

TECNOLOGÍA MIMO

ERWIN DAVID CORRALES DE LA ROSA
WAGNER STEVEN GOMEZ PEREZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRICA Y ELECTRONICA
CARTAGENA DE INDIAS

2007

TECNOLOGIA MIMO

ERWIN DAVID CORRALES DE LA ROSA
WAGNER STEVEN GOMEZ PEREZ

Monografía para optar al título de
Ingeniero electrónico

Director
DAVID SENIOR ELLES
Ingeniero electrónico

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRICA Y ELECTRONICA
CARTAGENA
2007

Nota de aceptación

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Cartagena, 4 de Junio del 2007



Cartagena, Junio del 2007

Señores:

COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE GRADO.

Facultad de Ingeniería eléctrica y electrónica - UTB.

La Ciudad

Cordial saludo:

A través de la presente me permito entregar la monografía titulada "TECNOLOGIA MIMO" para su estudio y evaluación, como requisito fundamental para obtener el Título de Ingeniero electrónico.

En espera que esta cumpla con las normas pertinentes establecidas por la Institución.

Atentamente.

Erwin David Corrales De La Rosa



Cartagena, Junio del 2007

Señores:

COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE GRADO.

Facultad de Ingeniería eléctrica y electrónica - UTB.

La Ciudad

Cordial saludo:

A través de la presente me permito entregar la monografía titulada "TECNOLOGIA MIMO" para su estudio y evaluación, como requisito fundamental para obtener el Título de Ingeniero electrónico.

En espera que esta cumpla con las normas pertinentes establecidas por la Institución.

Atentamente.

Wagner Steven Gómez Pérez



Cartagena, Junio del 2007

Señores:

COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE GRADO.

Facultad de Ingeniería eléctrica y electrónica - UTB.

La Ciudad.

Cordial saludo.

A través de la presente me permito entregar la monografía titulada "TECNOLOGIA MIMO", para su estudio y evaluación, la cual fue realizada por los estudiantes ERWIN DAVID CORRALES DE LA ROSA y WAGNER STEVEN GOMEZ PEREZ de los cuales acepto ser su director.

En espera que éste cumpla con las normas pertinentes establecidas por la institución.

Atentamente.

David Senior Elles

Ingeniero electrónico.



AUTORIZACIÓN

Cartagena de Indias, D.T.C.H.

Yo Erwin David Corrales De La Rosa, identificado con número de cédula 73201323 de la ciudad de Cartagena, autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar para hacer uso de mi trabajo de grado y publicarlo en el catálogo online de la Biblioteca.

ERWIN DAVID CORRALES DE LA ROSA



AUTORIZACIÓN

Cartagena de Indias, D.T.C.H.

Yo Wagner Steven Gómez Pérez, identificado con número de cédula 73006751 de la ciudad de Cartagena, autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar para hacer uso de mi trabajo de grado y publicado en el catálogo online de la Biblioteca.

WAGNER STEVEN GOMEZ PEREZ

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION	1
2. ANTECEDENTES	4
3. DESCRIPCION	7
4. FORMULACION DEL PROBLEMA	8
5. JUSTIFICACION	11
6. OBJETIVOS	12
6.1 GENERAL	12
6.2 ESPECIFICOS	12
7. MARCO TEORICO	14
8. OBJETIVO DE LA INVESTIGACION	16
8.1 METODOLOGIA DE DESARROLLO	16
8.1.1 Características Generales.	16
8.1.2 Aspectos Técnicos	17
8.1.3 Productos y Aplicaciones	18
9. CARACTERISTICAS GENERALES	19
9.1 GENERALIDADES WIFI	20
9.1.1 Protocolos O Estándares IEEE 802.11	22
□ 802.11 legacy	22
□ 802.11b	23
□ 802.11a	23
□ 802.11g	24
□ 802.11n	25
□ 802.11e	26
9.1.2 Comparación De Estándares WIFI	27
9.1.3 Propuestas Que Compiten Por Ser El Nuevo Estándar 802.11n	27
9.1.3.1 wwise – worldwide spectrum efficiency	28
9.1.3.2 tgn sync	29

9.1.4 Comparación Entre Las Dos Propuestas: Wwise Y Tgn Sync	31
9.1.4.1 Tabla comparativa entre las dos propuestas.....	32
9.1.5 Estándares WLAN Que Compiten Con El 802.11n.....	33
9.1.5.1 Estándar HomeRF.....	33
9.1.5.2 Estándar Bluetooth.....	34
9.1.6 Arquitectura IEEE 802.11.....	34
9.1.6.1 Capa física.....	35
9.1.6.2 Capa de enlace de datos	36
9.1.6.3 Protocolo de la subcapa MAC.....	36
9.1.6.4 Estructura De Trama De La Capa De Enlace De Datos	37
9.1.7 Topología WIFI.....	38
9.1.7.1 Ad Hoc (o peer to peer).....	38
9.1.7.2 Infraestructura.....	39
9.1.8 Seguridad En El 802.11	40
9.1.8.1 SSID.....	41
9.1.8.2 Filtrado de direcciones MAC	42
9.1.8.3 Sistemas de cifrado y autenticación.....	42
9.1.8.4 WEP	43
9.1.8.5 DSL.....	43
9.1.8.6 RADIUS.....	44
9.1.8.7 VPNs inalámbricas	45
9.1.8.8 WPA.....	46
9.1.8.9 RSN.....	47
9.1.9 Servicios.....	48
9.1.9.1 Servicios de distribución.....	48
9.1.9.2 Servicios de estación.....	48
9.1.10 Motivaciones para el desarrollo del nuevo estándar 802.11n	49
10. ASPECTOS TECNICOS	51
10.1 QUE SIGNIFICA LA SIGLA MIMO?.....	52

10.2 EN QUE CONSISTE LA TECNOLOGIA MIMO?.....	52
10.3 EL CANAL MIMO	52
10.3.1 Multiplexación espacial	55
10.3.2 Diversidad Espacial	55
10.3.3 Códigos de espacio de tiempo.....	58
10.4 ¿CÓMO FUNCIONA MIMO?	62
10.5 VERSIONES DE LA TECNOLOGÍA MIMO	67
10.5.1 Beamforming.....	67
10.5.1.1 ¿Cómo se cambia patrón de radiación?.....	68
10.5.1.2 Estructura matemática de un beamformer.....	69
10.5.1.3 Beneficios de la Tecnología de antenas inteligentes:	71
10.5.2 Multiplexacion espacial	74
10.5.3 Diversidad de código	74
10.6 SISTEMA MIMO	75
10.7 MIMO y OFDM.....	81
10.8 (OFDM) ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING... 82	
10.8.1 W-Ofdm - Wideband Orthogonal Frequency Division Multiplexing	84
10.8.1.1 Características.....	84
10.9 MIMO (Multiple Input /Multiple Output) - ANTENAS	85
10.10 ESPECIFICACIONES DRAFT 802.11N	88
10.11 COMPATIBILIDAD CON LAS REDES WLAN DE HOY	89
11. PRODUCTOS Y APLICACIONES	92
11.1 Tecnología Wireless N de D-Link	92
11.2 Tarjeta PCI Wireless N.....	95
11.3 WRVS4400N Router de seguridad Wireless-N con IPS.....	97
11.4 WPC4400N Tarjeta Wireless-N para ordenador portátil	98
11.5 Belkin N1 Wireless Router F5D8231-4	99
11.6 D-Link DI-634M 108G	100
12. RECOMENDACIONES Y ADVERTENCIAS	101

12.1 ¿COMPRAR O NO COMPRAR LOS DISPOSITIVOS 802.11N?.....	101
12.2 WI-MAX O WI-FI	102
13. CONCLUSION.....	104
14. BIBLIOGRAFIA	109

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

	PAG
Tabla 1. Comparativa de los estándares 802.11.....	27
Tabla 2. Comparación de las diferentes velocidades de transferencia de 802.11.....	31
Tabla 3. Tabla comparativa de las propuestas de Grupos del Draft-N.....	32
Tabla 4. Componente más importante del estándar 802.11n.....	88
Figura 1. Trama de datos MAC.....	37
Figura 2. Topología Peer to Peer o Ad-Hoc.	39
Figura 3. Red tipo infraestructura.....	39
Figura 4. Antenas MIMO.....	51
Figura 5. El canal MIMO Físico.....	53
Figura 6. Algoritmos del receptor para Diversidad Espacial.....	57
Figura 7. Código de Bloque Espacio-Tiempo Alamouti para 2 Antenas transmisoras.....	58
Figura 8. Código Alamouti compuesto para más de 2 antenas transmisoras.....	59
Figura 9. Código de Bloque de Espacio – Tiempo para 3 tx antenas.....	60
Figura 10. Optimización del Código de Bloque de Espacio – Tiempo para 3.....	61
Figura 11. Bloques principales de un transmisor básico MIMO-OFDM con dos antenas..	64
Figura 12. Forma de transmisión de las antenas MIMO.....	66
Figura 13. Modelamiento de un beamforming completamente adaptativo.....	69
Figura 14. Patrón de una antena omnidireccional.....	72
Figura 15. Patrón de radiación de array de 3 antenas omnidireccional.....	73
Figura 16. Patrón de radiación de un array de 5 antenas con desfase de 0, 10 y 5.....	73
Figura 17. Conformador de rayo switchado y adaptativo.....	76
Figura 18. Matriz de transmisión del Canal MIMO.....	79
Figura 19. Comparación de espectro OFDM y Modulación Convencional.....	83
Figura 20. Prueba de tasa de transferencia en el aire vs. SNR.....	86

Figura 21. Como agregación mejora la eficiencia en modo de red mixto.....	91
Figura 22. Router RangeBooster N 650 DIR-635 de D-Link.....	92
Figura 23. Tarjeta PCI para 802.11n.....	95
Figura 24. Router WRVS4400N.....	97
Figura 25. Tarjeta Wireless WPC4400N.....	98
Figura 26. Router Belkin F5D8231-4.....	99
Figura 27. D-Link DI-634M 108G.....	100

1. INTRODUCCION

Las redes inalámbricas de área local WLAN (Wireless Local Area Network) fueron originalmente diseñadas como una alternativa para las redes de área local cableadas. Y actualmente se encuentran trabajando en un nuevo estándar, el cual triplica en velocidad a las redes cableadas convencionales y alcanza mayores distancias que las redes inalámbricas existentes.

Para que el nuevo estándar inalámbrico pueda cumplir con las anteriores especificaciones, es necesario que utilice una tecnología novedosa de arreglo de antenas, la cual recibe el nombre de Tecnología de Antenas MIMO. Considerando la importancia de esta tecnología para el entrante estándar, se hace necesario conocer como MIMO apoya al estándar 802.11n. Por lo cual, en esta investigación se explicaran los fundamentos técnicos y matemáticos de esta tecnología con el fin de que se pueda entender claramente de que se trata.

Además, en esta monografía se analizaran cuales son los métodos o técnicas utilizadas por MIMO para lograr obtener la mayor eficiencia de la red, entre estas técnicas se encuentra: la multiplexacion espacial y la diversidad espacial. Las cuales son las técnicas que le permiten a MIMO

lograr velocidades de transferencia hasta de 600Mbps y radio de cobertura hasta de 500metros.

Por otra parte, es importante resaltar la inteligencia de MIMO. Ya que esta tecnología de arreglo de antenas es capaz de adaptar su patrón de radiación en forma dinámica, con el fin de garantizar señales óptimas a usuarios que se encuentren muy alejados o en movimiento.

En esta investigación también se mostrara todo lo referente al estándar entrante, como lo es su normativa, quienes son sus desarrolladores, características de seguridad, eficiencia del ancho de banda y modulación, entre otras características.

Todos los aspectos anteriores nos servirán para hacer comparaciones entre el Pre-estándar 802.11n y los estándares inalámbricos actuales (802.11a/b/g), además, servirá de base para identificar cuales son las diferencias de estos estándares con WIMAX (802.16), el cual es un estándar de comunicación alternativo de gran aceptación en Colombia y que presenta características similares al 802.11.

En conclusión a esta investigación se hablara sobre el futuro del Pre-estándar 802.11n, el cual aun no ha sido ratificado por la IEEE y ya en el

mercado es posible encontrar equipos basados en los draft que han sido ratificados sobre esta tecnología.

Por ultimo se mostraran algunos equipos de marcas reconocidas, con su ficha técnica, costos y consideraciones que se deben tener en cuenta por los usuarios a la hora de comprar equipos bajo el draft n.

2. ANTECEDENTES

La primera red de computadores inalámbrica WLAN registrada, data de 1971 en la Universidad de Hawai cuando se conectaron siete computadores desplegados en cuatro islas hawaianas, AlohaNet, trabajando alrededor de los 400 MHz. Otros piensan que la línea de partida de esta tecnología se remonta a la publicación de los resultados en 1979 por ingenieros de IBM en Suiza, que consistía en utilizar enlaces infrarrojos para crear una red de área local en una fábrica. Las investigaciones siguieron adelante tanto con infrarrojos como con microondas, donde se utilizaba el esquema de espectro expandido. En mayo de 1985, y tras cuatro años de estudios, La FCC, asignó las bandas ISM 2,400-2,4835 GHz, para uso en las redes inalámbricas basadas en Spread Spectrum (SS), con las opciones DS (Direct Sequence) y FH (Frequency Hopping). La técnica de espectro expandido es una técnica de modulación que resulta ideal para las comunicaciones de datos, ya que es muy poco susceptible al jamming y crea muy pocas interferencias. La asignación de esta banda de frecuencias propició una mayor actividad en el seno de la industria y ese respaldo hizo que las WLAN empezaran a dejar ya el entorno del laboratorio para iniciar el camino hacia el mercado. El desarrollo comercial de las WLANs comenzó en 1990 cuando AT&T publicó WaveLAN, implementando DSSS.

En 1989 se forma el comité 802.11 con el objetivo de estandarizar las WLANs. En 1992 se crea Winforum, consorcio liderado por Apple y formado por empresas del sector de las telecomunicaciones y de la informática para conseguir bandas de frecuencia para los sistemas PCS (Personal Communications Systems). En 1993 también se constituye la IrDA (Infrared Data Association) para promover el desarrollo de las WLAN basadas en enlaces infrarrojos. Aparece el primer borrador de 802.11 en 1994.

En 1997 el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) ratificó el primer estándar Ethernet inalámbrico (wireless) 802.11, el cual especifica tres capas físicas, infrarrojo, FHSS a 1 y 2 Mbps, y DSSS a 1 y 2 Mbps en la banda 2.4 GHz ISM. En ese momento LANs Ethernet cableadas (wired) alcanzaban velocidades de 10 Mbps y los productos recientes eran bastante costosos, esto hizo que este estándar tuviera una aceptación limitada en el mercado. Dos años después evolucionó por dos caminos. La especificación 802.11b incrementó la velocidad más allá de la marca crítica de 10Mbps, manteniendo compatibilidad el estándar original DSSS 802.11 e incorporando un esquema de codificación mas eficiente, conocido por sus siglas en ingles como CCK (complimentary Code Keying), para alcanzar velocidades de transmisión de hasta 11 Mbps. Un segundo esquema de codificación fue incluido como una opción para mejorar el desempeño en el rango de 5.5 y 11 Mbps La segunda rama es 802.11a, si bien, no conservó

compatibilidad con los anteriores, esta especificación fue concebida para alcanzar velocidades de transmisión de hasta 54Mbps en la banda 5.2 GHz U-NII utilizando una técnica de modulación conocida como multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM). Por trabajar en la frecuencia de 5.2 GHz 802.11a no es compatible con 802.11b ni con el inicial 802.11.

Continuaron estudios subsecuentes con el ánimo de analizar la posibilidad de extender 802.11b a mas altas velocidades de 20 Mbps y en Julio del 2000 se convirtió en un equipo completo de trabajo conocido como Task Group G (TGg) con la misión de definir velocidades de transmisión mas altas para la banda de 2.4 GHz. Como consecuencia en Junio del 2003 es ratificado el estándar 802.11g. Este estándar permite la transmisión de datos a una velocidad de 54 Mbps en la banda de 2.4 GHz, es decir, de unen las bondades de la velocidad de transmisión de 802.11a con la cobertura de 802.11b guardando compatibilidad con 802.11b. En Colombia ya se ha implementado Wi-Fi en aeropuertos, universidades y en centros comerciales, y se proyecta avanzar en la penetración de estos servicios en espacios públicos.

3. DESCRIPCION

En este trabajo se quiere describir y explicar las especificaciones técnicas que se han planteado en los draft o borradores que se han escrito sobre el pre-estándar IEEE 802.11n, como es su comportamiento a nivel de capa física y capa MAC. Además, como se apoya de la tecnología MIMO (Múltiples entradas Múltiples salidas) para conseguir altas velocidades de transmisión en comparación a los estándares inalámbricos actuales.

Con respecto a la tecnología MIMO, en este trabajo se hará una descripción de esta tecnología resaltando los fundamentos matemáticos. Se explicara cómo este tipo de arreglo de antenas es capaz de utilizar más eficientemente el medio, con el fin de aumentar las velocidades de transmisión. Además, se explicaran cuales son sus principales aplicaciones.

Por ultimo, se hará una breve comparación del pre-estándar IEEE 802.11n con las tecnologías inalámbricas actuales, esto se hará con el fin de demostrar como esta siendo el avance tecnológico de las redes inalámbricas y como estas al pasar del tiempo van evolucionando de manera similar que las tecnologías cableadas.

4. FORMULACION DEL PROBLEMA

En las comunicaciones inalámbricas, existen muchas limitantes en el rendimiento de los enlaces, una de las limitantes de mayor importancia es la velocidad de transmisión y el radio de cobertura de la señal.

Estas limitantes juegan un papel importante en el momento de escoger una tecnología, ya que esta puede ser razón para que algunas personas se abstengan de utilizar un medio de transmisión u otro, las velocidades logradas por los estándares actuales WIFI no superan los 54 Mbps, lo cual es menor a las velocidades ofrecidas por las tecnologías cableadas.

