red inalámbrica.

Por otra parte, en la implementación del sistema descrito también es provechoso contar con un modelo de atenuación en banda estrecha (i.e. un modelo de atenuación para una onda sinusoidal continua) a una frecuencia que se encuentre dentro de la banda ISM, ya que tal modelo puede ser un punto de partida para diseñar óptimamente, en cuanto a cobertura, la red inalámbrica[2]. Además, en caso que se realicen remodelaciones en las instalaciones en las que este operando la red inalámbrica, el modelo de atenuación mencionado permitirá diseñar una nueva topología para la red, en caso en que sea necesario, suponiendo que los materiales utilizados en la remodelación son similares a los que se encontraban en la edificación cuando se desarrolló el modelo de atenuación. En este trabajo, el proceso a través del cual se desarrollan modelos de atenuación estadísticos en banda estrecha a 2,4GHz se denomina Estudio 2.

Las características de propagación de una onda se pueden dividir en 3 componentes:

---

1 Para éste trabajo, interferencia corresponde a la radiación generada por equipos de comunicaciones que no estén intercambiando información como tal, pero estén perjudicando la comunicación entre otros dispositivos; por otra parte, el ruido electromagnético es generado por equipos que no cumplan funciones de comunicación o por fuentes naturales.

2 En [8] se presenta un algoritmo para el diseño de una red en el que se requiere un modelo de atenuación para las señales de interés.

- Pérdida o atenuación debida a la distancia.
- Ensombrecimiento.
- Desvanecimiento Multitrayecto.

Así el modelo estadístico a través del cual se modelan las características de propagación debe considerar las tres componentes mencionadas.

La atenuación debida a la distancia se modela suponiendo que aumenta exponencialmente en función de la última, con un exponente de atenuación media que depende fuertemente del ambiente en el que ocurra la propagación.

Por su parte el ensombrecimiento nos permite considerar los efectos de la no uniformidad de las estructuras que rodean al transmisor, en las diferentes direcciones a lo largo de las cuales es posible alejarse de este último. Se modela a través de una variable aleatoria con distribución log-normal, que es la distribución que mejor se ajusta en la mayoría de trabajos de esta índole [2]. El valor medio de la variable aleatoria log-normal es 0 y su desviación estándar esta dada en dB.

En cuanto al desvanecimiento multitrayecto, podemos mencionar que se produce debido a la interferencia constructiva o destructiva de las distintas componentes multitrayecto que llegan a un punto particular. En este trabajo se considera al momento de tomar las mediciones.

Este proyecto esta conformado por los siguientes estudios:

1. Medición del nivel de interferencia y ruido electromagnético, considerando una ubicación fija, cerca de algunos equipos médicos o en zonas especiales del hospital. (Estudio 1).

2. Desarrollo, dentro de las instalaciones del hospital, de modelos de atenuación estadísticos a gran escala[3], para una señal de banda estrecha a 2.4GHz. (Estudio 2).

Como una breve revisión bibliográfica cabe mencionar lo siguiente. En [1] se realizaron estudios del nivel de interferencia y ruido electromagnético cerca de equipos médicos, en ambientes hospitalarios. Por otra parte, en [2] y [3] se presentan estudios de atenuación debido al trayecto en recintos cerrados, sobre diferentes bandas de frecuencia y para distintos ambientes. Específicamente en [2] se hace referencia a las condiciones en las cuales un modelo de atenuación en banda estrecha es aplicable para una señal de banda ancha, estas condiciones se explican más adelante en este artículo dentro de la sección correspondiente a la metodología de medición del Estudio 2. Por su parte, en [6] se caracteriza la propagación de ondas de radio en ambientes hospitalarios de manera experimental; en dicha referencia se evalúa la propagación de ondas a través de paredes blindadas y no blindadas; también se analiza la transmisión de ondas de radio, entre cuartos adyacentes, a través de una sola pared y posteriormente considerando todos los multitrayectos posibles. Un resultado interesante, del trabajo presentado en la referencia [6], es que aunque la atenuación entre cuartos adyacentes depende de los materiales que conformen las paredes, la potencia promedio distribuida espacialmente dentro de la habitación en la que se encuentre el transmisor es prácticamente independiente de los materiales que constituyan las paredes.

La estructura de este artículo pretende mostrarle al lector los pasos que se llevaron a cabo para desarrollar cada uno de los 2 estudios.

3 En este trabajo gran escala se refiere a que el modelo de atenuación es aplicable sobre una escala de varias longitudes de onda, es decir no se considera la atenuación de pequeña escala (fracciones de longitud de onda), la cual se modela generalmente en la literatura a través de una función de distribución de probabilidad Rayleigh o Rician.

- En la parte A de la sección II se describe el sistema de medición, la metodología empleada y los resultados obtenidos en el Estudio 1.

- Similarmente en la parte B de la sección II, inicialmente se presenta la descripción de los ambientes en los que se llevó a cabo el Estudio 2, luego se describe el sistema de medición empleado, la metodología de medición y los modelos de atenuación debido al trayecto obtenidos luego del ajuste de los modelos encontrados en la Referencia [2].

- En la parte C se realiza un análisis que relaciona el procedimiento descrito en la parte B, con las mediciones de la parte A.

- Por último, en la sección III, se presentan las conclusiones generales del trabajo.

II. METODOLOGIA Y RESULTADOS DE CADA UNO DE LOS ESTUDIOS

A. MEDICIÓN DEL NIVEL DE INTERFERENCIA Y RUIDO ELECTROMAGNÉTICO. (ESTUDIO 1).

1) Sistema de Medición: El fin del sistema desarrollado es graficar la potencia de las componentes en frecuencia de la señal de entrada, sobre la banda ISM o sobre las bandas UNII I y UNII II, durante un tiempo de adquisición determinado por el usuario. Es necesario tener en cuenta que las componentes en frecuencia de la señal de entrada en general varían con el tiempo, así que como resultado se obtiene una gráfica de la potencia recibida, en el analizador de espectros, en función de la frecuencia y del tiempo.

El sistema de adquisición de datos para este tipo de mediciones sobre la banda ISM, constaba de los siguientes elementos, conectados en serie según el orden en que se mencionan:

1. Antena omnidireccional. Referencia: S2403BP[4] *Cushcraft*. Distancia del centro de radiación hasta el piso: 1.20m.

2. Cable de conexión LMR-600 de 5.75m de longitud y una atenuación medida de 1.66dB a 2.4GHz[5].

3. Analizador de Espectros. Referencia HP8595E *Hewlett Packard*.

4. Sistema de Comunicación GPIB. Marca *National Instruments*.

5. Computador portátil, en el que se encontraba instalado el programa LabVIEW 7.0.

Figura 1. Módulo Receptor.

4 S5153BP en las mediciones sobre las bandas UNII I y UNII II.

5 Cable RG-142 (N-SMA), con una longitud de 12" y una atenuación medida de 0.71 dB, para las mediciones sobre las bandas UNII I y UNII II.

