



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES
DE VOZ SOBRE REDES LOCALES DE DATOS INALÁMBRICAS CON PROTOCOLOS
DE NUEVA GENERACIÓN 802.11N**

Erick Estuardo Gálvez Cabrera

Asesorado por Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo

Guatemala, abril de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES
DE VOZ SOBRE REDES LOCALES DE DATOS INALÁMBRICAS CON PROTOCOLOS
DE NUEVA GENERACIÓN 802.11N**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ERICK ESTUARDO GÁLVEZ CABRERA

ASESORADO POR EL ING. ENRIQUE EDMUNDO RUIZ CARBALLO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, ABRIL DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Jose Aníbal Silva de los Ángeles
EXAMINADOR	Ing. Byron Odilio Arrivillaga Mendez
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier González López
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES
DE VOZ SOBRE REDES LOCALES DE DATOS INALÁMBRICAS CON PROTOCOLOS
DE NUEVA GENERACIÓN 802.11N**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 15 de Mayo de 2008.

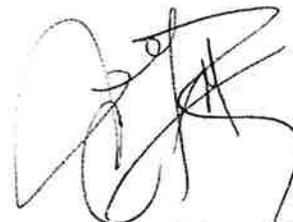
Erick Estuardo Gálvez Cabrera

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES
DE VOZ SOBRE REDES LOCALES DE DATOS INALÁMBRICAS CON PROTOCOLOS
DE NUEVA GENERACIÓN 802.11N**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 15 de Mayo de 2008.



Erick Estuardo Gálvez Cabrera

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

Guatemala, 28 de marzo del 2011.

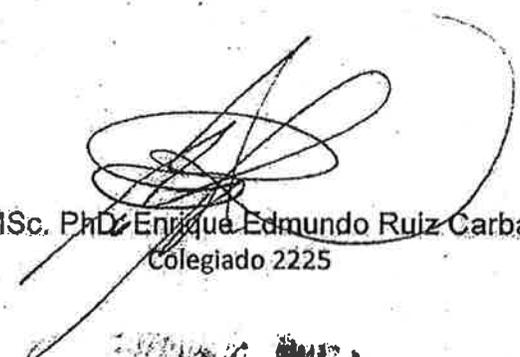
Ing. Carlos Eduardo guzmán Salazar
COORDINADOR AREA DE ELECTRONICA
Escuela de mecánica eléctrica
Facultad de ingeniería
USAC

Estimado Ingeniero Guzmán:

Le informo que he revisado el trabajo de graduación: **Estudio e Implementación de Sistemas de Comunicaciones de Voz Sobre Redes Locales de Datos Inalámbricas con Protocolos de Nueva Generación 802.11n**, desarrollado por el estudiante de ingeniería electrónica **Erick Estuardo Gálvez Cabrera**, quien contó con mi asesoría.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante **Erick Estuardo Gálvez Cabrera**, satisface los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente



Ing. MSc. PhD. Enrique Edmundo Ruiz Carballo
Colegiado 2225



FACULTAD DE INGENIERIA

Ref. EIME 54. 2011
Guatemala, 10 de AGOSTO 2011.

Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE
COMUNICACIONES DE VOZ SOBRE REDES LOCALES DE
DATOS INALÁMBRICOS CON PROTOCOLOS DE NUEVA
GENERACIÓN 802.11n. del estudiante Erick Estuardo Gálvez
Cabrera, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
DID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador de Electrónica



CEGS/sro



REF. EIME 81. 2011.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; ERICK ESTUARDO GÁLVEZ CABRERA titulado: ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES DE VOZ SOBRE REDES LOCALES DE DATOS INALÁMBRICOS CON PROTOCOLOS DE NUEVA GENERACIÓN 802.11n, procede a la autorización del mismo


Ing. Guillermo Antonio Puentes Romero



GUATEMALA, 28 DE NOVIEMBRE 2011.



DTG. 174.2012

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES DE VOZ SOBRE REDES LOCALES DE DATOS INALÁMBRICAS CON PROTOCOLOS DE NUEVA GENERACIÓN 802.11N**, presentado por el estudiante universitario **Erick Estuardo Gálvez Cabrera**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 23 de abril de 2012.



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres

A través de su ejemplo de vida y la educación que me han brindado, he ido trazando mi propio camino.

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por concederme la actitud perseverante y la decisión para concluir mi carrera profesional.
- Mis padres** Por darme su apoyo incondicional en todos los momentos de mi vida y toda la educación que me han brindado.
- Mi familia** Por el cariño que siempre me han tenido.
- Mis amigos** Por darme el empuje y consejos necesarios cuando lo he necesitado.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE LUSTRACIONES.....	VII
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. INTRODUCCIÓN A LAS COMUNICACIONES DE VOZ SOBRE PROTOCOLOS DE RED INALÁMBRICOS	1
1.1. Introducción	1
1.2. Qué es <i>VoWLAN</i> ?	1
1.3. Historia y evolución de <i>VoWLANs</i>	3
1.3.1. VoIP	3
1.3.2. LAN's Inalámbricas.....	4
1.4. Función de los sistemas <i>VoWLAN</i> dentro de las empresas	6
1.4.1. Industria médica.....	6
1.4.2. Empresas en general	7
1.4.3. Universidades	8
1.4.4. Tiendas por departamento	9
1.4.5. Bodegas.....	9
1.4.6. Industria manufacturera	10
1.4.7. Pequeñas oficinas y residencias.....	11
1.4.8. Sistemas de seguridad	12
2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA <i>VoWLAN</i>	13
2.1. Introducción	13

2.2.	Arquitectura general de un sistema de VoWLAN	13
2.2.1.	Teléfono IP inalámbrico	14
2.2.2.	Punto de acceso	15
2.2.3.	<i>Switch</i> o conmutador	15
2.2.4.	<i>Router</i> o enrutador	16
2.2.5.	Central telefónica o PBX.....	16
2.2.6.	Puerta de enlace de voz o <i>Voice Gateway</i>	16
2.3.	Infraestructuras de redes inalámbricas.....	17
2.3.1.	Redes de puntos de acceso tradicionales (<i>Thick</i>)	17
2.3.2.	Redes inalámbricas conmutadas.....	20
2.3.3.	Redes de malla o <i>mesh</i>	22
2.4.	Fundamentos de señalización de VoWLAN	25
2.4.1.	Atributos de voz.....	25
2.4.2.	Atributos de vídeo.....	27
2.4.3.	Flujo de llamadas <i>VoIP</i>	28
2.5.	Señales de Radio Frecuencia (RF)	35
2.5.1.	Características de la señal RF.....	37
2.5.2.	Ganancia	38
2.5.3.	La atenuación o pérdida	39
2.5.4.	Relación señal a ruido	39
2.5.5.	Spread spectrum	40
	2.5.5.1. Frecuency hopping spread spectrum (FHSS).....	41
	2.5.5.2. Direct sequence spread spectrum (DSSS)	41
2.5.6.	OFDM (Orthogonal Frecuency Division Multiplexing) .	42
2.5.7.	Reglamento FCC.....	43
2.5.8.	Degradaciones de la señal inalámbrica	44
2.5.9.	Cobertura con señal pobre o degradada	44
2.5.10.	Latencia	48

2.5.11.	Interferencia de RF	50
2.5.12.	Limitantes en la capacidad.....	52
2.5.13.	Múltiples caminos o <i>Multipath</i>	55
2.6.	Tecnologías de <i>Wireless</i> LAN.....	56
2.6.1.	Infraestructura.....	57
2.6.2.	Scanning.....	62
2.6.2.1.	Escaneo pasivo.....	62
2.6.2.2.	Escaneo activo.....	63
2.6.3.	Conexión a la red.....	64
2.6.4.	Transferencia de datos	65
2.6.5.	<i>Roaming</i>	66
2.6.6.	Modo AD HOC	67
2.6.7.	Acceso al medio inalámbrico	69
2.6.8.	Estándares de capa física 802.11	71
2.6.8.1.	802.11a.....	71
2.6.8.2.	802.11b.....	72
2.6.8.3.	802.11g.....	74
2.6.8.4.	802.11n.....	75
2.7.	Parámetros de configuración inalámbrica.....	76
2.7.1.	SSID	76
2.7.2.	Canales de radiofrecuencia	78
2.7.3.	Potencia de transmisión.....	79
2.7.4.	Tasas de transmisión.....	80
2.7.5.	Modo ahorro de energía	81
2.7.6.	RTS/CTS.....	82
2.7.7.	Fragmentación	85
3.	ESTÁNDAR 802.11N	87
3.1.	Introducción a 802.11n	87

3.2.	Descripción de las tecnologías de 802.11n	93
3.2.1.	Tecnología MIMO	94
3.2.2.	Transmit Beamforming	97
3.2.3.	Maximal ratio combining (MRC)	99
3.2.4.	Space time block coding (STBC).....	100
3.3.	Capa física de 802.11n.....	102
3.4.	Capa MAC de 802.11n.....	114
4.	IMPLEMENTACIÓN DE VOZ SOBRE WLAN.....	125
4.1.	Determinando el retorno de la inversión.....	125
4.1.1.	Análisis inicial	125
4.1.2.	Costos	127
4.1.2.1.	Costos operacionales	128
4.1.2.2.	Costos de capitales	129
4.1.3.	Ahorros.....	129
4.1.3.1.	Beneficios cuantitativos	129
4.1.3.2.	Beneficios cualitativos	130
4.1.4.	Periodo de recuperación.....	131
4.2.	Principios de diseño para redes de voz sobre WLAN.....	132
4.2.1.	Pasos para una implementación exitosa	134
4.2.1.1.	Paso 1: definición	135
4.2.1.2.	Paso 2: áreas de cobertura y fases desarrollo de un proyecto	136
4.2.1.3.	Paso 3: aprobación del plan	136
4.2.1.4.	Paso 4: autoría de RF y <i>Site Survey</i>	136
4.2.1.5.	Paso 5: implementación	137
4.2.1.6.	Paso 6: prueba de RF.....	138
4.2.1.7.	Paso 7: ajustes de RF	138
4.2.1.8.	Paso 8: puesta en operación	138

4.3.	Planeación de la cobertura para VoWLAN (paso 1 y paso 2)....	139
4.3.1.	Ambiente RF para servicios de voz	140
4.3.2.	Auditoría de RF e inspección de sitio.....	141
4.3.3.	Herramientas de planeación para WLAN.....	143
4.3.4.	Ubicación de los puntos de acceso.....	144
4.3.5.	Planeación de la capacidad de los servicios de voz .	146
4.4.	Infraestructura inalámbrica para servicios de voz	148
4.4.1.	<i>Roaming</i>	148
4.4.2.	<i>Roaming</i> capa 2 en una misma subred IP	149
4.4.3.	<i>Roaming</i> capa 3 a través de subredes	150
4.4.4.	Consideraciones de calidad de servicio (QoS)	154
4.4.5.	QoS y VLANs.....	154
4.4.6.	IEEE 802.11e y WI-FI multimedia	155
4.4.7.	Control de admisión de llamadas.....	155
4.5.	Consideraciones de seguridad para el diseño	156
4.5.1.	Administración de claves y EAP-FAST	157
4.5.2.	Seguridad de la VLAN de voz y diseño de SSID	157
4.5.3.	Mejores prácticas para la seguridad inalámbrica	159
4.5.4.	Requerimientos de clientes de voz sobre WLAN	160
4.6.	La inspección de sitio (<i>Site Survey</i>).....	160
4.6.1.	Revisión del sitio	161
4.6.1.1.	Otras consideraciones de inspección de sitio e implementación.....	165
4.6.1.2.	Selección del AP y la orientación.....	166
4.6.1.3.	Impedimentos visibles y no visibles a la propagación de la señal de RF	167
4.6.1.4.	Consideraciones de pisos adyacentes y dispersión de la señal de RF.....	170

4.6.1.5.	Modelaje de la señal de RF (<i>Shaping</i>) y zonas de transición.....	173
4.6.2.	Localizando el punto de inicio.....	173
4.6.3.	Ajustando el punto inicial.....	174
4.6.4.	Construcción de la red inalámbrica	175
4.6.5.	Ajustes.....	176
4.6.6.	Punto de acceso 3 y 4	177
4.6.7.	Consideración 3D	178
CONCLUSIONES.....		179
RECOMENDACIONES.....		181
BIBLIOGRAFÍA.....		183

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Evolución del estándar 802.11	5
2. Componentes de un sistema básico de VoWLAN	14
3. Red tradicional de puntos de acceso.....	18
4. Red inalámbrica conmutada.....	21
5. Red de malla	23
6. Atributos de una señal de RF	37
7. Cobertura de una señal RF	45
8. Huecos en la cobertura	48
9. Fuentes de interferencia.....	51
10. Interferencia de redes inalámbricas vecinas	54
11. Infraestructura de una red LAN inalámbrica	58
12. Enrutamiento sobre una red LAN inalámbrica	59
13. Enrutamiento entre dos usuarios inalámbricos.....	59
14. Configuraciones de radio celdas 802.11	60
15. Red <i>AD HOC</i>	67
16. Traslape de canales RF en la banda de 2.4 Ghz	78
17. Problema de nodos ocultos en una LAN inalámbrica	83
18. Recorrido evolutivo de 802.11N	88
19. Aplicaciones críticas específicas	89
20. Principales tecnologías de 802.11n.....	91
21. Comparación del desempeño de un AP tradicional y uno con MIMO.....	92
22. Sistema SISO	94

23.	Distorsión por múltiples caminos.....	95
24.	Sistema MIMO	96
25.	Espaciamiento espacial	97
26.	<i>Transmit Beamforming</i>	98
27.	<i>MRC</i>	99
28.	<i>Space time block coding</i>	100
29.	Anchos de banda con AP 802.11a/g vrs AP 802.11n	101
30.	Ancho de banda con AP y cliente 802.11n	102
31.	Capa física de 802.11n	103
32.	Modos de operación y formatos de la trama	105
33.	Eficiencia espectral	107
34.	<i>Channel Bonding</i>	108
35.	Utilización de canales en 802.11.....	109
36.	<i>Direct Sequence Spread spectrum 802.11</i>	110
37.	Modulación OFDM en 802.11a/g	111
38.	<i>Guard Interval</i>	113
39.	Funcionalidades de la capa MAC.....	115
40.	Problemas direccionados en la capa MAC	116
41.	<i>Frame Aggregation</i>	117
42.	Limitaciones de <i>FRAME AGGREGATION</i>	118
43.	Reconocimiento de bloques	120
44.	Espaciamiento reducido entre tramas.....	121
45.	Compatibilidad	122
46.	Esquema de traslape de coberturas	141
47.	Modelos de ubicación de los puntos de acceso	144
48.	Operación de la potencia de RF.....	146
49.	<i>Roaming</i> capa 2 y capa 3	149
50.	<i>Roaming</i> entre puntos de acceso.....	151
51.	Controlador de <i>Roaming</i> capa 3	153

52.	Plano de ejemplo.....	162
53.	Forma correcta de posicionar un punto de acceso.....	167
54.	Prueba de ubicación de punto de acceso.....	168
55.	Ubicación de un AP con afectación de propagación	169
56.	Ubicación de un AP con afectación de propagación	170
57.	Interferencias entre pisos	172
58.	Ajustando la ubicación del punto de acceso inicial.....	175
59.	Punto de referencia inicial	176
60.	Ajuste del punto de acceso 2	177
61.	Ubicación de los 4 puntos de acceso para el nivel 1	178

TABLAS

I.	SNR de 802.11b.....	40
II.	Tasas máximas vrs. métodos de modulación	43
III.	Comparativa de estándares Inalámbricos	76
IV.	Estándares y tasas de velocidad máxima	104
V.	Esquema de modulación y codificación en 802.11n	112
VI.	Pasos para una implementación	134

GLOSARIO

AES	También conocido como Rijndael (pronunciado <i>Rain Doll</i> en inglés), es un esquema de cifrado por bloques, adoptado como un estándar de cifrado.
Ancho de banda	Capacidad de transmisión en unidades de datos por segundo de un canal físico de comunicaciones.
<i>Broadcast</i>	Modo de transmisión de información donde un nodo emisor envía información a una multitud de nodos receptores de manera simultánea.
<i>Buffering</i>	Método de almacenamiento de información que se desea transmitir.
Clase de servicio	Es un método para administrar el tráfico en una red que agrupa tipos similares de tráfico y los trata como una clase de tráfico.
CODEC	Abreviatura del término codificador-decodificador; describe una especificación desarrollada en <i>software</i> o <i>hardware</i> con capacidad para transformar un flujo de datos.
CSMA/CA	<i>Carry Sense Multiple Access/Collision Detection</i> . Técnica usada en redes <i>Ethernet</i> para obtener acceso al medio sin generar interferencia entre dos transmisores que buscan

transmitir en el mismo momento.