Esto ha sido de gran preocupación para los desarrolladores de tecnologías inalámbricas, y es por esto que desde enero de 2004, la IEEE anunció la formación de un grupo de trabajo 802.11 (Tgn) para desarrollar una nueva revisión del estándar 802.11 el cual es el estándar que rige las tecnologías inalámbricas (WIFI). Los desarrolladores dicen que la velocidad real de transmisión podría llegar a los 500 Mbps (lo que significa que las velocidades teóricas de transmisión serían aún mayores), y debería ser hasta 10 veces más rápida que una red bajo los estándares 802.11a y 802.11g, y cerca de 40 veces más rápida que una red bajo el estándar 802.11b. También se espera que el alcance de operación de las redes sea mayor con este nuevo

estándar. Existen también otras propuestas alternativas que podrán ser consideradas y se espera que el estándar que debía ser completado hacia finales de 2006, se implante hacia 2008, puesto que no es hasta principios de 2007 que no se acabe el segundo boceto. No obstante ya hay dispositivos que se han adelantado al protocolo y ofrecen de forma no oficial éste estándar (con la promesa de actualizaciones para cumplir el estándar cuando el definitivo esté implantado)

Por otra parte Dlink, un prestigioso desarrollador de equipos de redes inalámbricos, ve en el estándar 802.11n una tecnología que proporcionará prestaciones inalámbricas de primera categoría más rápidas que una conexión por cable de 10/100 a los clientes que necesiten velocidad y prestaciones ahora a la vez que se mantiene la compatibilidad hacia atrás con los actuales equipos 802.11b/g.

Por todo lo anterior mostrado se puede observar lo importante que va ha ser el lanzamiento de esta tecnología al mundo y es por este motivo que se quiere explicar en que consiste esta tecnología y como es posible que esta pueda obtener tan alto rendimiento, además se explicara en que consiste la tecnología MIMO y como esta ayuda al pre-estándar IEEE 802.11n para lograr su funcionalidad.

Es importante recalcar que este pre-estándar IEEE 802.11n se encuentra actualmente en el tercer borrador de revisión de la IEEE. Por lo cual se explicara cuales son las especificaciones técnicas que se han establecido hasta ahora en dichos borradores y como esta siendo la evolución de los mismos.

5. JUSTIFICACION

Es necesario hacer una investigación descriptiva del pre-estándar IEEE 802.11n y la tecnología MIMO, por que es importante conocer en que consiste este entrante estándar de la IEEE y de como este sin haberse legalizado ya muestra señales de un gran desarrollo en las tecnologías inalámbricas.

Por otra parte, es interesante conocer que es la tecnología MIMO (Múltiples entradas, Múltiples salidas) y como esta tecnología es capaz de lograr tan alto rendimiento en la nueva generación de redes inalámbricas. De tal manera que compañías como Dlink Corporation ya la han implementado en sus equipos inalámbricos.

También es importante mostrar como ha sido el desarrollo de las redes inalámbricas hasta llegar al pre-estándar IEEE 802.11n, ya que esto permitirá analizar cuales han sido los avances tanto a nivel de hardware como de software para lograr las eventuales evoluciones.

6. OBJETIVOS

6.1 GENERAL

- Describir y explicar en que consiste el pre-estándar IEEE 802.11n y cual es la base de su funcionamiento, para lo cual se explicaran las especificaciones técnicas presentadas en los draft de esta tecnología.

6.2 ESPECIFICOS

- Descripción de la capa física y MAC del pre-estándar IEEE 802.11n
- Definición de que es un arreglo de antenas MIMO, cual es la base de su alto rendimiento, sus fundamentos matemáticos y técnicas de propagación utilizadas para obtener un mayor alcance en comparación a las utilizadas en los anteriores estándares.
- Explicar en que consiste la tecnología MIMO.
- Comparación del pre-estándar IEEE 802.11n con los estándares y tecnologías inalámbricas actuales (IEEE 802.11g y WIMAX)
- Especificaciones técnicas del pre-estándar IEEE 802.11n en cuanto a modulaciones, velocidades y alcance (Velocidad efectiva).
- Descripción de aplicaciones actuales basadas en la tecnología MIMO.

- Análisis comparativo de desempeño del pre-estándar 802.11n con respecto al 802.11g y a WIMAX.
- Analizar las especificaciones técnicas que deben tener los equipos para que soporten el draft-N
- Por que es recomendable usar el estándar IEEE 802.11n

7. MARCO TEORICO

Las redes inalámbricas de área local WLAN (Wireless Local Area Network) fueron originalmente diseñadas como una alternativa para las redes de área local cableadas. Esta tecnología esta basada en el estándar de comunicaciones IEEE 802.11 y es conocida comúnmente por “Wi-Fi” (“Wireless Fidelity”).

La IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) es el organismo encargado de regular y estandarizar las telecomunicaciones en el mundo, esta organización en enero del 2004 anuncio la formación de un grupo de trabajo 802.11 (Tgn) encargado de desarrollar una nueva revisión del estándar 802.11, con el fin de estudiar la manera de cómo conseguir mas velocidad de transmisión y mayor radio de propagación que el estándar inalámbrico actual (802.11g y 802.11b).

Este estudio tuvo como resultado el Pre-estándar wifi 802.11n, que es un sistema que se basa en la tecnología mimo (multiple input multiple output), esta tecnología trabaja en base a ondas RF y es la causal de que se pueda lograr aumentar el margen de cobertura y la velocidad de transmisión.

Las ondas de RF son "multi-señal", es decir que siempre hay una onda primaria y varias secundarias. Hasta ahora en los estándares inalámbricos, sólo se era aprovechada la onda primaria y las otras eran vistas como "interferencias" o "ruidos". El algoritmo mimo, envía señal a 2 o más antenas y luego las recoge y re-convierte en una. Según la propuesta planteada en los draft escritos hasta ahora por el grupo de investigación (tgn), el estándar WIFI 802.11n funcionará en las bandas de 10, 20, o 40 MHz y se alcanzarán velocidades superiores a 100 Mbps. Estas podrían superar también los 300 Mbps.

Por otra parte es importante tener en cuenta el alcance de la nueva tecnología, ya que esta podría ser capaz de transmitir con buena calidad hasta casi 500 metros del emisor, lo cual representaría en el usuario una propuesta formidable de trabajo y una buena elección para la reducción de costos.

8. OBJETIVO DE LA INVESTIGACION

El objetivo principal de este trabajo es describir el pre-estándar IEEE 802.11n y las especificaciones técnicas y matemáticas de la tecnología MIMO, además explicar como esta tecnología es capaz de lograr tan altos rendimientos en comparación a los estándares WLAN actuales. Para esto se describirán las características generales y técnicas, aplicaciones, limitaciones ventajas con respecto a otras tecnologías similares (IEEE 802.11g y WIMAX), y su futura proyección como estándar inalámbrico de ultima generación, entre otros aspectos que se trataran.

8.1 METODOLOGIA DE DESARROLLO

Para el desarrollo de los objetivos se considero apropiado estructurar la investigación en varios aspectos fundamentales los cuales se explicaran a continuación:

8.1.1 Características Generales.

Se describirá como ha sido la evolución del estándar IEEE 802.11, haciendo un recuento histórico de cómo ha sido su progreso hasta llegar al pre-estándar IEEE 802.11n, además en esta descripción se mostrara como ha

venido evolucionando el estándar IEEE 802.11 con respeto a la velocidad de transmisión y el radio de cobertura al pasar del tiempo.

Por otra parte se explicara que significa la identificación IEEE 802.11n, que es, en que consiste, cuales han sido las razones que han motivado al desarrollo de este estándar entrante y que ventajas nos puede ofrecer en comparación a los entandares inalámbricos actuales. Por ultimo se realizara un análisis comparativo con algunas tecnologías inalámbricas haciendo especial énfasis con el estándar IEEE 802.11g y WIMAX.

8.1.2 Aspectos Técnicos

Como primera medida se explicaran las especificaciones técnicas que hasta ahora se han escrito en los draft con respecto al pre-estándar IEEE 802.11n, teniendo en cuenta especialmente aspectos como (arquitectura, pila de protocolos, capa física, capa de enlace de datos, protocolo de la subcapa MAC, entre otros aspectos importantes que constituyen este pre-estándar).

Con respecto a la tecnología MIMO, se explicara que significa la sigla MIMO, que es y en que consiste esta tecnología, y como es capaz esta de evitar interferencias de obstáculos para manejar mejor el espectro transmitido.

Además, se describirán los aspectos técnicos concernientes a esta tecnología haciendo énfasis en aspectos como (arquitectura, multiplexación espacial, diversidad espacial, sistema de antenas, que es OFDM y en que consiste, métodos de propagación, versiones de MIMO entre otros factores que influyen en el mejoramiento del radio de cobertura y la calidad de la señal.

8.1.3 Productos y Aplicaciones

En esta parte se mostraran y describirán los productos 802.11n que se encuentran actualmente en el mercado, hablaremos sobre cuales son las compañías o empresas que han tomado la delantera o vanguardia sobre este Pre-estándar en cuanto a productos y que ventajas tiene comprar estos productos en este momento.

9. CARACTERISTICAS GENERALES

El estándar inalámbrico 802.11 WLAN representa una tecnología novedosa que crece rápidamente en todo el planeta. Sin embargo, afronta una serie de retos tecnológicos. Uno muy importante es el rango de cobertura, ya que hasta ahora lo más lejos que puede apartarse un dispositivo y seguir recibiendo una señal aceptable de un punto de acceso 802.11 son unos 100 metros, teniendo en cuenta que si existen paredes u otros obstáculos físicos considerables, la distancia y la calidad de la señal podría disminuirse o ser nula.

Entre otros retos importantes que el estándar IEEE 802.11 afronta se encuentran el modo de mejorar las velocidades de capacidad de proceso de los datos, la seguridad y la calidad del servicio. Esto en pocas palabras es lo que busca conseguir el pre-estándar IEEE 802.11n, dar a los usuarios una posibilidad diferente de interconexión a las redes. Brindando mayor rango de cobertura y una señal que sea inmune a interferencias de obstáculos, mejorando considerablemente las velocidades de transmisión y la seguridad.

En el momento varias compañías se encuentran trabajando en estos temas una de las principales es Intel, una de las empresas que a afrontado fuertemente estos retos y otros temas relacionados con el estándar IEEE

802.11 en cuanto al software y el hardware, este último juega un papel importante en el desarrollo de este estándar ya que es el encargado directamente de permitir que se den tan altas velocidades en comparación a los estándares inalámbricos anteriores.

9.1 GENERALIDADES WIFI

Wi-Fi surgió como resultado de una decisión tomada en 1985 por la FCC para abrir varias bandas del espectro inalámbrico para su uso sin necesidad de una licencia gubernamental. Estas bandas, denominadas "bandas de basura" ya se habían asignado a equipos como los hornos microondas que utilizaban ondas de radio para calentar la comida. Para trabajar con estas bandas, los dispositivos necesitan utilizar la tecnología de "espectro propagado". Esta tecnología propaga una señal de radio en un amplio rango de frecuencias permitiendo que la señal sea menos susceptible de interferir y difícil de interceptar.

En 1990, se configuró un nuevo comité IEEE, llamado 802.11, destinado a iniciar un estándar. Pero no fue hasta 1997, unos 8 ó 9 años más tarde, cuando se publicó este nuevo estándar (aunque los dispositivos de estándares previos ya estaban funcionando). Se ratificaron dos variantes en los dos años siguientes: 802.11b que funciona en la banda ISM (industria, medicina y ciencia) de 2,4 GHz y 802.11a que opera en las bandas de la

UNII (infraestructura de información nacional sin licencia) de 5,3 GHz y 5,8 GHz.

Pero la popularidad de Wi-Fi despegó realmente con el crecimiento del acceso a Internet de banda ancha y alta velocidad de los hogares. Lo cual fue y todavía sigue siendo el modo o método más rápido de compartir un enlace de banda ancha entre varios ordenadores de una misma casa. El crecimiento de los puntos de conexión y de los puntos de acceso públicos gratuitos ha incrementado la popularidad de Wi-Fi.

Esta tecnología Wi-Fi, como 802.11a, utiliza un formato de formulación más avanzado denominado OFDM (multiplexación por división de frecuencia ortogonal), aunque puede utilizarse en la banda de 2,4 GHz. 802.11g puede alcanzar velocidades de hasta 54 Mbps.

Además de los estándares anteriores aparece una nueva opción o variante del 802.11 este fue asignado bajo el nombre de 802.11n. Este alcanzaría una velocidad real de transmisión que podría llegar a los 500 Mbps y sería hasta 10 veces más rápida que una red bajo los estándares 802.11a y 802.11g, y cerca de 40 veces más rápida que una red bajo el estándar 802.11b.

9.1.1 Protocolos O Estándares IEEE 802.11

Con el transcurrir del tiempo y el constante cambio en los requerimientos de los usuarios con respecto a las telecomunicaciones el estándar 802.11 ha tenido que estar siempre en evolución, mejorando la velocidad de transmisión y el radio de cobertura de la señal.

A continuación veremos como ha sido la evolución del 802.11 al transcurrir del tiempo y cuales eran las características de los estándares creados.

- **802.11 legacy**

La versión original del estándar IEEE 802.11 publicada en 1997 especifica dos velocidades de transmisión teóricas de 1 y 2 mega bit por segundo (Mbit/s) que se transmiten por señales infrarrojas (IR) en la banda ISM a 2,4 GHz. IR sigue siendo parte del estándar, pero no hay implementaciones disponibles.

El estándar original también define el protocolo CSMA/CA (Múltiple acceso por detección de portadora evitando colisiones) como método de acceso. Una parte importante de la velocidad de transmisión teórica se utiliza en las necesidades de esta codificación para mejorar la calidad de la transmisión bajo condiciones ambientales diversas, lo cual se tradujo en dificultades de interoperabilidad entre equipos de diferentes marcas. Estas y otras

debilidades fueron corregidas en el estándar 802.11b, que fue el primero de esta familia en alcanzar amplia aceptación entre los consumidores.

- **802.11b**

La revisión 802.11b del estándar original fue ratificada en 1999. 802.11b tiene una velocidad máxima de transmisión de 11 Mbit/s y utiliza el mismo método de acceso CSMA/CA definido en el estándar original. El estándar 802.11b funciona en la banda de 2.4 GHz. Debido al espacio ocupado por la codificación del protocolo CSMA/CA, en la práctica, la velocidad máxima de transmisión con este estándar es de aproximadamente 5.9 Mbit/s sobre TCP y 7.1 Mbit/s sobre UDP.

- **802.11a**

En 1997 la IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos Electrónicos) crea el Estándar 802.11 con velocidades de transmisión de 2Mbps. En 1999, el IEEE aprobó ambos estándares: el 802.11a y el 802.11b. En 2001 hizo su aparición en el mercado los productos del estándar 802.11a. La revisión 802.11a al estándar original fue ratificada en 1999. El estándar 802.11a utiliza el mismo juego de protocolos de base que el estándar original, opera en la banda de 5 Ghz y utiliza 52 subportadoras ortogonal frequency-division multiplexing (OFDM) con una velocidad máxima de 54 Mbit/s, lo que lo hace un estándar práctico para redes inalámbricas con

velocidades reales de aproximadamente 20 Mbit/s. La velocidad de datos se reduce a 48, 36, 24, 18, 12, 9 o 6 Mbit/s en caso necesario. 802.11a tiene 12 canales no solapados, 8 para red inalámbrica y 4 para conexiones punto a punto. No puede interoperar con equipos del estándar 802.11b, excepto si se dispone de equipos que implementen ambos estándares.

Dado que la banda de 2.4 Ghz tiene gran uso (pues es la misma banda usada por los teléfonos inalámbricos y los hornos de microondas, entre otros aparatos), el utilizar la banda de 5 GHz representa una ventaja del estándar 802.11a, dado que se presentan menos interferencias. Sin embargo, la utilización de esta banda también tiene sus desventajas, dado que restringe el uso de los equipos 802.11a a únicamente puntos en línea de vista, con lo que se hace necesario la instalación de un mayor número de puntos de acceso; Esto significa también que los equipos que trabajan con este estándar no pueden penetrar tan lejos como los del estándar 802.11b dado que sus ondas son más fácilmente absorbidas.

- **802.11g**

En Junio de 2003, se ratificó un tercer estándar de modulación: 802.11g. Este utiliza la banda de 2.4 Ghz (al igual que el estándar 802.11b) pero opera a una velocidad teórica máxima de 54 Mbit/s, o cerca de 24.7 Mbit/s de velocidad real de transferencia, similar a la del estándar 802.11a. Es

compatible con el estándar b y utiliza las mismas frecuencias. Buena parte del proceso de diseño del estándar lo tomó el hacer compatibles los dos estándares. Sin embargo, en redes bajo el estándar g la presencia de nodos bajo el estándar b reduce significativamente la velocidad de transmisión. .

Los equipos que trabajan bajo el estándar 802.11g llegaron al mercado muy rápidamente, incluso antes de su ratificación. Esto se debió en parte a que para construir equipos bajo este nuevo estándar se podían adaptar los ya diseñados para el estándar b.

Actualmente se venden equipos con esta especificación, con potencias de hasta medio vatio, que permite hacer comunicaciones de hasta 50 km con antenas parabólicas apropiadas.

