Especialidad en Redes

Facultad de Informática

Universidad Nacional de La Plata

Junio 2009

Título

"Redes Wireless – Tecnología MIMO – Análisis y performance del Estándar de Comunicaciones Inalámbricas 802.11n"

Director
Ing. Luis Marrone

Alumno: Ing. Luques Marcelo

1) RESUMEN

El presente trabajo trata el tema de los nuevos estándares inalámbricos, que permiten la implementación de servicios en redes wireless (comunicación inalámbrica).

El trabajo comienza con una breve descripción del estándar 802.11 y sus derivados; a continuación se detalla el avance que cada uno ha logrado y distintas metodologías utilizadas en lo que a tecnología wireless respecta.

El mismo además, explica el funcionamiento de la tecnología MIMO (Multiple Input Multiple Output) de radio, sobre la cual se apoyan los medios de transmisión de datos que utilizan el estándar.

El trabajo continúa con un especial énfasis en el estándar 802.11n, y el manejo de la información a transportar que el mismo realiza, formas de codificación, performance que logra, etc.

2) JUSTIFICACIÓN

En los últimos años se ha producido un crecimiento en el desarrollo y aceptación de las redes wireless. Este tipo de redes, al igual que las redes Ethernet, proveen servicios del mejor esfuerzo pero, en contraste con éstas, tienen un ancho de banda limitado y una sobrecarga (*overhead)* muy elevada por paquete.

Además, se ha intensificado el uso de aplicaciones multimedia que requieren que la red le garantice que el tráfico de datos que intercambian sea considerablemente elevado en relación a los actuales volúmenes de información que transporta.

Es por esto, que para poder ejecutar este tipo de aplicaciones en redes wireless, los grupos de trabajo han diseñado un nuevo estándar que contempla elevar a valores del orden de hasta 600Mbps, para lograr dicho propósito.

En la actualidad nos encontramos con estándares que están muy por debajo de los valores antes mencionados, pero con una aceptación y penetración muy amplia en el uso cotidiano, lo cual debe ser tenido en cuenta al momento de implementar una solución utilizando el estándar 802.11n. Es intención de este trabajo lograr evaluar y comprender de dicho estándar y su integración con los antecesores.

3) OBJETIVO

El presente trabajo pretende realizar una propuesta para conocer detalles de funcionamiento, comparación y performance entre estándares utilizados en redes wireless y sus nuevas implementaciones, los cuales permiten que nuevos requerimientos de ancho de banda superior, sean satisfechos para poder implementar nuevas aplicaciones.

4) ÍNDICE TEMÁTICO DEL TRABAJO

4.1 Estándar 802.11 – Redes Inalámbricas
4.2 Tecnología de Radio MIMO
4.3 Análisis y performance del Estándar 802.11n
4.4 Conclusiones

4.1 Estándar 802.11 – Redes Inalámbricas

En general, los protocolos de la rama 802.x definen la tecnología de redes de área local, [2].

El protocolo IEEE 802.11 o Wi-Fi es un estándar de protocolo de comunicaciones del IEEE que define el uso de los dos niveles inferiores de la arquitectura OSI (capas física y de enlace de datos), especificando sus normas de funcionamiento en una WLAN.

La familia IEEE 802.11 incluye técnicas de transmisión por modulación y codificación de datos que utilizan todos los protocolos. El estándar original de este protocolo data de 1997, es el IEEE 802.11, [3], con velocidades de 1 hasta 2 Mbps y trabaja en la banda de frecuencia ISM 2,4 GHz., entendiendo por radiofrecuencia a la posibilidad de transmitir ondas electromagnéticas originadas a partir de un generador o una antena, las cuáles abarcan un espectro que está entre los 3Hz y 300 GHz según sus diferentes aplicaciones.

El término IEEE 802.11 se utiliza también para referirse a este protocolo al que ahora se conoce como "802.11 legacy."

La siguiente modificación apareció en 1999 y es designada como IEEE 802.11b, [4], esta especificación con velocidades de 5 hasta 11 Mbps, también trabaja en la frecuencia de 2,4 GHz. Además se realizó una especificación sobre una frecuencia de 5 GHz que alcanza los 54 Mbps, era la 802.11a y resultaba incompatible con los productos de la b y por motivos técnicos casi no se desarrollaron productos, aunque en la actualidad podemos conseguir equipamiento que responde a dicho estándar.

Posteriormente se incorporó un estándar a 54 Mbps., y compatible con el 802.11b que recibiría el nombre de 802.11g. En la actualidad la mayoría de productos son de la especificación b y de la g, siendo estos dos, los más populares en cuanto a su penetración en los hogares y oficinas, logrando una aceptación y desarrollo muy amplio; a su vez, se comienzan a incluir mejoras técnicas a dichos estándares permitiendo por ejemplo duplicar la velocidad,

alcanzando los 108Mbps con nuevos métodos de codificación o la utilización de más canales de emisión de los datos, en las frecuencias utilizadas, esto se conoce hoy como Súper G. Pero la necesidad de lograr mayores volúmenes de transferencias de información y los nuevos desafíos de calidad de servicio para responder a la demanda de audio y video, dió paso al estudio por parte de otro grupo de trabajo de la IEEE, surgiendo así la norma 802.11n que sube el límite teórico hasta los 600 Mbps, con el agregado de nuevas tecnologías de transmisión de datos como ser la tecnología de radiofrecuencia MIMO.

Los protocolos usados por todas las variantes en 802.11, incluídos Ethernet, tienen en común su estructura. Una visión parcial de la pila de protocolos 802.11 está dada en la figura 1. La capa física es la misma que la del modelo OSI, pero la capa enlace de datos en todos los protocolos 802.11 está dividida en dos o más subcapas.

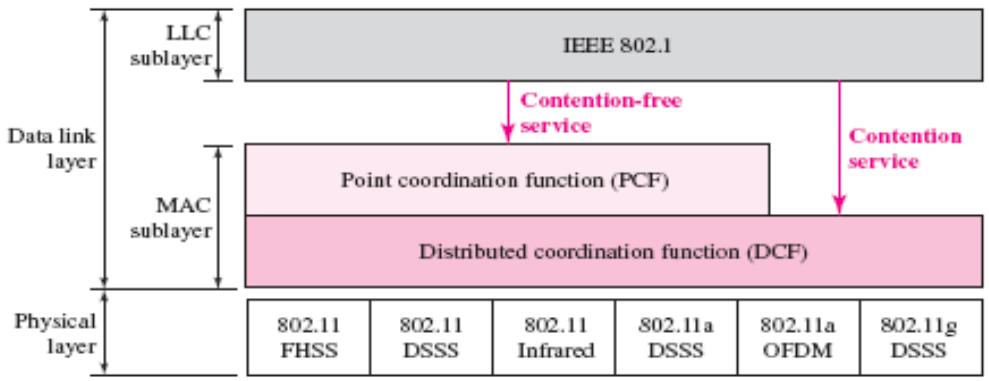

Fig.1 (Origen del gráfico: www.google.com.ar – Imágenes)

En 802.11 la subcapa MAC, entre otras cosas, controla como acceden al medio físico de transmisión los dispositivos que lo están compartiendo, descarta tramas duplicadas o erróneas y corrección de errores de transmisión, si es procedente. Sobre ella está la subcapa LLC quien trabaja para ocultar las diferencias entre las diferentes variantes en 802.11.

Una vista general de una interfaz 802.11 se muestra a continuación en la figura 2, el mismo es un diagrama de bloque de tipo genérico.

802.11

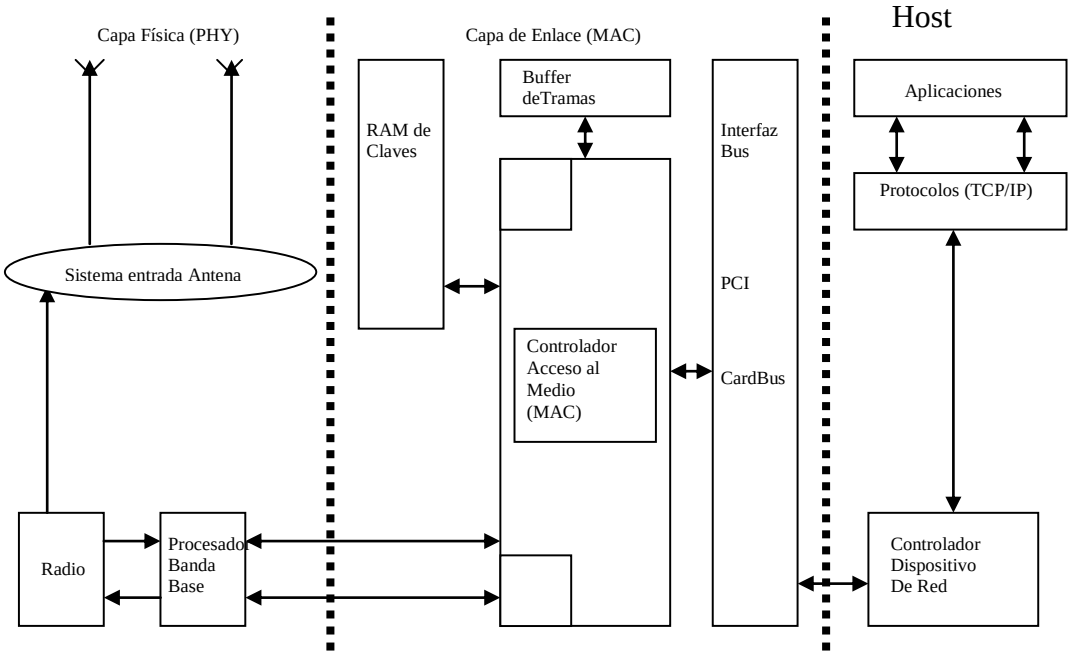

Fig. 2

Como se puede apreciar, tenemos tres secciones bien definidas. La Capa Física (PHY) está compuesta de antenas que entregan la señal de radio a un RADIO o módem (por analogía a los módems telefónicos tradicionales), convirtiendo la señal de radio y extrayendo los bits de datos.