CRM	<i>Customer Relationship Management.</i> Aplicación de gestión de clientes.
Delay	Retraso. Tiempo que tarda una señal en llegar desde el generador hasta el receptor.
Determinístico	Adjetivo que se asigna a un fenómeno del que se obtiene siempre el mismo resultado bajo las mismas condiciones iniciales.
Draft	Cuando un estándar se encuentra pendiente aprobación y sus facilidades están bajo supervisión.
ERP	<i>Enterprise Resource Management.</i> Herramienta de administración de recursos.
Escalabilidad	Propiedad de la red para poder evolucionar a nuevas tecnologías sin modificar su topología.
Ethernet	Tecnología de redes de computadoras de área local (LAN) basada en tramas de datos que define las características de cableado y señalización de nivel físico, y los formatos de trama del nivel de enlace de datos del modelo OSI.
Firewall	Elemento de una red utilizado para controlar el acceso a servicios o dispositivos utilizando políticas de red.

<i>First-hop</i>	Es el primer nodo vecino al cual se necesita acceder al buscar un destino específico.
<i>Gateway</i>	Puerta de enlace. Es un dispositivo que permite interconectar redes con protocolos y arquitecturas diferentes a todos los niveles de comunicación. Su propósito es traducir la información del protocolo utilizado en una red, al protocolo usado en la red de destino.
H323	Es un conjunto de normas ITU para comunicaciones multimedia que hacen referencia a los terminales, equipos y servicios, estableciendo una señalización en redes IP.
<i>Handshaking</i>	Sistema de negociación automatizado utilizado por dispositivos electrónicos para establecer comunicaciones entre ellos.
HCM	<i>Human Capital Management.</i> Aplicación de administración de capital humano.
IP	Es un protocolo no orientado a conexión, usado tanto por el origen como por el destino, para la comunicación de datos a través de una red de paquetes conmutados no fiable de mejor entrega posible, sin garantías.
IPCC	<i>IP Call Center.</i> Centro de atención de llamadas por protocolos de <i>Internet</i> .
Latencia	Suma de retardos temporales dentro de una red.

Legacy	Es un sistema informático que ha quedado anticuado, pero que continúa siendo utilizado por el usuario y no se quiere o no se puede reemplazar o actualizar de forma sencilla.
Modulación	Conjunto de técnicas para transportar información sobre una onda portadora.
Multicast	Es el envío de la información en una red a múltiples destinos, simultáneamente.
Multiplexación	Es la combinación de dos o más canales de información en un solo medio de transmisión, usando un dispositivo llamado multiplexor.
Nodo <i>backhaul</i>	Es usado para interconectar redes entre sí, utilizando diferentes tipos de tecnologías alámbricas o inalámbricas.
OFDM	Multiplexación por división de frecuencias ortogonales
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i> . Es el modelo de red descriptivo creado por la Organización Internacional para la Estandarización en 1984. Es decir, es un marco de referencia para la definición de arquitecturas de interconexión de sistemas de comunicaciones.
PBX	<i>Private Branch Exchange</i> . Servicio ofrecido por una empresa de telecomunicaciones, por el cual cierta cantidad de líneas son agrupadas en un único número que se publica.

PCM	<i>Pulse Code Modulation.</i> Es un procedimiento de modulación utilizado para transformar una señal analógica en una secuencia de bits (señal digital).
PDA	Del inglés <i>personal digital assistant (asistente digital personal)</i> , también denominado ordenador de bolsillo, es una computadora de mano originalmente diseñada como agenda electrónica, con un sistema de reconocimiento de escritura.
PLM	<i>Product Lifecycle Management.</i> Aplicación de administración del ciclo de vida de los productos o equipos.
Procurement	Adquisición de bienes y servicios.
PSTN	<i>Public Switched Telephone Network.</i>
Punto de Acceso	Es un dispositivo que interconecta dispositivos de comunicación inalámbrica para formar una red inalámbrica.
QoS	<i>Quality of Service.</i> Tecnología que garantiza que se transmitirá cierta cantidad de datos en un tiempo dado.
Red de malla	Topología de red que implica la conexión entre todos los nodos que pertenecen a ella.
Roaming	Es un concepto utilizado en comunicaciones inalámbricas que está relacionado con la capacidad de un dispositivo para moverse de una zona de cobertura a otra.

ROI	<i>Return Of Investment.</i> Valor cuantificable de la utilidad obtenida en relación con la inversión realizada.
Router	Dispositivo de <i>hardware</i> utilizado para la interconexión de redes, también conocido como enrutador.
RTP	Es un protocolo de nivel de sesión utilizado para la transmisión de información en tiempo real, como por ejemplo audio y vídeo en una vídeo-conferencia.
RTS/CTS	Mecanismo de 802.11 para reducir la colisión de tramas.
SCM	<i>Supply Chain Management.</i> Aplicación de gestión de cadenas de proveedores.
Scanning	Procedimiento de búsqueda de una señal RF apropiada para el intercambio de información.
SIP	<i>Session Initiation Protocol.</i> Es un protocolo utilizado para la iniciación, modificación y finalización de sesiones interactivas de usuario donde intervienen elementos multimedia como el vídeo, voz, mensajería instantánea, juegos en línea y realidad virtual.
Site Survey	Típicamente conocido como el proceso de inspección y revisión, de la ubicación en donde se construirá una red inalámbrica.

Sniffer	Husmeo. <i>Software</i> destinado para detectar tramas en la red.
SNR	Se define como el margen que hay entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia del ruido que la corrompe.
Softphones	Es un <i>software</i> que hace una simulación de teléfono convencional por computadora.
SSFH	<i>Spread Spectrum Frequency Hopping</i> .
Switch	Conmutador. Es un dispositivo digital de lógica de interconexión de red que opera en la capa 2 (nivel de enlace de datos) del modelo OSI. Su función es interconectar dos o más segmentos de red pasando datos de un segmento a otro, de acuerdo con la dirección MAC de destino de las tramas en la red.
TCP	<i>Transport Control Protocol</i> . Es un protocolo de transporte que garantiza que los datos serán entregados en su destino, sin errores y en el mismo orden en que se transmitieron.
Throughput	Volumen de trabajo o de información que fluye a través de un sistema.
TKIP	<i>Temporal Key Integrity Protocol</i> es también llamado <i>hashing</i> de clave WEP WPA; incluye mecanismos del estándar emergente 802.11i para mejorar el cifrado de datos inalámbricos.

Unicast	Es el envío de información desde un único emisor a un único receptor.
VoIP	Voz sobre Protocolo de <i>Internet</i> . Es un grupo de recursos que hacen posible que la señal de voz viaje a través de <i>Internet</i> empleando un protocolo IP (Protocolo de <i>Internet</i>).
VoWLAN	Voz sobre WLAN o red inalámbrica local.
VPN	(<i>Virtual Private Network</i>) Tecnología de red que permite una extensión de la red local sobre una red pública, como por ejemplo <i>Internet</i> .
Wi-Fi	Nombre comercial que fue asignado al estándar inalámbrico 802.11.

RESUMEN

Las tecnologías de la telefonía han sido muy cambiantes en los últimos años, así como los requerimientos de los usuarios finales. La telefonía convencional o conmutada, a pesar de las mejoras en funcionalidad con teléfonos digitales y servicios proporcionados por los proveedores, no han completado los requerimientos y aún muestran debilidad en los temas de costo. La telefonía sobre el protocolo IP (Internet protocol o protocolo de *Internet*) vino a revolucionar con mejoras en el alcance, funcionalidad, aplicativos, costos y arquitecturas.

La búsqueda de mejores servicios a menores costos, también se están volcando en la telefonía móvil, de la misma forma en que lo hicieron tecnologías como DECT (*Digital Enhanced Cordless Telecommunications* o telecomunicaciones inalámbricas mejoradas digitalmente). La telefonía sobre el protocolo IP, utilizando el mismo principio de las computadoras portátiles, a través de una tarjeta de red inalámbrica colocada a un dispositivo telefónico móvil apto, logra proveer los mismos servicios de telefonía de voz sobre IP. Alcanzando de esta forma comunicación telefónica por redes de datos inalámbricas.

Los sistemas de voz a través de redes locales de datos inalámbricas o VoWLAN como comúnmente se conocen, son en general una extensión de sistemas de voz sobre protocolos de *Internet* o VoIP y una alternativa a los sistemas tradicionales analógicos. VoWLAN ofrece significativos beneficios, proveyendo movilidad y convergiendo inalámbricamente aplicaciones de voz y datos. La tecnología está diseñada para múltiples tipos de negocio: hospitales,

empresas, tiendas por departamento, bodegas, etc. Algunos ejemplos de tecnologías que *VoWLAN* puede sustituir son: teléfonos conectados por cable, telefonía celular y radios bidireccionales. Sin embargo, la inclusión de estos sistemas también demanda ciertas exigencias dentro del entorno de red alámbrica e inalámbrica, por lo que su implementación sin la apropiada planeación, puede resultar en efectos perjudiciales en la red de datos y afectar directamente el desempeño de la misma.

OBJETIVOS

General

Proveer los conceptos y metodología para implementación de nuevos estándares de red inalámbricos, con protocolos de nueva generación 802.11n.

Específicos

1. Conocer las aplicaciones de voz y el mercado objetivo de las tecnologías inalámbricas.
2. Definir los parámetros generales de las tecnologías inalámbricas y cómo estos interactúan con las aplicaciones de voz.
3. Definir las tecnologías que mejoran el desempeño de 802.11n sobre otros estándares y cómo estas trabajan para conseguir mejores desempeños.
4. Analizar un método de cuantificación del valor económico de las redes de 802.11n.
5. Enumerar las consideraciones de implementación de una red inalámbrica 802.11n.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo presenta los detalles de las implicaciones que conlleva la incorporación de tráfico de voz IP sobre una red datos inalámbrica local. Se hace énfasis en las características y el desarrollo del estándar 802.11n, que mejoran el rendimiento de dichas redes y de las técnicas que se deben de aplicar para el diseño y puesta en operación de una red con tales características.

Se inicia con una introducción a los conceptos y terminología necesarios para comprender los escenarios de redes y el futuro aplicativo que estas aplicaciones puedan tener. También se define el precedente histórico que ha llevado al desarrollo de dichas tecnologías y la evolución que ha tomado.

Posteriormente, se detalla la arquitectura de una red inalámbrica, definiendo las funciones de cada una de sus partes y las diversas combinaciones que crean múltiples escenarios con sus propias características y objetivos de funcionamiento. Se muestra el flujo operacional de señalización de tráfico de voz sobre IP y los aspectos técnicos de las características de la señal de radiofrecuencia que se ven afectados o que afectan de alguna forma el buen desempeño de la red. Se definen las tecnologías, funcionalidades y parámetros comunes de las redes inalámbricas en conjunto, con los diferentes estándares precedentes.

Se enfoca un capítulo completo a la descripción del estándar 802.11n, sus características técnicas y cualidades que mejoran el desempeño de una red inalámbrica. Se explican los métodos de trabajo y se profundiza en los

aspectos técnicos de su estructura lógica. Se describen los desarrollos tecnológicos que llevan al estándar a presentar una mejora considerable frente a los estándares anteriores y la interacción entre los mismos.

Por último, se muestran los aspectos cuantitativos y cualitativos que ofrece este tipo de soluciones de redes de voz inalámbricas frente a la inversión que se está dispuesto a realizar. Se describe el desarrollo de implementación que se recomienda para obtener un funcionamiento óptimo, los aspectos operacionales a considerar y los desafíos que posiblemente se pueda encontrar, dependiendo del escenario. Se recomiendan algunos factores de seguridad y consideraciones de mejores prácticas que pueden ser de utilidad.

1. INTRODUCCIÓN A LAS COMUNICACIONES DE VOZ SOBRE PROTOCOLOS DE RED INALÁMBRICOS

1.1. Introducción

El presente capítulo se enfoca en la presentación de la tecnología de voz sobre redes de datos locales (*VoWLAN*). Las empresas han implementado redes inalámbricas por más de una década, pero los avances recientes en tasas de transmisión y mecanismos de calidad de servicio han habilitado la opción de integrar la voz y el vídeo a las redes de datos actuales. Siendo necesidad específica la de contar con comunicaciones de voz móviles en ambientes empresariales privados, *VoWLAN* es una alternativa para el reemplazo de los sistemas tradicionales inalámbricos, que es relativamente barata con servicios de valor agregado para el usuario móvil. Sin embargo, es necesario contar con cierta experiencia para el diseño e implementación de *VoWLAN*.

Existen también factores que se deben tomar en cuenta, como la seguridad y el desempeño que se demandarán; esto será crítico al momento de un crecimiento o solucionar problemas generados a partir de un mal diseño.

1.2. Qué es *VoWLAN*?

La voz sobre redes de datos locales es más conocida como *VoWLAN* (*Voice over Wireless Local Access Network*). Es el método de enviar información de voz en forma digital a través de una red de datos inalámbrica. Esencialmente, *VoWLAN* es *VoIP* (voz sobre IP) transmitida a través de

tecnologías inalámbricas. Esta tecnología es algunas veces llamada VoWi-Fi o Wi-Fi *VoIP*, debido a que está basada en el estándar IEEE 802.11. La IEEE 802.11 es un conjunto de especificaciones para el transporte de datos sobre redes de área local (LAN) e Internet.

VoWLAN requiere dispositivos finales inalámbricos como PDA (*Personal Digital Assistant*) o teléfonos Wi-Fi, los cuales a simple vista se ven y operativamente son como un teléfono celular, solo que envían la voz en paquetes discretos en lugar de una señal analógica. Los llamantes incluso pueden contar con aplicativos simuladores de teléfonos instalados en sus computadoras personales, conocidos como *softphones*.

Los sistemas de *VoWLAN* encaminan las llamadas desde un teléfono a un punto de acceso y luego estos las envían a las puertas de enlace (*Gateway*) o a una central telefónica basada en IP (*PBX: Prívate Branch Exchange, IP: Internet Protocol*), la llamada es enviada al destino apropiado dentro de la red privada o hacia el mundo exterior por *Internet* o por el conmutador de servicio público.

Los sistemas de *VoWLAN* permiten las funciones normales y aplicaciones de mensajería disponibles para los sistemas telefónicos por medios cableados. Así como *VoIP*, *VoWLAN* también contribuye a la eficiencia de los costos. Debido a que las llamadas pueden ser direccionadas por redes de datos internas o externamente a través de *Internet*, incluso los costos de telefonía celular, también pueden reducirse significativamente.

Las mayores limitaciones de *VoWLAN* incluyen inconsistencias en el desempeño y en la calidad del servicio, encriptación y autenticación lenta y poco fiable según la naturaleza propietaria de las tecnologías ofrecidas por cada marca. La IEEE y la Wi-Fi Alliance son organizaciones que han

desarrollado mejoras en los estándares, con el fin de reducir esas limitaciones de *VoWLAN*. Los recientes estándares como 802.11i proveen seguridad inteligente para acelerar la autenticación mientras se realiza la búsqueda del punto de acceso más apropiado. Más adelante se describirá con detalle el juego extendido de estándares que ayudan a que esta tecnología sea favorable.

VoWLAN es frecuente encontrarla en ambientes como tiendas por departamento, industrias de fabricación e instituciones de salud, ya que en estos se acopló tempranamente y su progreso ha sido rápido. A largo plazo, el despliegue de *VoWLAN* es un paso hacia la interoperabilidad y transparencia entre ambientes privados y públicos, así como inalámbricos y celulares.

1.3. Historia y evolución de VoWLANS

Las dos principales tecnologías de *VoWLANS* son LANs y *VoIP*. Las dos han tenido una evolución a través de la última década y ahora son lo suficiente estables para soportar comunicaciones inalámbricas de voz.