- **802.11n**

En enero de 2004, la IEEE anunció la formación de un grupo de trabajo 802.11 (Tgn) para desarrollar una nueva revisión del estándar 802.11. la velocidad real de transmisión podría llegar a los 500 Mbps (lo que significa que las velocidades teóricas de transmisión serían aún mayores), y debería ser hasta 10 veces más rápida que una red bajo los estándares 802.11a y 802.11g, y cerca de 40 veces más rápida que una red bajo el estándar 802.11b. También se espera que el alcance de operación de las redes sea mayor con este nuevo estándar. Existen también otras propuestas

alternativas que podrán ser consideradas y se espera que el estándar que debía ser completado hacia finales de 2006, se implante hacia 2008, puesto que no es hasta principios de 2007 que no se acabe el segundo boceto. No obstante ya hay dispositivos que se han adelantado al protocolo y ofrecen de forma no oficial éste estándar (con la promesa de actualizaciones para cumplir el estándar cuando el definitivo esté implantado)

- **802.11e**

Con el estándar 802.11e, la tecnología IEEE 802.11 soporta tráfico en tiempo real en todo tipo de entornos y situaciones. Las aplicaciones en tiempo real son ahora una realidad por las garantías de Calidad de Servicio (QoS) proporcionado por el 802.11e. El objetivo del nuevo estándar 802.11e es introducir nuevos mecanismos a nivel de capa MAC para soportar los servicios que requieren garantías de Calidad de Servicio. Para cumplir con su objetivo IEEE 802.11e introduce un nuevo elemento llamado Hybrid Coordination Function (HCF) con dos tipos de acceso:

(EDCA) Enhanced Distributed Channel Access y (HCCA) Controlled Channel Access.

9.1.2 Comparación De Estándares WIFI

Tabla 1. Comparativa de los estándares 802.11.

	802.11 legacy	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n
Estándar aprobado	1997	Julio 1999	Julio 1999	Junio 2003	No ha sido ratificado
Max. Tasa de datos	1 / 2 Mbps	54Mbps	11Mbps	54 Mbps	600 Mbps
Modulación		OFDM	DSSS o CCK	DSSS CCK OFDM	DSSS CCK OFDM
Banda RF	IR 2.4Ghz	5 Ghz	2.4 Ghz	2.4Ghz	2.4/5.0 Ghz
Nº de Cadenas espaciales	1	1	1	1	1,2,3 o 4
Ancho del canal		20Mhz	20Mhz	20Mhz	20 /40 MHz

Fuente: 802.11n: Next-Generation Wireless LAN. Technology. Broadcom Corporation. Pag 6.

9.1.3 Propuestas Que Compiten Por Ser El Nuevo Estándar 802.11n

Actualmente son dos las propuestas que compiten entre sí para convertirse en el nuevo estándar:

- WWiSE (WorldWide Spectrum Efficiency) apoyado por Texas Instruments, Broadcom, Conexant, STMicro, Airgo y Bermai, continúa con la compatibilidad hacia atrás con el canal de 20 Mhz.
- TGn Sync, apoyado por Cisco, Intel, Nokia, Nortel, Phillips y Sony entre otros, planea emplear el canal de 40Mhz.

9.1.3.1 wwise – worldwide spectrum efficiency

Los fabricantes de chips Wi-Fi **Texas Instruments, Broadcom, Conexant, STMicro, Airgo y Bermai** han hecho una propuesta formal al IEEE con un posible estándar 802.11n.

El diseño presentado constituye una base completa para el estándar, en el cual han tenido especial cuidado en garantizar que el espectro empleado se ajuste a las numerosas regulaciones existentes en el mundo. La propuesta ha recibido el nombre de "WWiSE", de WorldWide Spectrum Efficiency Cash'n'Carrion.

Para lograr dicha meta, la propuesta supone el uso de un canal de 20MHz, lo que garantiza la compatibilidad hacia atrás con los equipos Wi-Fi actuales. WWiSE usaría la tecnología Multiple Input, Multiple Output (MIMO), que emplea varias antenas, y una modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), para lograr unas tasas de transmisión de hasta 540Mbps.

La nueva tecnología podrá alcanzar un máximo de 135 Mbps en la transmisión de datos en la configuración mínima de dos–por–dos, y velocidades de 540 Mbps por medio de una estructura MIMO cuatro–por–cuatro y 40MHz de ancho de banda en el canal.

La propuesta también incluye sistemas avanzados de corrección de errores para aumentar la cobertura del sistema.

Las empresas detrás de WWiSE ofrecen esta propiedad intelectual "bajo términos razonables y no discriminatorios" (condición necesaria para que el IEEE acepte esta propuesta como estándar) y sin que sea necesario pagar en concepto de derechos.

Sin embargo, todavía existe un problema debido a que una empresa canadiense llamada Wi-LAN, asegura ser la poseedora de varias patentes sobre la tecnología OFDM y, por tanto, sobre el núcleo de los estándares 802.11a, 802.11g y WiMAX. Esta propiedad intelectual puede tener implicaciones similares sobre WWiSE.

La empresa Wi-LAN está persiguiendo agresivamente a los fabricantes de sistemas inalámbricos para el pago de los derechos que considera que posee. Hoy en día se encuentra en plena batalla legal contra Cisco, y el resto de los fabricantes Wi-Fi están esperando la resolución del caso, el cual, probablemente, decida la validez de las reclamaciones de Wi-LAN sobre sus patentes.

9.1.3.2 tgn sync

En respuesta al crecimiento de la demanda de redes de área local inalámbricas (WLAN – Wireless Local Area Networks), el Instituto de

Ingenieros Eléctricos y Electrónicos - Asociación de Estándares - (IEEE-SA – Institute of Electrical and Electronics Engineers- Standards Association) aprobó la creación del IEEE 802.11 Task Group N (802.11 TGn) durante la segunda mitad del año 2003.

El alcance del objetivo de TGn es el de definir las modificaciones a ser realizadas a la Capa Física (PHY - Physical Layer) y a la Capa de Control de Acceso al Medio (MAC - Medium Access Control Layer) como para lograr una velocidad de procesamiento de datos de 100 Mbps en la Capa MAC SAP (tope de la capa MAC).

Este requerimiento mínimo representa aproximadamente un rendimiento de procesamiento de datos 4 veces mayor comparado con las redes actuales 802.11a/g.

La propuesta de TGn para este siguiente paso en el funcionamiento de WLAN es el de mejorar la experiencia del usuario con las aplicaciones WLAN existentes y permitir a la vez, nuevas aplicaciones y nuevos segmentos de mercado. Al mismo tiempo, TGn espera una transición suave de adopción de la nueva tecnología, por requerir la compatibilidad hacia atrás con las soluciones existentes de las IEEE WLANs antiguas (802.11a/b/g).

Tabla 2. Comparación de las diferentes velocidades de transferencia de 802.11

Estándar IEEE WLAN	Estimación sobre-el-aire (OTA – over-the-air)	Estimación en la Capa de Control de Acceso al Medio, Punto de Acceso al Servicio (MAC SAP)
802.11b	11 Mbps	5 Mbps
802.11g	54 Mbps	25 Mbps (cuando .11b no está presente)
802.11a	54 Mbps	25 Mbps
802.11n	200+ Mbps	100 Mbps

Fuente: Intel Labs

www.intel.com/espanol/technology/magazine/archive/2004/aug/wi08041.pdf -

9.1.4 Comparación Entre Las Dos Propuestas: Wwise Y Tgn Sync

Los partidarios de WWiSE creen que 802.11n necesita ser capaz de usar el canal con 20Mhz de ancho (el mismo que 802.11b y 802.11g) a fin de que no siga los pasos de 802.11a, que se despoja de compatibilidad con estándares anteriores a cambio de velocidades mayores (tanto 802.11a como 802.11g operan a 54Mbps, pero la retrocompatibilidad de 802.11g le dio el triunfo frente a 802.11a).

WWiSE debería de poder alcanzar velocidades de hasta 540 Mbps empleando MIMO (Multiple Input, Multiple Output) algunas técnicas de antenas y el actualmente usado OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

TGn Sync planea emplear el canal de 40MHz y usar la tecnología MIMO para alcanzar una velocidad real de alrededor de 175Mbps, y velocidades teóricas rozando los 500Mbps.

9.1.4.1 Tabla comparativa entre las dos propuestas

Tabla 3. Tabla comparativa de las propuestas de Grupos del Draft-N

	N Sync	WWiSE
Ancho del canal	10 MHz, 20 MHz, y 40 MHz (obligatorio)	20 MHz (obligatorio), y 40 MHz (opcional)
N° de canales en la banda de 5 GHz	14	24
MIMO	Dos antenas (obligatorio), cuatro antenas (opcional)	Cuatro antenas (obligatorio)
Velocidad de transmisión	250 Mbps (expandible a 500 Mbps)	216 Mbps (no confirmado)
Frecuencias	5 GHz (obligatorio), 4 GHz (opcional)	5 GHz (obligatorio)
Miembros del Sistema	Nortel, Cisco, Sony, Toshiba, Nokia, Matsushita, Samsung	Mitsubishi, Motorola

Fuente: Mirna Cantero, Maria Reina Oliveira <http://www.jeuazarru.com/docs/802.11n.pdf>

9.1.5 Estándares WLAN Que Compiten Con El 802.11n

Existen dos estándares WLAN competidores:

- HomeRF
- Bluetooth

9.1.5.1 Estándar HomeRF

El estándar HomeRF tiene sus raíces en el Teléfono inalámbrico digital mejorado (*Digital Enhanced Cordless Telephone, DECT*). Esto explica la razón por la que el estándar HomeRF es el único que hoy día puede transportar el tráfico de voz con la calidad de las llamadas telefónicas normales, y de hecho está tomando un camino opuesto al de los estándares 802.11 y Bluetooth, lo que significa ir de voz a datos.

Esto se consigue mediante un enfoque parecido al de 802.11, el cual consiste en hacer que las capas MAC y física de la pila OSI cumplan este estándar. El estándar HomeRF utiliza una combinación de CSMA/CD para los datos en paquetes y TDMA para el tráfico de voz y video con el fin de optimizar el flujo de tráfico sobre una base de prioridad.

La capa física utiliza la manipulación por frecuencia (*Frequency Shift Keying, FSK*) para proporcionar velocidades en bits variables de entre 800kbps y 1.6Mbps en una banda de 2.4Ghz.

Es muy interesante observar que el estándar HomeRF incluye un conjunto impresionante de capacidades de voz, por ejemplo, el identificador de llamadas, llamadas en espera, regreso de llamadas e intercomunicación dentro del hogar.

9.1.5.2 Estándar Bluetooth

Bluetooth tiene como propósito ser un estándar con un rango de aproximadamente 1 a 3 metros. Su intención es conectar computadoras portátiles con teléfonos celulares, PDA con computadoras portátiles y teléfonos celulares, además de otros dispositivos similares. Está relativamente limitado en la velocidad con aproximadamente 1.5Mbps.

El estándar Bluetooth tiene dos puntos fuertes:

- **Tamaño:** El factor de la forma (tamaño) que ofrece Bluetooth le permite conectarse en relojes de mano, PDA y otros dispositivos electrónicos pequeños en los que el tamaño es un criterio de diseño importante.
- **Ahorro de energía:** Bluetooth usa 30μAmperes, lo que es una cantidad muy pequeña de energía.

9.1.6 Arquitectura IEEE 802.11

Una LAN 802.11 está basada en una arquitectura celular, es decir, el sistema está dividido en celdas, donde cada celda (denominada Basic Service Set, BSS) es controlada por una Estación Base llamada Punto de Acceso (AP), aunque también puede funcionar sin la misma en el caso que las máquinas se comuniquen entre ellas. Los Puntos de Acceso de las distintas celdas

están conectados a través de algún tipo de red troncal (llamado Sistema de Distribución).

La LAN inalámbrica completamente interconectada, incluyendo las distintas celdas, los Puntos de Acceso respectivos y el Sistema de Distribución es denominada en el estándar como un Conjunto de Servicio Extendido (Extended Service Set, ESS).

9.1.6.1 Capa física

Cuenta con 5 técnicas de transmisión, cada una de las cuales posibilita el envío de un paquete de una máquina a otra, pero difieren en la tecnología que usan y las velocidades que alcanzan.

Las técnicas de transmisión utilizadas son las siguientes:

- 1- Método Infrarrojo
- 2- Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)
- 3- Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)
- 4- Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)
- 5- High Rate Direct Sequence Spread Spectrum (HR-DSSS)

Para el estudio de este Pre-estándar solo hablaremos de la transmisión por (OFDM), el cual será el método de transmisión a utilizar por el 802.11n

9.1.6.2 Capa de enlace de datos

La capa de enlace de datos está formada por dos subcapas:

- *Subcapa MAC (Medium Access Control)*: determina la asignación del canal para la transmisión, es decir, establece cuál es la estación que transmitirá a continuación.
- *Subcapa LLC (Logical Link Control)*: su trabajo es ocultar las diferencias entre las diferentes variantes de los estándares 802 de modo que sean indistinguibles para las capas superiores.

9.1.6.3 Protocolo de la subcapa MAC

El estándar 802.11 no puede utilizar el protocolo CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) utilizado por Ethernet debido a que en los sistemas inalámbricos existen los problemas de la estación expuesta y de la estación oculta.

Además la mayoría de los radiotransmisores no puede transmitir y escuchar ráfagas de ruido, de manera simultánea, en una misma frecuencia, debido a que son half-duplex.

Para solucionar este problema, el estándar 802.11 soporta dos modos de funcionamiento:

- **DCF (Distributed Coordination Function)**: no usa ningún tipo de control central.

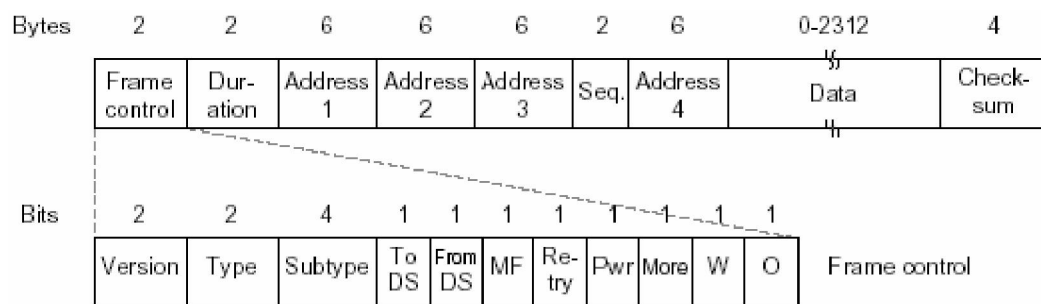
- **PCF (Point Coordination Function):** usa la estación base para controlar toda la actividad en su celda.

9.1.6.4 Estructura De Trama De La Capa De Enlace De Datos

El estándar 802.11 define 3 clases diferentes de tramas: de datos, de control y de administración. Cada una de ellas tiene un encabezado con campos utilizados dentro de la subcapa MAC y algunos usados por la capa física.

Formato de la trama de datos:

Figura 1. Trama de datos MAC



Fuente: Mirna Cantero, Maria Reina Oliveira <http://www.jeuazarru.com/docs/802.11n.pdf>

Frame Control: Tiene 11 subcampos:

Versión del protocolo: para que 2 versiones del protocolo puedan funcionar al mismo tiempo en la misma celda.

Tipo: de Datos, de Control o de Administración.

Subtipo: ej. RTS o CTS.

To DS: indica que la trama va al Sistema de Distribución.

From DS: indica que la trama viene del Sistema de Distribución.

MF: indica que siguen más fragmentos.

Retransmisión: indica que ésta es la retransmisión de una trama.

Pwr: usado por la estación base para poner a una estación base en estado de hibernación o sacarlo de ese estado.

More: indica que el emisor tiene tramas adicionales para el receptor.

W: especifica que el cuerpo de la trama se ha codificado usando el algoritmo **WEP (Wired Equivalent Privacy)**.

O: una secuencia de tramas que tenga este bit encendido debe procesarse en orden.

Duración: indica cuánto tiempo ocuparán el canal, la trama y su ACK

9.1.7 Topología WIFI

802.11 presenta dos topologías:

9.1.7.1 Ad Hoc (o peer to peer)

Dos o más clientes que son iguales entre ellos. Los propios dispositivos inalámbricos crean la red LAN y no existe ningún controlador central ni puntos de acceso. Cada dispositivo se comunica directamente con los demás dispositivos de la red, en lugar de pasar por un controlador central. Esta topología es práctica en lugares en los que pueden reunirse pequeños grupos de equipos que no necesitan acceso a otra red. Ejemplos de entornos

en los que podrían utilizarse redes inalámbricas ad hoc serían un domicilio sin red con cable o una sala de conferencias donde los equipos se reúnen con regularidad para intercambiar ideas.

Figura 2. Topología Peer to Peer o Ad-Hoc.



Fuente: Dlink

9.1.7.2 Infraestructura

Red centralizada a través de uno o más Access Point (AP).

Figura 3. Red tipo infraestructura.



Fuente: Dlink

Descripción general de componentes de las mismas:

- **BSS** (Basic Service Set): Es el bloque básico de construcción de una LAN 802.11. En el caso de tratarse de únicamente 2 estaciones se denomina IBSS (Independent BSS), es lo que a menudo se denomina “Ad Hoc Network”.
- **DS** (Distribution System): Es la arquitectura que se propone para interconectar distintos BSS. El **AP** es el encargado de proveer acceso al DS, todos los datos que se mueven entre BSS y DS se hacen a través de estos AP, como los mismos son también STA, son por lo tanto entidades direccionables.
- **ESS** (Extended Service Set): Tanto BSS como DS permiten crear wireless network de tamaño arbitrario, este tipo de redes se denominan redes ESS.
- La integración entre una red 802.11 y una No 802.11 se realiza mediante un **Portal**. Es posible que un mismo dispositivo cumpla las funciones de AP y Portal.

9.1.8 Seguridad En El 802.11

Un aspecto importante a tener en cuenta por el entrante estándar es el problema de la seguridad. Ya que una de las debilidades normalmente atribuidas a las tecnologías inalámbricas, y más en concreto a la tecnología Wi-Fi, es la falta de seguridad. Nos referimos, no tanto a la seguridad física

sino, a la seguridad de la información, su integridad y a la no accesibilidad a terceros.

La tecnología inalámbrica ha demostrado no tener restricciones importantes en cuanto a la seguridad de las redes, para corregir este problema existen Actualmente vías efectivas para garantizar una transmisión segura de los datos y, a pesar de que ninguna medida de seguridad es infalible, la clave está en que las empresas o personas pueden aplicar ahora múltiples niveles de seguridad inalámbrica según sus necesidades.