Es importante anotar que en el estudio se pretendía considerar únicamente la polarización vertical, sin embargo por facilidad en el transporte de los equipos, la antena del Módulo Receptor presentaba cierta inclinación respecto al eje vertical, lo cual introduce una fuente de error en las mediciones realizadas. Adicionalmente se despreció la cercanía de la antena del módulo receptor con el chasis del carro. Para la antena empleada el ancho de haz de -3dB en el plano del campo eléctrico es 38º.

El analizador de espectros se encontraba configurado con los valores que se presentan en la Tabla 1, dependiendo de la banda en la que se realizaran las mediciones. Inicialmente los valores del ancho de banda de resolución y de video se habían establecido automáticamente, pero el piso de ruido no era suficientemente bajo, así que se determinaron manualmente los valores presentados, de modo que el piso de ruido se redujera, sin que disminuyera el tiempo de barrido.

Banda(s)	ISM	UNII I y UNII II
Frecuencia central	2.44175	5.25GHz
Span	83.5MHz	200MHz
Ancho de banda de resolución	300KHz	120KHz
Ancho de banda de video	100KHz	100KHz
Tiempo de barrido	20ms	20ms

Tabla 1. Configuración del analizador de espectros en las mediciones de interferencia y ruido electromagnético.

El programa de adquisición de datos fue desarrollado sobre LabVIEW 7.0, permite seleccionar la frecuencia central, la longitud del intervalo de frecuencia en el que se toman las mediciones (*Span*) y el tiempo durante el cual se adquieren datos. Una vez se ha adquirido toda la información, se gráfica la potencia recibida, en el analizador de espectros, en función de la frecuencia y del tiempo.

En realidad la ganancia de una antena en general depende del ángulo azimutal y del ángulo de inclinación de la dirección de propagación de la onda incidente o radiada, tomando como eje de coordenadas el centro de radiación de la antena, sin embargo en la literatura(Referencia[2]) por simplicidad se toma el máximo valor posible para la ganancia, ya que la potencia, radiada o recibida, por unidad de ángulo sólido es mayor en la dirección angular en la que se presente tal valor. Realizando esta aproximación, es necesario recordar que(todo en dB) la potencia recibida en el analizador de espectros, es igual a la potencia recibida por una antena isotrópica hipotética(desde el aire), más la ganancia máxima de la antena real, menos las pérdidas introducidas por los cables de conexión. Aplicando éste razonamiento se encuentra que la potencia que recibe la antena(desde el aire), para la medición en la banda ISM, es 3.48dB menor que la potencia medida en el analizador de espectros. Similarmente, en las bandas UNII I y UNII II, la potencia en el analizador de espectros es 5.29dB mayor que la potencia recibida por la antena.

Para reducir la cantidad de información almacenada y presentada, para cada frecuencia de medición solo se registró la máxima potencia medida en cada intervalo de 2 segundos. La medición se realizaba de forma automática.

El panel frontal del instrumento desarrollado, se presenta en la Figura 2. En ésta imagen se puede observar, en la ventana con fondo negro, uno de los espectros encontrados luego de un periodo de 2 segundos. En la ventana de fondo verde se aprecia el resultado total obtenido luego de 10 minutos de medición, en la banda ISM.

2) Metodología: Los rangos de frecuencia en los que se midió el nivel de interferencia y ruido electromagnéti-

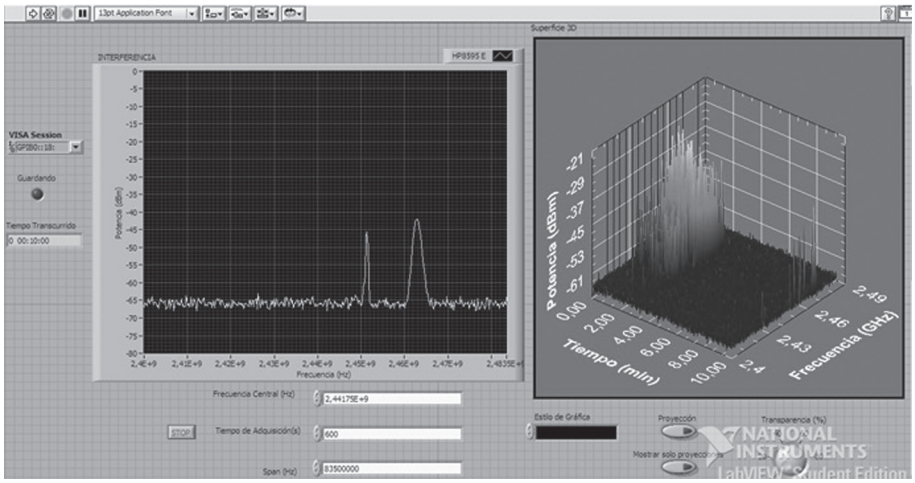

Figura 2. Vista del panel frontal para la medición de interferencia y ruido electromagnético, sobre la banda ISM, en el pasillo de salas de cirugía, cerca de un horno microondas.

co se escogieron teniendo en cuenta las especificaciones de las antenas y el intervalo de las bandas de interés.

Los puntos en los que se tomaron las mediciones fueron seleccionados principalmente comparando los equipos relevantes que se mencionan en [1], con el inventario de equipos del hospital.

Para todas las mediciones del nivel de interferencia y ruido electromagnético, se ubicó la antena receptora a una distancia constante del equipo seleccionado y se registró el espectro de la señal recibida en las bandas de interés. La medición en algunos casos se realizó en un área particular, de interés para el hospital, sin que necesariamente el sistema de medición se encontrara cerca de un equipo como tal. Se tomaron mediciones en intervalos de tiempo en los cuales los equipos cercanos estaban operando, y ocasionalmente en periodos en los que estaban encendidos pero no realizando un examen como tal. A lo largo de éstas mediciones no se apagaron los puntos de acceso dentro del hospital. En total se tomaron 34 mediciones en la banda ISM y el mismo número en el intervalo de frecuencia [5.15GHz, 5.35GHz], que corresponde a las bandas UNII I y UNII II.

3) Resultados Obtenidos: En la Tabla 2 se presentan los resultados más representativos de las mediciones realizadas sobre la banda ISM. Una de las mediciones en las que se registró cierta radiación durante un lapso muy corto de tiempo se presenta en la Figura 3. Por su parte los hornos microondas emitían radiación continuamente mientras estaban operando.

La imagen que se encuentra a la derecha en la Figura 3, es la proyección Potencia-Frecuencia de la medición que se presenta en la parte izquierda en la misma figura; las líneas negras verticales, que se observan más claramente en la figura de la derecha, indican la frecuencia central de cada uno de los canales del estándar IEEE 802.11(Wi-Fi).