1.3.1. VoIP

El primer indicio de sistemas *VoIP* fue a mediados de los 90's, cuando Volcatec, inc. liberó el *software* de telefonía por Internet. Este *software* corría sobre una computadora personal y transformaba señales de voz en paquetes digitales que podían ser enviados a través de Internet. Tanto el usuario que llamaba como el que recibía la llamada debía usar el mismo *software*. La calidad de la voz no era mejor que la de los sistemas tradicionales, pero las llamadas de larga distancia podían realizarse gratuitamente.

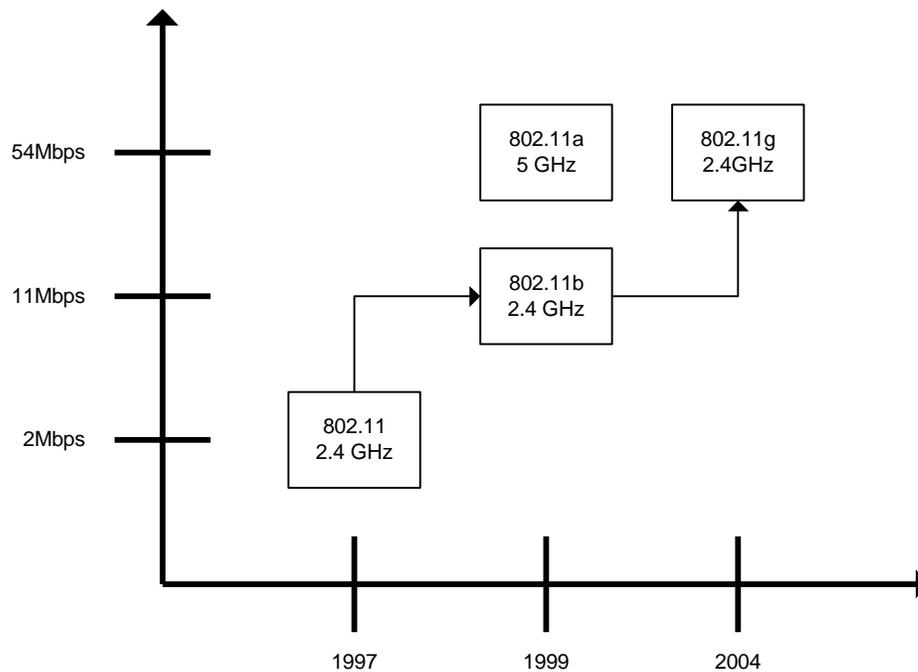
A finales de los 90's, ciertas empresas empezaron a establecer puertas de enlace (*Gateways*) y *switches* (conmutadores) que permitían hacer llamadas gratuitas a través de *Internet* usando teléfonos estándar. Los usuarios tenían que usar una computadora para establecer la llamada, pero ya luego de esto se utilizaban teléfonos normales conectados a la computadora. Con estos sistemas, el mercado de *VoIP* empezó a desarrollarse. La mayoría de los proveedores actuales empezaron a proveer estos sistemas a partir del 2000, con el fin de converger voz y datos.

1.3.2. LAN's Inalámbricas

A principio de los 90's, los primeros productos de redes locales inalámbricas fueron lanzados al mercado. NCR WaveLAN y Motorola Altair, aparecieron en este lanzamiento. En ese momento no habían estándares aplicables y los precios era altos, alrededor de \$1,500 por adaptador inalámbrico. Como resultado de esto solo las compañías con aplicaciones con beneficios significativos obtenidos por la conectividad inalámbrica, podían permitirse el despliegue de tal tecnología. Las industrias que primero tomaron interés fueron del tipo de manejo de bodegas.

La figura 1 resume la evolución del estándar 802.11. En 1997, el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) ratifica la primera versión del estándar de red inalámbrico 802.11 con tasas de operación de 1 Mbps y 2 Mbps en la banda de frecuencia de 2.4 GHz usando tecnologías de modulación por espectro disperso (*Spread Spectrum, SS*) por secuencia directa y por salto de frecuencia. La capacidad de las primeras soluciones de 802.11, no era suficientemente efectiva para soportar aplicaciones de voz.

Figura 1. Evolución del estándar 802.11



Fuente: elaboración propia.

Para mejorar el desempeño de las redes de datos locales inalámbricas, la IEEE libero los estándares 802.11a y 802.11b en 1999. El 802.11a provee una tasa de transmisión hasta 54 Mbps en la banda de 5 GHz usando multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM). El estándar 802.11b extiende la tasa máxima inicial de 2.4 GHz por secuencia directa que daba el estándar 802.11 hasta 11 Mbps. En el 2004, la IEEE liberó el estándar 802.11g, el cual ahora se extendía hasta una tasa de transmisión en la banda de 2.4 GHz hasta 54 Mbps usando OFDM.

La tasa más alta de los estándares 802.11, 802.11a, 802.11b y 802.11g, ofrece una adecuada capacidad para soportar aplicaciones de VoWLAN. Sin embargo, 802.11a provee la capacidad máxima, principalmente debido a que los canales de radio frecuencia en la banda de 5 GHz no se traslapan entre

ellos como sucede en la banda de 2.4GHz. El estándar 802.11n, se espera que ofrezca un desempeño de 100 Mbps – 300 Mbps a su liberación.

Otras mejoras recientes del estándar 802.11 incluyen seguridad con el estándar 802.11i, el cual provee una encriptación y mecanismos de autenticación mucho más fuertes. El uso de TKIP (*Temporal Key Internet Protocol*) y AES (*Advance Encryption Standar*) junto con los protocolos de 802.1i hacen que las redes inalámbricas sean más seguras. Asimismo, la liberación del estándar 802.11e en el 2006, ofrece calidad de servicio (QoS) para aplicaciones VoWLAN.

En los últimos dos años los precios de los adaptadores inalámbricos se han reducido considerablemente, siendo posible adquirir equipos incluso debajo de los \$100. Esta caída tan dramática ha propuesto una proliferación de aplicaciones inalámbricas.

1.4. Función de los sistemas VoWLAN dentro de las empresas

Los sistemas VoWLAN han revolucionado la operación y la interacción del personal de empresas de diferente índole.

1.4.1. Industria médica

Los hospitales fueron de los primeros mercados atraídos por las soluciones de VoWLAN, debido a la necesidad de comunicaciones eficientes entre personal de alto conocimiento. La habilidad de los doctores y enfermeras para responder rápidamente con instrucciones verbales, es crucial para salvar vidas. Los sistemas VoWLAN obligan al personal a no perder tiempo buscando un teléfono. Uno de los problemas presentado por implementar VoWLAN en los

hospitales, es la dificultad de proveer una adecuada cobertura. Los hospitales contienen cuartos con equipos de rayos X rodeados de conductos, objetos metálicos con formas irregulares y flujo de personas impredecible.

Estos factores conducen a un significativo deterioro de la señal. A esto hay que sumar las interferencias por radio frecuencia (RF) de otros dispositivos inalámbricos operando en la banda de 2.4 GHz, con dispositivos que funcionan con SSFH (*Spread Spectrum Frequency Hopping*) los cuales generan degradación en el desempeño. Como resultado de esto, los instaladores deben hacer un estudio del sitio, para identificar la mejor ubicación que logre un funcionamiento óptimo de los puntos de acceso.

1.4.2. Empresas en general

Las empresas están tratando de tomar ventajas con las aplicaciones VoWLAN proveyendo movilidad a los trabajadores y reducir costos a través de una infraestructura de red común de voz y datos. En muchos casos, las empresas que implementan VoWLAN, lo están haciendo de modo que sea una extensión de sus sistemas VoIP. Por ejemplo una compañía puede equipar a la mayoría de sus empleados con teléfonos de escritorio tipo VoIP y con auriculares VoWLAN para proveer movilidad a los empleados.

Puntualmente, el beneficio de implementar telefonía inalámbrica es que los usuarios puedan transportarse con su teléfono permitiéndoles responder rápidamente a las necesidades de los clientes y funciones dentro de la compañía. El uso de teléfonos VoWLAN también permite eliminar el costo asociado de hacer cableado telefónico cuando los empleados cambian de oficina.

Los ejecutivos de las empresas que toman las decisiones de compras necesitan de números sólidos antes de comprometer sus presupuestos. Uno de los problemas en implementar *VoIP* y en especial *VoWLAN* en las empresas, es predecir con precisión el ROI (Retorno de la Inversión). Fijando el retorno, una compañía alcanzará una respuesta más rápida a las necesidades de los clientes. Una compañía debería ser capaz de alcanzar beneficios productivamente significativos antes de implementar una solución de *VoWLAN*.

1.4.3. Universidades

Un ambiente universitario puede llegar a ser altamente móvil con el personal docente y estudiantes, moviéndose dentro de las diferentes aulas y ambientes. El uso de *VoWLAN* en una universidad ofrece grandes beneficios, manteniendo al personal en contacto a través de las instalaciones. Esto permite que los docentes estén accesibles a los estudiantes. Un profesor puede reportar inconvenientes de seguridad que puedan ocurrir dentro de la universidad.

Uno de los desafíos de implementar *VoWLAN* en un ambiente universitario es la capacidad de cobertura que debe sobrepasar amplios edificios y grandes áreas externas. En una apropiada asesoría de RF a través del sitio, es importante tomar en cuenta la variedad de formas de las construcciones y los obstáculos que puedan bloquear las ondas de radio. Aún después de instalar el sistema y reevaluar la cobertura de vez en cuando, es necesario para asegurar la calidad del servicio ya que incluso la densidad de estudiantes puede afectar las señales.

1.4.4. Tiendas por departamento

Para satisfacer las necesidades de los clientes y personal, los administradores de las tiendas por departamento deben estar accesibles desde cualquier punto dentro de la tienda. Esto puede llegar a ser crucial para la satisfacción del cliente. Por ejemplo, un cliente insatisfecho que hace un reclamo por algún artículo adquirido puede resolver su situación hablando con el encargado en el mismo momento o se pueden hacer consultas acerca de los tiempos de llegada de pedidos. En cualquier momento que surgiera la necesidad de comunicación inmediata con el administrador y los clientes no puedan esperar, *VoWLAN* proveería la solución sin utilizar los métodos tradicionales.

Las tiendas por departamentos actualmente utilizan redes inalámbricas para otro tipo de aplicaciones, por ejemplo, lectores de códigos de barras para el inventario. El hecho de que ya exista una red inalámbrica no garantiza que se implemente *VoWLAN* inmediatamente, ya que los equipos posiblemente no tienen las capacidades apropiadas. En este caso sería necesario actualizar los equipos para que *VoWLAN* funcione óptimamente.

1.4.5. Bodegas

Los trabajos en las bodegas envuelven ciertas funciones que *VoWLAN* puede ayudar a optimizar. Los empleados pueden estar dispersos en toda la bodega y las comunicaciones con los administradores de las bodegas u otros empleados pueden no ser funcionales y poco prácticas. De hecho, encontrar a otros compañeros de trabajo puede significar una pérdida de tiempo. Por ejemplo, una orden para un embarque entrante de un cliente específico. En lugar de esperar a que el empleado regrese a la oficina principal y darle

instrucciones, es mejor llamarlo directamente y que realice la operación necesaria en el momento.

En muchas bodegas ya existen infraestructuras de redes inalámbricas, pero en el mismo caso que las tiendas por departamentos, puede que sean de bajo desempeño y se procedería a actualizar los equipos a versiones que soporten *VoWLAN*.

1.4.6. Industria manufacturera

En la industria manufacturera, los supervisores de línea monitorean las líneas de producción y los administradores deben ser capaces de contactarse entre ellos y también con los empleados inmediatamente, para controlar el estado de diversas operaciones y solventar problemas que puedan surgir. Un administrador de una división, encargado de una unidad en particular del negocio, por ejemplo, puede estar necesitado de asegurar que la planta tendrá producto listo para embarcar a tiempo y poder calcular ganancias. Si las órdenes para el periodo están en riesgo de no ser completadas, se pueden hacer arreglos y tener la producción en tiempo.

Un sistema de *VoWLAN* hace que la industria manufacturera obtenga beneficios, ya que los administradores están en constante movimiento. En algunos casos pueden existir redes inalámbricas existentes y esto hace prometedor la implementación. Las soluciones *VoWLAN* para este tipo de negocios son muy beneficiosas. Estas empresas dependen de comunicaciones eficientes para que en el caso de problemas asociados con la producción, se pueda solventar de la manera más rápida.

1.4.7. Pequeñas oficinas y residencias

Muchas oficinas pequeñas y residencias están instalando redes inalámbricas para proveer acceso móvil en aplicaciones de *Internet*. Los proveedores de servicio, como *Vonage*, están haciendo fuertes publicidades del uso de *Internet* para hacer llamadas telefónicas y reemplazar la telefonía por PSTN (*Public Switched Telephone Network*). Los dueños de pequeñas oficinas están usando el *Internet* para reducir costos en llamadas telefónicas de larga distancia.

El uso de *VoWLAN* está extendiendo los beneficios de *VoIP* proveyendo movilidad e incluso reemplazando la necesidad del teléfono celular. El consumidor tenderá a seleccionar una solución *VoWLAN* en lugar de un servicio de *VoIP* cableado, pues este le habilita con las ventajas de teléfonos inalámbricos convencionales, pero con servicios agregados.

Un único punto de acceso inalámbrico puede soportar fácilmente la demanda de una residencia o una oficina pequeña. El rango de cobertura es suficiente para toda la casa y un punto de acceso con 802.11.b, 802.11g u 802.11n puede soportar un número limitado de teléfonos que estarán en uso simultáneamente. Las interferencias de RF por hornos microondas y equipos inalámbricos vecinos, funcionando sobre el mismo canal, pueden impactar significativamente en el desempeño de la señal y el usuario administrador deberá reconfigurar el canal de RF para optimizar el servicio.

El poco conocimiento de las tecnologías inalámbricas puede limitar a los consumidores a comprar este tipo de tecnologías a este nivel. Además, la poca disponibilidad de operar sin energía, lo cual afecta las llamadas a servicios de emergencia, puede no convencer a los consumidores de la compra de *VoIP* o

de VoWLAN. A pesar de estos problemas, se espera que la demanda de VoWLAN en las residencias y pequeñas oficinas crezca considerablemente en los próximos años.

1.4.8. Sistemas de seguridad

La habilidad de las personas para reportar malas prácticas o actividades sospechosas es vital e importante para la seguridad en las empresas y organizaciones. Una persona equipada con un teléfono inalámbrico puede conseguir información crítica a la organización apropiada, para responder a una situación de emergencia. Por ejemplo, la seguridad de una persona en un aeropuerto puede reportar las piezas de equipaje dejadas sin cuidado y pueden activar una alarma al equipo de seguridad del aeropuerto. Los sistemas de VoWLAN pueden ser un soporte a este tipo de funciones y convertirse en un refuerzo para mejorar el tiempo de respuesta ante estas situaciones.

Las empresas pueden también implementar sistemas de cámaras inalámbricas y enviar vídeo sobre la misma red inalámbrica. Esto favorece, ya que por la facilidad, es posible instalar mayor número de cámaras a lo largo de las instalaciones.

Un inconveniente mayor en utilizar redes inalámbricas para la transmisión de voz y vídeo es que son más vulnerables a denegar el acceso al servicio. Si una persona desea interrumpir el sistema de seguridad puede bloquear el flujo de la señal de voz y vídeo por medio de un atascamiento de la red. Por ejemplo, si alguien puede anular la señal de RF o los protocolos especiales, entonces puede bloquear el acceso a la red de los teléfonos y las cámaras. Las videocámaras también son vulnerables al *sniffing* (husmeo). Este tipo de amenazas también deben considerarse en la seguridad.