9.1.8.1 SSID

Como uno de los primeros niveles de seguridad que se pueden definir en una red inalámbrica podemos citar al SSID (“Service Set Identifier” o identificador del servicio).

Aunque se trata de un sistema muy básico (normalmente no se tiene por un sistema de seguridad), este identificador permite establecer o generar, tanto en la estación cliente como en el punto de acceso, redes lógicas que interconectarán a una serie de clientes.

Normalmente, los puntos de acceso difunden su SSID para que cada cliente pueda ver los identificadores disponibles y realizar la conexión a alguno de ellos simplemente seleccionándolos. Pero también se puede inhabilitar la difusión de este SSID en el punto de acceso, para de este modo dificultar el descubrimiento de la red inalámbrica por parte de personas ajenas a su uso.

9.1.8.2 Filtrado de direcciones MAC

Subiendo un escalón en estos sistemas de protección, encontramos la posibilidad de definir listas de control de acceso (ACL, “*Access Control List*”) en los puntos de acceso.

Cada uno de estos puntos puede contar con una relación de las direcciones MAC (“*Medium Access Control*” o Control de Acceso al Medio) de cada uno de los clientes que queremos que se conecten a nuestra red inalámbrica.

Cada adaptador cuenta con una dirección que la identifica de forma inequívoca, y si el punto de acceso no la tiene dada de alta, simplemente no recibirá contestación por su parte.

Hay que tener en cuenta que éste no es el método más seguro para proteger la entrada a la red inalámbrica. Para empezar habrá que actualizar esta ACL cada vez que se de de alta un nuevo adaptador inalámbrico, eliminando aquellos que se quieren dejar de utilizar.

9.1.8.3 Sistemas de cifrado y autenticación

Aparte de observar una serie de medidas para controlar el acceso a la red, poco a poco se han ido desarrollando una serie de tecnologías que permitirán hacer a la WLAN tan segura como una LAN cableada.

9.1.8.4 WEP

El cifrado de la información es una de las técnicas más utilizadas, y para ello ya se lleva un tiempo empleando sistemas como WEP (*“Wired Equivalent Privacy”* o Privacidad Equivalente a Cableado). Podríamos definir este sistema como la generación de una clave que se comparte entre el cliente y el punto de acceso, y que permite o deniega la comunicación entre ambos dispositivos. WEP utiliza un sistema con una clave de 64 ó 128 bits, que pueden ser hexadecimales o ASCII, mediante la que se autentifica el acceso y se encripta la información que se transmite entre ambos dispositivos.

Aunque en teoría este sistema debería ser suficiente, lo cierto es que existen métodos para averiguar esta clave utilizando determinadas herramientas software, además del problema que se deriva de utilizar una misma clave para todos los usuarios.

- Existen algunos métodos de seguridad especiales los cuales son implementados solo por algunas compañías diseñadoras de dispositivos inalámbricos.

9.1.8.5 DSL

La gestión de estas claves puede convertirse en un auténtico problema en empresas con un gran número de usuarios. Para evitar esto, existen

herramientas como la que 3Com incluye en sus puntos de acceso que soporta un mecanismo adicional de autenticación a través de la asignación dinámica de claves. Este mecanismo denominado DSL (*“Dynamic Security Link”*), permite realizar una gestión automática y dinámica de las claves a través del propio punto de acceso. Al contrario que el sistema WEP, estándar en el que se utiliza una misma clave para todos los usuarios y cuya modificación debe hacerse de forma manual, DSL se basa en proteger la red inalámbrica de posibles intrusiones externas mediante la generación automática, al comienzo de cada sesión, de una única clave cifrada de 128 bits para cada usuario de la red.

Además de esto, DSL también proporciona autenticación de usuario, obligándolo a introducir el correspondiente nombre de usuario y contraseña para cada sesión que se abra.

9.1.8.6 RADIUS

Cuando aumentan las necesidades en cuanto a niveles de seguridad y número de usuarios que es necesario administrar, además de la encriptación, es necesario añadir por otro mecanismo de seguridad como es la autenticación. La autenticación es el proceso por el cual se controla el acceso de los usuarios a la red. Para este propósito, el IEEE creó el grupo 802.1x con objeto de obtener un estándar de autenticación para redes

(cableadas o no). RADIUS (*“Remote Authenticated Dial-In User Service”*) es la infraestructura recomendada por la Wi-Fi Alliance como sistema de gestión centralizada que da una solución de autenticación para entornos con un elevado número de usuarios.

Teniendo en cuenta que este tipo de entornos utilizará normalmente estructuras mixtas (cable tradicional y WLAN), la utilización de este protocolo permitirá mejorar la capacidad de autenticación del usuario inalámbrico, proporcionando un nivel de seguridad superior, escalable y una gestión centralizada.

A través de este sistema se podrá obtener un Certificado de Cliente Universal para permitir la autenticación mutua (autenticación del cliente al AP y del AP al cliente), gestión de clave protegida a través del soporte para RADIUS-EAP-TLS, así como la integración en entornos RADIUS existentes que soporten el protocolo MD-5 con sistemas de autenticación múltiples con protocolo EAP (*“Extensible Authentication Protocol”*).

9.1.8.7 VPNs inalámbricas

Sin embargo, para conseguir que el nivel de confianza en las WLAN se equipare a las redes cableadas, algunos usuarios han optado por otra

alternativa para reforzar la seguridad, implementando soluciones de seguridad de red convencionales adaptadas al entorno wireless.

En este modelo, es donde entran en juego el establecimiento de túneles IPSec (*"Internet Protocol Security"*). Este mecanismo, que asegura el tráfico de datos por una VPN (*"Virtual Private Network"*), utiliza algoritmos para la encriptación de datos, otros algoritmos para la autenticación de paquetes y certificados digitales para la validación de los usuarios. Debido a ello, se empieza a recomendar como solución idónea para responder a las necesidades actuales de seguridad en las redes inalámbricas, la combinación de la VPNs (IPSec) con el estándar 802.11.

9.1.8.8 WPA

Además, Wi-Fi Alliance ha anunciado la adopción de nuevas medidas de seguridad cuyo objeto es facilitar a los propietarios de redes inalámbricas un control mayor sobre quién accede a las mismas y mayor protección de las comunicaciones wireless. Actualmente WEP está siendo sustituido por un nuevo protocolo: WPA (*"WI -FI Protected Access"*). WPA mejora la forma de codificar los datos respecto a WEP, utilizando TKIP (*"Temporal Key Integrity Protocol"*), al mismo tiempo que proporciona autenticación de usuarios mediante 802.11 y EAP.

Wi-Fi Protected Access será compatible con las especificaciones de seguridad 802.11i que actualmente está desarrollando el IEEE. De hecho, WPA está formada por los componentes ya aprobados del estándar 802.11i. Dichas funciones pueden habilitarse en la mayoría de productos certificados Wi-Fi existentes con una sencilla actualización de software.

El estándar 802.11i aún no se ha desarrollado completamente, aunque WPA irá asumiendo completamente dicho estándar conforme vaya cerrando especificaciones que supondrán incluso modificaciones de hardware. Wi-Fi Alliance ha certificado más de 175 productos con WPA desde septiembre de 2003. La organización ha empezado a requerir WPA para todos los productos certificados y ya no considera WEP como un mecanismo seguro.

9.1.8.9 RSN

RSN (*“Robust Network Security”*) corresponde con la segunda parte (versión definitiva) del estándar 802.11i, de ahí que también sea conocido como WPA2. En este momento, se encuentra en pleno proceso de desarrollo y se espera su lanzamiento para septiembre de 2004. Este estándar añadirá a las redes inalámbricas seguridad más que suficiente y será totalmente compatible con WPA. Como inconveniente, necesitará actualización hardware tanto de puntos de acceso como de estaciones.

9.1.9 Servicios

El estándar 802.11 establece que una LAN inalámbrica que debe proporcionar los siguientes servicios:

9.1.9.1 Servicios de distribución

Tiene que ver con la administración de los miembros dentro de una celda y con la movilidad de las estaciones conforme entran y salen de la misma.

- *Asociación:* es usado por las estaciones móviles para conectarse ellas mismas a la estación base. Éstas anuncian su identidad y sus capacidades.
- *Disociación:* usado por las estaciones antes de apagarse o salir, para romper relaciones con la estación base. La estación base puede usarla antes de su mantenimiento.
- *Reasociación:* para cambiar de estación base preferida.
- *Distribución:* determina como enrutar las tramas enviadas a una estación base.
- *Integración:* maneja la traducción del formato 802.11 al requerido por la red de destino.

9.1.9.2 Servicios de estación

Se relacionan con la actividad dentro de una sola celda.

- *Autenticación:* las estaciones no autorizadas no pueden recibir o enviar tramas con facilidad.
- *Desautenticación:* cuando una estación previamente autenticada quiere abandonar la red.
- *Entrega de datos*

9.1.10 Motivaciones para el desarrollo del nuevo estándar 802.11n

Entre las motivaciones para el desarrollo del nuevo estándar se encuentran:

- Una de las principales motivaciones para la creación del nuevo estándar 802.11 es la velocidad de transmisión.

Esta baja velocidad de transmisión se da debido a las muchas fuentes de sobrecarga que posee la trama dentro del protocolo 802.11. Esta sobrecarga se debe principalmente a los preámbulos necesarios para cada paquete, como por ejemplo, los acuses de recibo, ventanas de contención, y varios parámetros de espaciado entre tramas. Los problemas de sobrecarga se hicieron más agudos con el incremento de la velocidad de transmisión.

- Otra de las razones importantes es el rango de cobertura, ya que hasta ahora la mayor distancia que puede apartarse un dispositivo inalámbricos 802.11 y seguir recibiendo una señal aceptable es

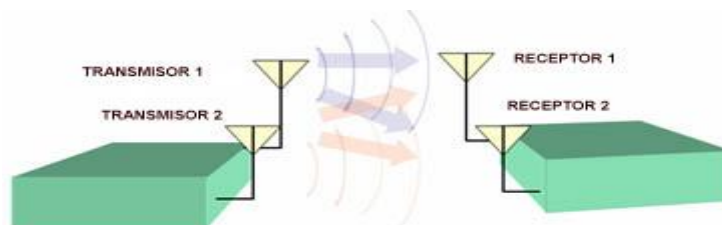
- máximo de 100m, teniendo en cuenta que no existe interferencia de obstáculos.
- En los distintos estándares del 802.11 que fueron desarrollados, la porción de datos acarreados dentro de los paquetes se encogió, mientras que la sobrecarga permaneció fija. Por ejemplo, el estándar 802.11b, con un pico de velocidad de transmisión de datos de 11 Mbps, normalmente alcanza un pico neto de 5 o 6 Mbps, mientras que los estándares 802.11a y 802.11g, con un pico de transmisión de datos PHY (a nivel de la capa física) de 54 Mbps, alcanza un pico neto de alrededor de 20 a 24 Mbps. Es por esto que se demanda una mejora en la capacidad de procesamiento de datos de cuatro a cinco veces sobre el máximo alcanzado con 802.11a/g.
- La señal generada por los dispositivo 802.11 es demasiado inmune a interferencias, de tal manera que si existen obstáculos en el camino de la onda transmitida el rango de cobertura disminuye considerablemente, lo cual debe poder ser evitado o por lo menos disminuido.

10. ASPECTOS TECNICOS

En los últimos años los servicios inalámbricos han llegado a ser más y más importantes. Igualmente la demanda por capacidades de red más alta y desempeño ha sido aumentada. Diversas opciones como mayor ancho de banda, modulación optimizada o aún sistemas de multiplexación de código ofrecen prácticamente potencial ilimitado para aumentar la eficiencia espectral.

El pre-estándar 802.11n es una tecnología que proporcionará prestaciones inalámbricas de primera categoría más rápidas que una conexión cableada, para esto hará uso de una tecnología que utiliza múltiples sistemas de antena tanto para el transmisor como para el receptor. Esta tecnología se conoce como MIMO (múltiples entradas, múltiples salidas) o sistemas de antenas inteligentes, a continuación se describirán todos los detalles concernientes a esta tecnología.

Figura 4. Antenas MIMO



Fuente: MIMO la próxima generación de la tecnología Wi-Fi *Por Evelio Martinez*

Martinez

10.1 QUE SIGNIFICA LA SIGLA MIMO?

La sigla MIMO proviene del acrónimo en inglés de (Multiple-input Multiple-output), que en español significa Múltiples entradas múltiples salidas.

10.2 EN QUE CONSISTE LA TECNOLOGIA MIMO?

La tecnología MIMO es un sistema que utiliza entradas múltiples y salidas múltiples en un solo canal. Este sistema está definido por la diversidad espacial y la multiplexación espacial. Diversidad espacial es conocida como una diversidad de Receptores y transmisores. Donde copias de la señal son transferidas de otra antena o recibida en más de una antena. Con Multiplexacion Espacial el sistema es capaz de llevar más de un flujo de datos espacial sobre una frecuencia simultáneamente.

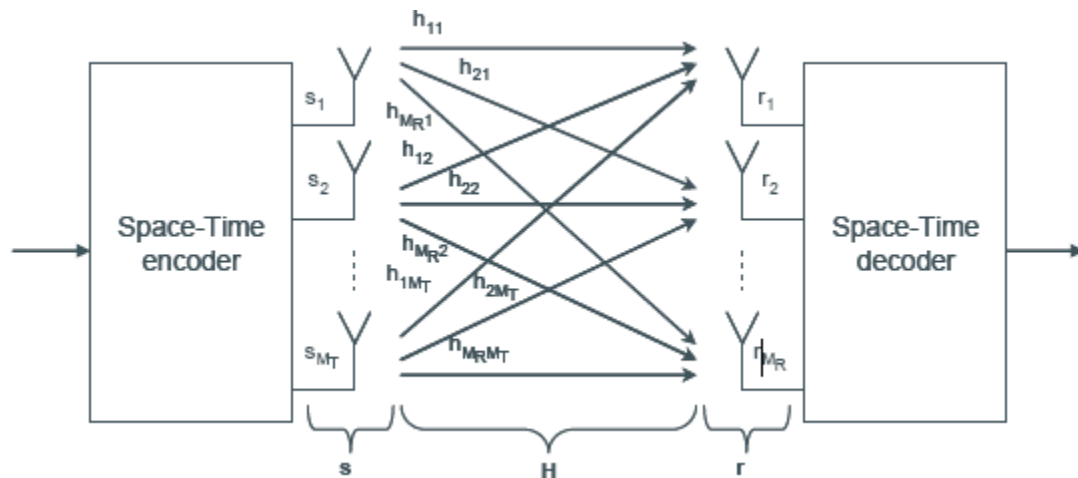
10.3 EL CANAL MIMO

Los sistemas fuera que no usan MIMO son enlazados sobre múltiples canales por diferentes frecuencias. EL canal MIMO tiene múltiples enlaces en la misma frecuencia. El reto de esta tecnología es la separación y la ecualización de todas las rutas de señales. El modelo del canal incluye la matriz **H** con las componentes directas e indirectas del canal. Las componentes directas (ejemplo h_{11}) representan el canal plano y las componentes indirectas (ejemplos h_{21}) se mantienen para aislamiento del canal. La señal enviada es representada por s y la señal recibida por r . Para

hacer el análisis se asume como un sistema LTI y un canal de banda angosta.

$$r = Hs + n \quad (\text{EC.1})$$

Figura 5. El canal MIMO Físico



Fuentes: Rhode y Schwarz Introduction to MIMO system. Página 4.

El conocimiento de H es esencial para la decodificación y es estimado a través de una secuencia de entrenamiento. Si el receptor envía una aproximación del canal al transmisor puede ser usado para una pre-codificación. Esto también aumenta el desempeño MIMO

Shannon desarrollo la siguiente ecuación [2] la capacidad teórica del canal:

$$C_{\text{SISO}} = f_g \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad \text{EC. 2}$$

Esta incluye el ancho de banda de transmisión f_g y la SNR. Muchas mejoras en la capacidad del canal están basadas en las extensiones de ancho de banda u otras modulaciones. La eficiencia espectral no puede aumentarse significativamente por esos factores. La capacidad de Shannon de los sistemas MIMO adicionalmente depende de la cantidad de antenas. M es el mínimo de M_t (numero de antenas transmisoras) o M_r (numero de antenas receptoras) y representa el numero de flujos espaciales. Por ejemplo, un sistema 2x3 puede soportar solo 2 flujos espaciales, que también es valido para un sistema 2x4.

Para MIMO la capacidad esta dada por la siguiente ecuación:

$$C_{MIMO} = M f_g \text{Log}_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \text{ EC. 3}$$

La capacidad de MIMO aumenta linealmente con el número de antenas. Los sistemas que no son simétricos, es decir, no poseen igual numero de antenas receptoras y transmisores (ejemplo 1x2, 2x1) se denominan Diversidad recepción o transmisión. En ese caso la capacidad $C_{TX/RX}$ crece logarítmicamente con el número de antenas.

$$C_{TX/RX} = f_g \text{Log}_2 \left(1 + M \left(\frac{S}{N} \right) \right) \text{ EC. 4}$$

10.3.1 Multiplexación espacial

La transmisión de múltiples flujos o cadenas de datos sobre más de una antena es llamada Multiplexación espacial. Hay dos tipos, que deben ser tomadas en cuenta.

- El primer tipo es V-Blast (Vertical Bell Laboratories Layered Space-Time), que transmite flujo de datos espaciales no codificados sin ninguna consideración en ecualizar la señal del receptor.

La segunda es realizada por códigos de espacio de tiempo. En contraste a V-Blast, la codificación espacio de tiempo entrega flujos de datos ortogonales e independientes. El Método V-BLAST no es capaz de separar las tramas por lo tanto pueden aparecer Interferencias multitramas (MSI), esto hace la transmisión inestable y la codificaciones contra errores no siempre corrigen este problema. La detección de una señal codificada en espacio de tiempo esta basada en un proceso lineal simple y entrega buenos resultados.