La Capa de Enlace MAC (Médium Access Control) se encarga de recoger las tramas entrantes de las aplicaciones de red del HOST y decide cuando lanzarlas fuera de la antena. Pueden funcionar con varias tramas a la vez, posee un BUFFER DE TRAMAS para almacenar las tramas que están siendo procesadas y tienen una RAM DE CLAVES para aquellos casos donde se quiere cifrar las tramas a enviar.

La capa HOST, es la que mediante las aplicaciones va generando las tramas que luego pasarán a las siguientes capas, [1], [3], [4].

En 1997 el estándar 802.11 especifica tres técnicas de transmisión permitidas en la capa física: método por Infrarrojo (utilizado comúnmente en los controles remotos de los televisores) y otras dos técnicas que usan radio de corto alcance, utilizando modulación como FHSS y DSSS. Ambas usan la banda ISM (2.4 GHz), usados también en Radio-controles, teléfonos inalámbricos y los hornos microondas, estas técnicas alcanzan velocidades de entre 1 o 2 Mbps, [1], [3], [4].

En 1999, dos nuevas técnicas fueron introducidas para lograr gran ancho de banda. Estas son llamadas OFDM y HR-DSSS. Las cuales operan a 54 Mbps y 11 Mbps, respectivamente. En el 2001 una segunda modulación OFDM fue introducida, pero en una banda de frecuencia diferente, de 5 GHz, [1], [3], [4].

Para el caso de este trabajo, solo nombraremos los métodos de modulación y codificación que cada estándar utiliza para poder tener un marco más adecuado de conocimiento, la idea no es realizar un profundo análisis de los mismos, pudiendo ser tema de estudio en otro trabajo, pero es concerniente indicar, que para lograr mayor velocidad y mejor calidad de transmisión, fue gracias a los cambios y métodos de modulación y codificación en las diferentes frecuencias que se utilizan.

Algunas particularidades del estándar

4.1.a) Estructura de la trama

El estándar 802.11 define tres clases diferentes de tramas: datos, control y administración. Cada uno de estos tiene una cabecera con una variedad de campos usados con la subcapa MAC.

Esta a su vez tiene 11 subcampos según podemos ver en la figura 3. El primero de estos es la VERSION de protocolo, el cual permite dos versiones de protocolo para operar en el mismo tiempo y en la misma celda. Después viene el TYPE (dato, control, administración) y campo SUBTYPE que identifica los subtipos de tramas dentro de cada tipo de trama (usualmente RTS, CTS, ACK), luego tenemos TO DS o FROM DS indicando que la trama está yendo o viniendo de un sistema de distribución intercelda. El bit MF significa que está fragmentado, si está activo hay más fragmentos que le siguen. El bit Retry marca una retransmisión de una trama enviada tempranamente. El bit Pwr es usado por la estación base para poner al receptor en modo dormir o sacarlo de este estado. El bit More indica al transmisor que tiene tramas adicionales del receptor. El bit W especifica que el cuerpo de la trama ha sido encriptado usando el algoritmo WEP (privacidad equivalente a cableado). Finalmente el bit O dice al receptor que una secuencia de trama con este bit debe estar procesado estrictamente en orden.

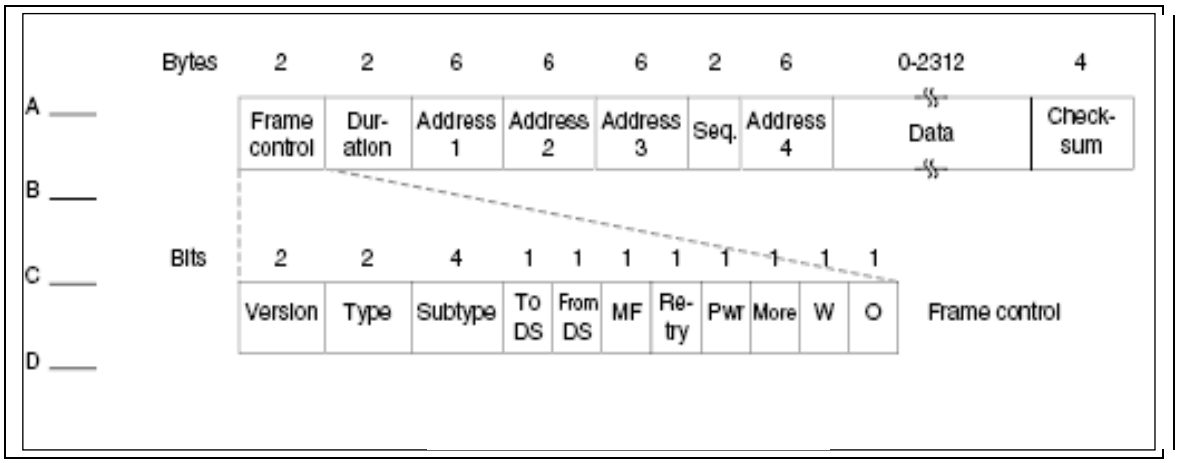

Fig. 3 (Origen del gráfico: www.google.com.ar – Imágenes)

El segundo campo de la trama (DURATION) de datos es la duración del campo, dice cuan larga es la trama. La cabecera de la trama contiene cuatro direcciones, que representan el ACCESS POINT DESTINO (ADDRESS1), ACCESS POINT ORIGEN (ADDRESS2), NODO DESTINO (ADDRESS3) y el

NODO ORIGEN (ADDRESS4), todas en el formato del estándar IEEE 802, las cuales son utilizadas y completadas, según sea necesario por el tipo de conexión establecida.

La secuencia (SEQ) de campo permite a los fragmentos ser numerados. De los 16 bits disponibles de la cabecera o FRAME CONTROL, 12 identifican la trama, y 4 identifican el fragmento.
El campo de datos contiene la información enviada, hasta 2312 bytes, seguido por el checksum. (Check-sum)

Las tramas de administración tienen un formato similar a las tramas de dato, excepto sin una dirección de la estación base. La trama de control es todavía pequeña, teniendo únicamente una o dos direcciones, sin campo de dato, y sin campo de secuencia.

4.1.b) Frecuencias de trabajo y técnicas de modulación.

Estándar	**802.11 a**	**802.11 b**	**802.11 g**	**802.11 n**
Fecha	1999	1999	2003	2009
Velocidad (Mbps)	54	11	54	Hasta 600
Modulación	OFDM	DSSS – CCK	DSSS – CCK OFDM	DSSS – CCK OFDM
Banda (GHz)	5	2.4	2.4	2.4 / 5
Flujo de Datos	1	1	1	1 a 4
Canal (MHz)	20	20	20	20 a 40

En la tabla anterior, tenemos los cuatro estándares y podemos apreciar la banda que utilizan junto a otros datos de importancia. El estándar 802.11g si bien vemos que utiliza un solo flujo de datos, la realidad hoy dice que han logrado llegar a 108 Mbps mediante la utilización de 2 o más flujos de datos, a esto comercialmente se lo conoce como Súper G, pero siempre está siendo utilizado sobre el mismo estándar aunque propietario de cada fabricante.

4.2) Tecnología de Radio MIMO (Multiple Input Multiple Output).

La utilización de varias antenas para transmisión y recepción en radiocomunicaciones representa uno de los avances más importantes desarrollados dado que permiten aumentar la velocidad de transmisión sin necesidad de incrementar ni la potencia transmitida ni el ancho de banda utilizado. Estos métodos de transmisión dependen más directamente de las características de propagación del lugar donde se encuentran implantados, que los sistemas tradicionales de una entrada y una salida [10], [11].

4.2.a) Introducción.

Ha pasado mucho tiempo desde que se realizó la primera transmisión vía radio, y a lo largo de este tiempo todo lo concerniente a comunicaciones inalámbricas ha sufrido una notable evolución. Todas las mejoras introducidas tienen un denominador común, el afán de transmitir mayor cantidad de información, lo más lejos posible, en el menor tiempo, con la mejor calidad y desde el punto de vista económico, con el menor costo.

En esta era actual se demandan altas velocidades de transmisión y mayor calidad de comunicación. En este sentido, se han realizado grandes avances en el campo de la modulación, la codificación y el procesado de señal para lograr trasmitir la mayor cantidad de información en el menor tiempo posible, pero la eficiencia espectral está acotada superiormente por la capacidad de Shannon, recordemos su fórmula:

$C = B \log_2 (1 + S/N)$

***B* es el ancho de banda del canal,**

***C* es la capacidad del canal (tasa de bits de información bit/s)**

***S* es la potencia de la señal útil, que puede estar expresada en vatios, milivatios, etc., (W, mW, etc.)**

***N* es la potencia del ruido presente en el canal, (mW, µW, etc.) que trata de enmascarar a la señal útil.**

que demuestra la eficiencia máxima que puede alcanzar un canal. Este factor unido al hecho de que el espectro de radio es un recurso limitado con anchos de banda asignados finitos y reducidos, supone un límite a la velocidad máxima de transmisión, obtenida como el producto del ancho de banda por la capacidad de Shannon, además no se debe olvidar que el canal de radio es un medio hostil que degrada la calidad de las comunicaciones [10], [11]. Para mantener la calidad de la comunicación, entonces, es necesario, o bien reducir la tasa de transmisión o aplicar técnicas de codificación y corrección de errores que reducen la velocidad neta de transmisión.