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA VOWLAN

2.1. Introducción

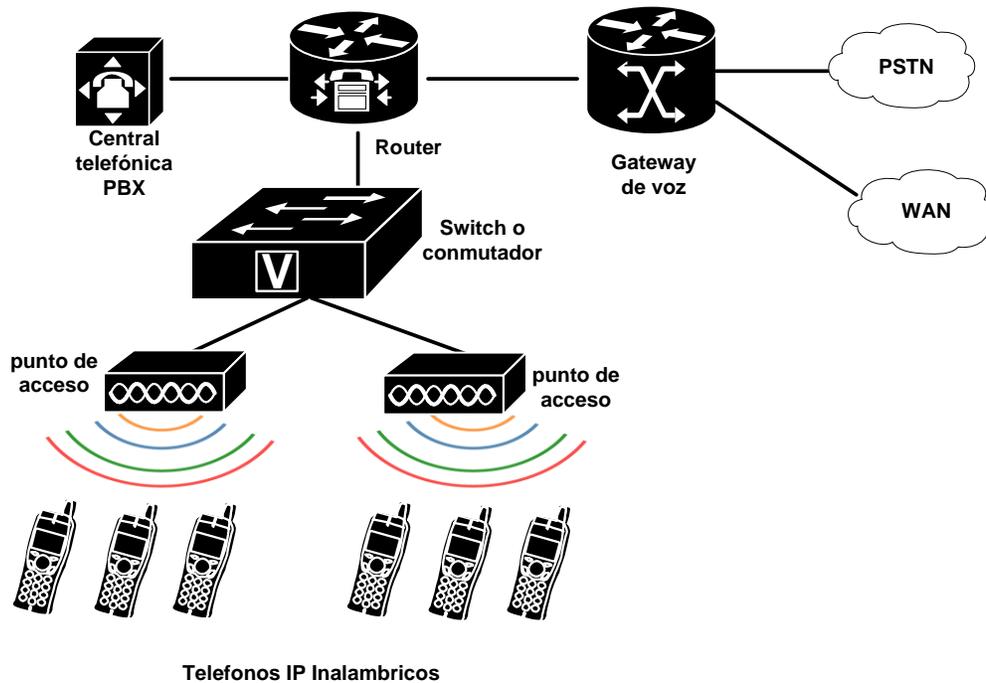
Este capítulo define los componentes que son parte de un sistema de *VoWLAN*, como los teléfonos, *software* de clientes, gestores de llamadas (*PBX*, *IP Switch*, *Softswitch*), etc. La cantidad, calidad y dimensionamiento de los equipos depende del requerimiento, incluso la marca puede ser un factor crítico en el buen desempeño del sistema *VoWLAN*.

La recomendación en la práctica es la utilización de una sola marca. Aunque se han estandarizado los protocolos y los diferentes proveedores ofrecen completa funcionalidad, el desempeño y características tienen sus límites en un ambiente con equipos de múltiples marcas de proveedores. El aprovechamiento de las características propias de cada marca hará una diferencia notoria, e incluso la búsqueda de fallas puede ser más fácil.

2.2. Arquitectura general de un sistema de VoWLAN

La arquitectura de un sistema general de *VoWLAN* consiste en los componentes que proveerán la movilidad a los teléfonos a través del edificio o ubicación. La figura 2 ilustra la interconexión de estos componentes.

Figura 2. Componentes de un sistema básico de VoWLAN



Fuente: elaboración propia.

A continuación se hará una breve descripción de los componentes básicos de una solución VoWLAN.

2.2.1. Teléfono IP inalámbrico

Este dispositivo es similar a un teléfono celular, sin embargo incluye un adaptador de red inalámbrico que sirve de interfaz hacia la red local inalámbrica para la conectividad al sistema telefónico. El usuario puede realizar llamadas a otros usuarios de la misma forma que lo hace cualquier otro abonado telefónico

del sistema o hacer llamadas hacia la red pública a través de la PSTN (*Public Switched Telephone Network*).

2.2.2. Punto de acceso

Este equipo es más conocido como Access Point (AP). Es el interfaz inalámbrico entre el dispositivo final y la red de datos local. Los dispositivos finales pueden ser computadoras personales, cámaras de vídeo-vigilancia, PDA's (*Personal Digital Assistant*) y por supuesto los teléfonos IP inalámbricos, entre otros. Actualmente se prefiere puntos de acceso con características de alto desempeño que puedan cubrir las necesidades de demanda de cobertura y capacidad de usuarios, asimismo con protocolos de optimización del desempeño de la comunicación, tales como Calidad de Servicio (QoS) y protocolos de encriptación y autenticación.

2.2.3. Switch o conmutador

Es un dispositivo electrónico de interconexión de redes de datos que opera en la capa 2 (nivel de enlace de datos) del modelo OSI (*Open Systems Interconnection*). Un conmutador interconecta dos o más segmentos de red, funcionando de manera similar a los puentes (*bridges*), pasando datos de un segmento a otro de acuerdo con la dirección MAC de destino de las tramas en la red. Los conmutadores se utilizan cuando se desea conectar múltiples redes, fusionándolas en una sola.

Al igual que los puentes, dado que funcionan como un filtro en la red, mejoran el rendimiento y la seguridad de las redes locales de acceso. En el caso de la utilización de un conmutador para aplicaciones de VoWLAN o VoIP,

se sugiere la adquisición de equipos con características apropiadas para el manejo de estas tecnologías.

2.2.4. Router o enrutador

Es un dispositivo de *hardware* para interconexión de red de datos que opera en la capa tres (nivel de red). Este dispositivo permite asegurar el enrutamiento de paquetes entre diferentes segmentos de redes y determinar la ruta que debe tomar el paquete de datos. A través de protocolos o de configuraciones en su sistema, se habilitan los destinos de cada paquete. En el caso de VoWLAN, deben existir rutas que transporten los paquetes de voz a la central telefónica.

2.2.5. Central telefónica o PBX

Es el conmutador de telefonía privado o *Private Branch Exchange* (PBX). Es el administrador de las funciones de telefonía. Este equipo provee de las características telefónicas y servicios, de los cuales va a disponer el abonado. Es un gestor de las llamadas de los servicios, atendiendo las solicitudes de características y funciones que los abonados demandan. En la actualidad las centrales telefónicas, en función del tipo de tecnología, pueden ser de telefonía convencional, telefonía IP completa o híbrida. En general, la función principal es la misma.

2.2.6. Puerta de enlace de voz o Voice Gateway

Es el dispositivo ubicado antes de la red pública PSTN o la red de *Internet*. Es el equipo que conecta el sistema privado a la red exterior. En una red

traduce paquetes desde un protocolo a otro. Una aplicación que convierte comandos o datos de un formato hacia otro, por ejemplo, un *Gateway de VoIP*, o *Voz sobre IP Gateway*, que es un dispositivo de red que ayuda a convertir la voz y llamadas de fax, en tiempo real, entre una red IP y la red telefónica pública conmutada.

Los dispositivos descritos anteriormente, son los componentes de un sistema básico de *VoWLAN*. En sistemas más complejos y más demandantes en términos de capacidad y funciones, pueden aparecer otros equipos que serán descritos en otros apartados.

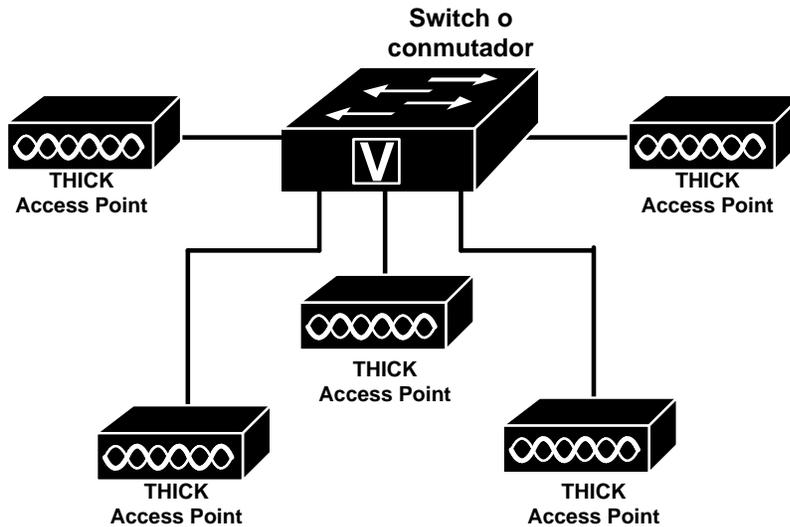
2.3. Infraestructuras de redes inalámbricas

Un sistema de telefonía inalámbrico requiere de una infraestructura de red inalámbrica efectiva. Se puede tomar ventaja de los puntos de acceso tradicionales o hacer uso de los nuevos conmutadores inalámbricos. En cualquiera de las dos formas, se debe asegurar que exista suficiente capacidad y que los retrasos sean lo más corto posibles para evitar la caída de las llamadas.

2.3.1. Redes de puntos de acceso tradicionales (*Thick*)

El principio de esta estructura de red radica en la implementación de múltiples puntos de acceso inteligentes conocidos como *thick*, que se interconectan con un conmutador convencional, como lo muestra la figura 3. Este tipo de distribución provee cobertura a lo largo de las instalaciones y a la vez habilita la conexión a los servidores y a los demás segmentos de red. Las empresas han implementado este tipo de estructuras por más de una década.

Figura 3. Red tradicional de puntos de acceso



Fuente: elaboración propia.

Los puntos de acceso cuentan con funciones del estándar 802.11. Mientras los usuarios se mueven a través de las instalaciones, el dispositivo cliente se debe asociar al punto de acceso que le provea la señal de mayor nivel. Debido a que los puntos de acceso son los dispositivos de acceso inalámbrico, estos deben poseer la suficiente inteligencia para poder cumplir con el requerimiento de usuarios. También deben de incluir características de seguridad y administración del radio de conectividad.

Cuando se implementan soluciones VoWLAN, las empresas pueden elegir utilizar sus puntos de acceso tradicionales *thick*, esto ciertamente reduce el costo inicial de *hardware*. Esta clase solución representará un costo en términos de cobertura y desempeño, debido a que tienen un precio elevado. Por ejemplo, si una compañía gasta \$500 en un punto de acceso para una cobertura de 30,000 pies cuadrados, más de un punto de acceso será necesario para incrementar el desempeño dentro de esta misma área.

Para grandes implementaciones, el costo de los puntos de acceso se convierte en la mayor parte del costo total de propiedad (TCO). El uso de una solución con puntos de acceso existentes no será la mejor opción a largo plazo, especialmente, si la compañía planea un crecimiento de la red que soporte más usuarios.

En un punto de acceso *thick* puede ser costosa la migración a nuevas tecnologías. Por ejemplo, una compañía implementa una red 802.11b/g y luego descubre que 802.11a u otra tecnología será necesaria en tres años para soportar aplicaciones finales. Una compañía experimentará un costo de propiedad bajo si necesitara reemplazar puntos de acceso que hayan sido costosos.

Los puntos de acceso dentro de una solución tradicional se interconectan usando un conmutador común. El conmutador conecta un usuario, como un punto de acceso a otros, sin bloquear el acceso a otros usuarios. El conmutador mejora el volumen de información (*Throughput*) comparado con un *hub* porque reduce los dominios de colisión. Los usuarios no deben esperar a que otros terminen para enviar sus tramas. Por lo tanto, el conmutador es esencial para maximizar el desempeño.

El proceso de transferir la llamada de un punto de acceso *thick* a otro (*handoff*), puede ser muy lento para soportar aplicaciones de *VoIP*. El problema acá es que la combinación de puntos de acceso y conmutadores tradicionales en este tipo de solución, no es suficientemente rápido. Por ejemplo, un usuario que utiliza un dispositivo inalámbrico puede experimentar una caída de su llamada cuando de realiza el *Roaming*.

Antes de depender de una red inalámbrica existente para que soporte aplicaciones de voz, debe ser probado el retraso por *Roaming* y este debería de ser menor a 100 mseg.

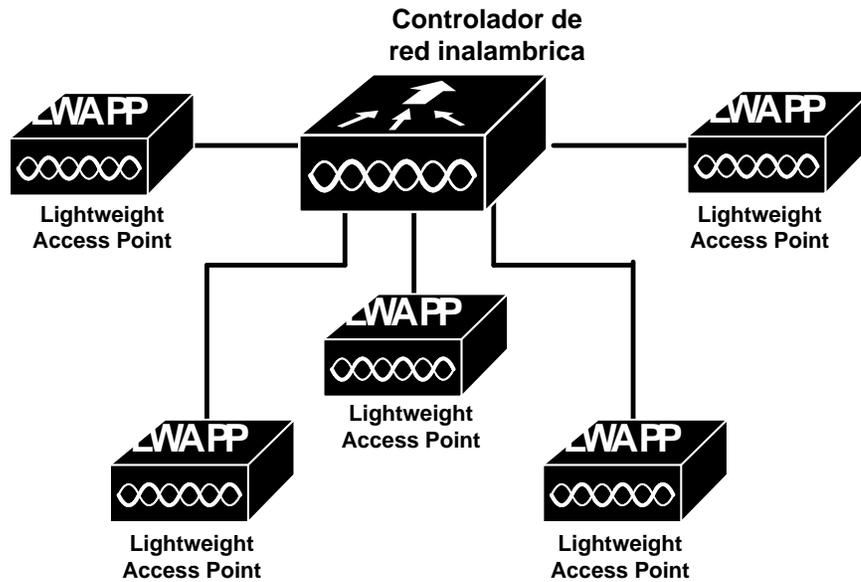
El punto de acceso *thick* tiene una administración descentralizada para soportar las funciones remotas. Aún si el fabricante del punto de acceso provee algún sistema de administración centralizada, la red inalámbrica debe manejar tráfico de encabezados para comunicarse con los puntos de acceso. Este tráfico puede reducir la capacidad de la red inalámbrica y esto a la vez evita que se pueda incluir aplicaciones con beneficios adicionales y esto resulta en un costo de propiedad bajo.

2.3.2. Redes inalámbricas conmutadas

Una alternativa a las infraestructuras de puntos de acceso *thick*, es la utilización de redes inalámbricas conmutadas como la mostrada en la figura 4. La idea principal es utilizar puntos de acceso *Thin* basados en tecnologías de confiabilidad y radios de alto desempeño.

El punto de acceso implementa meramente el protocolo 802.11, mientras que el conmutador provee la inteligencia necesaria para ofrecer la seguridad, administración y desempeño. Estas facilidades resultan en una solución que efectivamente satisface las aplicaciones de voz y significativamente reduce el costo total de propiedad (*Total Cost of Ownership, TCO*) para más aplicaciones.

Figura 4. Red inalámbrica conmutada



Fuente: elaboración propia.

La solución inalámbrica conmutada es menos costosa al momento del crecimiento de cobertura y desempeño en relación con que los puntos de acceso son más baratos. La falta de inteligencia de los puntos de acceso hace que se puedan adquirir puntos de acceso a menores precios.

En general, el sistema sigue siendo inteligente debido a que contiene un conmutador controlador de la red inalámbrica que administra eficazmente a los puntos de acceso. El hecho de contar con un equipo encargado de la inteligencia de la red, como ya se había mencionado, permite la utilización de puntos de acceso de bajo costo, pero también reduce la información enviada a cada punto de acceso, reduciendo el tráfico en la red.

Un conmutador inalámbrico inteligente debe proveer los servicios de *handoff* mucho más rápido que una red convencional, haciendo más efectiva las aplicaciones de *VoIP*. Los usuarios pueden trasladarse de un punto de acceso a otro de una forma más transparente, evitando la caída de las llamadas. Las características mencionadas favorecen en general a un costo de adquisición bajo, las migraciones a nuevas tecnologías serán menos costosas.

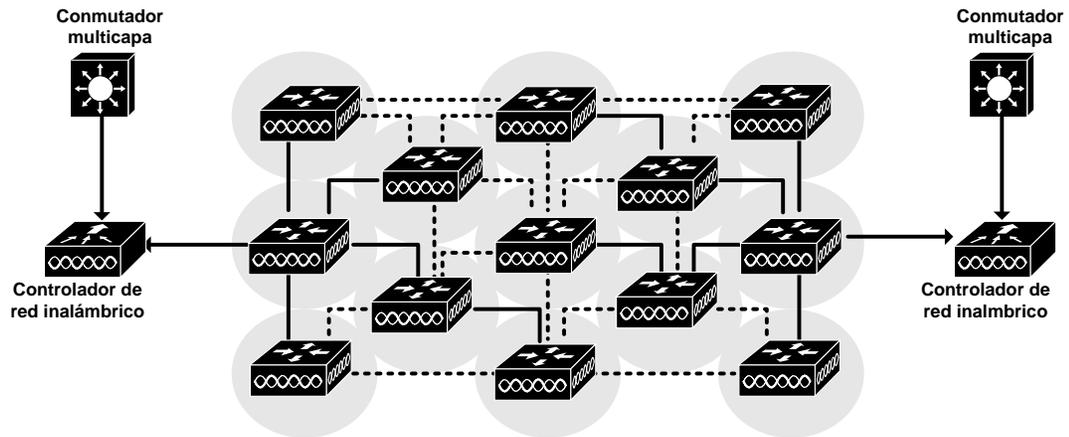
El conmutador inalámbrico inteligente detecta automáticamente las conexiones y desconexiones de los puntos de acceso por lo que también proveen seguridad. Adicionalmente, la seguridad también se gestiona con la administración centralizada.