La ventaja de la Multiplexación espacial es una ganancia de la capacidad lineal en relación al número de antenas transmisoras.

10.3.2 Diversidad Espacial

La multiplexación espacial puede proveer una capacidad más alta pero no mejor calidad de señal. En vez de mejorar la calidad de la señal, la

Multiplexación espacial la degrada. La Diversidad espacial mejora la calidad de la señal y alcanza una mayor SNR en el lado del receptor. Especialmente en áreas de redes extensas, la Multiplexación espacial es presionada a sus límites. Entre más extenso sea el ambiente de red, mayor debe ser la potencia de la señal.

El principio de diversidad se basa en la transmisión de redundancia estructurada. Esta redundancia puede ser transmitida en cualquier momento, de cualquier antena, sobre cualquier frecuencia o en cualquier polarización. Sin embargo, el último método no ha sido considerado mucho en las tecnologías MIMO.

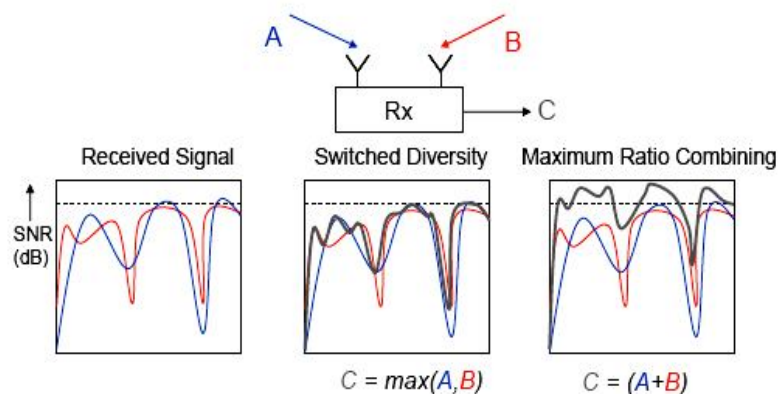
Dos clases de *Diversidad espacial* tienen que ser consideradas:

- Diversidad –Tx, aquí una copia de la señal es transmitida de otra antena.
- Diversidad – Rx, aquí la señal receptora es múltiplemente evaluada.

La primera clase es comparable a señales monofónicas y estereofónicas. Los humanos son capaces de sentir un tono mejor si la señal es estéreo. El segundo tipo es similar a 2 oídos, los cuales escuchan mejor que uno.

Para utilizar Diversidad –TX el llamado Código espacio tiempo de Alamouti (figura 7) debe ser utilizado. Este alcanza full diversidad y trabaja con solo una antena receptora. Diversidad –Rx puede ser usada a través de más antenas receptoras que transmisoras y un algoritmo de combinación. *Combinación Switchada* o *Combinación de Tasa Máxima* son dos ejemplos de algoritmos. Estos trabajan independientemente del tipo de diversidad si la matriz del canal es conocida.

Figura 6. Algoritmos del receptor para Diversidad Espacial, A y B son la misma señal.



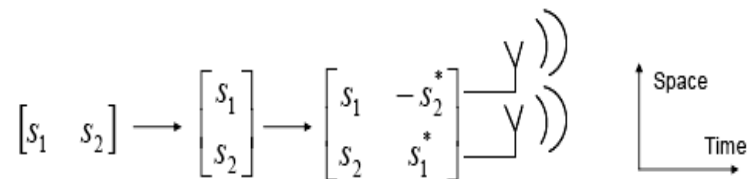
Fuente: *Fuentes: Rhode y Schwarz Introduction to MIMO system. Pág 6.*

El desempeño óptimo y cobertura de un sistema de comunicación inalámbrico puede ser alcanzado usando *Multiplexaje espacial* a cortas distancias y *Diversidad espacial* a largas distancias.

10.3.3 Códigos de espacio de tiempo

Los códigos de espacio tiempo mejoran el desempeño y permiten que la *Diversidad Espacial* pueda emplearse. Una copia de la señal no es solo transmitida desde otra antena, sino también en otro tiempo. Esta transmisión atrasada es llamada *Diversidad Retrasada*. El código de espacio-tiempo combina copias de señales espaciales y temporales como en la figura siguiente. Las señales s_1 y s_2 están multiplexadas en 2 cadenas de datos. Después, una replica de la señal es sumada para crear el *Código de Bloque Espacio-Tiempo de Alamouti*.

Figura 7. Código de Bloque Espacio – Tiempo Alamouti para 2 Antenas transmisoras



Fuente: Rhode y Schwarz Introduction to MIMO system. Pág 6.

Los Códigos de espacio Tiempo pueden ser designados en 2 diferentes maneras.

- Código de Bloque Espacio–Tiempo o STBC (2 antenas transmisoras = Código Alamouti ver figura anterior)

- Código Trellis Espacio–Tiempo o STTC creado por un FSM (Maquina de estado final)

El primer código es la manera más fácil de alcanzar la Diversidad espacial y es ampliamente usada. El segundo código es más complejo y costoso actualmente.

Para más de 2 antenas hay muchos pseudo- Codigos Alamouti, los cuales se muestran en la figura 8, 9 y 10.

Figura 8. Código Alamouti compuesto para más de 2 antenas transmisoras.

$$S_{32} = \begin{bmatrix} s_1 & -s_2^* \\ s_2 & s_1^* \\ s_3 & s_4 \end{bmatrix} \quad S_{42} = \begin{bmatrix} s_1 & -s_2^* \\ s_2 & s_1^* \\ s_3 & s_4^* \\ s_4 & s_3^* \end{bmatrix} \quad S_{43} = \begin{bmatrix} s_1 & -s_2^* \\ s_2 & s_1^* \\ s_3 & s_4 \\ s_5 & s_6 \end{bmatrix}$$

Fuente: *Rhode y Schwarz Introduction to MIMO system. Pág 6.*

El índice de los códigos muestra el primero el número de antenas y segundo el número de flujos de dato espacial. Aparte del S_{42} los demás no alcanzan full diversidad y cuatro flujos de datos pueden obtenerse solo por *multiplexación espacial sin Diversidad espacial.*

Figura 9. Código de Bloque de Espacio – Tiempo para 3 tx antenas

$$S_{33} = \begin{bmatrix} s_1 & -s_2 & -s_3 & -s_4 & s_1^* & -s_2^* & -s_3^* & -s_4^* \\ s_2 & s_1 & s_4 & -s_3 & s_2^* & s_1^* & s_4^* & -s_3^* \\ s_3 & s_4 & s_1 & -s_2 & s_3^* & s_4^* & s_1^* & -s_2^* \end{bmatrix}$$

Fuente: *Rhode y Schwarz Introduction to MIMO system. Pág 7.*

El código de la figura anterior está basado en un diseño real de código de bloque Espacio – Tiempo y genera full diversidad con Multilexacion Espacial completa. El problema con este código es la tasa de código. La tasa de código no es más que la tasa de señales usadas y el tiempo necesario para transmisión. El código mostrado tiene una tasa de código de $\frac{1}{2}$.

Vahid Tarokh desarrollo un Código de Bloque Espacio – Tiempo que aumenta la tasa de código a $\frac{3}{4}$. Este cuasi ortogonal STBC Código de Bloque espacio–Tiempo (ver Figura 10) es eficiente pero permite algunas interferencias inter símbolo (ISI). A pesar de eso, la tasa de error de bit (BER) aún se mantiene en un rango de tolerancia. Ninguno de estos códigos es capaz de alcanzar full tasa de código como Alamouti.

Figura 10. Optimización del Código de Bloque de Espacio – Tiempo para 3

$$S_{33} = \begin{bmatrix} s_1 & -s_2^* & \frac{s_3^*}{\sqrt{2}} & \frac{s_3^*}{\sqrt{2}} \\ s_2 & s_1^* & \frac{s_3^*}{\sqrt{2}} & -\frac{s_3^*}{\sqrt{2}} \\ \frac{s_3}{\sqrt{2}} & \frac{s_3}{\sqrt{2}} & \frac{(-s_1 - s_1^* + s_2 - s_2^*)}{2} & \frac{(s_1 + s_1^* + s_2 - s_2^*)}{2} \end{bmatrix}$$

Fuente: Rhode y Schwarz *Introduction to MIMO system*. Pág 7.

El número de flujos de datos espaciales no puede ser mayor que el número de antenas existentes. Note que la negociación entre Diversidad espacial y Multiplexación espacial es importante para un sistema MIMO fiable y poderoso.

En algunos casos el termino *Macro Diversidad* aparece. Esta clase de diversidad es usada en sistemas MIMO pero no es asociada con este. Macro diversidad es aplicable en el proceso de entrega si la terminal esta conectada simultáneamente a mas de una estación base. La terminal de usuario recibe la misma señal de más de una dirección y combina todas las señales para conseguir una mejor SNR.

10.4 ¿CÓMO FUNCIONA MIMO?

La propagación multitrayectorias es una característica de todos los ambientes de comunicación inalámbricos. Usualmente existe una ruta o trayectoria principal desde un transmisor en el punto “A” al receptor en el punto “B”. Desafortunadamente, algunas de las señales transmitidas toman otras trayectorias, irrumpiendo objetos, la tierra o capas de la atmósfera. Aquellas señales con trayectorias menos directas, llegan a los receptores desfasadas y atenuadas.

Una estrategia para negociar con señales débiles multitrayectoria es simplemente ignorarlas. Las señales multitrayectoria con mucha potencia pueden ser demasiado fuertes como para ignorarse, sin embargo, pueden degradar el desempeño de los equipos WLAN basados en los estándares actuales. MIMO toma ventaja de la propagación multitrayectorias para incrementar el caudal eficaz, cobertura y fiabilidad de las señales.

Más allá de combatir las señales multitrayectoria, MIMO pone señales multitrayectoria a trabajar acarreado y concentrando más información. Cada una de estas señales son moduladas y transmitidas por una serie antenas al mismo tiempo y en el mismo canal de frecuencia. El empleo de múltiples formas de onda constituye un nuevo tipo de radio comunicación, la cual es el

único medio para mejorar los tres parámetros básicos del desempeño del enlace (cobertura, velocidad y calidad de la señal).

MIMO tiene la habilidad de multiplicar la capacidad, la cual es un sinónimo de velocidad. Una medida para medir la capacidad inalámbrica es conocida como la eficiencia espectral (EE). La EE es el número de unidades de información por unidad de tiempo por unidad de ancho de banda, denotada usualmente como bps/Hz (bits por segundo sobre Hertz). Si se transmiten múltiples señales, conteniendo diferentes ráfagas con información, sobre el mismo canal, se puede doblar o triplicar la eficiencia espectral. Más eficiencia espectral da como resultado más velocidad de información, más cobertura, más usuarios, una mejor calidad de la señal.

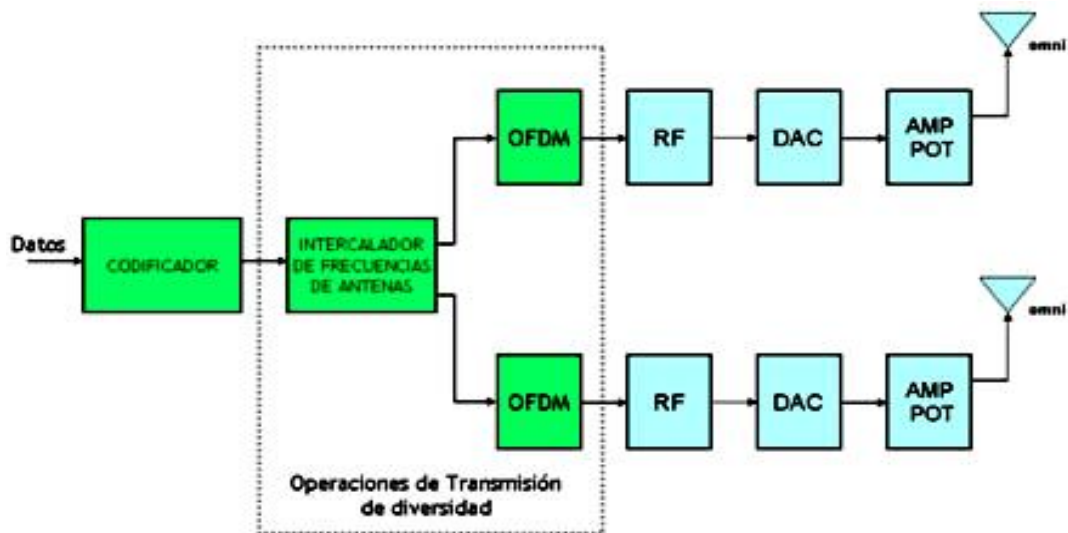
Los transmisores MIMO aprovechan las bondades de OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing). OFDM es una técnica de modulación digital que divide la señal en varios canales de banda angosta a diferentes frecuencias. Dentro de las bondades de OFDM incluyen: gran eficiencia espectral, resistencia en contra de interferencia por multitrayectorias, filtrado de ruido externo.

Los principales bloques de procesamiento de un transmisor utilizando MIMO incluyen dos antenas de transmisión con dos moduladores OFDM idénticos, convertidores analógico-digital (ADC), moduladores analógicos de radio

frecuencia (RF), amplificadores de potencia (AMP POT) y antenas con patrón omnidireccional. Un transmisor MIMO con dos antenas es un modulador digital que alimenta dos cadenas analógicas idénticas (circuitería DAC & RF) y dos antenas idénticas omnidireccionales.

De esta manera, la transmisión MIMO-OFDM es exactamente la misma, como si dos transmisiones OFDM simultáneas ocurrieran en el mismo canal, pero con diferentes datos digitales.

Figura 11. Bloques principales de un transmisor básico MIMO-OFDM con dos antenas



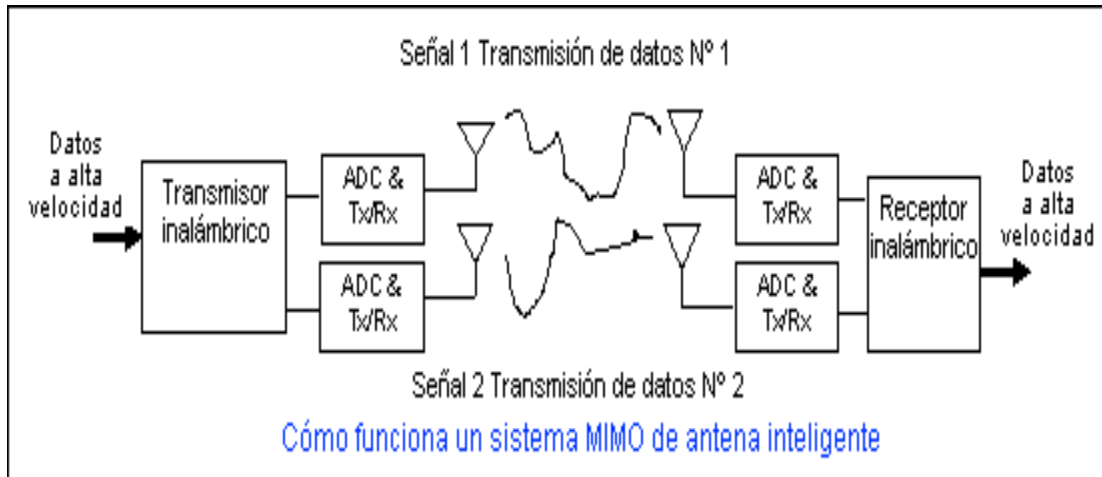
Fuente: MIMO la próxima generación de la tecnología Wi-Fi . *Por Evelio Martinez Martinez*

Por otra parte la multiplicidad de antenas de la tecnología MIMO no causa problemas de interferencia, ya que cada una de las antenas se encuentran afinadas con el mismo canal de distribución, cada una transmitiendo con diferentes características espaciales. Cada receptor escucha las señales de cada transmisor, habilitando varias rutas en las que las reflexiones de ruta múltiple (normalmente interrupciones con la recuperación de la señal) pueden volver a combinarse para mejorar las señales deseadas.

Otra valioso beneficio de la tecnología MIMO es que puede proporcionar SDM (multiplexación de división espacial). SDM multiplexa espacialmente múltiples transferencias de datos independientes (esencialmente canales de distribución virtuales) al mismo tiempo dentro de un canal de distribución espectral de ancho de banda.

SDM de MIMO puede incrementar significativamente la capacidad de proceso de los datos a medida que aumenta el número de transferencias de datos espaciales resueltos. Cada transferencia espacial necesita su propio par de antena transmisora/receptora (TX/RX) en cada extremo de la transmisión. Es importante comprender que la tecnología MIMO necesita de una cadena de frecuencia de radio (RF) independiente y de un conversor analógico a digital (ADC) para cada antena MIMO.

Figura 12. Forma de transmisión de las antenas MIMO



Fuente: Contribución a definir la próxima generación de estándares inalámbricos Wlan (Intel)

Una herramienta importante que le permite al pre-estándar IEEE 802.11n aumentar la velocidad de transferencia física son los canales de distribución espectrales de ancho de banda más amplios. Al utilizar un ancho de banda de canal de distribución más amplio "OFDM" se ofrecen significativas ventajas al maximizar el rendimiento. Los canales de distribución de ancho de banda más amplios son rentables y fáciles de conseguir en DSP, procesamiento de señales digitales. Si se implementan apropiadamente, la duplicación del ancho de banda antiguo de canales de distribución 802.11 de 20 MHz hasta 40 MHz puede proporcionar hasta dos veces el ancho de banda del canal de distribución útil del que se utiliza actualmente. Al acoplar la arquitectura MIMO con canales de distribución de ancho de banda más

amplios se ofrece la oportunidad de establecer enfoques muy potentes y rentables para aumentar la velocidad de transferencia física.