Los sistemas MIMO aportan muchas ventajas, pero también mayor complejidad en las etapas de transmisión y recepción, así como una gran dependencia de las características del canal radio generado. El escenario es crucial para que los subcanales generados por cada antena transmisora y receptora estén funcionando correctamente.

El potencial de los sistemas MIMO es muy significativo y supone un gran avance en el campo de las radiocomunicaciones. Tal es su importancia que los sistemas MIMO están presentes en múltiples estándares actuales y en desarrollo (IEEE 802.16 Wimax, IEEE 802.20, 3GPP, IEEE 802.11n, 4G).

4.2.b) Tecnología MIMO.

Como se ha mencionado anteriormente, para incrementar la velocidad de transmisión es necesario entonces o bien aumentar el ancho de banda, o bien aumentar la eficiencia para enviar en el mismo espectro más cantidad de información.

Los sistemas MIMO constituyen una de las tecnologías más prometedoras para conseguir altas velocidades de transmisión, en las comunicaciones inalámbricas, sin necesidad de aumentar el ancho de banda disponible ni la potencia transmitida. A diferencia de lo que ocurre en los sistemas SISO (Simple Input Simple Output) tradicionales, en los sistemas MIMO la dispersión contribuye a aumentar las tasas de transmisión.

Los sistemas MIMO aprovechan las propiedades espaciales del lugar y obtienen un alto rendimiento, por lo que, para conocer el comportamiento del canal MIMO y su rendimiento, es necesario interpretar y entender este concepto. El siguiente gráfico trata de demostrar la utilización de varias antenas tanto sea en transmisión como en recepción en comparación con canales de transmisión-recepción de una sola antena, [8].

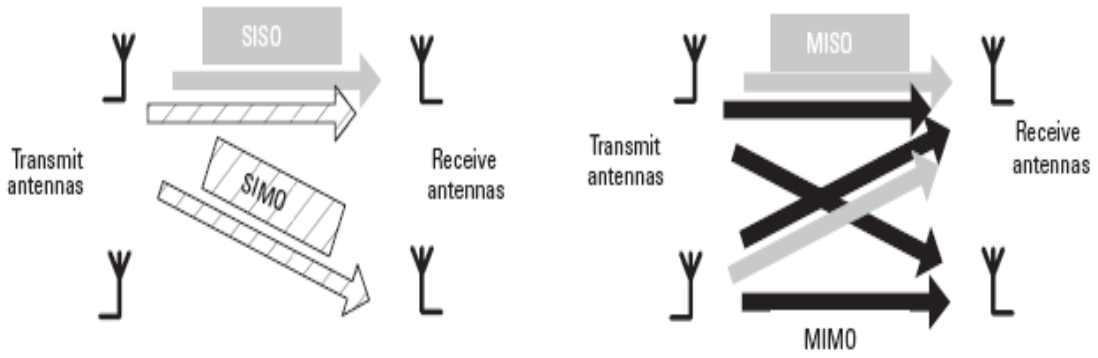

Fig. 4 (Origen del gráfico: **Agilent MIMO Wireless LAN PHY Layer [RF] Operation & Measurement Application Note 1509)**

Según podemos ver la figura 4, nos muestra varias de las combinaciones que se pueden dar a partir del uso de las antenas en transmisión - recepción. Si la emisión – recepción se da con una sola antena, lo denominamos SISO (Simple Input – Simple Output). Si tenemos una única antena de recepción y varias para emisión se denominará SIMO (Simple Input – Múltiples Output). Cuando es a la inversa, es decir varias antenas de recepción y una sola de emisión tendremos lo que se denomina MISO (Múltiple Input – Simple Output) y finalmente para varias antenas de recepción – emisión tendremos la denominación más conocida como MIMO (Múltiple Input – Múltiple Output)

La tecnología MIMO aprovecha la técnica de diversidad espacial para el extremo receptor y transmisor, todo esto tiene por objeto mejorar la fiabilidad y calidad del enlace, reduciendo la tasa de error en bit; esta reducción permite el uso de esquemas de modulación superiores y mejora la eficiencia espectral.

Como los sistemas MIMO hacen uso de múltiples antenas en transmisión y recepción, esto da lugar a la generación de subcanales equivalentes paralelos e independientes los cuales a su vez generan una ganancia que viene dada por los valores propios obteniéndose una matriz (MxN), donde M es la antena y N el subcanal generado por dicha antena

.

Canal 1,1 .....Canal 1,n
Canal 2,1 .....Canal 2,n
Canal 3,1.....Canal 3,n

La magnitud de los canales de esta matriz conformada depende de valores propios que son dados por las características de las antenas utilizadas y la potencia utilizada. El ejemplo del gráfico de la figura 5, muestra los subcanales que se generan. Vemos incluso que se aprovechan las condiciones espaciales,

y para este caso y solo a modo de ejemplo, tenemos un subcanal por cada antena, los cuales todos llegan a la estación donde será procesada la señal de cada subcanal.

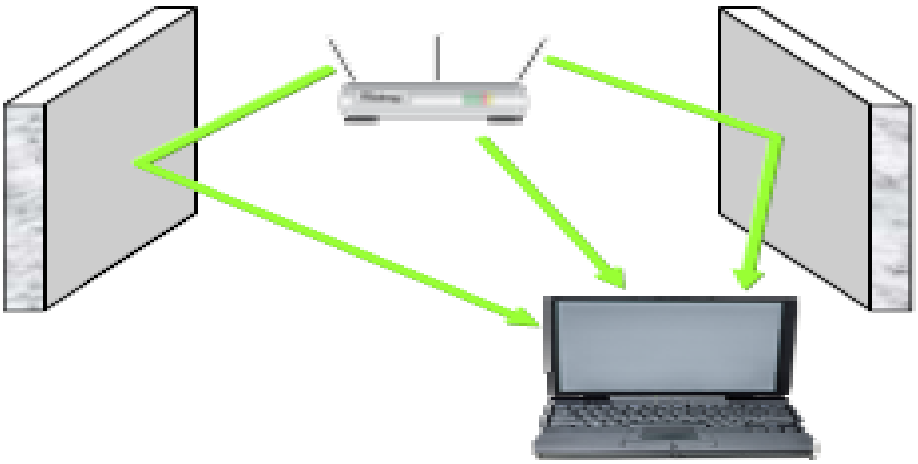

Fig. 5 (Origen del gráfico: **Wi-Fi CERTIFIED™ 802.11n draft 2.0: Longer-Range, Faster-Throughput, Multimedia-Grade Wi-Fi® Networks)**

A partir del armado de canales de transmisión, y si se conoce el estado del canal en el transmisor, es posible transmitir de forma más eficiente, repartiendo adecuadamente la potencia entre los transmisores, por el contrario si se desconoce el estado del canal en transmisión, el reparto de potencia entre antenas se realizará de manera uniforme y por tanto de manera menos efectiva. Por ello el conocimiento del canal en transmisión y recepción permite conformar el sistema MIMO óptimo en transmisión y recepción, [6], [10].

El rendimiento y la mejor eficiencia del canal MIMO se mide a través de la capacidad del canal, a partir de las expresiones de capacidad propuestas por Shannon para canales simples; la capacidad del canal MIMO solo dependerá de la relación señal ruido en el receptor y de la matriz de canal, independientemente del esquema de transmisión o codificación utilizado, [10].

Para la transmisión tenemos el multiplexado espacial que aprovecha el dominio espacial para obtener altas tasas de transferencia y por otra parte la codificación espacio-temporal que está más orientada a mejorar la fiabilidad y

calidad del enlace, mediante el uso de la diversidad espacial desde otra concepción, establece la transmisión de múltiples réplicas de cada símbolo.

Un detalle importante a la hora de nombrar la eficiencia en las tasas de transmisión y recepción, el hecho del uso de arreglos de antenas, según su topología y orientación entre el transmisor y el receptor influenciará en la eficiencia obtenida durante la transmisión-recepción.

En las siguientes líneas trataremos de nombrar muy tangencialmente las diferentes formas de transmitir los símbolos, los cuales a su vez generarán diferentes rendimientos en las tasas de transferencia de datos. Cada uno ofrece ventajas y desventajas a la hora de su elección, los mismos son Multiplexación Espacial, Diversidad Espacial y ganancia por Array.

La multiplexación espacial consiste en la transmisión de flujos de información independientes por las diferentes antenas de manera simultánea; el multiplexado de la información en varios canales consigue aumentar la velocidad global de transmisión de datos en un factor que está dado por la cantidad de canales generados, todo esto sin mayores requerimientos de potencia ni ancho de banda, consiguiendo una eficiencia espectral próxima a la capacidad del canal y sin necesidad de conocer el estado del canal, en correlación el receptor acepta los distintos flujos de datos en forma separada, [10], [11].

La ganancia por diversidad se da en el hecho de transmitir y recibir por varias antenas simultáneamente. Esto mejora la fiabilidad del enlace, mitigando los desvanecimientos y disminuyendo la probabilidad de error. Si los distintos enlaces del canal MIMO sufren desvanecimientos de manera independiente y la señal transmitida se construye de una manera adecuada, el receptor puede combinar las señales recibidas tal que la resultante compense en gran medida las que ha tenido el canal SISO, mejorando así la relación señal a ruido (SNR) de la señal recibida, [10], [11].