Entre todas las señales registradas sobre la banda ISM, en el Estudio 1, el ruido generado por los hornos microondas (Ver Figura 2), es la señal que afecta un mayor número de canales de dicha banda. Sin embargo la potencia de la señal emitida por los hornos es menor en los canales bajos, así que es conveniente que los puntos de acceso se configuren para operar en el canal 1, cuando se encuentren cerca de hornos microondas. [6]

Se encontró que el mayor nivel de ruido, sobre la banda empleada por la red inalámbrica (ISM), proviene de los hornos microondas; el máximo nivel de potencia registrado para la señal de ruido fue -52.48dBm(-49dBm en el analizador de espectros). Empleando planos, se estimó una distancia de 7m entre el sistema de medición y el horno microondas. A través del siguiente análisis, el cual se encuentra

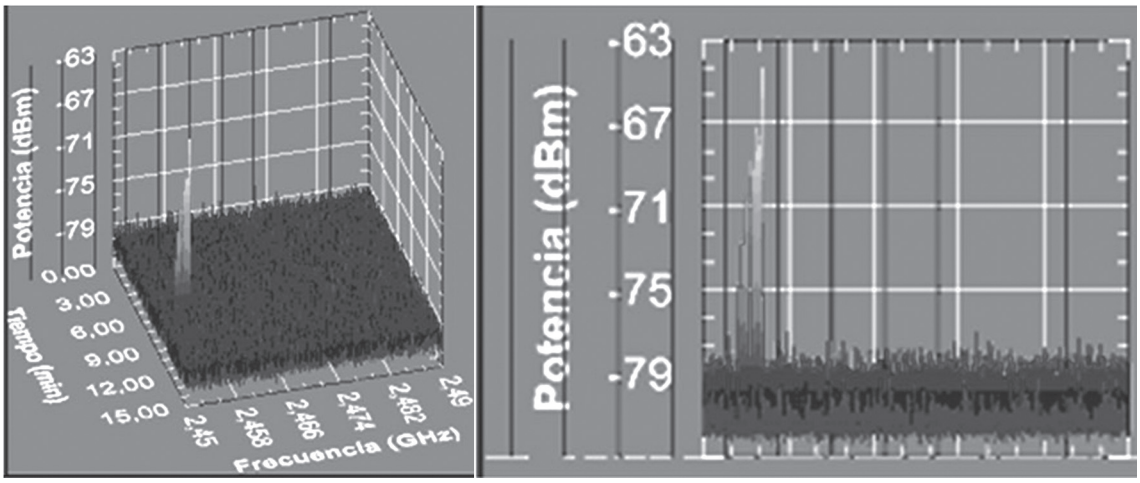

Figura 3. Medición obtenida en la sala de Neonatos. La máxima potencia medida (-64.3dBm), se presentó alrededor de 2.4553GHz, es decir entre los canales 9 y 10 según el estándar IEEE 802.11.

en la referencia [7], se puede tener una idea del efecto que puede tener el nivel de potencia registrado en la operación de la red inalámbrica: Las especificaciones dadas a través del estándar IEEE 802.11b establecen que la potencia de la señal recibida debe ser como mínimo -76dBm para que la probabilidad de error de trama(FER) tenga un valor máximo aceptable de $8X10^{-2}$. A partir del valor anterior de la probabilidad de error de trama es posible encontrar la probabilidad de error de bit, y con esta última calcular la proporción señal a ruido asociada. Finalmente, en la referencia [7], se encuentra que la potencia de ruido debe ser -83.582dBm para que se tenga una probabilidad de error de trama aceptable según el estándar IEEE802.11b. Es decir, la probabilidad de error de trama aumentará, respecto al límite establecido en el estándar IEEE802.11b, debido al ruido generado en el horno microondas. Adicionalmente, a partir de la hoja de datos del fabricante, sabemos que la máxima potencia emitida por algunos de los puntos de acceso[7] utilizados en el hospital es 16dBm. Utilizando el modelo de atenuación media debido al trayecto(que se presenta más adelante) para dispositivos que presenten línea de vista y que se encuentren en el piso 2 del hospital, se puede calcular que en promedio a 7.87m del punto de acceso la potencia de la señal emitida por este último dispositivo será igual al máximo nivel de ruido medido: -52.48dBm. Es decir, el nivel de interferencia medido alcanza los niveles potencia de la señal emitida por un punto de acceso a solo unos cuantos metros de este último, por lo que la proporción señal a interferencia más ruido(SINR) se degrada rápidamente en función de la distancia al punto de acceso. Para tener una medida cuantitativa de que tanto se degrada el desempeño de la red debido a la interferencia registrada se podría realizar un trabajo similar al descrito en [1], en el cual se simula la comunicación entre 2 dispositivos Bluetooth, cerca de un horno microondas en operación. En la referencia [1] se observa una reducción en el caudal, debido a la interferencia del horno; el caudal se reduce cuando la potencia de la señal de interferencia aumenta, o cuando la interferencia abarca un gran número de canales, sin embargo los

6 Generalmente los canales en los que operan los puntos de acceso se pueden configurar siguiendo las indicaciones dadas por el fabricante.

7 TRENDnet TEW410APB Plus.

efectos de la fuente de interferencia se reducen cuando esta última se aleja de los dispositivos Bluetooth. Todo lo anterior nos sugiere que el desempeño de los elementos de la red inalámbrica que operen cerca de los hornos microondas se reducirá considerablemente. Específicamente la anterior situación se presenta en el pasillo de salas de cirugía(piso 2), en donde un horno microondas se encuentra aproximadamente a 6 metros de un punto de acceso y los dos dispositivos pueden utilizarse en cualquier momento a lo largo del día. El horno microondas al que se acaba de hacer referencia, se utiliza para calentar líquidos empleados durante las cirugías.

Se recomienda fuertemente consultar personal con suficiente conocimiento en el tema para realizar el blindaje del horno.

Por otra parte, no se detectó ninguna señal por encima del piso de ruido del sistema de medición (-86dBm), en las bandas UNII I y UNII II.

ÁREA DEL HOSPITAL	EQUIPO FUENTE	MÁXIMA POTENCIA MEDIDA (dBm) (en el analizador de espectros)	FRECUENCIA EN LA QUE SE DETECTÓ LA MÁXIMA POTENCIA (Ghz)
Urgencias	Punto de Acceso (AP)	-67	2.46
Unidad de cuidado intensivo	No determinado	-74	2.48
Neonatos	No determinado	-77	2.47
Laboratorio clínico	No determinado	-72	2.456
Pasillo, piso 4 (ala sur)	AP (dentro de caja metálica)	-75	2.4395
Pasillo, piso 4 (ala sur)	AP (fuera de caja metálica)	-59	2.4395
Patología	Horno Microondas	-66	2.4835
Salas de cirugía	Horno Microondas	-50	2.462
Salas de cirugía	Horno Microondas	-49	2.462
Cardiología	Horno Microondas (piso adyacente	-75	2.462

Tabla 2. Resumen de los resultados de las mediciones del Nivel de Interferencia y Ruido Electromagnético en

B. AJUSTE[8] A LAS INSTALACIONES DEL HOSPITAL UNIVERSITARIO DE LA SAMARITANA, DE MODELOS DE ATENUACIÓN ESTADÍSTICOS A GRAN ESCALA, PARA UNA SEÑAL DE BANDA ESTRECHA A 2.4GHZ. (ESTUDIO 2).