10.5 VERSIONES DE LA TECNOLOGÍA MIMO

- MIMO: Múltiple input múltiple output; Este es el caso en el que tanto transmisor como receptor poseen varias antenas.
- MISO: Múltiple input Single output; En el caso de varias antenas de emisión pero únicamente una en el receptor.
- SIMO: Single input múltiple output; En el caso de una única antena de emisión y varias antenas en el receptor.

Este conjunto de antenas son usadas en función de la tecnología dentro de MIMO que se vaya a usar. Principalmente hay tres categorías de tecnología MIMO:

10.5.1 Beamforming

Beamforming es una técnica de procesamiento de señales usado con arreglos de antenas trasmisoras y receptoras que controlan la direccionalidad de un patrón de radiación o la sensibilidad de MIMO.

Cuando se transmite una señal, beamforming puede aumentar la potencia en la dirección donde va a ser emitida. De igual manera, al recibir una señal,

beamforming puede aumentar la sensibilidad del receptor en la dirección de las señales deseadas y la disminuye en la dirección de interferencia y ruido.

De hecho, se puede hacer una analogía con los oídos humanos, nosotros podemos determinar de donde proviene el sonido de acuerdo al retardo que existe al llegar a ellos.

El cambio del nuevo patrón de radiación, comparado con un patrón de transmisión omnidireccional es conocido como ganancia en el receptor. Estos cambios crean máximos y mínimos en el patrón de radiación. Esa teoría fue desarrollada por el Nóbel Laureado Luís Álvarez durante la 2da guerra mundial para aplicar radares giratorios.

10.5.1.1 ¿Cómo se cambia patrón de radiación?

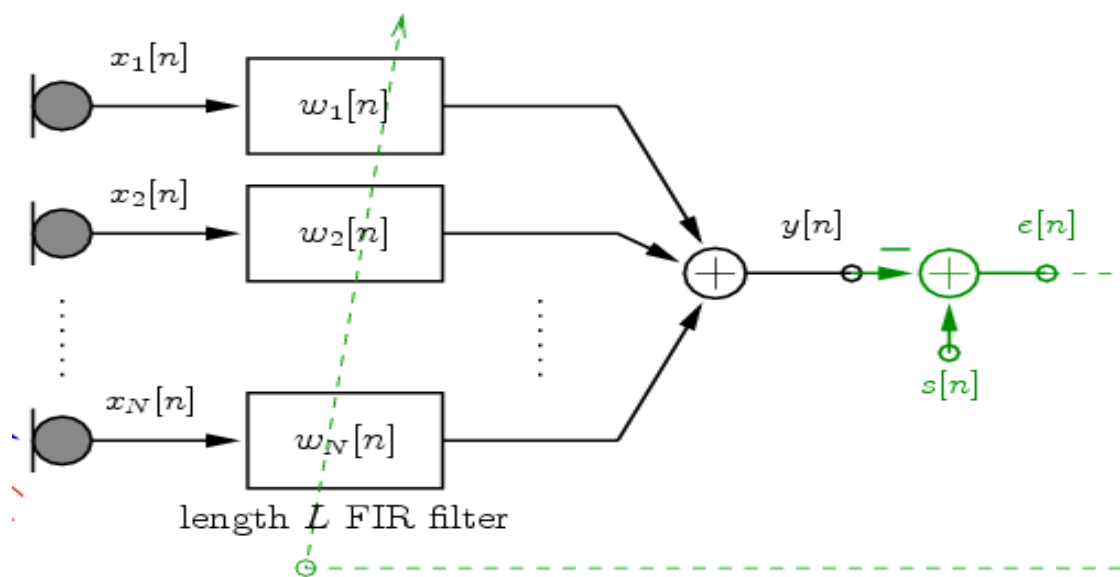
Beamforming utiliza la ventaja de interferencia para cambiar la direccionalidad de un arreglo de antenas. Cuando se transmite, un beamformer controla *la fase* y la *amplitud relativa* de la señal de cada transmisor, con el fin de crear un patrón de interferencia constructiva y destructiva en el frente de onda.

No debe confundirse la idea de un actuador mecánico que gira la antena para que apunte su lóbulo de máxima directividad a una dirección deseada.

Con la superposición de ondas enviadas a cada antena, que pueden ser omnidireccionales o no, por ejemplo, la suma de señales genera un patrón de radiación requerido por el usuario.

10.5.1.2 Estructura matemática de un beamformer

Figura 13. Modelamiento de un beamforming de haz completamente adaptativo



Fuente: Gerhard Doblinger, Feb. 2006, Vienna University of Technology, Austria
<http://www.nt.tuwien.ac.at/about-us/staff/gerhard-doblinger/noise-reduction1/>

En la figura 13, se muestra un beamformer que controla una sola antena de un array completo, este compara las señales de las otras antenas y retroalimenta los pesos y retrasos de fase de la señal de la antena a la que

pertenece ese beamforming y luego las suma para adaptar el patrón de radiación perfecto para una estación receptora. La retroalimentación considera el ruido de señales interferentes para atenuarlas.

Las antenas Inteligentes (antenas que emplean beamforming) se clasifican de acuerdo a la forma en que usan los lóbulos de directividad generados, se dividen en: sistemas de haz conmutado, de seguimiento y adaptativos.

- **Los sistemas de haz conmutado**

Es el sistema más simple de antenas inteligentes. El sistema genera varios haces a ángulos predeterminados que se van conmutando secuencialmente haciendo un barrido de la zona de cobertura como un radar.

Al hacer contacto con un dispositivo, relaciona el Angulo del haz de radiación con la identificación del usuario y establece la comunicación en un intervalo de tiempo que el haz pase por esa posición.

- **Haz de seguimiento**

Es un poco más complejo, este usa un sistema de algoritmos DoA (Dirección de arribo) para identificar la dirección de arribo o de llegada del receptor y entonces ajusta el haz a ángulos predeterminado cercana a la dirección de arribo.

- ***Haz adaptativo***

Este es el nivel más alto de inteligencia donde a cada señal se le ajusta un peso o amplitud y fase dinámica personalizada para cada usuario o cubrir múltiples usuarios. Utiliza DoA para señales del receptor e interferentes para ajustar los pesos del beamformer.

10.5.1.3 Beneficios de la Tecnología de antenas inteligentes:

- **Reducción de Potencia de Transmisión:**

Con beamforming las antenas inteligentes pueden radiar una potencia menor, reduciendo energía y costos en la etapa de amplificación.

- **Reducción Nivel De Interferencia**

La mayor selectividad espacial de las antenas mimo con beamforming permite discriminar las estaciones interferentes y disminuir su potencia hacia esos AP cercanos para evitar solapamiento de canales.

- **Incremento de Nivel De Seguridad**

Al direccional las señales en el AP y el dispositivo móvil, es muy difícil que otro equipo intercepte la comunicación, a menos que se encuentre en la misma dirección en que apunta el haz de la antena.

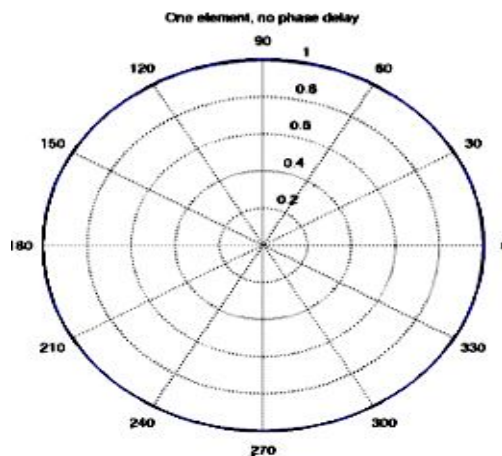
- **Aumento de la cobertura**

Debido a la directividad adaptativa que se obtiene con un array de antenas que puede ser mayor que una sola antena sectorial, la señal puede cubrir más territorio.

De acuerdo a una simulación hecha en MATLAB en la universidad de Washington en Seattle por Andy Ganse en june 2007, se muestra un ejemplo de cómo al tan solo desfasar o cambiar la fase de una señal puede cambiar el patrón de radiación general.

- Primero se muestra el patrón de radiación de 1 sola antena omnidireccional:

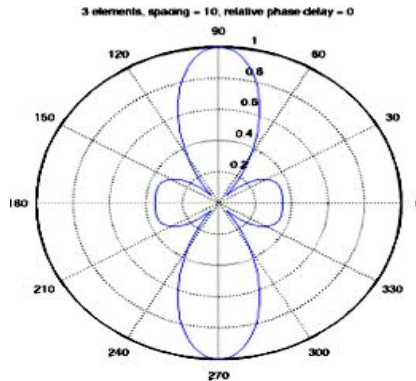
Figura 14. Patrón de radiación de una antena omnidireccional.



Fuente: An Introduction to Beamforming Andy Ganse, Applied Physics Laboratory, University of Washington, Seattle

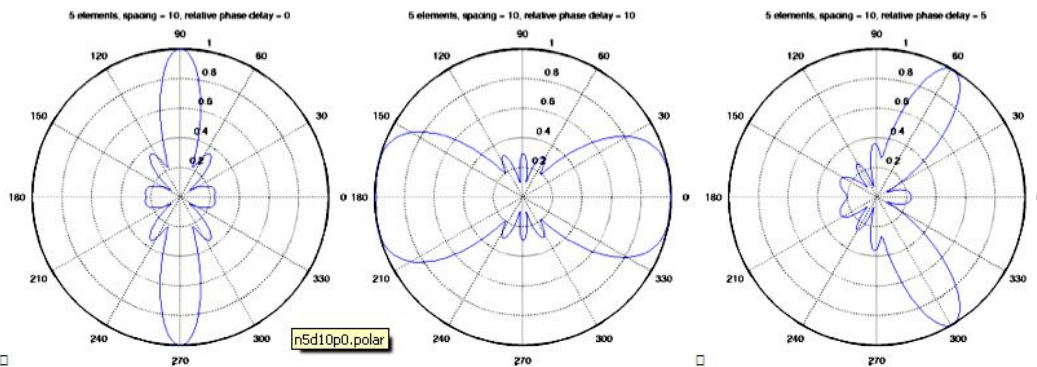
- Ahora se muestran 3 antenas omnidireccionales enviando una señal sin desfase ni cambios en amplitud

Figura 15. Patrón de radiación de array de 3 antenas omnidireccionales.



Fuente: An Introduction to Beamforming Andy Ganse, Applied Physics Laboratory, University of Washington, Seattle

Figura 16. Patrón de radiación de un array de 5 antenas omnidireccionales con retrasos de fase relativas de 0, 10 y 5 respectivamente



Fuente: An Introduction to Beamforming Andy Ganse, Applied Physics Laboratory, University of Washington, Seattle

Se nota en simulación que al cambiar las fases relativas de la señal transmitida por el array el patrón de radiación puede cambiar e incluso girar como un radar.

10.5.2 Multiplexación espacial

Consiste en la multiplexación de una señal de mayor ancho de banda en señales de menor ancho de banda iguales transmitidas desde distintas antenas. Si estas señales llegan con la suficiente separación en el tiempo a el receptor este es capaz de distinguir las creando así múltiples canales en anchos de banda mínimos. Esta es una muy buena técnica para aumentar la tasa de transmisión sobre todo en entornos hostiles a nivel de relación señal ruido. Únicamente esta limitado por el numero de antenas disponibles tanto en receptor como en transmisor. No requiere el conocimiento previo del canal en el transmisor o receptor. Para este tipo de transmisiones es obligatoria una configuración de antenas MIMO.

10.5.3 Diversidad de código

Son una serie de técnicas que se emplean en medios en los que por alguna razón solo se puede emplear un único canal, codificando la transmisión mediante espaciado en el tiempo y la diversidad de señales disponibles dando lugar a el código espacio-tiempo. La emisión desde varias antenas basándose en principios de ortogonalidad es aprovechada para aumentar la diversidad de la señal.

La multiplexación espacial puede ser combinada con el Beamforming cuando el canal es conocido en el transmisor o combinado con la diversidad de código cuando no es así. La distancia física entre las antenas ha de ser grande en la estación base para así permitir múltiples longitudes de onda. El espaciado de las antenas en el receptor tiene que ser al menos 0.3 veces la longitud de onda para poder distinguir las señales con claridad.

10.6 SISTEMA MIMO

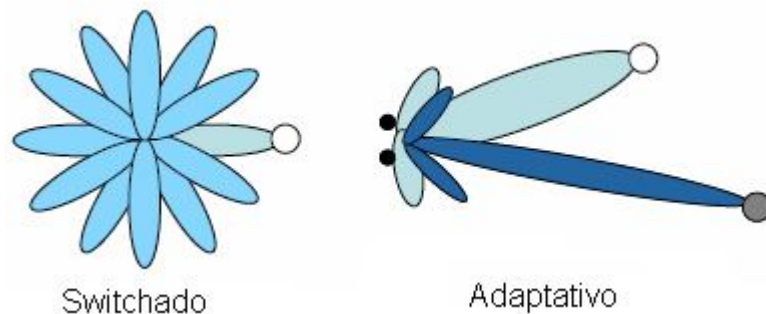
Las tecnologías de antenas son la llave en aumentar la capacidad de la red. Esto empezó con antenas sectorizadas. Estas antenas irradiaban 60 o 120 grados y opera como una sola célula. En GSM la capacidad puede ser triplicada por antenas de 120 grados. Los arreglos de antenas adaptativos intensifican la multiplexación espacial usando rayos angostos. Las antenas inteligentes llegan a adaptar arreglos de antenas pero difieren en su estimación de DoA (Dirección de Llegada). Independiente de cualquier retroalimentación soportada y transparente al terminal usuario, las antenas pueden enviar un rayo específico para el usuario. Retroalimentaciones opcionales pueden reducir la complejidad de un arreglo de antenas. Los sistemas MIMO normalmente requieren retroalimentación y no son transparentes para el usuario.

Beamforming es el método usado para crear patrones de radiación en un arreglo de antenas. Esto puede ser aplicado para todos los sistemas de arreglos de antenas al igual que para sistemas MIMO.

Las antenas inteligentes están divididas en 2 grupos:

- Phased Array Systems (Switching Beamforming) con un finito numero de patrones predefinidos.
- Sistemas De Arreglo Adaptativos (Aas) (Beamforming adaptativo) con un infinito numero de patrones ajustables al escenario en tiempo real.

Figura 17. *Conformador de rayo Switchado y Adaptativo*



Fuente: Rhodes y Schwarz. Introduction to MIMO Systems. Pag 8.

Los conformadores de rayos Switchados eléctricamente calculan el Doa (dirección de llegada) y cambian el rayo irradiado a otro predefinido. Si el

usuario se está moviendo estos rayos predefinidos se cruzan, y este cambio en la señal puede causar interrupción. En otras palabras, el usuario solo tiene óptima potencia de señal en el centro del rayo. El conformador Adaptativo maneja ese problema y ajusta el rayo en tiempo real con la terminal en movimiento. La complejidad y el costo de ese sistema son más altos que el primer tipo.

Por otra parte, para entender el principio de ganancia de los sistemas MIMO, se puede considerar la analogía con la transmisión por cable. Si un transmisor envía una señal por un cable, la capacidad de transmisión de información, C , viene dada por la fórmula de Shannon:

$$C(\text{bit} / s) = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \text{ EC. 5}$$

En la fórmula anterior S es la potencia de señal, N es la potencia de ruido en el receptor y B es el ancho de banda del canal.

Si el transmisor emplea su potencia disponible y banda de frecuencias para transmitir no una señal, sino n señales diferentes a n receptores, utilizando para ello n cables, la capacidad de transmisión total es:

$$C(\text{bit} / s) = n \cdot B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{1}{n} \cdot \frac{S}{N} \right) \text{ EC.6}$$

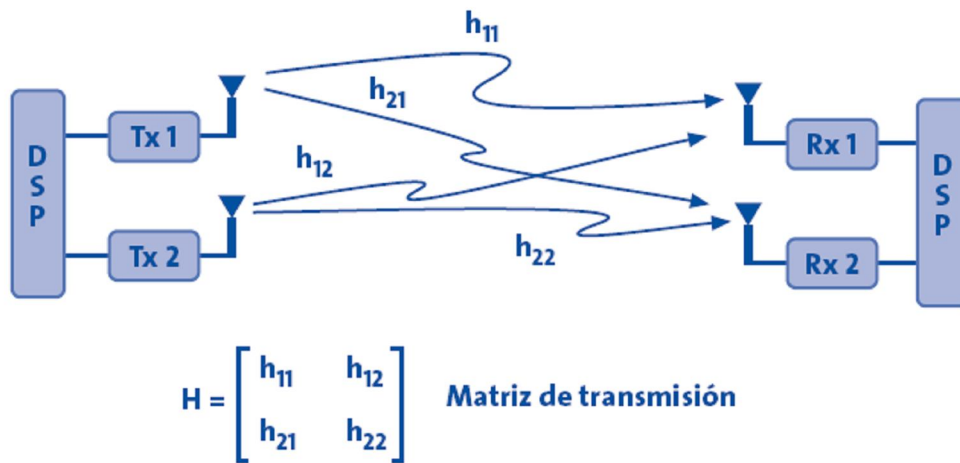
La capacidad de transmisión en este segundo caso es superior a la del primero, ya que el factor n que se encuentra fuera del logaritmo tiene un peso mayor que el mismo factor n que se incluye dentro del logaritmo como divisor.

En los sistemas MIMO, cada equipo transmisor tiene asociadas un número de antenas n , y cada receptor otro, que puede ser diferente (en nuestro caso se supone también igual a n , por simplicidad). En la Figura siguiente se representa un esquema de un sistema MIMO, con dos antenas en transmisión y otras dos en recepción. Desde el punto de vista de la propagación, el canal de radio no es único, existe un canal entre cada antena transmisora y cada antena receptora, lo que obliga a representar la propagación mediante una matriz, que se conoce como matriz de transmisión, o matriz H .