La ganancia de array se obtiene a través del procesado de las señales en el transmisor y en el receptor. Combinando coherentemente la señal en el transmisor o en el receptor se consigue un aumento de la relación señal a ruido media recibida. Dado que se pesa la señal transmitida/recibida por cada antena, en ocasiones la ganancia en array también se conoce como ganancia por conformación de haz. Para realizar la combinación es necesario conocer el estado instantáneo del canal en el extremo correspondiente para obtener los pesos de cada señal, [10], [11].

Se puede conocer el estado del canal en el receptor mediante las secuencias de entrenamiento que son enviadas previamente, sin embargo conocerlo en el transmisor es más complicado ya que se requiriere un canal de realimentación. En este sentido se distinguen dos tipos de sistemas para un canal MIMO, sin realimentación o de lazo abierto y con realimentación o de lazo cerrado. Los de lazo cerrado serán adecuados para escenarios de baja movilidad (canal de realimentación menos rápido) mientras que los de lazo abierto son más adecuados en escenarios de alta movilidad.

4.3) Estándar 802.11n.

La necesidad de integración y la aparición de nuevos servicios ha hecho que los anchos de banda que manejan los actuales estándares inalámbricos no terminen siendo apropiados. Ante esto, se generaron grupos de trabajos (TGn y Wwise) respaldados por distintas empresas del sector. Año a año en principio y ahora con mayor frecuencia, surgieron borradores de un nuevo estándar que promete la velocidad, calidad de servicio y seguridad, para dar soporte a las necesidades de los actuales protocolos. TGn es quien ha tenido la mayor cantidad de adhesiones a su propuesta, a esta altura el estándar ya está en estado definitivo, pero desde hace varios años atrás, aún en estado borrador, se ha lanzado equipamiento al mercado.

4.3.a) Estado del arte.

La nueva generación del estándar IEEE 802.11n basada en la tecnología Wi-Fi se espera que brinde el medio necesario para el desarrollo de nuevas y más veloces capacidades de transferencia de datos entre equipos en forma inalámbrica.

La realidad nos ha llevado a buscar mayores tasas de transferencia tanto sea en una red cableada como una inalámbrica, pero como sabemos el medio hostil que representa el aire, imposibilita a veces poder conseguir la calidad de servicio necesaria para soportar transferencias de datos con tasas de velocidad iguales o superiores a una red cableada. Partiendo desde esta consigna, la IEEE pidió el desarrollo de un nuevo estándar que alcance velocidades superiores a los 100Mbps. De esta consigna, surgieron dos grupos de trabajo que han elaborado distintas propuestas surgiendo así proyectos que en la actualidad se encuentran en estado finalizado; sin embargo ya el borrador 2.0 dió lugar a que muchos proveedores y laboratorios hayan realizado pruebas, y se fabricaran equipos que han salido al mercado para su venta dado

que la norma es ahora ampliamente considerada estable, con pequeñas modificaciones realizadas al proyecto original.

Las pruebas realizadas por los proveedores y laboratorios independientes muestran que el proyecto de los productos 802.11n puede llegar hasta el doble de lejos y son tanto como cinco veces más rápido que la tecnología 802.11a/b/g muy difundida y con una aceptación muy amplia en el mercado mundial. El proyecto 802.11n ofrece entre otras posibilidades cubrir cómodamente una casa típica con suficiente ancho de banda para apoyar los volúmenes de transferencia de datos que requieren las aplicaciones de vídeo, los juegos, los datos y las aplicaciones de voz, como así también otros entornos esperan para poder apoyar aplicaciones de misión crítica con el rendimiento, QoS y capacidades de seguridad comparable a Ethernet.

El siguiente paso lógico para la industria es la interoperabilidad, la cual abarca la compatibilidad entre productos desarrollados en las varias versiones draft que circulan del estándar 802.11n, incluyéndose además compatibilidad con versiones de protocolos anteriores, certificaciones QoS – WPA/WPA2, para responder a requerimientos de aplicaciones de misión crítica y de seguridad, dados los nuevos anchos de bandas que utilizan las aplicaciones multimedia actuales.

Otro dato importante y que es común en los canales inalámbricos, se trata del hecho que la señal se refleja sobre paredes y objetos, como muebles, lo cual también genera una ganancia de señal, a diferencia de los anteriores estándares en donde la señal débil era desechada.

A medida que se avanza, los desarrollos apuntan a mejorar aún los estándares y sus velocidades. Ya se ha comenzado a hablar de 802.11vht (Very Higth Throuhgput) el cual indican estaría en el orden del Gigabit, pero todavía dicho proyecto se encuentra en un estado de investigación.

La versión final de 802.11n se encuentra terminada y aprobada. Según se establece, dicha versión ya está disponible en su estado final, aunque distintos proveedores han lanzado al mercado equipamiento que permite realizar un análisis del comportamiento del estándar, tanto en relación con la compatibilidad, los alcances físicos que logra la señal en relación al medio ambiente, la velocidad efectiva de información de datos según la calidad de enlace, etc, etc.

Para poder lograr la compatibilidad con anteriores versiones, se establecieron tres diferentes modos de transmitir para el estándar IEEE 802.11n denominados: Legacy Mode, Mixed Mode, y Green Field, [9].

Legacy Mode se utiliza para preservar la compatibilidad con versiones anteriores con las existentes IEEE 802.11a / g. Al operar en este modo, los dispositivo utiliza una sola entrada, una sola salida (SISO) y la transmisión es 100% con IEEE802.11 a/b/g compatibles.

Mixed Mode combina la herencia y la transmisión alto rendimiento HT. En este modo, el dispositivo tiene la capacidad de transmitir paquetes en modo Legacy, HT o MIMO según sea el sistema con el cual desee establecer comunicación.

Por último, el modo de funcionamiento Green Field no utiliza preámbulo del modo Legacy y solo puede utilizarse únicamente para la comunicación en aquellos sistemas OFDM-MIMO.

Estos modos de transmisión son actualmente opcionales, pero la verdadera mejora en el rendimiento de la velocidad efectiva de información se da cuando se opera en un ambiente donde tanto emisor como receptor utilicen IEEE 802.11n y un mínimo de 2x2 antenas según tecnología MIMO.

Preámbulo modo Legacy

L-STF (Legacy Short training Field)	L-LTF (Legacy Long training Field)	L-SIG (Legacy Signal field)	Data

Fig. 6

Preámbulo modo Mixed

L-STF (Legacy Short training Field)	L-LTF (Legacy Long training Field)	L-SIG (Legacy Signal field)	HT-SIG (High Throughput Signal field)	HT-STFs (High Throughput Short training field)	HT-LTFs (High Throughput Long training field)	Data

Fig.7

Preámbulo modo Green Field

L-STF (Legacy Short training Field)	L-LTF (Legacy Long training Field)	HT-SIG (High Throughput Signal field)	HT-LTFs (High Throughput Long training field)	Data

Fig.8

Figuras 6, 7, 8 (Origen de los gráficos: **Agilent 89600 Vector Signal Analysis Software Option B7Z: IEEE 802.11n MIMO Modulation Análisis** Self-Guided Demonstration)

En referencia a todo lo antes citado, existen trabajos realizados [13], [14] sobre ámbitos similares a los presentados aquí y en la misma situación (sin línea de vista), que señalan cual podría ser la mejor configuración a utilizar en la relación MIMO-802.11n. Los mismos hacen notar en sus investigaciones y como datos relevantes, que llevar el canal de 20MHz a 40MHz, no siempre logra el efecto deseado, si no por el contrario, demuestran que con el objetivo de aumentar la tasa de datos y no aumentar la tasa de error, el aumento del ancho de banda, provocó un ligero aumento en las tasas de error, pero aún así, configurando el escenario adecuado, en referencia a la aplicación de múltiples antenas en la transmisión-recepción y seleccionando la configuración

adecuada se logra una mejora a partir de una cierta potencia indicada en 5dB aproximadamente.

4.3.b) Análisis y performance Estándar 802.11n.

Entre variantes y cambios que se han manejado, y con la intención de incrementar la velocidad de transferencia, se utiliza el canal existente de 20 o de 40 MHz, dos antenas MIMO como mínimo (2 x 2), y algunos cambios en la capa de MAC, para que básicamente se eleve la capacidad de canal a unos 135 Mbps; además incrementar el tamaño de carga útil de 2304 bytes a más de 8000 bytes si es que se pueden entregar con éxito SUMA o RÁFAGAS de tramas. El concepto de SUMA, establece el empaquetamiento de múltiples paquetes de protocolos de red de alto nivel en una sola trama. Cada paquete obtiene un encabezado de subtrama con direcciones de origen - destino y la longitud para delimitar el paquete. La SUMA solo puede ser utilizada cuando se empaquetan tramas que viajan al mismo receptor, asimismo a nivel físico se pueden implementar las RÁFAGAS donde aquí se efectúa un mecanismo similar al utilizado en la SUMA pero a nivel físico empaquetando tramas en una única trama denominada PLCP con un delimitador entre cada una, el intercambio de las tramas SUMA solo es posible cuando el canal ha sido configurado, para ello el remitente envía una trama de “Control de Suma de Iniciadora” (IAC), pudiendo estas, solicitar medidas del canal, tipos de codificación en la trama suma, etc. Como contestación se recibe una trama “Control de Suma de Contestador” (RAC), haciendo que cierre el bucle, notificando al remitente que se aceptará la trama de suma y los valores que se establecieron, es decir, envía una señal de entrenamiento al receptor, quien la recibe, analiza y contesta.