Los administradores pueden dar mantenimiento, hacer monitoreo y actualizaciones múltiples, lo cual aumenta la utilidad. Otro de los beneficios es que el conmutador controlador puede tener una mejor visión del escenario de su red, por lo que el entendimiento y la búsqueda de fallas y mejoras es más rápido.

2.3.3. Redes de malla o *mesh*

Muchas ciudades están implementando redes de malla inalámbricas. En general, la red de malla reemplaza los puntos de acceso inalámbricos con nodos *backhaul* (nodos de retorno) que son completamente inalámbricos, a excepción del cordón de alimentación. La figura 5 ilustra una red de malla.

Figura 5. Red de malla



Fuente: elaboración propia.

El usuario de *Wi-Fi* se asocia a la red de malla (*mesh*) al igual que con un punto de acceso común. El otro extremo del nodo *backhaul* usa radios que se interconectan al siguiente nodo *backhaul* que conforma la red de malla. La operación de una red de malla es realmente en una dirección, por tanto, si un usuario de *Wi-Fi* solicita una URL, irá al primer nodo y este al siguiente y así sucesivamente, hasta encontrar al nodo que tiene la conexión hacia el proveedor de *Internet*. Por supuesto que un número mayor de saltos se deberá de dar en redes más grandes. El tiempo que tardará en responder el sitio web dependerá del diseño de la red.

Una red de malla ofrece múltiples caminos desde la fuente al destino. Un algoritmo inteligente de enrutamiento permitirá a cada nodo decidir qué camino tomar para enviar los paquetes y mejorar el desempeño de la red. Si el enlace entre dos nodos a lo largo de un camino es obstruido, por ejemplo, el algoritmo debe establecer otro camino que evite el enlace congestionado. También, si un nodo sufre una baja en su funcionamiento, una ruta alterna debe ser escogida.

Esta facilidad hace que la red de malla sea apropiada para áreas donde no es factible una red LAN tradicional inalámbrica que consiste en puntos de acceso. Por ejemplo, se considera que una red de malla puede implementarse en un ambiente residencial o a lo largo de una ciudad. La implementación de puntos de acceso con cable puede resultar en una tarea frustrante cuando la red es realmente grande y los inconvenientes que pueden surgir en este tipo de instalación pueden ser fastidiosos. Otros ambientes donde se puede considerar su utilización son las universidades, estadios, marinas, parques, etc. Simplemente se posiciona un nodo *backhaul* donde la cobertura es necesaria y mecanismos automáticos conectarán el nodo a la red.

Una red de malla también es apropiada para implementarla cuando se requiere una red inalámbrica temporal, ya que se pone en funcionamiento rápidamente. Por ejemplo, cuadrillas de emergencia pueden crear una red de malla rápidamente cuando un evento de desastre suceda. Las empresas también pueden aprovecharse de una red de malla cuando se necesite conectividad temporal en áreas específicas.

Otro uso conveniente de la red de malla, es dentro de edificios que en su momento de construcción no fue considerado el cableado para puntos de acceso. En lugar de puntos de acceso, se implementan nodos redes de malla. El costo de instalación de cableado será alto, especialmente donde se requiera tubería para llevar el cable. Normalmente el uso de tubería incrementa al doble los costos de instalación. En este caso la instalación de redes de malla representaría un ahorro significativo.

Las soluciones de red de malla en el mercado actual difieren ampliamente. Debido a esto es recomendable un análisis muy preciso en la adquisición de una solución de este tipo y asegurar que satisfaga completamente los

requerimientos antes de llevarla a cabo. Por ejemplo, la latencia puede variar significativamente dependiendo del número de usuarios y saltos que sean necesarios para mover paquetes a través de la red. Los retrasos (*delays*) de *Roaming* y enrutamiento causan problemas de desempeño, especialmente en las aplicaciones de voz sobre IP. Aún si la tasa de transmisión entre el nodo y el usuario se mantiene alta. El retraso es tolerado pero cuando es consistente.

En muchos casos, una red de malla supera todos los problemas cuando esta es bien diseñada. Si se precisa de una solución Wi-Fi robusta, donde el cableado no es factible, pues la red de malla es lo aconsejable. Los bajos costos de instalación son la mayor ventaja de este tipo de arquitectura. Algunos de sus problemas están asociados con la interoperabilidad, lo cual debe ser un factor que se debe tomar en cuenta cuando se diseñe la red.

2.4. Fundamentos de señalización de VoWLAN

A continuación se muestra una vista general de los principales elementos de las comunicaciones de voz, como las características de la voz, conversión análoga-digital, técnicas de compresión, estándares de señalización de llamadas, etc. La idea es proveer lo básico de *VoIP* para fundamentar un mejor entendimiento de las interacciones que se llevan entre las redes cableadas e inalámbricas.

2.4.1. Atributos de voz

Un teléfono IP transmite y recibe señales que transportan las comunicaciones de voz. Esto incluye una combinación de protocolos. Cuando una persona habla, el sonido que produce se encuentra en los 300 Hz y los 3,400 Hz. Como resultado de esto, los sistemas telefónicos han sido diseñados

para funcionar dentro de esta banda de frecuencias. La señalización de *VoIP* también soporta conversaciones que recaen dentro de esta banda de frecuencias. La mayoría de los sistemas de teléfonos *VoIP* no están diseñados para transportar sonido de alta calidad. Una banda de frecuencia que exceda los 10,000 Hz ofrecería mejor calidad de sonido, pero no es necesaria para la mayoría de las aplicaciones. En general, un aumento de las capacidades para poder llevar a cabo comunicaciones de alta calidad, consumiría más recursos, especialmente en las redes inalámbricas LAN.

Un teléfono IP, llamado terminal, convierte una conversación audible a señales eléctricas analógicas. EL sonido hace vibrar un diafragma con el cual se varía la frecuencia y amplitud de una señal eléctrica. Amplificadores ayudan a elevar el nivel de la señal. En sistemas análogos, esta señal es enviada al receptor. Un receptor IP va un paso más allá. Utiliza un codificador que convierte la señal análoga en una señal digital representada lógicamente por unos y ceros. Este proceso es comúnmente conocido como conversión análogo-digital.

La trama resultante de datos es transmitida a través de protocolos de red, por ejemplo los que habilitan voz sobre IP. 802.11 es uno de estos protocolos que puede llevar porciones de una señal digital en el cuerpo de la trama de datos. El terminal receptor es un decodificador que convierte el flujo digital en una señal análoga audible, que puede ser escuchada por la bocina o altoparlante del terminal. Cada terminal contiene un codificador y un decodificador al que suele llamársele códec.

El mecanismo de codificación análogo-digital más popular es PCM (*Pulse Code Modulation* o modulación por codificación de pulsos), el cual toma una muestra de la amplitud de la señal analógica 8000 veces por segundo. Un PCM

asigna un código de 8 bits. Estos bits representan la amplitud de la muestra. El resultado es un código de 64 Kbps de una señal digital, que se envía por la red ofreciendo un efectivo mecanismo que lleva señales en un rango de 300 Hz a 3,400 Hz. PCM como tal no ofrece ningún mecanismo de compresión aunque si es posible aplicar algunos mecanismos que proveen una tasa de transmisión más baja.

2.4.2. Atributos de vídeo

Todos habrán visto un vídeo, el cual no es más que una serie de imágenes (cuadros) estáticas que son secuencialmente mostradas a una tasa constante, lo cual refleja movimiento. Adicional a esto se incluye un canal de audio. Comparado con las señales de audio, las señales de vídeo incluyen una gran variación de los requerimientos de ancho de banda, dependiendo de varios factores.

Atributos como la tasa de cuadros de vídeo, resolución de la imagen y tamaño, colores, pueden afectar la tasa de bits para una señal de vídeo. Para restringir el impacto en las redes inalámbricas, la mayoría de las cámaras Wi-Fi usan un máximo de resolución de 640x480, 15 cuadros por segundo y limitan la cantidad de pixeles de color. Esto repercute en los objetos en movimiento, mostrando imágenes entrecortadas. El ojo humano no puede ver más de 30 cuadros por segundo por lo que no es necesaria una tasa más alta.

Un vídeo sin compresión puede llegar a utilizar rangos dentro de los megabits-por-segundo. Debido a los limitados recursos en las redes inalámbricas, es necesario aplicar mecanismos de compresión. Estos métodos reducen el requerimiento de ancho de banda necesario para soportar flujos de vídeo.

La mayoría de algoritmos comúnmente son del tipo de estándar de *Moving Picture Experts Group* (MPEG). Existen métodos de compresión que incluso permiten perder contenidos de información. Esto no será distinguido por el receptor. La compresión MPEG no envía la imagen digital completa por cada cuadro. Por ejemplo en una escena donde el fondo de la imagen no cambia MPEG tiene poca información que enviar. La única parte de la imagen que es necesario enviar es la parte que cambia. A diferencia de una escena, por ejemplo un partido de basquetbol, donde la imagen cambia constantemente, entonces MPEG sí tendrá mucha información que enviar.

2.4.3. Flujo de llamadas VoIP

La habilitación de *VoIP* permite la transferencia de paquetes voz a través de una red IP. Cuando se implementan sistemas de *VoWLAN* es útil comprender cómo se lleva a cabo la comunicación en el terminal. El flujo de una llamada *VoIP* incluye señalización que coordina el establecimiento, ofrecimiento y la respuesta de la llamada.

El flujo empieza cuando un terminal IP indica que desea establecer una llamada poniendo al teléfono en posición de “descolgado” y “marcando” el número del otro terminal. En general, esto se hace intercambiando información con puertos TCP (*transport control protocol*) para facilitar la conexión. Luego del establecimiento de la llamada, se mantiene el intercambio de información entre los dos terminales, independientemente de la puerta de enlace de voz (*Gateway* de voz).

Cuando una llamada es establecida, el terminal envía voz codificada vía protocolos RTP (*Realtime Transport Protocol*). RTP abre dos canales TCP, uno para el flujo de voz y otro para las funciones de control. Si hubiera vídeo

agregado, este sería enviado a través de una sesión de RTP diferente. Los paquetes RTP incluyen encabezados y tributarios, conteniendo los datos de voz.

Con los sistemas de VoWLAN, TCP establece la conexión entre los terminales, pero UDP (*User Datagram Protocol*) es el que lleva las sesiones RTP. La mayoría de los paquetes relevantes de las llamadas de voz fluyen sobre UDP dentro de las tramas de 802.11. Actualmente, existen varios protocolos para el control de las llamadas por ejemplo H323, SCCP, SIP. En este caso se hará una vista general de H323 y SIP, ya que son los protocolos abiertos, a diferencia de SCCP que es un protocolo propietario de CISCO.

H323, es un protocolo sombrilla especificado por ITU-T, que incluye un conjunto de protocolos para voz y vídeo. H323 es una especificación bien conocida, diseñada específicamente para la industria de la telefonía. H323 es en términos de componentes y operación, similar a un sistema análogo de telefonía. La gran diferencia radica en que hace uso de conmutación de paquetes en lugar de conmutación de circuitos.

La conmutación por paquetes envía datos representando la llamada en múltiples paquetes, con cada paquete enviado independientemente a través de una conexión TCP de extremo a extremo. En cambio la conmutación por circuitos, establece una conexión física entre los terminales.

H323 define los siguientes componentes:

- Terminales: son los dispositivos finales, como los teléfonos IP.
- Gateway (puerta de enlace): provee las conexiones entre los terminales y la red de telefonía pública (PSTN).

- Gatekeeper: provee el control de las acciones de control como el acceso, gestión de ancho de banda y traducción de una IP a un número de extensión.
- Unidades de control Multipunto: este dispositivo habilita la conferencia entre múltiples terminales IP.

Los sistemas de telefonía tradicional implementan señalización con diferentes tonos audibles. Esto es llamado DTMF (*Dual Tone Multifrequency*) y su función es comunicar información de control como el número marcado desde el teclado. H323 utiliza mensajes digitales llevados en los paquetes para transportar información de señalización entre dos componentes y así procesar las llamadas; por ejemplo, el número marcado es codificado y enviado a través de un paquete RTP.

H323 incluye dos estándares primarios para el manejo de llamadas, H225 para la señalización de las llamadas y H245 para el control de la llamada. H225 establece la conexión entre dos terminales y H245 informa el parámetro operacional para la conexión. Pueden ser incorporadas funciones de H225 *Registration, Admission and Status* (RAS) a las puertas de enlace.

Los siguientes mensajes H323 son definidos:

- *Registration Request* (RRQ): es un mensaje de H225 RAS enviado de un terminal al gatekeeper, luego de que el terminal es encendido.
- *Registration Confirmation* (RCF): es un mensaje de H225 enviado desde el *gatekeeper* hasta el terminal, para solicitar la confirmación de registro completada.

- *Registration Reject (RRJ)*: es un mensaje de H225 desde el gatekeeper al terminal, para solicitar el registro en caso de que el registro inicial no haya sido aceptado.
- *Admission Request (ARQ)*: es un mensaje de H225 enviado por el terminal, para solicitar acceso a la red.
- *Bandwith Change Request (BRQ)*: es un mensaje enviado por el terminal, para solicitar cierta cantidad de ancho de banda específico.
- *Setup*: es un mensaje de H225 enviado por un terminal al terminal remoto, para iniciar una conexión.
- *Call Proceeding*: es un mensaje de H225 enviado por un terminal remoto, para indicar que la llamada procede.
- *Alerting*: es un mensaje de H225 enviado por un terminal remoto, para proveer información de alerta.
- *Connect*: es un mensaje de H225 enviado por un terminal remoto, para indicar que la conexión está completada.
- *Terminal Capability Set*: es un mensaje de H245 entre dos terminales, que incluye información en cada terminal; como tupo de códec estándar, tasa de muestreo, etc.
- *End Session*: es un mensaje de H245 enviado por un terminal, indicando que termina la llamada e indica al terminal opuesto que libere la llamada. Este mensaje es enviado cuando alguien cuelga.
- *Release Complete*: es un mensaje de H225 enviado por el terminal que terminó la llamada al terminal opuesto, indicando que la llamada fue liberada completamente.

Para el procesamiento del audio H323 requiere del estándar G.711, el cual define PCM para frecuencias operativas en 64 kbps. Los siguientes son los estándares de audio opcionales:

- G.722: codificación de audio de 7 kHz a 64 kbps
- G.723.1: codificación a 5.3 kbps y 6.3 kbps
- G.728: codificación a 16 kbps
- G.729: codificación a 8 kbps

Luego de procesar el audio, H323 usa RTP y UDP para transportar las llamadas entre terminales. RTCP trabaja conjuntamente con RTP y provee los servicios de control, como la calidad en la distribución.

H323 incluye los servicios suplementarios de H450:

- H.450.1: funciones genéricas para el control de servicios suplementarios de H323
- H.450.2: funciones de transferencia de llamadas
- H.450.3: funciones de diversas llamadas
- H.450.4: funciones de llamada en espera
- H.450.5: funciones de Parqueo y recuperación de llamadas
- H.450.6: funciones de espera de llamadas
- H.450.7: funciones de mensajes en espera
- H.450.8: funciones de servicios de identificación
- H.450.9: servicios de llamadas completadas para red H323

H.323 no especifica el tipo de red. Los protocolos de red 802.11 o IEEE 802.3 están fuera del control de H323. Por supuesto que para sistemas VoWLAN, está definido en el 802.11.

SIP (*Session Initiation Protocol*), fue desarrollado por la IETF y definido en RFC 254. A diferencia de H323, SIP está basado en especificaciones existentes de *Internet*, como HML (*Hypertext Markup Language*) y SMTP (*Simple Mail Transfer Protocol*). SIP se refiere a los componentes de *VoIP* como servidores y clientes. Los clientes envían peticiones SIP y reciben respuestas SIP. Los servidores reciben peticiones y servicios. Los diferentes tipos de servidores incluyen servidores de agente de usuario, los cuales generan respuestas a peticiones SIP.