El principio de ganancia de los sistemas MIMO se basa en el hecho de que si se cumple la condición de que los caminos de propagación son diferentes, con n antenas en el transmisor y otras n en el receptor, se pueden establecer no uno, sino n canales radio independientes entre sí, o modos de propagación. Una forma intuitiva de ver este fenómeno es considerar que las señales radio llegan de las antenas transmisoras a las receptoras después de varias reflexiones en edificios o paredes, y que la combinación de

reflexiones es diferente para cada antena receptora, de forma que se transmite una señal diferente para cada combinación de reflexiones.

Figura 18. Matriz de transmisión del Canal MIMO



Fuente: Las Telecomunicaciones y la Movilidad en la Sociedad de la Información. Cap 10 Nuevas Tecnologías. Telefonica.

En lenguaje más formal, las antenas MIMO añaden a la propagación una nueva capacidad de multiplexación, la multiplexación espacial.

Conviene introducir en este punto unos comentarios sobre la diferencia existente en los caminos de propagación.

En el caso de la propagación por rayo directo solamente existe un modo de propagación, no hay reflexiones, y el hecho de aumentar el número de antenas no proporciona ganancia alguna. Sólo a medida que la propagación se vuelve multitrayecto empiezan a *descorrelarse* los caminos, y a aumentar el número de modos. Esta situación corresponde a condiciones de

propagación pobres, que son las que se dan en entornos metropolitanos o de interiores en las comunicaciones móviles.

El hecho de que los caminos de propagación sean diferentes no basta para obtener un aumento de la capacidad del canal; es necesario, además, que en las diferentes antenas del transmisor se inyecten las señales adecuadas, y que en la recepción las señales obtenidas se procesen también de forma pertinente. Sin embargo, se pueden realizar las siguientes consideraciones:

- Ya que el canal se modela mediante una matriz, la ingeniería MIMO consiste, en buena parte, en el procesado de matrices en tiempo real. Es por ello que en un elemento de red MIMO se necesita un transmisor diferente por cada antena transmisora y un receptor por cada antena receptora. En la (Figura 13) se indica como se efectúa el procesado digital de la señal en cada transmisor o receptor. La implementación de los sistemas MIMO encuentra su principal obstáculo en la complejidad de este procesado, sobre todo en los terminales, tanto por el tamaño de los procesadores que se requieren como por su consumo.
- En lo que respecta al procesado digital en los receptores, con objeto de simplificarlo se debe procurar que los elementos de la matriz H se

- puedan representar mediante números, no mediante funciones. Esto exige, a su vez, que la propagación entre dos antenas se pueda considerar constante en el tiempo y frecuencia. La condición relativa a considerar constante la frecuencia exige que el ancho de banda por portadora no sea excesivamente grande con respecto al retardo de propagación multitrayecto. Lo que lleva a la conclusión de que en los sistemas de comunicaciones móviles de banda ancha los sistemas MIMO son especialmente aplicables para modulaciones OFDM, en las que la velocidad de modulación por portadora es baja. La primera condición enumerada, relacionada con la constancia en el tiempo, se puede conseguir sin más transmitiendo ráfagas no excesivamente largas, durante las cuales el canal se puede considerar constante. Al comienzo de cada ráfaga se incluyen símbolos piloto con los que cada receptor mide los coeficientes de la matriz H asociados a su antena.

10.7 MIMO y OFDM

MIMO es aplicable a todas las clases de tecnologías de comunicación inalámbrica. Sin embargo, la combinación de MIMO y OFDM (Multiplexación por división de Frecuencia Ortogonal) tiene las siguientes ventajas.

OFDM es adaptada para propagación multicamino en sistemas inalámbricos. La longitud de las tramas OFDM es determinada por el intervalo Guardián

(GI). Este intervalo restringe el retraso de ruta máxima y por tanto, la expansión del área de la red. MIMO también usa una propagación multicamino.

OFDM es un sistema de banda ancha con muchas sub-portadoras de banda estrecha. El modelo Del canal Matemático MIMO esta basado en un canal de banda estrecha de canales no selectivos de frecuencia. La última es soportada por OFDM también. Los efectos de atenuación en sistemas de banda ancha normalmente ocurren en frecuencias particulares e interfiere con pocas sub-portadoras. Los datos son esparcidos sobre todas las portadoras, de tal manera que solo una cantidad pequeña de bits se pierda y puedan ser recuperadas por la corrección de errores (FEC). OFDM provee alta eficiencia espectral y un grado de libertad en la dimensión del tiempo de Códigos de Bloque espacio Tiempo sobre muchas sub-portadoras. Esto resulta en un sistema más robusto basado en el principio expuesto.

10.8 (OFDM) ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING

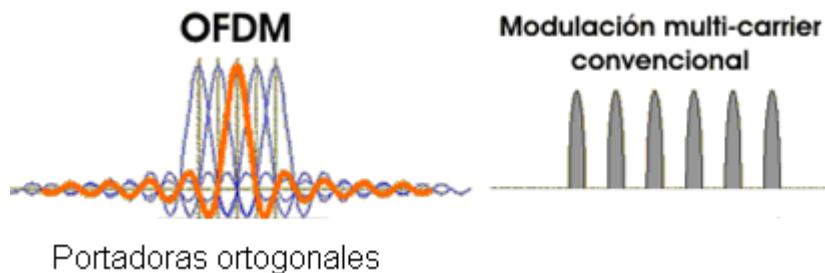
El origen del OFDM es en la década del 50/60 en aplicaciones de uso militar que trabaja dividiendo el espectro disponible en múltiples subportadoras. La transmisión sin línea de vista ocurre cuando entre el receptor y el transmisor existen reflexiones o absorciones de la señal lo que resulta en una degradación de la señal recibida lo que se manifiesta por medio de los

siguientes efectos: atenuación plana, atenuación selectiva en frecuencia o interferencia Inter.-símbolo. Estos efectos se mantienen bajo control con el W-OFDM que es una tecnología propietaria de WI LAN quien recibió la patente para comunicaciones inalámbricas de dos vías y banda ancha OFDM (WOFDM).

OFDM es una tecnología de modulación digital, una forma especial de modulación multi-carrier considerada la piedra angular de la próxima generación de productos y servicios de radio frecuencia de alta velocidad para uso tanto personal como corporativo. La técnica de espectro disperso de OFDM distribuye los datos en un gran número de carriers que están espaciados entre sí en distintas frecuencias precisas. Ese espaciado evita que los de-moduladores vean frecuencias distintas a las suyas propias.

El espectro de OFDM se traslapa

Figura 19. Comparación de espectro OFDM y Modulación Convencional



Fuente Mirna Cantero, Maria Reina Oliveira <http://www.jeuazarru.com/docs/802.11n.pdf>

10.8.1 W-Ofdm - Wideband Orthogonal Frequency Division Multiplexing

Esquema de transmisión que codifica la información en múltiples radio frecuencias simultáneamente. Dando como resultado, mayor seguridad y mayor velocidad. Esto lo convierte en el esquema más eficiente en el uso del ancho de banda en la industria.

W-OFDM es la base del estándar IEEE 802.11a.

10.8.1.1 Características

- Ancho de Banda: 30Mbps
- Altamente inmune a interferencias
- Punto-a-Punto, 8 a 10Km
- Multi-Punto, 3 a 5Km
- Próximamente: 45Mbps, 90Mbps, 155Mbps

W-OFDM (Wide-band Orthogonal Frequency Division Multiplexing), codifica los datos dentro de una señal de radio frecuencia (RF). Transmisiones convencionales como AM/FM envían solamente una señal a la vez sobre una frecuencia de radio, mientras que OFDM envía una señal de alta velocidad concurrentemente sobre frecuencias diferentes. Esto nos permite hacer un uso muy eficiente del ancho de banda y tener una comunicación robusta al enfrentar ruido y reflejos de señales.

La tecnología OFDM parte una señal de alta velocidad en decenas o centenas de señales de menor velocidad, que son transmitidas en paralelo. Esto crea un sistema altamente tolerante al ruido, al mismo tiempo es muy eficiente en el uso del ancho de banda y por lo tanto permite una amplia cobertura de área punto a punto y multipunto.

10.9 MIMO (Multiple Input /Multiple Output) - ANTENAS

Tecnología que, mediante el empleo de varias antenas, ofrece la posibilidad de resolver información coherentemente desde varias rutas de señales mediante antenas receptoras separadas espacialmente.

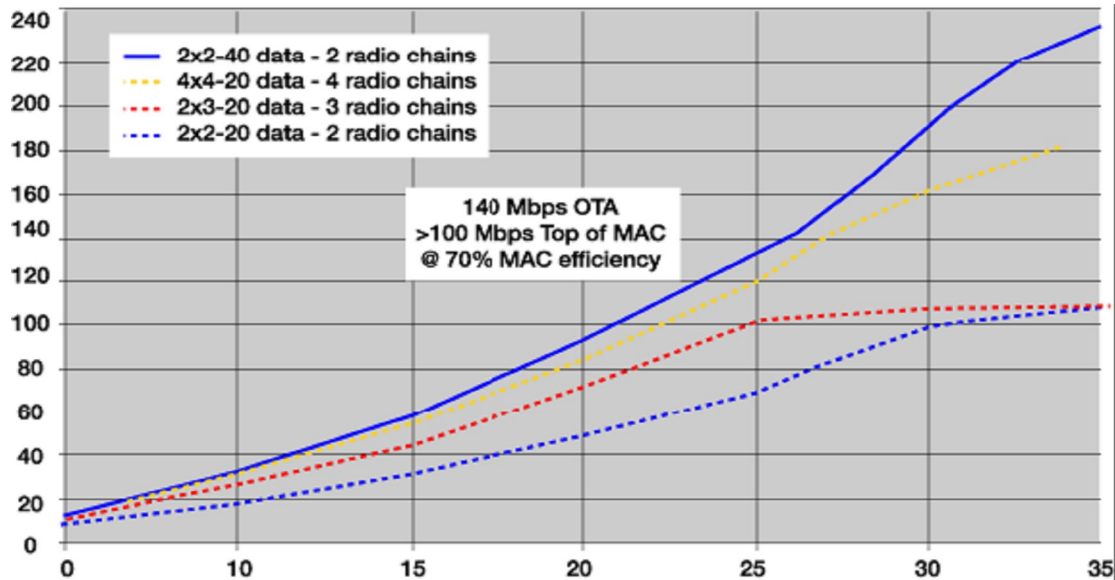
Las señales multi-ruta son las señales reflejadas que llegan al receptor en cualquier momento después de la señal original o de la línea de vista que ha sido recibida. Generalmente la multi-ruta es considerada como una interferencia que reduce la habilidad del receptor para recuperar la información inteligente.

MIMO proporciona la oportunidad de resolver espacialmente las señales multi-rutas, al proporcionar ganancias de diversidad que contribuyen a la habilidad de un receptor para recuperar la información inteligente.

Otra oportunidad valiosa que puede proporcionar la tecnología MIMO es el Multiplexado por División Espacial (*Spatial Division Multiplexing, SDM*). El cual crea una división espacial multiplexada en varios flujos de datos independiente, transferidos simultáneamente dentro de un canal espectral

del ancho de banda. El MIMO SDM puede incrementar notablemente el rendimiento de datos así como la cantidad de flujos espaciales resueltos.

Figura 20. Prueba de tasa de transferencia en el aire vs. SNR



Fuente: Mirna Cantero, Maria Reina Oliveira <http://www.jeuazarru.com/docs/802.11n.pdf>

La figura anterior ilustra los resultados de un simulacro realizado por el grupo TGn y refleja el resultado over-the-air (OTA) en diferentes valores Señal-Ruido (SNR). Se asume una eficiencia MAC del 70% para ilustrar el requisito Top-of-MAC de 100Mbps en TGn (140Mbps).

Estos resultados comparan el rendimiento de las implementaciones de 20MHz y a 40MHz.

- Ilustraremos cada configuración de sistema al utilizar la convención siguiente:

Un transmisor de dos antenas que se comunica con un receptor de dos antenas por un canal a 40MHz es representado por un 2X2-40MHz, donde 2 flujos de datos son transferidos. También se encuentran representados en estos resultados:

4x4-20MHz transfiriendo 4 flujo de datos

2x3-20MHz transfiriendo 3 flujos de datos

2x2-20MHz transfiriendo 2 flujos de datos

La ventaja principal que ofrece una implementación de 2x3Mhz sobre la implementación de 2x2Mhz es la relación señal-ruido (SNR) mejorada. Esto se nota con el rango mejorado para una capacidad de rendimiento dado. Esto muestra que una implementación de dos flujos MIMO no logra satisfacer los requisitos de Top-of-MAC de 100Mbps.

Para lograr la meta de 100Mbps usando solamente canales de 20Mhz requerirá que las implementaciones MIMO admitan al menos tres flujos de datos. Es fácil apreciar la ventaja de una implementación 2x2-40Mhz en estos resultados.

Fíjese que aún duplicando la cantidad de cadenas RF usando una implementación de 20Mhz para transmitir cuatro flujos de datos no se logra el rendimiento posible con solamente dos cadenas RF usando un canal de 40Mhz transmitiendo dos flujos de datos.

El uso de dos canales de 40Mhz permite una complejidad reducida lo cual mantiene los costos bajos a tiempo de ofrecer resultados para una experiencia robusta del usuario.

10.10 ESPECIFICACIONES DRAFT 802.11N

En la tabla a continuación se describe las principales y novedosas características que utiliza el estándar 802.11n para alcanzar mayor rendimiento los cuales son considerados por el draft-n.

Tabla 4. Componente más importante del estándar 802.11n

Característica	Definición	Estado de especificación.
OFDM mejorado	Soporta ancho de banda mayores y tasas de código más altas brindando una tasa de datos máxima de 65Mbps.	Obligatorio
Multiplexación por división de espacio	Mejora desempeño fraccionando datos en múltiples flujos transmitidos a través de múltiples antenas	Opcional hasta cuatro flujos espaciales

Diversidad	Explota la existencia de múltiples antenas para mejorar rango y fiabilidad. Típicamente empleada cuando el número de antenas en el receptor es más alto que el número de flujos que están siendo transmitidos	Opcional hasta para cuatro antenas
Ahorro de energía MIMO	Limita consumo de energía utilizando múltiples antenas solo cuando se necesita	Requerido
Canales de 40Mhz	Duplica efectivamente tasas de datos duplicando el ancho del canal de 20 a 40Mhz	opcional
Agregación	Mejora la eficiencia permitiendo transmisión de ráfagas de múltiples paquetes de datos entre comunicaciones de encabezado	requerido
Espaciamiento Intertrama reducido (RIFS)	Provee un retraso más corto entre transmisiones OFDM que en 802.11a/g	Requerido
Modo Greenfield	Elimina el soporte para dispositivos 802.11a/b/g en la red del draft-N	Actualmente opcional

Fuente: 802.11n: Next-Generation Wireless LAN Technology. Broadcom. Pag 5.

10.11 COMPATIBILIDAD CON LAS REDES WLAN DE HOY

La especificación 802.11n tuvo muy en cuenta las versiones 802.11 actuales con el fin de asegurar compatibilidad con más de 200 millones de dispositivos WIFI en uso. Un AP se comunicará con dispositivos 802.11a en la banda de 5Ghz al igual que 802.11b /g que operan en la banda de 2.4Ghz. Además de

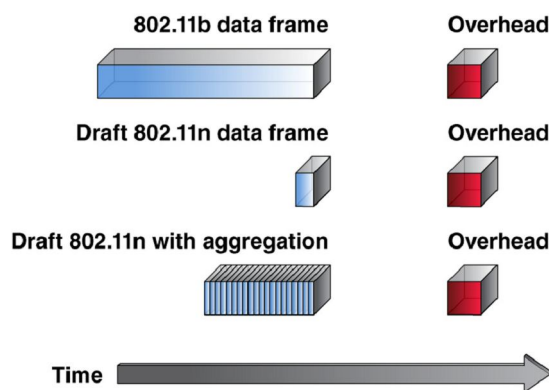
la interoperabilidad entre dispositivos, ofrece una red de mayor eficiencia en modo mixto mejor de lo que ofrece 802.11g.

La eficiencia de la red es básicamente la proporción del ancho de banda que es usado para transmitir datos sin tener en cuenta el encabezado o protocolos usados para manejar las comunicaciones de la red. Los ambientes inalámbricos son mucho más difíciles de organizar que las redes cableadas, por lo tanto hay más encabezado para asegurar que los datos enviados son recibidos, y que otros clientes dejan el canal abierto durante transmisión.

La presencia de nodos 802.11b hacen las comunicaciones más difíciles en la banda de 2.4Ghz porque los estándares anteriores no reconocen OFDM, que es empleada por 802.11g y draft -N. Esto significa que si los Clientes OFDM desean comunicarse en la presencia de clientes 802.11b, ellos necesitarían usar el protocolo de comunicación viejo para así por lo menos proteger las velocidades altas de las transmisiones de OFDM. Esto hace disminuir considerablemente la eficiencia de la red porque los paquetes de datos tardan menos tiempo para transmitirse con 802.11g y 802.11n que haciéndolo con el estándar 802.11b.

Una de las características más importantes en la especificación del draft- N para mejorar el desempeño en modo mixto es la agregación. En ves de enviar una sola trama de datos, el cliente transmisor empaqueta muchas tramas juntas. Así, la agregación mejora la eficiencia restaurando el porcentaje de tiempo que el dato esta siendo transmitido sobre la red, como la figura siguiente se muestra.

Figura 21. Como la agregación mejora la eficiencia en modo de red mixto



Fuente: 802.11n: Next-Generation Wireless LAN Technology. Broadcom. Pag 5.

Es mucho mas fácil para los dispositivos draft-n coexistir con 802.11g y 802.11a porque todos ellos utilizan OFDM. Aun así, hay características en la especificación que aumentan la eficacia solo en las redes OFDM. Una de esas características es el Espacio Intertramas reducido, o RIF, que acorta el retraso entre transmisiones.

11. PRODUCTOS Y APLICACIONES

En esta parte se hablara sobre algunos dispositivos inalámbricos 802.11n que existen actualmente en el mercado, basados en los Draft que han escrito y han sido aprobados por la IEEE (1.0 y 2.0).