La propuesta de expandir el tamaño del canal de 20 MHz a 40 MHz, daría lugar a un caudal eficaz máximo de 315 Mbps con multicanalización por

división espacial MIMO; este cambio podría disminuir el número de canales disponibles de 22 a 11 en la banda de 5 GHz, para conservar la compatibilidad, se permitirían el uso de canales de 20MHZ, y cuando las estaciones tienen grandes volúmenes de información a transmitir, negociaría automáticamente en forma temporal el ancho del canal, pudiendo utilizar los 40MHZ (aún en aquellos lugares donde la legislación no permite la utilización de este ancho de canal).

Finalmente podemos indicar que la capacidad del canal es variable según se utilicen distintos flujos espaciales (1 a 4), bits codificados por subportadora (6 para 64 QAM, 4 para 16 QAM) y ancho de banda del canal (20MHz – 40MHz), pero puede estar dentro de los rangos que van de 60Mbps a 540Mbps con los requerimientos más altos (4 flujos espaciales – 64 QAM).

En cuanto a las velocidades que se pueden alcanzar, con la utilización de un solo flujo espacial y en modo básico, la velocidad es idéntica a la de 802.11a, a partir de allí, y utilizando parámetros de modulación, codificación y ancho de canal, podemos llegar a un rendimiento máximo de 630Mbps (4 canales de 40MHz, 64 QAM e intervalos transmisión cortos), los modos de transmisión que la tecnología MIMO propone son: Básico Obligatorio, donde cada antena modula un flujo espacial y lo transmite de forma idéntica; y dos modos opcionales que aprovechan la información aprendida sobre el canal de radio. Una calidad de señal superior, permite una mayor tasa de transporte de datos, se denominan MIMO Básico con Formación de Emisiones, donde cada canal se tiene que codificar de la misma manera, este modo implica que varios flujos espaciales se transmitirán a la misma capacidad y codificación. El otro modo es MIMO Avanzado con Formación de Emisiones, funcionando de modo similar al anterior pero con la posibilidad de utilizar diferentes potencias de transmisión en cada flujo de datos como así también la codificación utilizada. Este modo también incluye una nueva constelación 256 QAM, que puede transmitir 8 bits por subportadora.

En cuanto a la calidad de servicio las redes inalámbricas desde su comienzo, tienen una capacidad limitada, pero existe un grupo de tareas (Grupo E) que está desarrollando estándares para proporcionar calidad de servicio mediante el funcionamiento de múltiples colas y reserva del medio. 802.11e se dice definirá nuevos medios de acceso a la red y un protocolo de acuse de recibo en bloque para tratar de evitar las operaciones de red dedicadas a sobrecarga. Otro grupo de tareas (802.11k) está trabajando en realizar medidas para optimizar el uso de la capacidad de radio, evitar interferencias y lograr una mejora en la calidad de comunicación en el medio físico (aire). En cuanto a la seguridad (802.11i) no se han tenido mayores avances, habiendo visto las vulnerabilidades que WEP tenía, aparecieron WPA, WPA2, TKIP y trajeron alguna solución; pero se dice de 802.11i aporta un modo AES como método de encriptación que permite una autenticación y un roaming entre puntos de acceso, más robusto, pero lamentablemente se sabe que cuanto mayor es el grado de seguridad que se quiera establecer en la transmisión inalámbrica, menor será la tasa de transferencia de datos entre emisor-receptor.

Es bueno citar además que en forma gradual otros grupos de tareas, como el 802.11p está desarrollando extensiones para el uso en automóviles, denominado Acceso Inalámbrico en entorno de vehículos; el 802.11r, está desarrollando protocolos de itinerancia, mediante el desplazamiento de claves por la red; el grupo 802.11s, trabaja sobre estándares en redes malladas.

4.3.c) Ámbitos físicos utilizados para los análisis.

Para la realización de estos análisis de performance que responde al estándar IEEE 802.11n, se utilizará equipamiento que ha sido fabricado respondiendo al borrador 2.0 de dicho estándar(IEEE 802.11n D2.0), se han seleccionado entornos típicos de uso para este tipo de tecnología inalámbricas y otros equipos al azar que cumplen con los estándares IEEE 802.11b/g, estos

ámbitos son: interiores, exteriores y mixtos, en los que el transmisor se encuentra en el exterior y el receptor en el interior.

La elección de los ámbitos de prueba se ha realizado en base al uso común que se hace de esta tecnología actualmente (interior de una casa, enlace entre casas a distancias inferiores a los 100 mts); dentro de estos ámbitos se estudia las situaciones sin línea de vista (NLOS) tanto sea para los casos de exteriores e interiores, dado que es la situación que puede presentar mayores complicaciones al momento de establecer el vínculo entre punto de acceso y cliente. El equipamiento será utilizado tal cual como se ofrece en su versión comercial al público, dado que las distancias que separan los puntos emisor-receptor, como se mencionó son relativamente cercanas, además, se intenta ver cuál es la capacidad real que tiene el equipamiento utilizado en las pruebas.

A continuación se ofrece la lista completa del equipamiento utilizado.

- Enrutador TP-LINK Modelo TL-WR941ND (3 antenas)
- Placa pci TP-LINK Modelo TL-WN951ND (3 antenas)
- Enrutador LINKSYS Modelo WRTG54 (2 antenas)
- Placa pci Encore 802.11b/g (1 antena)
- Pc Escritorio (Sempron 1800, 756 Ram, Hd. 40Gb)
- Placa Usb Modelo TL-WN821N (2 antenas internas)
- Notebook Compaq Presario F755LA

Fig. 9 (Equipamiento 802.11b/g/n 3T x 3R, MIMO, modelo TL-WR941ND, placa PCI modelo TL-WN951N.)

Fig. 10 (Linksys WRTG54 - Placa Encore 802.11b/g.)

Equipamiento 802.11b/g con doble antena (figura 10), la cual actúa tomando la señal aquella antena que recepcione con mejor intensidad. Las placas PCI, fueron colocadas en la PC de escritorio, mientras que en la notebook Compaq Presario F755LA, se tiene la placa 802.11b/g integrada de

fábrica y una placa USB 802.11b/g/n, las cuales se habilitarán o deshabilitarán según sea necesario para cada prueba.

Fig. 11 (Placa USB 802.11b/g/n 2T2R, modelo TL-WN821N.)

Fig. 12 (Notebook Compaq Presario F755LA, y placa USB 802.11b/g/n conectada).

Habiendo expuesto el material utilizado (Figuras 9 a 12), se describe a continuación cada uno de los casos de estudio que se analizaron:

4.3. c.1) Ámbitos interiores

Se ha considerado un lugar muy común y tradicional como ser una casa de familia tipo, que tiene diferentes características constructivas, con elementos típicos que la constituye, paredes exteriores de 30cm, paredes interiores de 15cm, puertas placa de madera, cielorrasos de yeso, techos de chapa galvanizada, aberturas metálicas tradicionales, elementos de cocina de uso estándar(microondas, controles remotos varios, muebles de madera, Tv); la distribución de los ambientes da lugar a que se pueda operar en zonas donde se tenga línea de vista completa y total o zonas donde no se logre línea de vista. Con la intención de probar el equipamiento en situaciones de uso cotidiano y para ver cómo se desenvuelven en el peor de los escenarios, los equipos que intervendrán en las pruebas serán colocados en sitios donde no se logre línea de vista (NLOS) directa.

A continuación se ofrece un gráfico (figura 13) de distribución interno de la casa y la ubicación donde está cada equipamiento que se utilizará en las pruebas.