1) Descripción de los ambientes para los cuales se desarrollaron los modelos de atenuación: La construcción de las instalaciones del HUS comenzó el 24 de Abril de 1932, en 1945 prácticamente se finalizan los cinco pisos del edificio principal; sin embargo se han venido realizando cambios estructurales a través de la historia. Los principales elementos estructurales del hospital son:

a. Mampostería en bloque de arcilla y ladrillo macizo generalmente, aunque las últimas remodelaciones se han realizado utilizando *drywall*.

b. Columnas y vigas en concreto con mallas en hierro. (El área transversal de las columnas en general es de 30cm X 30cm).

Las placas entre pisos fueron construidas con una capa de concreto de 15cm y una malla de hierro que las sujeta a las columnas de los pisos adyacentes. Abajo de la capa de concreto se ubicaron cajas de guadua de aproximadamente 30cm de altura. Las placas entre pisos tienen vigas cada 1.25m.

Los muros exteriores del edificio principal fueron construidos en bloque de arcilla ubicado de forma horizontal, lo cual hace que estas paredes sean bastantes gruesas; por otro lado la gran mayoría de los muros interiores, fueron construidos con el mismo bloque pero ubicado de manera vertical.

En algunas zonas del hospital se producen constantes remodelaciones, en las que se utilizan materiales livianos como *drywall*. Este tipo de paredes son menos pesadas que las de bloque, están conformadas por una estructura de acero galvanizado, sobre la cual se fijan 2 láminas de yeso seco.

2) Sistema de Medición Empleado: El sistema está conformado por un módulo receptor y uno transmisor[9]. El módulo receptor es igual al sistema utilizado en las mediciones del Estudio 1 sobre la banda ISM, excepto por el programa de adquisición desarrollado. Por su parte, el módulo transmisor estaba conformado por los siguientes elementos, conectados en serie en el orden en que se presentan:

1. Generador de Señales. Referencia: 8648C *Agilent Technologies*.

2. Cable de conexión tipo RG-142(N - SMA), con una longitud de 12" y una atenuación medida de 0,71dB a 2,4GHz. Marca *Johnson Components*.

3. Amplificador con ganancia de 37dB. Referencia: S020060P3701 *Lucix Corporation*.

4. Cable de conexión tipo RG-142(SMA - N), con una longitud de 36" y una atenuación medida de 0,86dB a 2,4GHz. Marca *Johnson Components*.

5. Antena omnidireccional. Referencia: S2403BP *Cushcraft*.

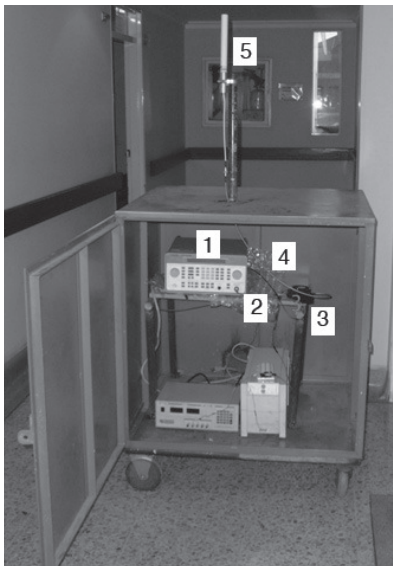

Figura 4. Módulo Transmisor.

La altura del centro de radiación de la antena del módulo transmisor era 1.72m. Los elementos de los numerales 1, 2, y 3 que se acaban de mencionar, se encontraban dentro de un cubo metálico por seguridad y para facilitar su transporte. La distancia entre el centro de radiación de la antena del módulo transmisor y el plano superior del cubo metálico era 59cm, por lo que el haz de -3dB del lóbulo principal de la antena transmisora no llegaba hasta el plano metálico superior del módulo transmisor, ya que el haz inferior de -3dB se encuentra 20grados por debajo del plano horizontal, y la máxima distancia horizontal de la antena transmisora al extremo del plano metálico superior del modulo transmisor era 50cm. Sin embargo, aunque el haz de -3dB del lóbulo principal de la antena transmisora no llegaba hasta el plano metálico superior del módulo transmisor, los lóbulos inferiores si lo hacían, por lo que se decidió que siempre que se necesitara tomar una medición en la que los módulos transmisor y receptor estuvieran en pisos diferentes, el primero siempre estaría en el piso inferior.

Las características del sistema de medición nos permiten calcular que la máxima atenuación que se puede medir es 95.35dB. El valor anterior se obtiene considerando que la Potencia Isotrópica Radiada Efectiva empleada fue 19.97dBm, la ganancia de la antena receptora era 5,14dBi, la atenuación del cable de conexión en el módulo receptor era 1.66dB y el piso de ruido en el analizador de espectros en estas mediciones era -71.9dBm.

3) Metodología: La señal que se utilizó para desarrollar los modelos de atenuación fue una onda continua de 2,4GHz, ya que, a lo largo del Estudio 1, no se encontró ningún nivel de potencia superior al piso de ruido en esta frecuencia. Además no era viable apagar la red inalámbrica, ya que el cuerpo médico podría necesitarla en cualquier momento.

8 Se ajustan los modelos propuestos en la referencia [2] considerando que fueron planteados para modelar la propagación de las señales en el interior de un edificio.

9 Los equipos del módulo transmisor y del módulo receptor se encontraban conectados a sendos dispositivos UPS (Fuente de Poder Ininterrumpido, según sus siglas en inglés).

Ahora, debido a que en el módulo transmisor la atenuación medida de los cables de conexión era 0.71dB y 0.86dB, la ganancia del amplificador empleado era 37dB y la ganancia de la antena transmisora era 3dBd[10](5,14dBi), podemos deducir que para que la Potencia Isotrópica Radiada Efectiva fuera menor o igual, a la máxima potencia permitida por el Ministerio de Comunicaciones para dispositivos de telecomunicaciones que operen en 2,4GHz, es decir 20dBm[11], era necesario que la potencia emitida por el generador fuera -20,57dBm. Sin embargo el generador utilizado solo permite obtener una resolución de 0.1dB, por lo que la potencia seleccionada fue -20.6dBm. Por esta razón la Potencia Isotrópica Radiada Efectiva empleada fue 19.97dBm.

En cuanto a la ubicación de los módulos transmisor y receptor, en las mediciones de gran escala, se puede anotar lo siguiente. Las ubicaciones para el módulo receptor se seleccionaron en general considerando las áreas en las que se cree que debe existir cobertura de la red inalámbrica; sin embargo en algunos casos no fue posible realizar las mediciones en los puntos deseados, debido a que era difícil acceder al lugar seleccionado, bien porque la mayoría de las mediciones se realizaron en la noche y el acceso a algunas áreas no era posible o porque la medición afectaría el funcionamiento de algún área del hospital. En cuanto al transmisor, éste se ubicó en algunos casos en los lugares en los que se encuentran los puntos de acceso, de modo que fuera posible obtener modelos respecto a la ubicación de dichos dispositivos. Se intentó que cada una de las mediciones de gran escala fuera relevante para obtener los modelos de atenuación, pero también que fuera relevante por si sola para determinar la atenuación con una ubicación específica de los módulos transmisor y receptor. El módulo transmisor se ubicó en los pisos 2, 3 y 4, considerando que su estructura es similar, además los materiales que conforman estos pisos también son similares. Adicionalmente se tomaron mediciones de gran escala en el Área de Urgencias y en la Nueva Unidad Renal. Por su parte el módulo receptor se ubicó en el mismo piso en el que se encontraba el transmisor o en el piso superior.