Un servidor de redireccionamiento, dirige un cliente a un servidor diferente y un servidor de registro acepta y procesa las peticiones de registro. SIP está basado en protocolos EITF como RTP. Los mensajes SIP pueden ser enviados sobre TCP o UDP. Tienen un campo de encabezado y una sintaxis similar a HTTP, por ejemplo:

- *Register*: es un mensaje enviado por un terminal al servidor para registrar una dirección.
- *Invite*: este mensaje es enviado a otro terminal para poder participar en la llamada.
- *ACK*: el terminal invitado envía este mensaje para confirmar que ha recibido la petición de invitación.
- *BYE*: mensaje enviado cuando una persona cuelga.
- *Cancel*: mensaje enviado para indicar la cancelación de un petición.

- *Options*: mensaje enviado como una consulta para determinar las capacidades de un servidor en particular.

SIP incluye los siguientes mensajes de respuesta:

- *1xx: provisional Responses*: indica que una petición particular ha sido recibida.
- *2xx: success responses*: indica que una acción ha sido recibida, entendida y aceptada.
- *3xx: redirection responses*: indica que una acción adicional ha sido requerida.
- *4xx: Client error responses*: indica que una petición incluye una sintaxis no apropiada y que no será procesada por el servidor.
- *5xx: server error responses*: indica que el servidor no puede participar en una petición específica.
- *6xx: global failure response*: indica que ningún servidor puede procesar una petición.

Los mensajes SIP utilizan URI (*Uniform Resource Indicator*), el cual es un esquema de identificación direccionamiento. El SIP URI contiene un nombre de usuario y un nombre de host, al igual que una dirección de correo electrónico. Los siguientes son mensajes típicos SIP para una llamada:

- *Invite*: el terminal que inicia la llamada envía un mensaje de invitación al terminal remoto.
- *180 ringing*: el teléfono llamado timbra y envía un mensaje en respuesta de *180 Ringing*, al terminal que inició la llamada.

- 200 OK: Luego de que la llamada fue respondida el teléfono envía un mensaje de 200 OK al terminal que inició la llamada, para indicar que el usuario ha respondido a la misma.
- ACK: este mensaje es enviado para reconocer que el terminal ha recibido el mensaje de respuesta 200 OK.
- *Voice Communications*: un canal bidireccional es establecido usando RTP. En este punto, una conexión existe entre los dos terminales para el acarreo de las conversaciones.
- *BYE*: cuando un usuario cuelga el teléfono, un mensaje de BYE es enviado al terminal opuesto.
- 200 OK: cuando el terminal opuesto cuelga, un mensaje de 200 OK es enviado para confirmar el fin de la llamada.

Los terminales deben comunicar los elementos al principio de la sesión y el SAP (*Sesión Announcement Protocol*) definido en el RFC 2974 y el SDP (*Session Description Protocol*) definido en el RFC 2327, proveen estos elementos. SAP advierte de las sesiones multimedia y SDP define el formato para la descripción de la sesión.

2.5. Señales de Radio Frecuencia (RF)

Los paquetes de voz son enviados sobre un enlace de datos entre el terminal o teléfono inalámbrico IP y el punto de acceso inalámbrico más cercano, por lo que es necesario repasar algunos de los conceptos fundamentales de Radio Frecuencia (RF).

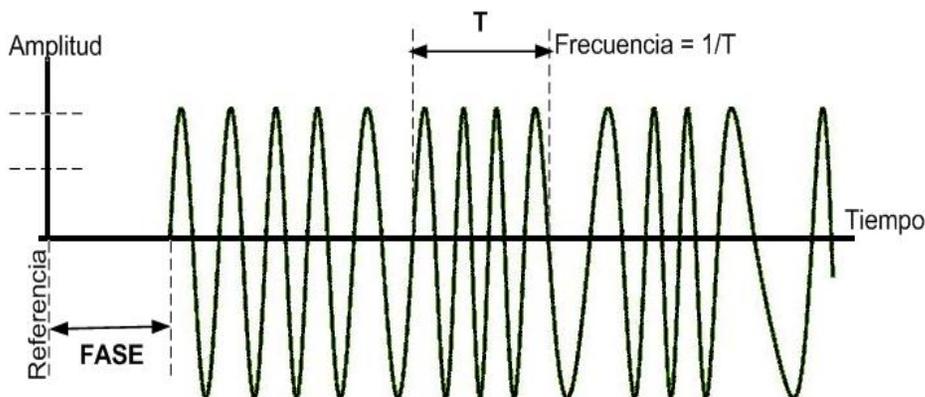
Una señal de RF (radiofrecuencia) capaz de ser enviada de una antena, a través del espacio libre (aire), y ser recibida por otra antena en el destino, tiene ciertas características. Las señales de RF son análogas por naturaleza; sin embargo, una computadora utiliza una señal digital para representar bits de información.

Antes de transmitir los datos a través del espacio, un transductor (*transceiver*, como comúnmente se le conoce) dentro del punto de acceso debe convertir la señal digital a una señal analógica que sea capaz de atravesar ese medio. Asimismo, debe de poder recibir esa misma trama de 802.11, y convertirla de nuevo a una señal digital para que sea apta para el dispositivo de procesamiento final. Este proceso de conversión es conocido como modulación y demodulación, respectivamente.

El estándar IEEE 802.11 define varios tipos de modulación, dependiendo de la capa física y la tasa de transmisión que se pretende utilizar en la terminal. En general, es posible modular una señal portadora de RF cambiando su amplitud, frecuencia o fase. Por ejemplo, el estándar 802.11b usa PSK (*Phase Shift Keying*) para representar una señal digital.

Los estándares 802.11a y 802.11g implementan una combinación de modulación por amplitud y fase, la cual es llamada QAM (*Quadrature Amplitud Modulation*).

Figura 6. **Atributos de una señal de RF**



Fuente: elaboración propia.

2.5.1. **Características de la señal RF**

Las señales de RF son cíclicas y varían en el tiempo, constantemente. El número de ciclos por segundo que ocurren en la señal se llama frecuencia; la cual puede variar a lo largo de lo que se conoce como el espectro de frecuencia. La unidad de medida de la frecuencia es el *Hertz* (Hz), y las señales inalámbricas LAN se encuentran aproximadamente dentro de 2.4 GHz y 5 GHz, del espectro de frecuencias. El proceso de modulación causa que la señal de RF ocupe una porción del espectro de frecuencia, el cual es conocido como ancho de banda.

Además de la frecuencia, una señal RF en cualquier lugar en el tiempo tiene un amplitud conocida. Existen varias maneras de representar la amplitud pero la más común en sistemas de RF es la potencia de la señal. La unidad de medida es el watt (W) o decibeles en función de 1 miliwatt (dBm). La FCC (U.S. *Federal Communications Commission*) tiene reglas que limitan la transmisión de

señales sin licencia, dependiendo del estándar utilizado. Por ejemplo, un transmisor que funciona en 802.11b está limitado en los Estados Unidos a una potencia máxima de 1 W. En general, una alta potencia de transmisión produce un rango más amplio de operación.

La mayoría de los sistemas de LAN inalámbricos usan señales que están dentro del rango de los miliwatt (mW), el cual hace que la suma y multiplicación de señales de RF sean matemáticamente difíciles; como resultado de esto, convertir watts a dBm, el cual es un valor logarítmico que representa la potencia de la señal en 1 mW, será ventajoso. La fórmula de la conversión es:

$$\text{dBm} = 10 \log (\text{mW})$$

Por ejemplo, 100 mW equivales a 20 dBm.

2.5.2. Ganancia

Los componentes de LAN inalámbrica pueden trabajar en varios grados de ganancia, lo cual representa qué tanto una señal cambia de un punto a otro. La ganancia en dB es simplemente el nivel que la señal tiene a la salida de un dispositivo (en dBm) menos el nivel de la señal a la entrada de ese dispositivo (en dBm).

El decibel es una unidad de medida que representa la amplitud de la señal. La señal experimenta una ganancia de 3 dB, por ejemplo, cuando aumenta de 50 mW (17 dBm) a 100 mW (20 dBm). Un amplificador o antena pueden ofrecer este tipo de ganancias.

2.5.3. La atenuación o pérdida

Es básicamente el concepto inverso a la ganancia. Si la señal va de 20 dBm a 17 dBm, la señal está experimentando una atenuación de 3 dB. Esto también puede ser expresado como -3 dB de ganancia. El cableado hacia la antena y los obstáculos en un sitio, como paredes o muebles, introducen atenuación. Adicional, el espacio libre también representa una atenuación. La pérdida en el espacio libre ocurre debido a la atenuación del medio (aire) y contribuye a la mayoría de la pérdida total del transmisor al receptor. En las LANs inalámbricas, la amplitud de la señal de RF debe tener un valor mínimo permisible para que el equipo de acceso detecte la señal. Este valor depende de la capa física de 802.11 y de la tasa de transmisión, pero aproximadamente es -85 dBm.

La ganancia de las antenas impacta directamente en la señal de RF. Por ejemplo, una antena omnidireccional, generalmente tiene una ganancia de 3 a 6 dB o más, dependiendo del diseño de la antena. Las antenas con alta ganancia son más direccionales, con altos rangos de ganancia, que proveen anchos de propagación más angostos pero más extensos.

2.5.4. Relación señal a ruido

Si el ruido (interferencia) cerca del punto de acceso es alto, el punto de acceso tendrá dificultad en recuperar la señal, lo que resultaría en errores de bit y retransmisiones. Un parámetro importante en la medición de las señales es la relación señal-ruido (SNR). El SNR (en dB) en un punto específico de la red, es simplemente la potencia de la señal (en dBm) menos la potencia del ruido (en dBm). La potencia del ruido no es más que la que corresponde a la señal del punto de acceso.

La siguiente tabla incluye algunos valores de *SNR* y el desempeño resultante del estándar 802.11b en una red, mientras se hacían consultas a sitios web y se procedía a la descarga de archivos. El resultado general muestra el desempeño que varía para el usuario final. El uso de *SNR* es más efectivo que la tasa de transmisión y la amplitud de la señal, para definir los límites de funcionamiento de un punto de acceso. Un alto grado de ruido causa mayor cantidad de errores en la trama e implica retransmisiones.

Tabla I. **SNR de 802.11b**

Valor de SNR	Indicación de señal	Desempeño
> 40 dB	Excelente nivel de señal y siempre conectado con el punto de acceso	Extremadamente rápido para la búsqueda web y para la descarga de archivos
25 – 40 dB	Muy buena señal y siempre conectado a punto de acceso	Muy rápido para la búsqueda web y para la descarga de archivos
15 – 25 dB	Bajo nivel de señal y siempre conectado al punto de acceso	Usualmente rápido para la búsqueda web y para la descarga de archivos
10 – 15 dB	Muy bajo nivel de señal y desconexiones eventuales	Mayormente lento para la búsqueda web y para la descarga de archivos
05 – 10 dB	Sin señal y sin conexión al punto de acceso	No existen servicios de red

Fuente: elaboración propia.

2.5.5. Spread spectrum

En 1985, la FCC adoptó ciertas regulaciones que especifican la disponibilidad gratuita de las bandas de frecuencia entre los 900 MHz, 2.4 GHz y 5 GHz. Sin embargo, para ser compatible, los equipos deben de usar *spread spectrum* o métodos de OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) para propagar la potencia de la señal sobre una porción relativamente ancha

dentro del espectro de frecuencia. Estos métodos promueven la reutilización de las frecuencias. *Spread spectrum* fue el primer método utilizado por los fabricantes de LAN inalámbrico. Los dos tipos de *spread spectrum* son:

2.5.5.1. Frequency hopping spread spectrum (FHSS)

FHSS trabaja en la banda de 2.4 GHz. El transductor sintoniza periódicamente al transmisor con el receptor, a una frecuencia portadora distinta dentro de un rango aproximado de 84 MHz de ancho de banda. Saltando de una frecuencia a otra de acuerdo con una secuencia programada en cada estación. Las otras estaciones que reciben tramas sintonizan sus receptores con una frecuencia específica basada en la secuencia de salto. La señal de RF ocupa aproximadamente un canal de 2 MHz. Debido a que el salto ocurre continuamente (varias veces por segundo) y uniformemente sobre la banda completa, la señal parece ocupar los 84 MHz. El estándar de capa física de salto de frecuencia 802.11 habilita una tasa de transmisión de datos de 1 Mbps y 2 Mbps.

2.5.5.2. Direct sequence spread spectrum (DSSS)

DSSS usa técnicas de codificación para ensanchar la señal sobre el espectro de frecuencia. El estándar 802.11b usa este tipo de secuencia. Se ensancha la señal portadora sobre aproximadamente un tercio (30 MHz) de la banda de 2.4 GHz. Con DSSS, un código representa los bits de datos que se necesita transmitir. Esto aumenta la tasa de transmisión por el número de bits en el código (11 en total). El aumento de la tasa de transmisión dispersa la señal de RF.

El uso de cada tipo de *spread spectrum* ha sido debatido a lo largo de los años, pero finalmente ha sido definido para el 802.11, el uso de DSSS para extender la tasa inicial de 1 Mbps y 2 Mbps a 11 Mbps.

2.5.6. OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

OFDM divide la señal a través de 48 subportadoras separadas dentro de un canal de 20 MHz para proveer transmisiones de 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 o 54 Mbps. Las tasas de transmisión de 6 Mbps, 12 Mbps y 24 Mbps son obligatorias para todos los productos compatibles con 802.11. OFDM es sumamente eficiente y proporciona tasas de transmisión más altas. Adicional, OFDM es altamente inmune a problemas de múltiples caminos de propagación que causan significativos problemas de desempeño.

Un modulador de 802.11a convierte una señal binaria a una análoga con forma de onda de OFDM a través del uso de diferentes tipos de modulación, dependiendo de la tasa de transmisión escogida. Por ejemplo, para una operación a 6Mbps, 802.11a utiliza BPSK (*Binary Phase Shift Keying*), el cual cambia la fase de transmisión para representar un patrón diferente.

En altas tasas de transmisión, como 54 Mbps, se usa QAM para representar bits de datos, haciendo variar la frecuencia central con diferentes niveles de amplitud además de la fase. La siguiente tabla muestra los atributos de varias de las tecnologías LAN inalámbricas:

Tabla II. **Tasas máximas vrs. métodos de modulación**

	<i>Spread Spectrum</i>	Tasa Máxima de transmisión	Estándar
FHSS	Si	2 Mbps	802.11 FHSS
DSSS	Si	11 Mbps	802.11b
OFDM	Si	54 Mbps	802.11a y 802.11g

Fuente: elaboración propia.

2.5.7. Reglamento FCC

La FCC no requiere el uso de licencias para el uso de productos LAN por que se asume que estos no excederán los límites de emisión. La FCC usa EIRP (*Effective Isotropic Radiated Power*) para determinar si una red LAN es compatible con el reglamento. EIRP es igual a la potencia transmitida (en dBm) menos las pérdidas en el cable y conectores (en dBm) más la ganancia de la antena (dBm). Para 802.11b/g los puntos de acceso deben de tener un EIRP de 36 dBm, esto es con una potencia de transmisión de 30 dBm (4 watts) y 6 dBi de ganancia para la antena.

La FCC requiere que los usuarios que utilizarán una solución LAN con antenas o amplificadores que no son parte de la solución del fabricante, obtengan la respectiva licencia. Este licenciamiento es necesario para asegurar que el sistema de red inalámbrico no interfiera con sistemas existentes dentro del área de operación. Existen agencias reguladoras en otros países con reglas similares, aunque algunas difieren levemente.

2.5.8. Degradaciones de la señal inalámbrica

El área de cobertura es determinada principalmente por la interface LAN inalámbrica. Esta región de cobertura es compleja y presenta degradaciones a la señal. El comportamiento de la señal inalámbrica no es tan fácil como una solución cableada. El mayor problema de una solución VoWLAN es que el flujo de datos de la señal inalámbrica se ve degradado o interrumpido mientras las llamadas están en curso. Cuando se implementa un sistema de VoWLAN, es necesario entender estas degradaciones y tratar de mantenerlas al mínimo posible para maximizar la capacidad de la red y la calidad de las llamadas de voz.