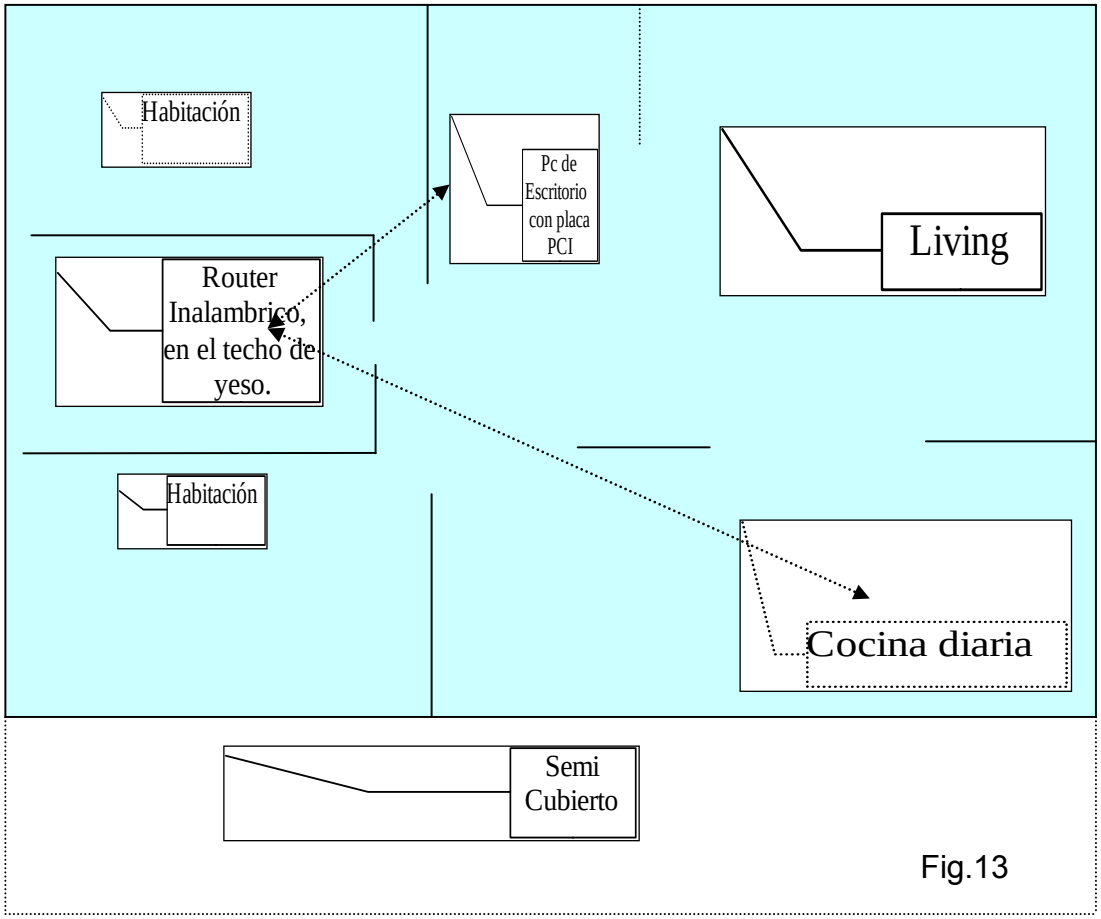

Fig.13

Las medidas reales que se manejan son de 117m^2 y sumando el sector semicubierto estaríamos en 167m^2.

Como se puede apreciar, el punto de acceso, queda sobre la zona media de las habitaciones, para ser más exacto, en la claraboya de ventilación del techo del baño, siendo este un lugar donde no se pueda lograr línea de vista directa en ningún caso, hecho que permitió comparar la señal con la cual cada dispositivo cliente configurado en modo infraestructura y seguridad habilitada (WEP 64 bits), se conectó al punto de acceso inalámbrico, viéndose que cuando se utilizó 802.11b, ambos equipos clientes lograron conexión a 11mbps constante; si el estándar era 802.11g, para el caso de la pc de escritorio, la velocidad tenía una fluctuación constante entre 36Mbps, 40Mbps o 54Mbps, mientras que la notebook con su placa wireless de fábrica, ubicada a pocos centímetros de la pc de escritorio lograba estar estable en 54Mbps;

cuando se pasó al estándar 802.11n, el cliente wireless de la pc de escritorio logró fluctuar entre 216 - 243Mbps, mientras que la placa cliente de la notebook se vinculó a 270Mbps; en ambos casos en forma estable, aunque resulta conveniente comentar que para lograr trabajar en el estándar 802.11n fue necesario la instalación del driver del fabricante y el seteo del software instalado correspondiente en dicho estándar, dado que de no ser así automáticamente negoció la velocidad a 54Mbps (802.11g)

Vale aquí realizar la siguiente aclaración en referencia a las velocidades que se citan. Por un lado, el cliente provisto por el fabricante tiene además una herramienta que brinda datos de control, esta herramienta indicaba calidad de señal excelente, y los siguientes valores:

Velocidad de recepción: 217-243Mbps. (Current Receive Rate)
Velocidad de transmisión: 11-13Mbps. (Current Transmit Rate)

Para ambas placas instaladas tanto en la PC como en la Notebook.
Estos datos hicieron presumir que entonces tenemos por un lado la velocidad de “bajada” desde el punto de acceso hacia el cliente y por otro lado una velocidad de “subida” desde el cliente hacia el punto de acceso, en analogía con un enlace asimétrico o quizás el tratamiento sea velocidad de transferencia real y velocidad de transferencia soportada por la norma. En cuanto a estos datos, vale aclarar que la misma herramienta provista por el proveedor del equipamiento, mostraba que dichos valores eran fluctuantes, pero en cuanto a la velocidad de transmisión, nunca se pudo establecer valores que superaran los 13Mbps reales, en una transferencia de archivos entre clientes.

Se procedió a transferir un archivo de 207Mb, desde la Pc de Escritorio con sistema operativo Windows XP, hacia una notebook Compaq F755LA también con sistema operativo Windows XP, ambos equipos clientes ubicados cerca el uno del otro, exactamente en un mismo escritorio, sin línea de vista directa al punto de acceso, pero lo bastante cerca al mismo, como para tener una calidad de señal muy buena, obteniéndose los siguientes resultados obtenidos en la figura 14.

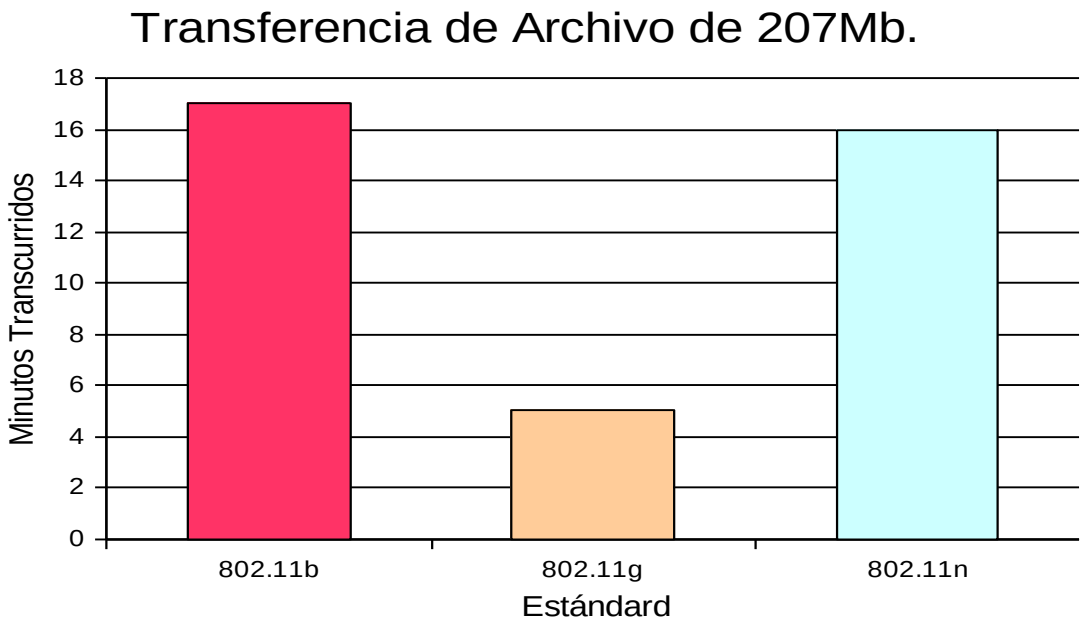

Fig. 14

Nótese la clara diferencia que se logra según el estándar que se utiliza, en la velocidad final lograda entre los clientes y el punto de acceso y su relación en la transferencia de archivos.

A continuación se procedió a colocar la notebook en el lugar más alejado desde donde se encuentra el punto de acceso y diríamos el más complicado con respecto a la calidad de la señal: *la cocina diaria*. Se dejó la pc de escritorio en el mismo lugar (dado que normalmente este tipo de equipamiento queda fijo), y en modo 802.11g, la conexión con el punto de acceso volvió a fluctuar entre los 36Mbps – 54Mbps; en cambio la notebook logró establecer un vínculo estable a 54Mbps con el mismo estándar. En modo 802.11b, ambos clientes alcanzaron los 11Mbps estables sin problemas. Cuando se utilizó 802.11n, la pc de escritorio volvió a variar entre 216 - 243Mbps, y la notebook ubicada en uno de los extremos más alejados de la propiedad, logró vincularse a 143-160Mbps. A partir de ello y utilizando el mismo archivo que se transfirió en la prueba anterior, se realizó la misma prueba, obteniendo el siguiente resultado.

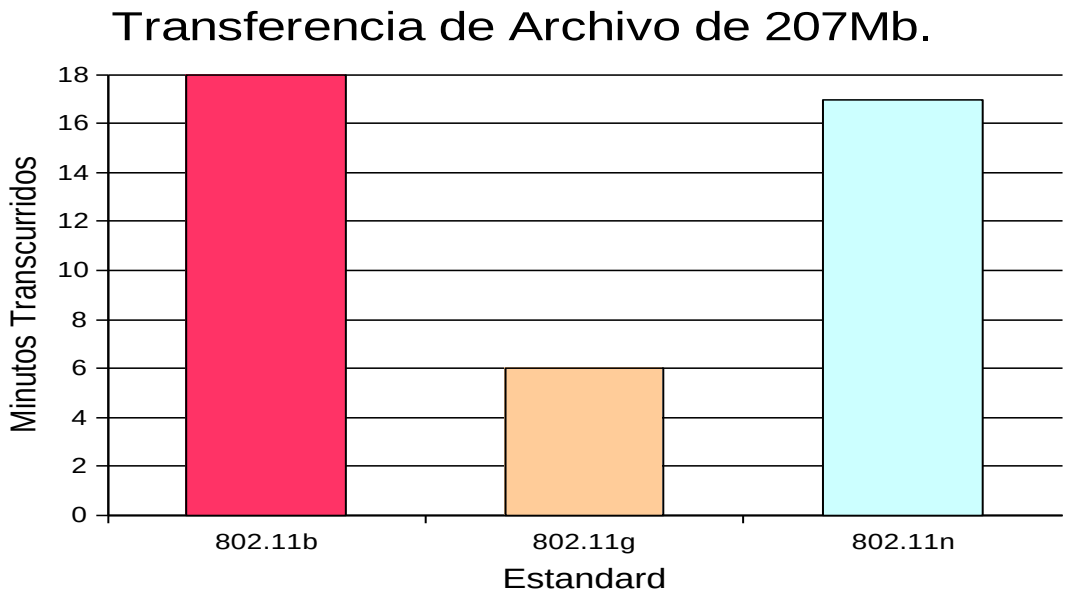

Fig. 15

Como vemos (figura 15), se mantuvo la misma relación con respecto a la primera prueba que se hizo. En este caso si bien la portátil estaba en el extremo más alejado de la casa, pudo establecer la comunicación con el punto de acceso relativamente a las mismas velocidades de transmisión que antes se expusieron, por ello los valores en la transferencia de los datos quedaron casi

idénticos a cuando se colocaron ambos clientes en el punto más cercano al punto de acceso.