Para considerar los efectos del desvanecimiento multitrayecto se realizó el siguiente procedimiento. Para cada una de las mediciones de gran escala, el transmisor se ubicó en una posición fija, totalmente identificable en los planos; posteriormente el receptor se desplazó en línea recta, a lo largo de 240cm como mínimo (lo cual corresponde aproximadamente a 20 longitudes de onda), midiendo la potencia de la señal recibida. En realidad, en los lugares en los que era posible, el receptor se desplazó a lo largo de 3.75m, es decir 30 longitudes de onda. Se decidió tomar muestras a lo largo de 30 longitudes de onda porque se ha demostrado que cuando las amplitudes de las componentes multitrayecto individuales no están correlacionadas, o las fases de las componentes multitrayecto individuales son independientes e idénticamente distribuidas sobre [0, 2π), lo cual se asume que ocurre en ambientes tan complejos como el hospital, las pérdidas debidas al trayecto de una señal de banda ancha son equivalentes a las de una onda sinusoidal continua cuando se utilizan promedios del valor de potencia recibida sobre 20 longitudes de onda (Referencia [2]). Así, se decidió tomar mediciones sobre 30 longitudes de onda, cuando fuera posible, para obtener resultados fiables. Es necesario resaltar que la señal utilizada en el sistema Wi-Fi se considera de banda ancha.

Con base en otros trabajos[12], sabemos que en pequeña escala se espera que los picos y los valles en la potencia de la señal recibida se repitan cada longitud de onda. Así que elegimos tomar 10 muestras como mínimo cada longitud de onda; la longitud de onda de la señal empleada es 12.48cm, así que se tomaron muestras cada centímetro por facilidad. Por la razón anterior el módulo receptor se desplazó manualmente en línea recta cada centímetro, sobre una cinta métrica de acero; una vez se había ubicado el receptor un centímetro delante de la ubicación donde se había tomado la medición de pequeña escala anterior, se oprimía el botón

correspondiente en el computador portátil, para tomar la nueva medida de potencia recibida.

La distancia transmisor-receptor que se utilizó para desarrollar el modelo de atenuación, es la distancia entre la ubicación fija del transmisor y el punto medio del desplazamiento del receptor. Esto se indica en la figura 5.

La distancia promedio entre el transmisor y el receptor se halló sobre los planos, los cuales fueron validados sobre el terreno. En las mediciones en las que el transmisor se encontraba en un piso distinto al del receptor, fue necesario utilizar la distancia entre pisos de modo que, con la ayuda de los mapas de cada nivel, fuera posible calcular la distancia en línea recta entre el transmisor y el receptor.

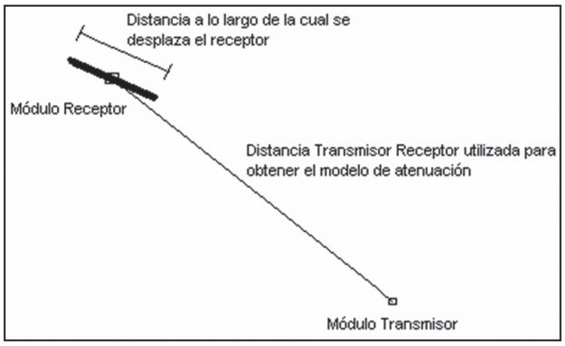

Figura 5. Distancia utilizada para hallar los modelos de atenuación.

Es necesario aclarar que los mapas del edificio principal del hospital se encuentran desactualizados en algunas zonas, sin embargo en la mayor parte corresponden a la estructura de la edificación. Teniendo en cuenta lo anterior, al momento de marcar algún punto en el plano para indicar la posición del transmisor o del receptor, se observó previamente que los puntos de referencia, respecto a los cuales se tomaban las mediciones, aparecieran clara y correctamente en los planos.

Para cada una de las mediciones de gran escala se registró el número de paredes entre los módulos transmisor y receptor, además de los pisos en los que se tomó la medición.

4) Modelos de atenuación debido al trayecto obtenidos: La información recolectada en la campaña de mediciones se organizó, para luego ajustar los modelos de atenuación estadísticos propuestos en la literatura, con base en el criterio del mínimo error cuadrático medio.

Excepto para las mediciones realizadas en la nueva unidad renal, no se hallaron modelos estadísticos cuando el número de mediciones de gran escala disponibles era demasiado bajo. Se exceptúa la unidad renal debido a que las paredes interiores están construidas principalmente en *drywall,* lo cual es particular respecto al resto del hospital.

Los modelos de atenuación debida al trayecto ($PL(d)[dB]$) estudiados, incluyen la variable aleatoria $X\sigma$, para considerar las variaciones, debidas al ensombrecimiento, respecto a la atenuación media ($\overline{PL}(d)[dB]$), así:

$$PL(d)[dB] = \overline{PL}(d)[dB] + X\sigma[dB]$$

$X\sigma$ es una variable aleatoria log-normal con media 0 y desviación estándar σ dada en dB. Mientras que d representa la distancia entre el transmisor y el receptor.

10 dBd se refiere a la ganancia respecto a una antena tipo dipolo de media longitud de onda, la cual tiene a su vez una ganancia de 2,14dBi. La unidad dBi nos indica que la ganancia está dada respecto a una antena isotrópica.

11 Según la Resolución Número 000797 de 8 de junio de 2001, Ministerio de Comunicaciones, Colombia.

12 Statistical Modeling of the Received Signal Envelope in a Mobile Radio Channel; M.Lecours, J-Y. Chouinard, G.y.Delisle, J.Roy; IEEE Transactions on vehicular Technology, Vol.37, No 4, November 1988.

>Modelos en función de la distancia únicamente {Referencia 2}. En éste caso la atenuación media esta dada por:

$$\overline{PL}(d) = PL(d_o) + 10n\log\left(\frac{d}{d_o}\right), \quad d_o = 1m$$

Donde: $$PL(d_0 = 1m) = 20\log\left(\frac{4\pi}{\lambda}\right)$$

indica la pérdida debido al trayecto de una señal sinusoidal de longitud de onda λ que se propaga en espacio libre, cuando el transmisor se encuentra a un metro del receptor.

n se conoce como coeficiente medio de pérdidas debido al trayecto, nos indica que tan rápido se atenúa la potencia de la señal en función de la distancia. En el caso de propagación en espacio libre se tiene *n* = 2.