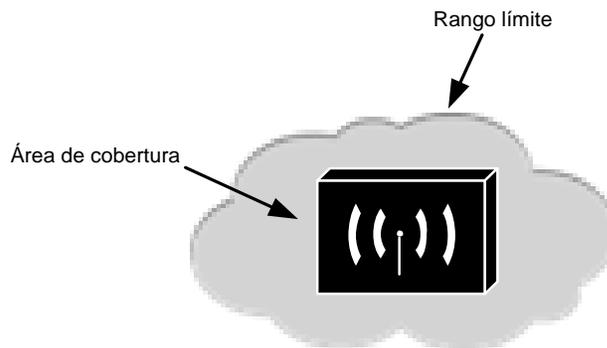
2.5.9. Cobertura con señal pobre o degradada

La cobertura de la señal de una red inalámbrica LAN define el espacio donde los usuarios podrán conectarse a la red y hacer uso de las aplicaciones; incluso las llamadas de voz desde un teléfono o terminal inalámbrica IP. Los puntos de acceso contribuyen a la cobertura formando un radio de celdas traslapadas. Estas celdas, en general, tienen formas irregulares por los diferentes niveles de atenuación que produce el ambiente. Por ejemplo, la propagación de una señal RF en una dirección puede ser mejor sin ningún obstáculo, pero puede ser muy mala en otra dirección que tenga paredes u otros objetos como muebles.

Cuando se define la cobertura es necesario entender cuál será el límite de las celdas; a esto comúnmente se le conoce como "*Range Boundary*" o rango límite. Este rango representa la circunferencia producida por la celda de cada punto de acceso. Con los límites definidos, un diseñador puede hacer un traslape de la cobertura de cada punto de acceso, el cual debe ser solo lo

suficiente para poder habilitar *Roaming* y adecuar la señal para tener redundancias. Conocer los límites puede parecer fácil, pero surgen complicaciones a casusa de la naturaleza de las ondas y del protocolo 802.11.

Figura 7. **Cobertura de una señal RF**



Fuente: elaboración propia.

El rango límite de un punto de acceso se basa en términos de conectividad, indica el punto donde el usuario puede asociarse a un punto de acceso con una tasa de transmisión específica. Por ejemplo, se puede definir el rango límite a 11 megabits por segundo (Mbps); esto significa que el límite será el punto donde la tasa de transmisión decae de 11 Mbps a 5.5 Mbps. Dentro de este rango límite, todos los usuarios asociados deben de tener 11 Mbps. De forma similar se puede definir el límite a 1 Mbps, el cual comprendería el área desde 1 Mbps hasta que se pierde la asociación. En general se puede definir el área a cualquier límite, siempre que el punto de acceso lo permita.

Muchas compañías que implementan redes LAN inalámbricas especifican el rango límite, basadas únicamente en la conectividad; pero esto no es suficiente cuando el sistema tendrá una alta concentración de usuarios asociados o tiene aplicaciones exigentes, por ejemplo la voz. El problema es que la tasa de transmisión como tal, no provee una medida real del desempeño.

La definición de rangos límites basada en la conectividad introduce riesgos significativos en la planeación y administración del desempeño de la red.

Un usuario asociado a un punto de acceso a 11 Mbps, sin interferencias en la señal de RF, obtendría el máximo de volumen de información. Esto es conocido como *Throughput* y en este caso sería aproximadamente 6 Mbps para 802.11b. Usando el rango límite basado en la conectividad, probablemente sería satisfactorio, asumiendo que las condiciones de usuario no cambien. Los usuarios bajo estas condiciones pueden usar teléfonos IP sin ninguna dificultad.

Un escenario más real sería con múltiples usuarios simultáneos, experimentando interferencias de RF. Cada usuario podría estar asociado a 11 Mbps, pero debido a las interferencias estaría solicitando 50% de paquetes retransmitidos. Esta interferencia es significativa y reduce el *throughput* a niveles inaceptables y no adecuados para soportar llamadas de voz.

Las aplicaciones de voz demandan una cobertura inalámbrica donde los usuarios puedan conectarse y utilizar estas aplicaciones con un nivel de calidad alto. Esta área de cobertura debe ser capaz de conectar un usuario al punto de acceso y establecer una llamada con otra persona usando un terminal distinto. Eso significa que es necesario asegurar que la tasa de retransmisión se mantenga a niveles aceptables (preferiblemente debajo de 1%) y que la capacidad de canales disponibles para llamadas simultáneas sea soportada.

Adicional a lo anterior donde simplemente se considera la asociación al punto de acceso, existen efectos como el ruido y las interferencias que también ayudan a definir el rango límite. Al tomar en cuenta estos factores, se define el límite de servicio útil del punto de acceso. Este límite es la distancia a la cual la SNR es lo suficientemente alta para mantener un desempeño apropiado.

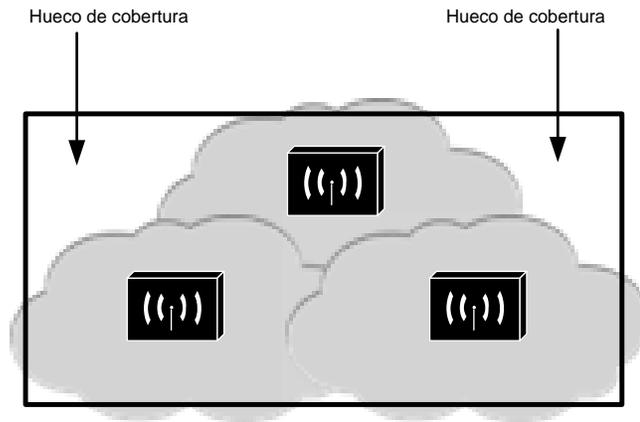
El diseñador debe definir el rango límite con la ubicación real de los puntos de acceso y realizar un estudio de la cobertura de sitio (Site Survey).

El uso de la SNR sirve también para definir el rango límite y considera la calidad del servicio mínima que usualmente produce cada punto de acceso. En comparación, si se utiliza únicamente la conectividad como parámetro base, este parámetro es más estricto. Una SNR aceptable depende realmente de la aplicación, pero de 25 dB a 30 dB de SNR, se provee un desempeño apropiado para la mayoría de las redes inalámbricas.

Uno de los problemas característicos de las redes inalámbricas existentes es la variación del nivel de la señal a lo largo del rango de cobertura dentro de un edificio. En algunas áreas la cobertura de la señal será suficiente para conectarse a la red, pero la descarga de un archivo desde el *Internet* puede ser una actividad tediosa. Este tipo de cobertura resulta en altas retransmisiones y tasas de transmisión bajas. Este escenario puede resultar apenas suficiente para aplicaciones de datos, pero para aplicaciones de voz, el retraso de los paquetes de voz causará un sonido altamente degradado.

Una cobertura pobre se encuentra normalmente en redes inalámbricas ya existentes. Como en la figura 8, se encontrarán espacios donde no se tendrá cobertura, por ejemplo en las escaleras de un edificio, elevadores y sitios lejanos dentro de la construcción. Estos lugares normalmente no fueron considerados dentro del rango de operación y como resultado se muestran complicaciones en la conectividad cuando los usuarios de terminales de voz inalámbricas cruzan estas áreas. Es importante tomar en cuenta todas las áreas de un edificio y proveer un nivel de señal apropiado.

Figura 8. Huecos en la cobertura



Fuente: elaboración propia.

Conforme pasa el tiempo, se pueden encontrar coberturas deficientes dentro del edificio debido a cambios dentro del radio del ambiente. Por ejemplo, un sistema inalámbrico definido y operando en un ambiente de oficinas, se ve afectado porque se coloca una gran fila de gabinetes metálicos al costado de una pared o una bodega que cambia la disposición de los muebles de almacenamiento, lo cual tendrá un impacto en el patrón de cobertura.

Como resultado, realizar un análisis de RF dentro de las instalaciones donde los usuarios utilizarán VoWLAN es muy importante. Hacer esto asegura que el nivel de señal será suficientemente alto. Hay que realizar estos análisis siempre que ocurran cambios significativos en las instalaciones.

2.5.10. Latencia

Debido a los retrasos ocasionados por el medio de acceso, el estándar LAN inalámbricas 802.11, muestra una latencia grande comparada con sistemas *Ethernet*, cableadas de alta velocidad. Cada dispositivo inalámbrico

como puntos de acceso y teléfonos deben tomar turnos para enviar y recibir tramas de datos con información. Cuando existen grandes niveles de utilización, los retrasos se vuelven un factor determinante en las aplicaciones de voz.

Los retrasos resultantes no son tan perjudiciales cuando una red está saturada y solo se utilizan aplicaciones de datos como correo electrónico o transferencia de datos. Por ejemplo, una persona que envía un correo electrónico probablemente no notará si el correo tarda 150 ms o 3 s en enviarse. En este tipo de aplicaciones, en general, el usuario no nota la variación en la latencia. Sin embargo, los retrasos sí muestran un impacto operacional en las aplicaciones de tiempo real como la voz. En casos extremos, la conexión puede caerse o se escuchará la conversación entrecortada.

Cuando los usuarios utilizan el *Roaming* dentro de las instalaciones, el teléfono IP debe asociarse constantemente al punto de acceso con el nivel de señal más fuerte. Este proceso soporta cualquier flujo de tramas de datos de 802.11.

Cuando un usuario está descargando un archivo, pasando por los puntos de acceso y ocurre una desasociación y asociación por medio del *Roaming*, el flujo de la descarga continúa cuando se restablece la conexión; esto produce un retraso por *Roaming*. En este caso, el usuario no es críticamente afectado aunque puede que haya sido una breve interrupción en el flujo. Sin embargo en las aplicaciones de voz esto puede ser perjudicial para el enlace de las llamadas y se rompe la conexión. En la mayoría de los casos el retraso por *Roaming* no debe sobrepasar los 100 ms.

Una red de malla, que en esencia es una interconexión inalámbrica de enrutadores inalámbricos, genera un retraso adicional que impacta la operación de las aplicaciones de voz. Un usuario se asocia por 802.11 al nodo de la red más cercano y se comunica con un usuario conectado a otro nodo de red a una distancia lejana. Los paquetes de voz necesariamente van saltando de nodo en nodo, hasta alcanzar su destino. Estos saltos producen *delays*, los cuales no son aceptables para comunicaciones de voz.

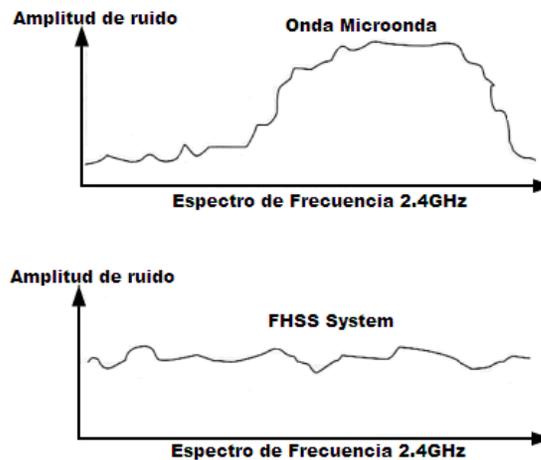
2.5.11. Interferencia de RF

Existen diversas fuentes de RF que pueden afectar el desempeño de una red inalámbrica con aplicaciones de VoWLAN. Las tramas de datos de 802.11 viajan a través de la tarjeta de red y el punto de acceso con los paquetes de voz, la presencia de interferencia en la señal de RF causa errores de bit y el resultado son las retransmisiones.

Cuando la interferencia es muy alta la tasa de retransmisión también lo es. Se considera alta una tasa de retransmisión de 20%. Esta tasa produce una significativa cantidad de encabezados y un consumo alto de la capacidad de la red inalámbrica. En la mayoría de los casos, una fuente de interferencia ocasiona un ruido que incluso limita la cantidad de usuarios de teléfonos IP inalámbricos que pueden operar simultáneamente.

Entre las fuentes de interferencia RF que se pueden mencionar, están los hornos de microondas, teléfonos inalámbricos y otras redes LAN inalámbricas que compartan la banda de frecuencia de 2.4 GHz. La banda de 8011.a, que es de 5 GHz, está prácticamente libre de interferencias. La figura 9 muestra un análisis del espectro con algunas de las interferencias.

Figura 9. Fuentes de interferencia



Fuente: GEIER, Jim. Deploying Voice over Wireless LANs. p.67.

Los hornos de microondas emiten interferencias que dañan un tercio de las señales de la banda de 2.4 Ghz hasta los 25 pies, dependiendo del tipo de microondas. Esto significa que es posible ajustar un punto de acceso ubicado cerca de un microondas para que el canal no sea interferido. Por ejemplo, en la figura 9, se ve que las interferencias causadas por el microondas se ubican en el último tercio de la banda de 2.4 GHZ, por lo que si se configura el punto de acceso para que su funcionamiento sea en el canal 1, este no se verá afectado. La interferencia debido al horno microondas, existe únicamente mientras el horno esté encendido, lo cual no será durante todo el día.

Los dispositivos Bluetooth, teléfonos inalámbricos y redes LAN inalámbricas genéricas utilizan FHSS, las cuales transmiten en la banda de 2.4 GHz. No importa qué canal se utilice en el punto de acceso de 802.11b/g, la señal de FHSS siempre estará presente. De forma contraria, una señal de 802.11b/g solo interfiere en un tercio de la señal de FHSS. Los dispositivos de

Bluetooth transmiten a muy baja potencia, por lo que el impacto sobre señales de LAN inalámbricas de más potencia no se ven afectadas.

Parte de la instalación de un sistema de VoWLAN es analizar el espectro de RF del espacio y determinar si existen fuentes de interferencia de RF que puedan interrumpir la operación de la red inalámbrica. En la mayoría de los casos se puede usar una combinación de analizadores de espectro y el conocimiento de posibles fuentes de interferencia. Si hay un horno de microondas presente, entonces revisar con el analizador de espectro alrededor, sería una buena práctica. Si las interferencias son relativamente altas, entonces habría que considerar posicionar los puntos de acceso en una forma más conveniente, para que la señal sea más fuerte a través del área de cobertura.

2.5.12. Limitantes en la capacidad

La utilización de la red LAN inalámbrica afecta la capacidad para soportar llamadas de voz. Si no existiera capacidad de utilización solo habría algunas señales ocasionales de 802.11 con tramas de datos nulas y peticiones de prueba. Algunos terminales enviarán tramas de datos nulas con el bit de gestión de potencia para escanear otros canales. Lo anterior causa que el punto de acceso almacene en un *buffer* cualquier ráfaga de bajada, mientras que el terminal termina el escaneo.

Durante el escaneo, algunos terminales envían peticiones de prueba en cada uno de los canales, y reciben respuesta inmediata de los puntos de acceso que están dentro del rango del cliente. Además, algunos clientes pueden enviar paquetes de servicios como DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*). Toda esta actividad consume solamente 1% a 3% de la capacidad

de un punto de acceso de 802.11. Bajo estas condiciones el punto de acceso sí es capaz de soportar múltiples llamadas de *VoIP* simultáneamente.

El número de llamadas que cada punto de acceso puede soportar depende de la tecnología inalámbrica seleccionada. Un paquete de RTP lleva una muestra de voz de 20 ms, y el tamaño total de un paquete es de 228 bytes (1824 bits). El tráfico de RTP es normalmente enviado a 50 pps (paquetes por segundo) en cada dirección o 100 pps (paquetes por segundo) para una conversación full-dúplex, lo cual resulta en 22,800 bytes por segundo (182,400 bps).

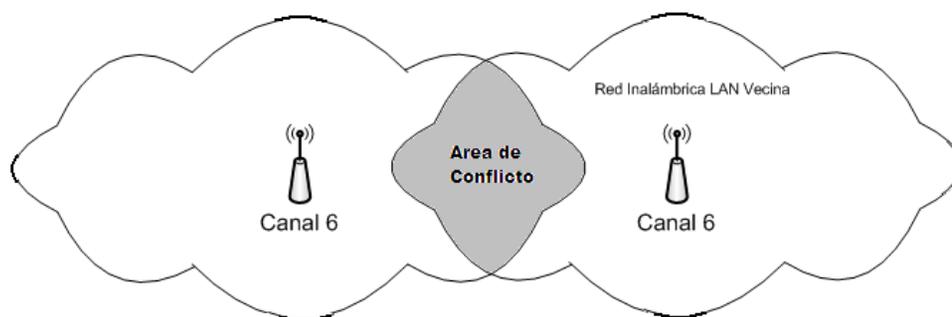
En teoría, el máximo volumen de tráfico o *throughput* en un solo canal de 802.11b operando a 11 Mbps es 324,573 bytes por segundo (2, 596,588), para un total de 14.23 llamadas (324,573/22,800). Sin embargo la recomendación indica que al planear la implementación de una red *VoWLAN* se debe de considerar solamente el 60% del total de la capacidad, con lo que quedaría solamente 8.54 llamadas.