Con ánimo de establecer más datos de prueba, se modificó el estándar utilizado en la notebook y se colocó 802.11g; la pc de escritorio continuó en 802.11n, cuando se procedió a transferir el mismo archivo, la transferencia se realizó en 11 minutos, siendo que cuando ambas placas trabajaron en 802.11g se logró transferirlo en 6 minutos. Se notó gran cantidad de retransmisiones de tramas por errores de CRC (Cyclic Redundancy Check o Control de Redundancia Cíclica) en las mismas según mostró en software que provee el fabricante de la placa PCI 802.11n instalada en la pc de escritorio, según hemos visto cumpliéndose lo citado en secciones anteriores acerca de este tema.
Si en cambio el archivo a transferir era pequeño (3Mb), y ambas placas trabajando en 802.11n la transferencia se logró en 5" (cinco segundos) lo cual podría indicar que en transferencias de archivos pequeños la velocidad podría incrementarse. Si tomamos estos 5" como válidos, podemos decir que 207Mb se trasferirán en 345" (trescientos cuarenta y cinco segundos, algo así como 5 minutos 45 segundos), aunque sin embargo hemos visto que esto no se ha cumplido asumiendo esta relación.

4.3. c.2) *Ámbitos Exteriores*

Este caso de estudio analizado contempla un lugar abierto, con los obstáculos típicos existentes en casas de barrio. Calle por medio, construcciones de una o dos plantas como máximo. Las pruebas se hicieron colocando un cliente en un sitio ubicado frente a la casa donde se desarrolló la prueba en INTERIORES, estando el mismo en diagonal.

Para poner un poco más compleja la comunicación entre emisor y receptor, se ubicaron en lugares sin línea de vista directa (NLOS) y haciendo

un análisis del espectro se pudo comprobar la existencia de otras redes dentro del área que tienen buena penetración, lo cual agrega complejidad a la situación, ya que podemos tener interferencia en caso de utilización del mismo canal. La siguiente figura muestra en detalle la ubicación que se estableció para los equipos clientes y el punto de acceso y se volverá a transferir nuevamente el mismo archivo antes utilizado para determinar velocidad que logra cada uno de los estándares. La distancia aproximada que se está cubriendo es de 55Mts aproximadamente, según se observa en la figura 16.

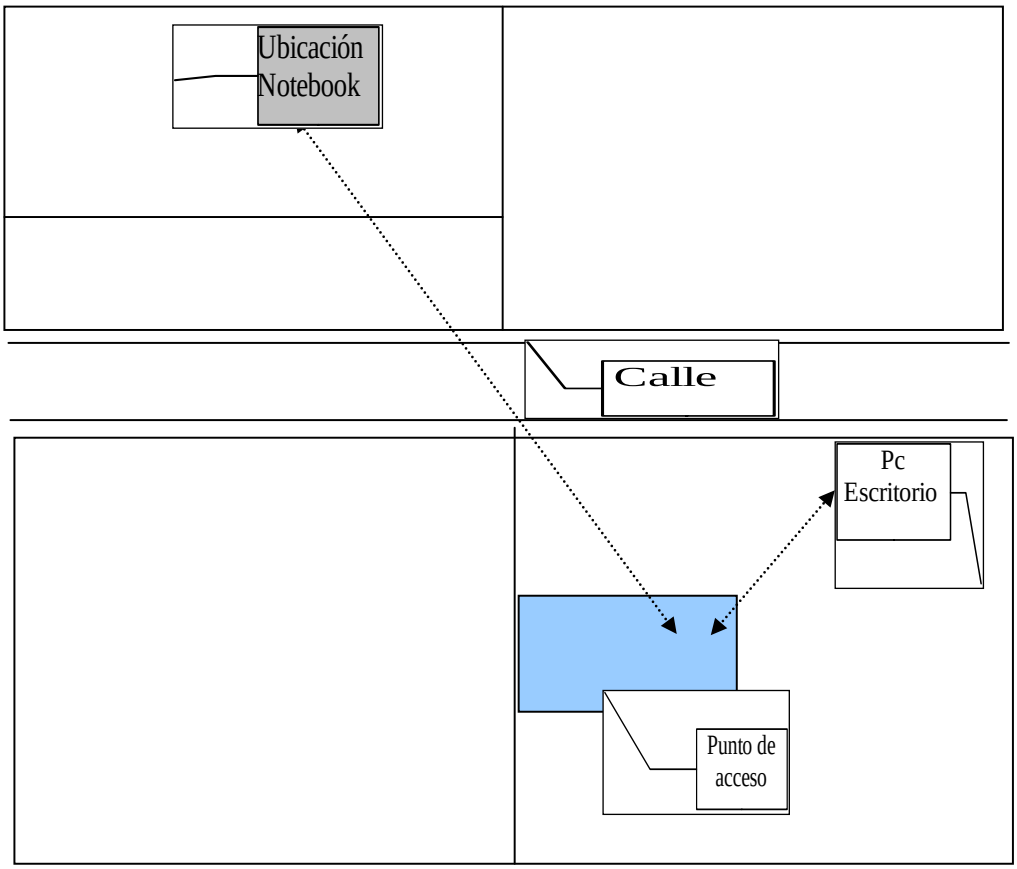

Fig. 16

La imagen de la página siguiente (figura 17) es una foto satelital real tomada mediante GoogleEarth, que muestra la ubicación exacta de ambos lugares utilizados en las pruebas.

Fig. 17

Como vemos en la imagen (figura 17), se procedió a colocar la notebook en el lugar más alejado desde donde se encuentra el punto de acceso y diríamos el más complicado con respecto a la calidad de la señal: *una construcción en el terreno de enfrente*. Se volvió a dejar la pc de escritorio en el mismo lugar desde donde se hicieron todas las pruebas de interiores y en modo 802.11g, la conexión con el punto de acceso volvió a fluctuar entre los 36Mbps – 54Mbps; en cambio la notebook NO LOGRÓ establecer un vínculo, dado que si bien a veces se conectaba, al instante perdía la conexión, es decir la fuerza de la señal era débil como para poder conectarse.

En modo 802.11b, ambos clientes alcanzaron los 11Mbps estables sin problemas, pero las velocidades de transferencias fueron pobres, aunque al menos se mantuvo y se pudo trabajar, aún con una baja calidad de señal.

Cuando se utilizó 802.11n, la pc de escritorio volvió a llegar a los 216-243Mbps que mostraba el software instalado, y la notebook ubicada en uno de los extremos más alejados de la propiedad, no logró vincularse de ninguna

manera, aunque aquí notamos que otra red de un proveedor local generaba interferencia por encontrarse en el mismo canal. Se cambió el punto de acceso a otro canal que no mostraba interferencia y ubicados nuevamente en el extremo más alejado, no pudimos vincularnos, pero pudimos hacerlo cuando quedamos sobre la vereda de esta propiedad donde estábamos haciendo las pruebas, es decir la distancia que se alcanzó a cubrir aproximadamente fue de 30 mts en situación NLOS según indicamos. La velocidad lograda en la comunicación por el cliente (lo hace en forma automática) fue equivalente a trabajar en el estándar 802.11b, dada la calidad de señal que se tenía en ese lugar.

Solo a modo anecdótico, se volvió a colocar la notebook en 802.11g, y el punto de acceso en 802.11n, nos volvimos a ubicar en el extremo más alejado del sitio, y el software cliente de la placa instalada en la notebook indicaba que se conectó a 54Mbps, pero la comunicación de datos volvió a notarse inestable y errática, notándose esto por el tiempo que se empleó en transferir el mismo archivo de 207Mb, que estuvo en 311 minutos, valor que está muy por encima incluso del alcanzado por la norma 802.11b.

Otro elemento que se pudo notar fue que las condiciones climáticas afectaban la calidad de señal que se tenía, como ser, un día caluroso (30º o más) lograba tener una calidad de señal mejor que aquellos días frescos o nublados. Es decir cuanto más seco y caluroso era el día, aumentaba la calidad de señal, y esto se notaba en los estándar 802.11b/g.

4.4) Conclusiones

Dado el gran interés que suscitan los sistemas wireless en ámbitos de uso cotidiano, y motivado por su capacidad para mejorar la eficiencia en la transmisión de datos, se ha realizado un trabajo de análisis y performance del estándar IEEE 802.11n, el cual a su vez, hace uso de la tecnología de radio denominada MIMO. Dicho trabajo ha consistido en la capacidad de transmisión de datos en diferentes escenarios y condiciones de conectividad entre punto de acceso y clientes.