Inicialmente se halló un modelo basado en todos los datos recolectados, excepto los asociados a la Unidad Renal. El resultado obtenido se presenta en la Figura 6, los datos se discriminan para distintas ubicaciones del módulo transmisor.

Todas las mediciones, excepto las correspondientes a la unidad renal.

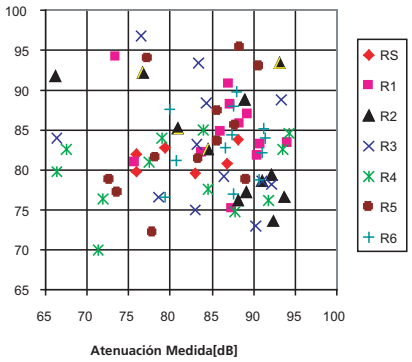

Figura 6.

n	2,247
Desviación estándar σ	9.45dB
Mediciones de gran escala empleadas:	78
Distancia promedio de las mediciones	15.74m
Máxima distancia transmisor-receptor empleada	54.5m

Tabla 3. Modelo obtenido con todos los datos, excepto los de la unidad renal.

Para intentar disminuir la desviación estándar, los datos empleados inicialmente se dividieron en 2 grandes grupos[2], el primero correspondía a mediciones en las que el transmisor y el receptor se encontraban en el mismo piso, mientras que el segundo abarcaba las mediciones en las que se tenía un piso de diferencia entre los módulos.

Los datos hallados para el modelo en función de la distancia únicamente, obtenido a partir de todos los datos, excepto los de la unidad renal, en los cuales el transmisor y el receptor se encontraban en el mismo piso, se resumen en la Tabla 4.

n	1.920
Desviación estándar σ	7.52dB
Mediciones de gran escala empleadas:	49
Distancia promedio de las mediciones	19.63m
Máxima distancia transmisor-receptor empleada	54.5m

Tabla 4. Modelo obtenido con todos los datos, excepto los correspondientes a la unidad renal, en los que el transmisor y el receptor se hallaban en el mismo piso.

Como se esperaba la desviación estándar se redujo, respecto al modelo hallado inicialmente a partir de todas las mediciones excepto las de la unidad renal.

En cuanto al coeficiente medio de pérdidas debido al trayecto, su valor es menor que 2 probablemente porque en varias de las mediciones tanto el transmisor como el receptor se encontraban dentro del mismo pasillo y no existía ningún obstáculo entre ellos. Lo anterior nos sugiere diferenciar las mediciones

con línea de vista(LOS), de las mediciones sin línea de vista(NLOS) entre el transmisor y el receptor.

El modelo de atenuación para el caso en que los módulos transmisor y receptor se encuentran en el mismo piso, en una situación NLOS se presenta en las Fig

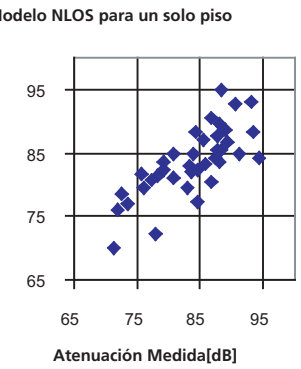

Figura 7.

n	2.225
Desviación estándar σ	5.14dB
Mediciones de gran escala empleadas:	38
Distancia promedio de las mediciones	16.79m
Máxima distancia transmisor-receptor empleada	47.75m

Tabla 5. Modelo obtenido para las mediciones realizadas en un mismo piso, situación NLOS.

Se observa que el coeficiente medio de pérdidas debido al trayecto (n) es mayor a 2. Además la desviación estándar mejora respecto al caso en el que no se diferencian las mediciones NLOS y LOS. En la siguiente

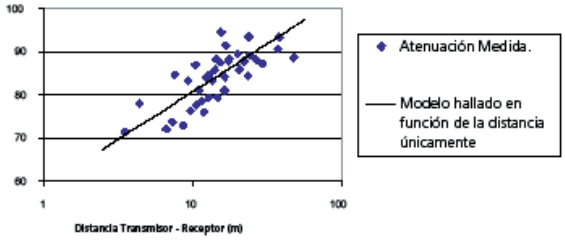

Figura 8. Modelo NLOS para un mismo piso.

Por su parte los parámetros del modelo de atenuación que corresponde a las situaciones LOS, se muestran en la Tabla 6.

n	1.197
Desviación estándar σ	6.48dB
Mediciones de gran escala empleadas:	11
Distancia promedio de las mediciones	29.4m
Máxima distancia transmisor-receptor empleada	54.5m

Tabla 6. Modelo obtenido con todos los datos en los que el transmisor y el receptor se hallaban en el mismo piso y se tenía línea de vista.

En este caso la desviación estándar es menor que la que se obtuvo cuando no se discriminaron por separados las mediciones NLOS y LOS; sin embargo no es tan baja como en el caso de las mediciones NLOS. El coeficiente medio de pérdidas debido al trayecto es menor a 2.

Se han procesado los datos tomados en las mediciones en las cuales los módulos transmisor y receptor se encontraban en el mismo piso, empleando modelos en función de la distancia únicamente. Ahora, en la Tabla 7 se resume el modelo, en función de la distancia únicamente, hallado para todas las mediciones en las que el transmisor y el receptor se encontraban en pisos adyacentes.

n	3.199
Desviación estándar σ	7.26dB
Mediciones de gran escala empleadas:	29
Distancia promedio de las mediciones	9.18m
Máxima distancia transmisor-receptor empleada	16.1m

Tabla 7. Modelo obtenido con todos los datos en los que el transmisor y el receptor se hallaban en pisos adyacentes.

Es lógico que el coeficiente medio de pérdidas debido al trayecto, sea mucho mayor que 2 porque

en todas las mediciones tanto el transmisor como el receptor se encontraban separados por un piso como mínimo. Además la desviación estándar se reduce respecto al modelo en el que no se distinguen mediciones en un solo piso o en pisos adyacentes.

En cuanto a los modelos en función de la distancia únicamente, solo resta considerar el caso de la Uniad Renal, el cual se resume en tabla 8.

n	1.23
Desviación estándar σ	4.87dB
Mediciones de gran escala empleadas:	6
Distancia promedio de las mediciones	8.945m
Máxima distancia transmisor-receptor empleada	14.58m

Tabla 8. Modelo unidad renal.

En principio no se esperaba que el valor de n fuera menor a 2, sin embargo luego de obtener el valor que se acaba de presentar, se observó que la pared que delimita la unidad renal, está construida en bloque de arcilla horizontal, mientras que una gran parte de las paredes interiores fueron construidas utilizando *drywall.* De hecho solo 2 de las paredes interiores están conformadas por bloque de arcilla. A partir de lo anterior, y del valor de n obtenido se puede pensar que la energía radiada por el módulo transmisor de cierta forma es confinada dentro de la unidad renal, gracias a las paredes de bloque de arcilla horizontal, el techo y el piso. Así que el modelo presentado no es útil para determinar la pérdida debido al trayecto en la unidad renal, debido al efecto que se ha mencionado. Sería interesante adquirir información adicional, sobre la propagación de las ondas de interés en la unidad renal, realizando mediciones de banda ancha.