Sobre estos dispositivos se hará una breve descripción sobre sus características más importantes y la información técnica que da el fabricante.

11.1 Tecnología Wireless N de D-Link

Figura 22. Router RangeBooster N 650 DIR-635 de D-Link



Fuente: [www. Esemanal.com](http://www.Esemanal.com). Periscopio. Ruteadores Inalambricos

➤ Información general

El router RangeBooster N 650 DIR-635 de D-Link es un dispositivo que cumple con draft 2.0 802.11n y que ofrece un rendimiento real más rápido (hasta el 650 % más rápido que el estándar 802.11g) que una conexión

inalámbrica 802.11g y que una Ethernet por cable a 100 Mbps.

El router DIR-635 soporta las últimas características de seguridad inalámbrica para evitar el acceso no autorizado, ya sea desde la red inalámbrica o desde Internet. El soporte para los estándares WPA y WEP garantiza que podrá usar la mejor encriptación posible, independientemente de sus dispositivos cliente. Además el router usa firewalls dobles (SPI y NAT) para evitar posibles ataques provenientes de Internet.

➤ Main Specs

Tipo de dispositivo	Enrutador inalámbrico conmutador de 4 puertos (integrado)
Factor de forma	Externo
Dimensiones (Ancho x Profundidad x Altura)	19.3 cm x 11.7 cm x 3.1 cm
Peso	300 g
Banda de frecuencia	2.4 GHz
Protocolo de interconexión de datos	Ethernet, Fast Ethernet, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, IEEE 802.11n (draft)
Red / Protocolo de transporte	PPTP, L2TP, IPSec, PPPoE
Protocolo de gestión remota	HTTP
Características	Protección firewall, auto-sensor por dispositivo, asignación dirección dinámica IP, soporte de DHCP, soporte de NAT, negociación automática, señal ascendente automática (MDI/MDI-X automático), soporte para Syslog, Stateful Packet Inspection (SPI), filtrado de contenido, servidor DNS dinámico, pasarela VPN, filtrado de URL, Quality of Service (QoS)
Cumplimiento de normas	IEEE 802.3, IEEE 802.3u, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, IEEE 802.1x, IEEE 802.11n (draft)

➤ Extended Specs

General	
Tipo de dispositivo	Enrutador inalámbrico
Factor de forma	Externo
Anchura	19.3 cm
Profundidad	11.7 cm
Altura	3.1 cm
Peso	300 g



Conexión de redes	
Tecnología de conectividad	Inalámbrico, cableado
Conmutador integrado	Conmutador de 4 puertos
Banda de frecuencia	2.4 GHz
Protocolo de interconexión de datos	Ethernet, Fast Ethernet, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, IEEE 802.11n (draft)
Método de espectro expandido	OFDM, DSSS
Protocolo de conmutación	Ethernet
Red / Protocolo de transporte	PPTP, L2TP, IPSec, PPPoE
Protocolo de gestión remota	HTTP
Indicadores de estado	Actividad de enlace, alimentación, tinta OK, estado
Características	Protección firewall, auto-sensor por dispositivo, asignación dirección dinámica IP, soporte de DHCP, soporte de NAT, negociación automática, señal ascendente automática (MDI/MDI-X automático), soporte para Syslog, Stateful Packet Inspection (SPI), filtrado de contenido, servidor DNS dinámico, pasarela VPN, filtrado de URL, Quality of Service (QoS)
Cumplimiento de normas	IEEE 802.3, IEEE 802.3u, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, IEEE 802.1x, IEEE 802.11n (draft)

Antena	
Antena	Externa desmontable
Cantidad de antenas	3
Directividad	Omnidireccional

Expansión / Conectividad	
Interfaces	1 x red - Radio-Ethernet 1 x red - Ethernet 10Base-T/100Base-TX - RJ-45 (WAN) 4 x red - Ethernet 10Base-T/100Base-TX - RJ-45 1 x gestión - 4 PIN USB tipo A

Diverso	
Cables (Detalles)	1 x cable de red
Algoritmo de cifrado	WEP de 128 bits, ncriptación de 64 bits WEP, WPA, WPA2
Método de autenticación	RADIUS
Cumplimiento de normas	CE, FCC

Alimentación	
Dispositivo de alimentación	Adaptador de corriente - externa

11.2 Tarjeta PCI Wireless N

D-Link una de las principales compañías en la creación de dispositivos inalámbricos, se encuentra trabajando fuertemente en dispositivos basados en el entrante estándar IEEE 802.11n.

La variedad de dispositivos 802.11n de Dlink es asombrosa y su tecnología promete sobrepasar las barreras de las tecnologías cableadas. A continuación veremos algunos de los productos que Dlink tiene actualmente en el mercado basado en el estándar 802.11n.

El adaptador DWA-547 PCI de D-Link, le permitirá al usuario instalar un entorno de red de altas prestaciones con una velocidad de transmisión de datos que supera los entornos Ethernet por cable, brindando amplio cubrimiento de los espacios y altas capacidades de red.

Figura 23. Tarjeta PCI para 802.11n



Fuente: [www. Esemanal.com](http://www.Esemanal.com). Periscopio. Ruteadores Inalambricos

➤ **Principales Características**

- Compatible con el estándar IEEE 802.11b/802.11g 2.4GHz.
- Hasta un 650% más rápido que 802.11g.
- Está provisto de antenas de alto rendimiento, lo que permite la transferencia a través de más canales.
- Identificación y regulación del rendimiento máximo posible de la WLAN.
- Funciona con todos los algoritmos de codificación, como WEP, WPA, WPA2 y 802.11x.
- Fácil configuración, instalación plug and play.
- Controlador para Windows 2000 y Windows XP.

La tarjeta DWA-547 está ideada para todos aquellos que buscan una solución de red para su equipo informático con las mayores prestaciones de hoy pero con la tecnología de mañana. Como este producto está basado en el borrador del estándar IEEE 802.11n, alcanza una velocidad de transmisión de datos de hasta 300 Mbps. La tecnología mejorada de antenas inteligentes múltiples permite un mayor alcance y una mejor cobertura del entorno, en comparación con otros estándares inalámbricos.

11.3 WRVS4400N Router de seguridad Wireless-N con IPS

Figura 24. Router WRVS4400N



Fuente:

<http://www.linksys.com.mx/linksyswebsitepages/linksysproductos/inalambricos/consultabaselinksys/resultado.php?recordID=189>

- Cumple con el estándar IEEE 802.11n y, al mismo tiempo, es compatible con los dispositivos 802.11b y g
- Red gigabit para admitir aplicaciones que consumen un gran ancho de banda
- Firewall SPI y protección contra intromisiones para proteger el trabajo de amenazas externas
- La compatibilidad con túnel QuickVPN IPSec VPN proporciona seguridad en las conexiones de usuarios remotos
- La QoS proporciona una mayor calidad en voz y

11.4 WPC4400N Tarjeta Wireless-N para ordenador portátil

Figura 25. Tarjeta Wireless WPC4400N



Fuente:

<http://www.linksys.com.mx/linksyswebsitepages/linksysproductos/inalambricos/consultabaselinksys/resultado.php?recordID=173>

- Adaptador para ordenador portátil Wireless-N de alta velocidad para su negocio
- La tecnología MIMO utiliza varios radios para crear una señal potente con un mayor alcance y reducir los puntos muertos
- Notablemente más rápido que Wireless-G y compatible con redes Wireless-G y Wireless-B
- Seguridad inalámbrica avanzada utilizando Wi-Fi Protected Access™ (Acceso Wi-Fi protegido, WPA2) con encriptación de hasta 256 bits y una nueva detección cliente PA que proporciona a su empresa la visibilidad y protección que necesita.

A continuación veremos varios tipos de dispositivos inalámbricos que aplican el 802.11n.

11.5 Belkin N1 Wireless Router F5D8231-4

Figura 26. Router Belkin F5D8231-4



Fuente: [www. Esemanal.com](http://www.Esemanal.com). Periscopio. Ruteadores Inalambricos

Características: Basada en el borrador de 802.11n, esta tecnología permite que múltiples receptores y transmisores envíen y reciban datos, utilizando las técnicas de multiplexado especial inteligente MIMO. La tecnología de antena inteligente, construida sobre el estándar ampliamente extendido 802.11g, aumenta la cobertura y la velocidad hasta 300 Mbps. La tasa de transmisión estándar o velocidad de datos físicos es de 150Mbps y 300Mbps.

Garantía: De por vida, con cambio físico

Disponibilidad: Ingram Micro, WSA Distributing de México, Tonivisa, Brightstar

11.6 D-Link DI-634M 108G

Figura 27. D-Link DI-634M 108G



Fuente: [www. Esemanal.com](http://www.Esemanal.com). Periscopio. Ruteadores Inalambricos

Características: Compatible con 802.11g y 802.11b. Tecnología MIMO Doble XR (2XR), procesador de priorización de paquetes y asistente de configuración Quick Router. Usa cuatro antenas inteligentes (Quad Smart Antennas), dos verticales y dos horizontales, que distribuyen las señales de radio para maximizar su cobertura inalámbrica, de hasta 500 mil pies cuadrados (152.4 m²). Reduce deadspots y la necesidad de hardware extra. Seguridad extensiva con WPA-PSK y WEP.

Garantía: un año

Disponibilidad: Maps, CVA, CT Internacional, Calcom, Eisberg, Sevimex, Exel, Power & Tel, y Bell Micro

12. RECOMENDACIONES Y ADVERTENCIAS

12.1 ¿COMPRAR O NO COMPRAR LOS DISPOSITIVOS 802.11N?

Hasta el momento el estándar IEEE 802.11n no ha sido ratificado por la IEEE, lo que quiere decir que toda persona que en este momento adquiera un producto 802.11n debe tener muy claro que no está comprando algo que se encuentre aprobado, por lo cual podría darse el caso de que los dispositivos no logren las velocidades estipuladas, además debe tenerse en cuenta que por no ser una tecnología ratificada por la IEEE no conservara compatibilidad entre diferentes marcas de dispositivos.

Actualmente el mercado está bastante abastecido del “Pre-estándar” y del primer “draft”. Se espera que dentro de poco se empiecen a comercializar equipos basados en el Draft 2 o borrador 2. Por lo cual se espera que los fabricantes permitan actualizar los firmwares de sus chips para no tener un derroche de tecnologías y todos los usuarios puedan acceder a las nuevas mejoras del estándar.

Se espera que en el primer semestre del 2008 se pueda disponer del estándar final 802.11n y de igual forma que todos los productos puestos en el mercado actualmente sean totalmente compatibles con el estándar final.

12.2 WI-MAX O WI-FI

A pesar del amplio crecimiento y desarrollo de las redes Wi-Fi, para tener un cubrimiento total en una ciudad, se necesitaría instalar un punto de acceso inalámbrico por lo menos cada 90 metros de distancia, esto es debido a que la tecnología WI-FI fue diseñada solo para entornos locales (LAN) y no metropolitanos (MAN).

Con Wi-Max se proponen velocidades de hasta 124 mbps y a diferencia de Wi-Fi cada antena puede tener una cobertura aproximada de 50 kilómetros, Wi-Max propone comunicaciones inalámbricas de tipo metropolitano (MAN) de gran cobertura pero hasta el momento no es capaz de ofrecer velocidades como las que presentara el estándar 802.11n de Wi-Fi.

La tecnología Wi-MAX será la base de las Redes Metropolitanas de acceso a Internet y servirá de apoyo para facilitar las conexiones en zonas rurales, estos son lugares de amplia cobertura y por esto no pueden ser alcanzados por Wi-Fi.

Por otra parte la IEEE se encuentra estudio y aprobación de la nueva propuesta de Wi-Max, la cual recibe el nombre de 802.16m esta nueva versión podría finalizar en el 2009 y sería capaz de alcanzar una velocidad

de transferencia de hasta un GBit por segundo. Esta nueva versión de Wi-Max dejaría bastante rezagado los alcances de Wi-Fi, pero hay que considerar que los costos de funcionamiento y instalación de ambas tecnologías son bastante diferentes y esto por esto que sus enfoques también lo son.

13. CONCLUSION

El crecimiento acelerado de las redes inalámbricas WLAN está impactando las industrias, pequeños negocios y hasta en los hogares, dando muestra del prometedor futuro que tienen las tecnologías inalámbricas para el desarrollo de las redes. En la actualidad, decenas de millones de unidades WLAN son vendidas anualmente. Y ahora con la entrada del estándar IEEE 802.11n con la tecnología MIMO las ventas de estos equipos aumentaran en cientos de millones de unidades anualmente, dándole paso a la nueva era de las comunicaciones.

De acuerdo con la investigación, se noto que las redes inalámbricas vuelven a ser competitivas en cuanto a rendimiento, ya que el draft-N supera en velocidad y alcance a las actuales redes cableadas Ethernet de 100Mbps, garantizando al usuario el soporte de aplicaciones multimedia.

Al comparar con los estándares existentes WI-FI, fue necesario documentar la historia del 802.11 y los estándares que lo conforman, para así poder introducir a los lectores de esta monografía en el entorno Wireless y tener bases para la comparación del 802.11n y los estándares inalámbricos actuales.

Se comparó el draft-n con 802.11g y se encontraron mejoras destacables como la disminución del retraso ínter tramas OFDM que permite mayor rapidez en la comunicación. De igual manera, el draft-N posee una mayor compatibilidad con los estándares anteriores como son el 802.11a/b en comparación a la adaptabilidad ofrecida por el 802.11g con el 802.11b.

Sin duda alguna, ambos estándares les resulta difícil el interactuar con 802.11b que no posee modulación OFDM y sacrifican su máximo rendimiento ante la interconexión de estos equipos a la red. El draft- N puede permitir un sinnúmero de configuraciones, entre ellas Green-field – que inhibe la interconexión de equipos de otros estándares (802.11a/b/g) cuando se quiera conseguir el mayor rendimiento de la red.

El draft-N supera a los estándares anteriores en cuanto a la disminución de encabezado o preámbulos (Overhead) empleados para gestionar la red y puede introducir ráfagas de información de diferentes tramas entre comunicaciones de encabezado.

Se alcanzó el objetivo propuesto de describir la **tecnología MIMO** y sus características tales como *Diversidad y Multiplexación espacial* para alcanzar mayores tasas de bits en la misma frecuencia, además de garantizar mayor robustez de la señal. Se concluyó que el 802.11n es más robusto en

transmisiones a largas distancias ya que las antenas adicionales pueden usarse también para escuchar las señales emitidas y luego compararlas, sumarlas, entre otros tratamientos de señal para mejorar la SNR y poder transmitir a mayores distancias. De igual forma, las antenas inteligentes (MIMO) emplean el *beamforming* para cambiar el patrón de radiación, de tal manera que los equipos reciban señales óptimas.

Existe un pequeño inconveniente con la tecnología MIMO. La cantidad de antenas usadas por esta tecnología si mejora la velocidad de transmisión, ya que en lugar de tener solo un flujo espacial tenemos varios dependiendo del número de antenas utilizadas, pero esto requiere un mayor consumo de energía, que para el caso de los equipos portátiles esto sería un inconveniente.

En cuanto al modelado matemático de MIMO, aunque se investigó y existe una matemática compleja, se pudo discutir satisfactoriamente el modelado espacio estado de MIMO con aportes de Alamouti, el método más eficiente y robusto para 2 flujos espaciales, y otros pseudos códigos para la Transmisión MIMO.

De igual manera en este trabajo se pudo documentar, de acuerdo a fabricantes y a la historia de otros estándares, algunas recomendaciones que

las empresas deben considerar para comprar desde ya equipos PRE – n. Sin embargo es importante aclarar que lo más importante es que su firmware pueda actualizarse para cambios que se puedan dar a final del año 2007 o comienzos del 2008, que es la fecha para la que se propone la entrega del documento final de este Pre-estándar.

Se recopilaron algunos equipos que se encuentran actualmente en el mercado bajo el Draft 1.0 y 2.0, especificando sus características técnicas, las cuales son dadas por el fabricante en la hoja de datos, es importante resaltar que debido a la no ratificación de este estándar no existe compatibilidad entre las marcas de equipos 802.11n, por lo cual se debe tener cuidado a la hora de adquirir estos dispositivos.

En conclusión podemos decir que el estándar IEEE 802.11n y la tecnología MIMO, prometen un futuro asombroso y revolucionario en el campo de las comunicaciones inalámbricas, ofreciendo a los usuarios velocidades superiores a las obtenidas actualmente con las tecnologías cableadas y cobertura hasta de 5 veces mas a la entregada por el estándar WI-Fi actual (802.11g).

Lo anterior solo significa, que las fronteras impuestas a las tecnologías inalámbricas poco a poco han sido derribadas y el futuro del 802.11n esta por llegar.

14. BIBLIOGRAFIA

- REDES WIRELESS 802.11, Gast, Matthew S (Anaya multimedia), 1^a edición (11/2005).
- 802.11n, Mirna Cantero y María Reina Oliveira.
- 802.11n: Next-Generation Wireless LAN Technology. White Paper 2006, Broadcom Corporation.
- Introduction to MIMO Systems, Rohde & Schwarz
- IEEE P802.11n/D1.0: “Draft Amendment to STANDARD [FOR] Information Technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and Metropolitan networks-Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Enhancements for Higher Throughput”, (March 2006)
- Introduction to MIMO Systems, Arnaldo Spalvieri. Dipartimento di Elettronica e Informazione Politecnico di Milano, ITALY.

Fuentes de información electrónica

- <http://www.intel.com/cd/personal/computing/emea/spa/wireless/245838.htm?print&nocc#>
- <http://www.metrologicmexico.com/contenido/archivos/000088.shtml>

- <http://www.alegsa.com.ar/Dic/802.11n.php>
- http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11#column-one
- <http://es.wikipedia.org/wiki/MIMO#column-one>
- <http://www.idg.es/macworld/content.asp?idn=55029>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi#column-one>