Los lugares estudiados han sido interiores, exteriores mixtos. En el caso de interiores, el despliegue de redes inalámbricas de área local es una realidad hoy en día pero con unas velocidades de transmisión netas muy por debajo de las ofrecidas por las redes cableadas. El estándar 802.11n junto a los sistemas de radio MIMO permitirán que las WLAN sean una tecnología más competitiva y adaptada a las necesidades de comunicación. Los casos de exteriores mixtos están más enfocados a diferentes tipos de comunicaciones, punto multipunto o punto a punto de redes que hoy en día tienen un despliegue de áreas más extensas que las LAN tradicionales.

Los casos estudiados, se han centrado en sistemas MIMO 3×3/2x2, con equipamiento de serie de una marca en particular, que adoptó una versión de estándar que al momento de la compra se encontraba en modo de revisión, y dicho equipamiento puede presentar o no, fallas de fabricación o anomalías. Solo se contó con un juego de equipos sin poder contrastar los datos con otro equipamiento de la misma marca y/o modelo.

Todo el trabajo fue sobre ámbitos de diferentes características (mayor o menor número de obstáculos) y diferentes condiciones de propagación, pero ámbitos al fin que son los más tradicionales para este tipo de aplicaciones, incluso sin presencia de línea de vista entre emisor – receptor.

Los equipos de prueba utilizados son de propósito general, habituales en un hogar, fáciles de conseguir. Las mediciones se han realizado en la banda de 2.4 GHz donde se tiene hoy día el mayor desarrollo del estándar de redes IEEE 802.11 b/g.

A partir del estudio realizado se han obtenido las siguientes conclusiones respecto a la performance del estándar 802.11n en referencia a los estándares 802.11b y 802.11g:

- La velocidad de transferencia en todos los estándares muestra una gran dependencia con la línea de vista o cercanía entre transmisor y receptor. Se ha observado al analizar la comunicación entre punto de acceso y cliente, como ante la falta de presencia de línea de vista, la velocidad negociada se atenúa, pero al acercarnos o al darle línea de vista, se eleva, incluso para distancias relativamente altas entre elementos receptores. En situaciones NLOS, este componente genera una menor performance de los estándares, proporcionando valores de transferencia de datos menores o en el peor de los casos, directamente imposibilidad de conexión.

- Las características de los ambientes influyen notablemente sobre el comportamiento de la velocidad de conexión entre punto de acceso y cliente. Así en las áreas NLOS de los ambientes interiores más alejados se ha observado que las características de la construcción condiciona también la velocidad a la cual se conecta. Cuanta más obstrucción presenta, menos velocidad. Por este motivo si bien la ubicación del punto de acceso en este trabajo puntualmente(claraboya de ventilación del baño) puede resultar extraño, este sitio permitió una dispersión de la señal en un radio muy amplio, incluso sobre sitios aledaños.

- El uso de sistemas MIMO y equipamiento 802.11n que se utilizó en esta prueba particularmente, no dejó ver la mejora en la capacidad del canal y velocidad de transferencia respecto a los canales SISO. Así para una

transferencia de un canal SISO se tiene velocidad de transferencia media de aproximadamente 200K/seg en 802.11b y 600K/seg, para 802.11g, mientras que un sistema MIMO 3T×3R presentó una capacidad de transferencia similar a la de 802.11b, aun utilizando todo equipamiento del mismo fabricante en 802.11n D2.0, para archivos de gran tamaño y cuando los archivos fueron de menor tamaño se acercó(e incluso hasta un poco lo mejoró) a la capacidad de transferencia del estándar 802.11g, pero en ninguno de los casos fue superior como se esperaba.

- Se ha observado como la ubicación espacial condiciona el comportamiento de la capacidad de transmisión del canal. Su comportamiento, al igual que el de la tasa de recepción, depende de distintos aspectos como la presencia de línea de vista o la orientación que se les da a las antenas. Por ello cuando el equipamiento se colocó muy cerca de los clientes las velocidades indicaban mejoras sustanciales, pero desde el punto de vista de la práctica es necesario que dicho equipamiento pueda estar en lugares diferentes y un poco alejados.

- La potencia del equipamiento probado, dejó ver que a pesar de ser una potencia que se encuentra en valores relativamente bajos, ha generado un radio de dispersión de señal que no sobrepasa ni alcanza a igualar los límites que se habían alcanzado con otros estándares, según el lugar donde se instala, notándose también que la interferencia con otros equipos cercanos puede resultar un inconveniente grave de superar y eso es algo común hoy en día, pudiendo provocar descensos en las velocidades máximas de transferencia de datos que se alcance y hasta incluso perder conectividad totalmente.

- Existe una clara conexión entre el uso espectral (codificación y canalización) y la velocidad lograda, dado que gran parte del avance se da gracias a los métodos que permiten enviar la señal en un medio físico como es el aire a un volumen cada vez mayor, producto de perfeccionar cada vez más

el equipamiento utilizado y realizar una recomposición de la señal en los lugares destino, sin embargo la cuestión de obtener una mayor velocidad de transferencia de datos y una mayor distancia a cubrir, no se pudo comprobar en esta prueba, con la idea de imitar la capacidad con la que cuentan las redes LAN cableadas y la compatibilidad con estándares anteriores y el desarrollo de nuevos para utilizar sobre el estándar 802.11, esto está dejando ver que es una tecnología incipiente, pero que debe ser mejorada y/o modificada sustancialmente.

Si bien a veces se tenga que resignar velocidad, para poder contemplar equipamiento ya instalado, cuando se trabaje con equipamiento del mismo estándar (y sobretodo en este caso) y el mismo fabricante, se tendría que notar una gran diferencia en la transferencia de datos en forma simple y sencilla de instalar por parte de los usuarios, lo cual en esta prueba no ha ocurrido. Esta debería ser una condición a cumplir por cualquier estándar que quiera ganar adeptos, dado que el mercado ha tenido un gran desarrollo sobre ese tipo de tecnología. La apertura a tener disponibilidad de ancho de banda generoso, para transferir grandes volúmenes de información, y con ello, poder desarrollar otro tipo de tráfico como ser VOIP, STREAMING,etc,etc. Asimismo, la banda de 2.4GHz es una banda que ya se está superpoblando y es recomendable la realización de nuevas implementaciones sobre la banda de 5GHz.

Líneas futuras de Investigación

Como líneas de trabajo que permanecen abiertas y que sería interesante desarrollar se pueden destacar las siguientes.

-
Evaluar los datos que se obtengan a partir de un análisis en modo mixto, y poder así obtener valores máximos de transferencia de información entre diferentes estándares.

-
Utilización de arreglos de antenas externas y determinar en 802.11n las distancias máximas de cobertura que se pueden lograr con equipamiento y potencias de fábrica.

-
Investigar la perturbación que sucede en 802.11n y la relación con la velocidad de transferencia lograda, según el medio ambiente; además las distancias a las cuales el rendimiento del estándar decae según condiciones climáticas y otro tipo de interferencia que pudiera provocarse.

-
En un momento donde el hogar digital e inteligente comienza a desarrollarse, sería interesante evaluar la evolución que podrá tener este estándar y la eliminación de cables dentro de la casa para intercambiar información entre hosts de la misma red inalámbrica.

-
Ampliación y consideración del estudio a los escenarios de exteriores sin línea de vista directa, para poder determinar la trayectoria de los canales y su rearmado en las antenas receptoras.

-
Ampliación del estudio realizando comparativas entre equipamiento de la misma marca, diferentes modelos y equipamiento de otras marcas, para evaluar y ponderar la calidad ofrecida entre fabricantes y comparar los resultados obtenidos en esta prueba.

-
Realización de la misma evaluación en la banda de 5GHz, entre 802.11a y 802.11n, dado que ISM de 5GHz está mucho menos poblada y utiliza canales más amplios, que deberían determinar velocidades de transferencia más altos.

-
Investigar el funcionamiento y performance que ofrece la denominación comercialmente conocida como SUPER G, que según se indica puede alcanzar los 108Mbps, para ver si con ello se puede ir migrando a tecnologías inalámbricas dentro del hogar, para manejar volúmenes de datos importantes.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Matthew S. Gast – Redes Wireless 802.11 –Editorial Anaya – Junio 2006

- [2] RFC 1180-es – TCP/IP

- [3] IEEE 802.11 – Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications (Std. IEEE 802.11)

- [4] IEEE 802.11b – Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications - High speed Physical Layer in the 2.4GHz Band (Std. IEEE 802.11b)

- [5] IEEE 802.11n – Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications - High speed Physical Layer in the 2.4GHz Band (Std. IEEE 802.11n)

- [6] Wi-Fi Certified 802.11n draft 2.0: Longer-Range, Master Throughput, Multimedia-Grade Wi-Fi Networks

- [7] WFA, WiFi Alliance, 802.11n Draft 2.0, Mayo 2008.

- [8] Agilent MIMO Wireless LAN PHY Layer [RF] Operation & Measurement, Mayo 2008

- [9] Agilent 89600 Vector Signal Analysis Software IEEE 802.11n MIMO Modulation Análisis, Mayo 2008

- [10] O. Fernández, “Caracterización Experimental y Modelado de Canal MIMO para aplicaciones WLAN y WMAN” Tesis doctoral, Universidad de Cantabria, Mayo 2007.

- [11] P. Kyritsi, Wireless Comunications – IEEE Transacctions, “Multiple Element Antenna Systems in an Indoor Environment”, Diciembre 2006

- [12] IEEE 802.11n – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications. Amendment 5: Enhancements for Higher Throughput

- [13] Abdul Aziz, Nix, Fletcher, “A Study of Performance and Complexity for IEEE 802.11n MIMO-OFDM GIS Solutions”.

- [14] Otefa, ElBoghdadly, Sourour. “Performance Analysis of 802.11n Wireless LAN Physical Layer”.