Se han presentado modelos en los que se asume que la atenuación debido al trayecto es una función que depende únicamente de la distancia entre el transmisor y el receptor, sin embargo es lógico pensar que la atenuación debido al trayecto también debe ser afectada por los obstáculos físicos entre un dispositivo transmisor y uno receptor. Con base en esta idea se presentan 2 modelos en los que se intenta explicarla atenuación debido al trayecto como el efecto combinado de la distancia y los obstáculos que se encuentren entre el transmisor y el receptor.

>Modelos de atenuación entre pisos adyacentes, empleando un factor de atenuación por piso(FAF) [Referencia 2]

En éste caso la atenuación media esta dada por:

$$\overline{PL}(d) = PL(d_o) + 10n\,(mismo\,piso\ NLOS)\,\log\left(\frac{d}{d_o}\right) + FAF$$

El FAF se calcula como el promedio de la diferencia entre la pérdida debido al trayecto medida y la pérdida debido al trayecto obtenida a través del modelo en función de la distancia únicamente, con n igual al valor presentado para el modelo en el que el transmisor y el receptor están en el mismo piso, pero no se tiene línea de vista. Los resultados del modelo se muestran en la Figura 9, y se resumen en la Tabla 9.

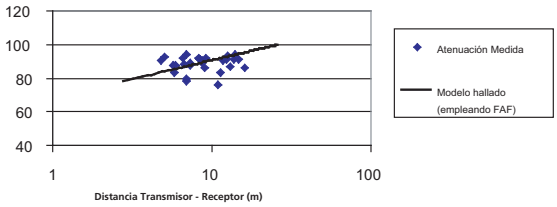

Figura 9. Modelo de atenuación entre pisos utilizando un Factor de Atenuación por Piso.

n	2.225
Desviación estándar σ	5.40 dB
FAF	9.789dB
Mediciones de gran escala empleadas:	29
Distancia promedio de las mediciones	9.18m
Máxima distancia transmisor-receptor empleada	16.131m

Tabla 9. Modelo para atenuación entre pisos adyacentes, utilizando un factor de atenuación por piso.

Se observa que el modelo que incluye el parámetro

FAF presenta una desviación estándar (σ = 5.40dB) menor que la del modelo de atenuación en función de la distancia únicamente(σ = 7.26dB), para todas las mediciones en las que el transmisor y el receptor se encontraban en pisos adyacentes.

Finalmente se presenta otro modelo en el que la atenuación debido al trayecto es modelada a partir de las obstrucciones físicas entre el transmisor y el receptor.

•*Modelo que supone que la atenuación es causada debido a la propagación en espacio libre y al número de paredes entre el transmisor y el receptor {Referencia 2}.*

En este modelo la pérdida media debido al trayecto está dada por:

$$\overline{PL}(d)[dB] = 20\log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) + p \cdot AF$$

P representa el número de paredes entre el transmisor y el receptor, incluyendo obstáculos como columnas.

AF es igual al factor de atenuación por pared.

La figura que se encuentra a continuación muestra la comparación entre el valor de atenuación debido al trayecto hallado a través del modelo y la atenuación medida.

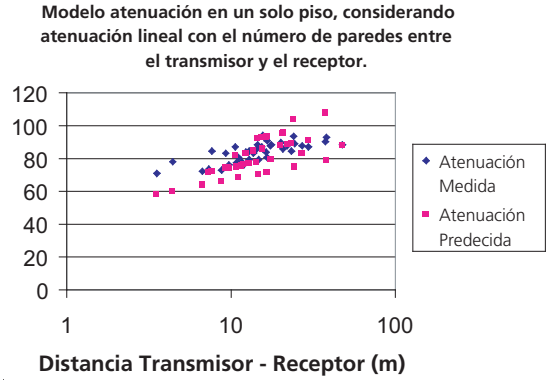

Figura 10. Modelo de atenuación suponiendo atenuación lineal con el número de paredes entre transmisor y receptor.

Los valores correspondientes a este modelo se muestran en la tabla 10.

AF(pared)	7.209dB
Desviación estándar σ	7.802dB
FAF	9.789dB
Mediciones de gran escala empleadas:	38
Distancia promedio de las mediciones	16.79m
Máxima distancia transmisor-receptor empleada	47.75m

Tabla10. Modelo de atenuación suponiendo atenuación lineal con el número de paredes entre transmisor y receptor.

En la referencia [6], se realizaron mediciones utilizando una señal de 2.45GHz. La atenuación promedio reportada para paredes de concreto de 10cm fue 7.4dB. El valor obtenido para la atenuación por pared es similar, aunque puede que los materiales que conformen las paredes no sean exactamente los mismos.

En este caso el modelo no es una función lineal del logaritmo de la distancia entre el transmisor y el receptor, ya que el valor de atenuación calculado depende también del número de paredes entre los dispositivos.

Se observa que este modelo no es tan adecuado como el modelo en función de la distancia únicamente en el que se utiliza un valor de n para situaciones NLOS en las que el transmisor y el receptor se encuentran en el mismo piso. Sin embargo, aunque los resultados sugieren que este modelo no es el más conveniente, no se descarta que pueda ser útil en ambientes en los que las obstrucciones físicas entre el transmisor y el receptor, sean más uniformes, por ejemplo en oficinas con particiones suaves.

C. MEDICIÓN PARA DETERMINAR SI LA UBICACIÓN DEL RECEPTOR AFECTA EL NIVEL DE INTERFERENCIA O RUIDO ELECTROMAGNÉTICO REGISTRADO.

Como se ha descrito previamente, las mediciones del nivel de interferencia y ruido electromagnético se llevaron a cabo ubicando el módulo receptor en un punto particular fijo. Sin embargo en las mediciones

necesarias para desarrollar los modelos de atenuación debido al trayecto se registró la potencia recibida, a medida que el receptor se desplazaba cierta fracción de longitud de onda de la señal empleada. En el último caso es necesario desplazar el receptor para tener en cuenta que la interferencia multitrayecto puede generar picos o valles en la potencia de la señal recibida. Lo anterior sugiere que probablemente sea necesario desplazar el receptor también en las mediciones de interferencia y ruido electromagnético, de modo que se evite que la antena del módulo receptor se ubique en un valle o en una cresta de potencia.

Con base en el razonamiento expuesto en el párrafo anterior se realizaron 12 mediciones, de un minuto cada una. Entre cada una de las mediciones el módulo receptor se desplazaba un centímetro a lo largo de una circunferencia de radio 3m; así que aproximadamente se recorrieron 12cm, lo que equivale a la longitud de onda de una señal de 2.4GHz. En el centro de la circunferencia, a lo largo de la cual se desplazaba el módulo receptor, se encontraba un horno microondas, el cual para estas mediciones se emplea como fuente de ruido electromagnético.

Se supuso que el funcionamiento del horno microondas era estable a medida que se realizaban las 12 mediciones. En la siguiente gráfica se muestra la máxima potencia recibida en cada uno de los 12 puntos de medición.

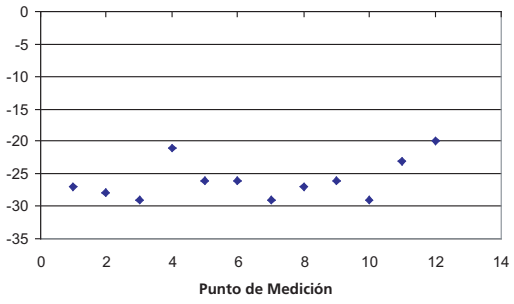

Figura 11.

Se encontró un valor máximo de potencia recibida en el analizador de espectros de -20dBm. Por otra parte el mínimo valor fue -29dBm. Así que asumiendo que la operación del horno microondas es estable, en cuanto a la máxima potencia radiada, se puede afirmar que el nivel de ruido electromagnético medido cambia hasta en 9dB según la ubicación de la antena receptora. Debido a lo anterior, en los casos en los que las fuentes de ruido e interferencia electromagnética sean estables durante un periodo de tiempo suficientemente largo, es conveniente que el receptor se desplace sobre varias longitudes de onda de las frecuencias de interés, para hallar así un valor promedio del nivel de interferencia y ruido electromagnético.

III. CONCLUSIONES

Es recomendable utilizar el canal 1 en los puntos de acceso que se encuentren ubicados cerca de hornos microondas, ya que la radiación es más potente sobre los canales superiores de la banda ISM.

A través de las mediciones del nivel de interferencia y ruido electromagnético se encontró que en éste ambiente hospitalario, no se registraron señales mayores al piso de ruido sobre las bandas UNII I y UNII II. Por otra parte, en la banda ISM se encontraron señales de hasta -52.48dBm, generadas principalmente por hornos microondas. Es conveniente reducir dicha interferencia blindando los hornos microondas. Se recomienda consultar a un experto en blindaje. Por otra parte se registraron señales de ruido esporádicas, pero no se determinó cual era la fuente de radiación.

En casos en los que las fuentes de ruido e interferencia electromagnética sea estable durante un periodo de tiempo suficientemente largo como para llevar a cabo varias mediciones del nivel de interferencia o ruido radiado, es conveniente que el receptor se desplace sobre varias longitudes de onda de las frecuencias de interés, para hallar así un valor promedio del nivel de interferencia y ruido electromagnético.

Se han presentado modelos de atenuación estadísticos en banda estrecha a 2,4GHz, a partir del trabajo de

la referencia [2]. Los modelos están basados principalmente en la relación exponencial entre la pérdida debido al trayecto y la distancia, el exponente de ésta relación se conoce como exponente medio de pérdidas debido al trayecto. Se han adaptado los siguientes modelos a las instalaciones del Hospital Universitario de la Samaritana:

• Modelo en función de la distancia únicamente.

• Modelo para predecir la atenuación en un solo piso, con línea de vista.

• Modelo para predecir la atenuación en un solo piso, sin línea de vista.

• Modelo para predecir la atenuación entre pisos adyacentes, en función de la distancia únicamente.

• Modelo que incluye un factor de atenuación por piso.

• Modelo que asume propagación en espacio libre más atenuación debido a paredes.

En las ecuaciones que se presentan a continuación *d* debe estar dada en metros.

1. Dentro de las instalaciones del Hospital Universitario de la Samaritana, se sugiere utilizar los siguientes modelos de atenuación debido al trayecto.

1.1 Cuando el transmisor y el receptor se encuentren ubicados en el mismo piso, en el área de urgencias, el piso 2, 3 o 4 se puede utilizar la siguiente ecuación para modelar la atenuación media:

$$\overline{PL}(d)[dB] = 57.75dB + 10n\log(d)$$

1.1.1 En caso que no exista línea de vista entre el transmisor y el receptor, n tomará el valor 2.225, mientras que la desviación estándar de la variable log-normal $X\sigma[dB]$, será 5.14dB. Se sugiere aplicar el modelo cuando: 1m < d < 32.27m.

1.1.2 Por el contrario cuando exista línea de vista entre el transmisor y el receptor, n será igual a 1.197 y la desviación estándar será 6.48dB. Se sugiere aplicar el modelo cuando: 1m < d < 41.97m

1.2 Por otra parte cuando el transmisor y el receptor se encuentren en los pisos 2 y 3, 3 y 4 ó 4 y 5, se podrá modelar la atenuación media a través de la siguiente ecuación:

$$\overline{PL}(d)[dB] = 57.75dB + 22.25*\log(d) + 9.789[dB]$$

La desviación estándar de la variable log-normal asociada es: 5.40dB. Se sugiere aplicar el modelo cuando: 1m < d < 12.65m.

Al igual que en la referencia [3], se observó que para modelar la atenuación entre 2 habitaciones es necesario considerar los distintos multitrayectos, es decir, no es suficientemente apropiado considerar únicamente la atenuación a través de los materiales que se encuentran en línea recta entre el transmisor y el receptor. Probablemente ésta es una de las razones por las cuales el modelo que asume que la atenuación es causada debido a propagación en espacio libre y al número de paredes entre el transmisor y el receptor, no sea el más adecuado.

III. REFERENCIAS

[1] S. Krishnamoorthy
"Interference Measurements and Throughput Analysis for 2.4GHz Wireless Devices in Hospital Environments,"
M.S. thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2003.

[2] S. Seidel, T. Rappaport
"914 MHz Path Loss Prediction Models for Indoor Wireless Communications in Multifloored Buildings,"
IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 40, Feb. 1992.

[3] **D. Sánchez, L. Grueso**
"Medición y Caracterización de Pérdidas del Trayecto a 2,4 GHz y 5.2 GHz,"
Tesis de grado, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad de los Andes, Bogotá, 1992.

[4] **M.Lecours, J. Chouinard, G.y.Delisle, J.Roy**
"Statistical Modeling of the Received Signal Envelope in a Mobile Radio Channel,"
IEEE Transactions on Vehicular Technology., vol. 37, No 4, Nov. 1988.

[5] **D. Cheung, C. Prettie**
"A Path Loss Comparison Between the 5 GHz UNII Band (802.11a) and the 2.4 GHz ISM Band (802.11b),"
Intel Labs. Corporation, Jan. 2002.

[6] **Wiesbeck, W; Schäfer, T. M;**
Experimental Characterization of Radio Wave Propagation in Hospitals.
IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Volume: 47, NO. 2, May 2005.

[7] **Pablo Maximiliano Robert**
Reduction In Coexistent WLAN Interference Through Statistical Traffic Management,
Doctor of Philosopy in Electrical Engineering Dissertation, Virginia Politechnic Institute and State University, April 17, 2003.

[8] **Stephen Hurley**
Planning Effective Cellular Mobile Radio Networks
IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol 51, No 2, March 2002.