Las aplicaciones que no son de voz también han ido incrementándose, elevando la utilización de la red inalámbrica y dejando poco espacio para las llamadas de voz. El total de llamadas simultáneas que un punto de acceso soportará decrecerá como resultado de una mayor ocupación. Por ejemplo, 10 usuarios de red inalámbrica descargan grandes archivos de la *Internet*. La utilización por esta actividad consumirá solo 10% de la capacidad si la velocidad de la conexión es baja, pero puede ser hasta 70% si la velocidad de conexión es alta. Por otro lado, un flujo de vídeo sin compresión ocupará toda la capacidad del punto de acceso, pero también puede que el consumo sea bastante bajo si la resolución es baja y se implementa compresión.

Se debe de medir la utilización de la red inalámbrica considerando las aplicaciones que se usan normalmente que no son de voz. Esto debe ser la base para determinar la capacidad restante y saber la cantidad de llamadas de voz simultáneas que se soportarán. Se debe tener en cuenta que si la utilización de la red LAN inalámbrica es alta, solamente con el tráfico de aplicaciones que no son de voz, entonces la tasa de retransmisión será alta. Las retransmisiones consumirán significativa cantidad de capacidad.

La existencia de redes inalámbricas vecinas también puede tener un impacto en la capacidad disponible para aplicaciones de voz. El grado de interferencia dependerá de la configuración de los canales de RF y la respectiva utilización de las redes vecinas. Esta interferencia es posible si los puntos de acceso de las diferentes redes están funcionando en canales que se traslapan y ocurre un conflicto entre el rango de cobertura del punto de acceso. La figura 10 muestra este escenario.

Figura 10. **Interferencia de redes inalámbricas vecinas**



Fuente: elaboración propia.

Con la red inalámbrica vecina con cierta ocupación, la mayoría de la interferencia proviene de la radiación de los puntos de acceso vecinos. Esto representa 2% de la capacidad de la red inalámbrica.

La interferencia realmente se vuelve significativa cuando la utilización en la red vecina aumenta. Si los vecinos aumentan el tráfico con ciertas actividades, se verá afectada la capacidad de los puntos de acceso y de los usuarios vecinos. Por así decirlo, la degradación en la capacidad de los sistemas de voz es aproximadamente igual a la utilización de los puntos de acceso vecinos.

Para minimizar el impacto de las redes inalámbricas vecinas, se tiene que determinar los canales operacionales en las cercanías de los puntos de acceso y evitar usar esos canales donde ocurrirán los conflictos.

Algunos equipos soportan la elección automática del canal menos utilizado. Esto facilita la implementación. Esto no siempre es útil, ya que para las terminales de VoWLAN esto obliga a asociarse nuevamente ocasionando una caída de la llamada.

2.5.13. Múltiples caminos o *Multipath*

La interferencia por múltiples caminos ocurre cuando la señal de RF toma diferentes caminos de propagación desde una estación inalámbrica a otra. Una señal que viaja se ve obstaculizada por múltiples elementos del ambiente, como sillas, paredes, escritorios, etc. Estos obstáculos provocan que la señal rebote en diferentes direcciones. Una porción de la señal puede que alcance el destino a través de una ruta directa, mientras que otra parte rebota desde la silla al techo y luego al destino. Ciertas porciones de la señal sufren retrasos por el hecho de viajar a través de caminos más largos.

La interferencia por múltiples caminos causa que la información recibida por la señal de 802.11 se sobreponga en sí misma, provocando dificultad para

demodular la señal. Este efecto es comúnmente llamado interferencia intersímbolo, ISI (*Intersymbol Interference*). La forma de la señal cambia la información transmitida y el receptor, demodulan la información errónea. Si los retrasos son suficientemente grandes, ocurren errores de bit en el paquete. El receptor no puede distinguir los símbolos e interpreta lo que ve, pero luego es necesaria una retransmisión de las tramas afectadas.

Debido a las retransmisiones, los usuarios encontrarán bajo *throughput*. Las señales de 802.11 en una casa u oficina hallarán retrasos de 50 nanosegundos debido al retraso por múltiples caminos, mientras que en una industria manufacturera podría llegar a ser incluso de 300 nanosegundos.

Si el retraso por múltiples caminos crece, se verá disminuido el radio efectivo de cobertura. Basado en estos valores la interferencia por múltiples caminos no es significativa en casas u oficinas, sin embargo en ambientes donde existen diversos objetos metálicos, con superficies reflectivas para señales de RF, habrá muchos rebotes de esta señal y muchos caminos erróneos. Este tipo de interferencia se disminuye utilizando antenas de diferentes tipos, según sea la necesidad de cobertura.

2.6. Tecnologías de *Wireless LAN*

Para diseñar eficientemente un sistema de *VoWLAN*, se debe comprender inicialmente la operación de una red LAN 802.11. Esta sección describe los elementos que funcionan como la estructura tecnológica de una red inalámbrica. Se enfoca principalmente en los elementos que impactan la operación de las aplicaciones de *VoWLAN* y en el diseño del sistema. El estándar 802.11 es la base para la operación de una red LAN inalámbrica.

Tiene definido múltiples capas al igual que otros estándares comunes como el 802.3 (*Ethernet*).

2.6.1. Infraestructura

Una infraestructura LAN inalámbrica es lo que la mayoría de empresas, *hotspots* públicos y usuarios residenciales implementan. Una infraestructura inalámbrica LAN como la mostrada en la figura 11, ofrece una extensión de una red cableada. En esta configuración, uno o más puntos de acceso proveen acceso a los dispositivos móviles hasta el sistema de distribución, el cual interconecta a los puntos de acceso con el resto de la red. Cada punto de acceso forma una celda también llamada BSS (*Basic Service Set*). Esta celda provee conectividad a los usuarios localizados dentro del rango de cobertura del punto de acceso.

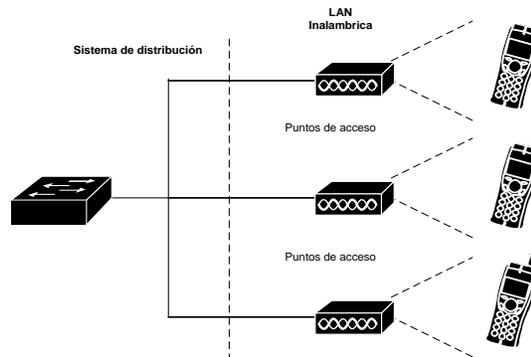
Cada punto de acceso dentro de la infraestructura inalámbrica LAN crea la celda, y la cobertura dependerá de ciertas variables:

- Construcción del sitio
- Capa física 802.11 elegida
- Potencia de transmisión
- Tipo de antena

El rango de cobertura normalmente es de 150 pies en la mayoría de los sitios. El nivel de desempeño deseado puede impactar en el rango efectivo del punto de acceso. Por ejemplo, el uso de tasas de transmisión fijas a 11 Mbps puede limitar el rango de cobertura considerablemente comparado con 1 Mbps.

Cuando los radios están configurados para una tasa de transmisión automática, esta comúnmente decae conforme se aleja del punto de acceso. Por lo que se conseguirán mayores coberturas, pero desempeños menores.

Figura 11. **Infraestructura de una red LAN inalámbrica**



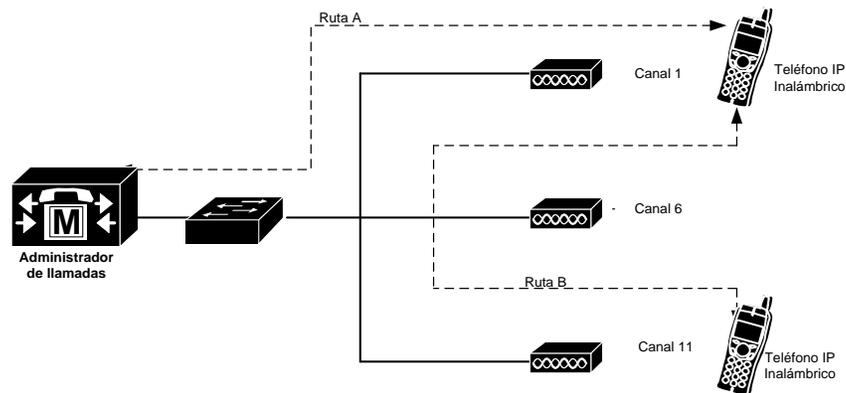
Fuente: elaboración propia.

Con la configuración de la infraestructura, el tráfico debe viajar desde un usuario inalámbrico a otro, a través del punto de acceso. El punto de acceso determina si el destino del tráfico es el sistema de distribución u otro punto de acceso. Si el tráfico es hacia el sistema de distribución, el punto de acceso reenvía las tramas hacia el lado que está cableado. Esta es la ruta que se muestra en la figura 12 como ruta A. La ruta B representa la conexión entre dos terminales IP inalámbricas conectadas a diferentes puntos de acceso.

Cuando una llamada se lleva a cabo entre dos usuarios conectados al mismo punto de acceso, como en la figura 13, el impacto en la utilización es el doble comparado con el de usuarios conectados a diferentes puntos de acceso. La razón de este incremento en la utilización, es debido a que los usuarios en un mismo punto de acceso comparten el mismo canal de radio frecuencia; mientras que usuarios conectados en diferentes puntos de acceso, no operan

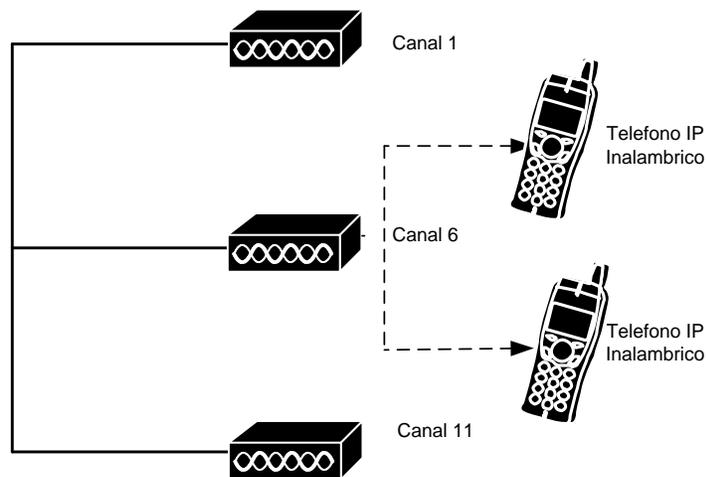
en canales sobrepuestos. En este escenario se asume que se tomó en cuenta la reutilización de canales al momento de la instalación de la red inalámbrica.

Figura 12. **Enrutamiento sobre una red LAN inalámbrica**



Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Enrutamiento entre dos usuarios inalámbricos**



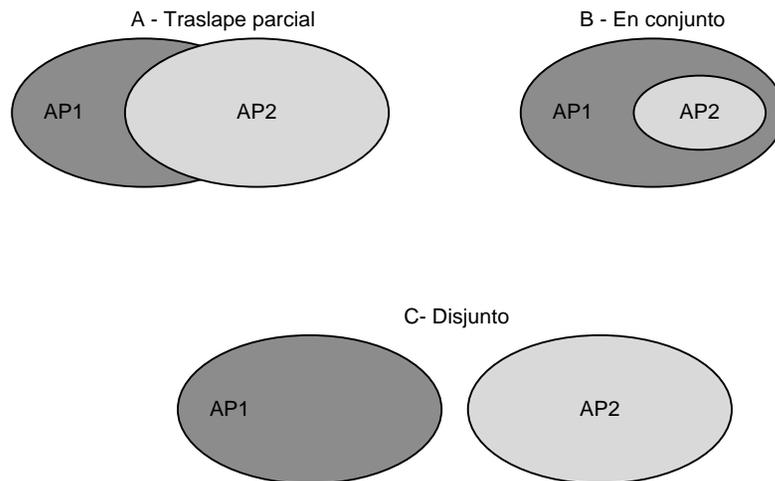
Fuente: elaboración propia.

La figura 14 ilustra tres posibles configuraciones 802.11 para radio celdas; se incluye un traslape parcial, dispuesto y disjunto.

Si una compañía instala puntos de acceso traslapados como en la parte A de la figura 14, los usuarios podrán ir de una a otra celda a través de las instalaciones sin ningún problema (*Roaming*). Esta solución es apropiada para soportar el uso de la red mientras se moviliza a cualquier otro punto dentro del área de cobertura.

La terminal inalámbrica del usuario se asociará con el punto de acceso del cual obtenga una señal más fuerte. Por ejemplo, un usuario puede empezar una llamada en un punto de acceso A y mientras se moviliza fuera del rango de este punto de acceso A e ingresa dentro del rango de cobertura de un punto de acceso B, el dispositivo se volverá a asociar a este punto de acceso B sin interrumpir la llamada que ya tenía en curso.

Figura 14. **Configuraciones de radio celdas 802.11**



Fuente: elaboración propia.

El estándar también soporta un posicionamiento dispuesto en conjunto y separados o disjunto. Una compañía puede instalar puntos de acceso separados para tener cobertura en áreas distintas aunque estas áreas no necesiten tener cobertura entre ellas. Por ejemplo, una compañía puede instalar un punto de acceso en cada una sala de sus salas conferencias pero no en el resto de las instalaciones. Este método obliga a los usuarios a realizar sus llamadas solo dentro de las salas de conferencias, mientras que si necesitan realizar otro tipo de llamadas lo harán desde sus teléfonos convencionales en sus escritorios.

Si las radioceldas están disjuntas, los usuarios perderán la conexión en algún momento y se asociarán nuevamente hasta estar dentro del rango de cobertura de otro punto de acceso. Una red 802.11 soporta este tipo de arquitectura, con la salvedad de que la nueva asociación será una función del tiempo que tarde el usuario en estar dentro del rango de cobertura. Algunas de las aplicaciones inalámbricas son tolerantes a estos retrasos (*Roaming delays*). Las aplicaciones de voz no soportan retrasos largos.

La configuración en conjunto o dispuestos es útil si una compañía necesita gran capacidad de acceso que un solo punto de acceso no pueda proveer. En este escenario, dos o más puntos de acceso se posicionan de manera que sus rangos de cobertura se traslapen significativamente. Este diseño trabaja bastante bien asumiendo que los canales de funcionamiento de los puntos de acceso no entren en conflicto. Una parte de los usuarios en un área pueden tener acceso a un punto de acceso A, mientras que otra parte de los usuarios estarán asociados a un punto de acceso B. Esta configuración eleva la capacidad de la red inalámbrica LAN en esta área específica. En este caso se obtiene el doble de 11 Mbps de desempeño, en el área específica.

Los puntos de acceso en conjunto son un buen método para incrementar la capacidad para soportar un gran número de usuarios de voz. Un solo punto de acceso de 802.11b puede dar acceso a 8 usuarios simultáneamente. Si la densidad de usuarios simultáneos en un área es 16, si instalan 2 puntos de acceso. Para que esta técnica trabaje efectivamente, se debe configurar el funcionamiento en canales que no se traslapen e implementar algún método de balanceo de la carga sobre los puntos de acceso.

2.6.2. Scanning

El termino *Scanning* significa analizar o examinar. En una infraestructura LAN inalámbrica, cada terminal inalámbrico realiza una función de escaneo para encontrar los puntos de acceso. El escaneo ocurre después de que el dispositivo ha realizado la carga de sus archivos de configuración y también periódicamente para realizar funciones de *Roaming*. El estándar 802.11 define dos tipos de escaneo: pasivo y activo.

2.6.2.1. Escaneo pasivo

La siguiente lista describe cómo un terminal o tarjeta de red inalámbrica usa un escaneo pasivo:

- La tarjeta de red inalámbrica se sintoniza automáticamente con cada canal de RF, escucha por un periodo de tiempo, y almacena información de cada punto de acceso que encuentra en cada canal;
- Por predefinición, cada punto de acceso transmite una señal de trama cada 100 msec en un canal específico de RF, el cual es configurado por el administrador;

- Mientras se sintoniza en un canal específico, la tarjeta de red recibe esta señal de trama si un punto de acceso está en el rango y transmitiendo en ese canal;
- La tarjeta de red almacena el nivel de señal de trama y continúa escaneando otros canales;
- Luego de escanear cada canal de RF, la tarjeta de red inalámbrica decide el punto de acceso al cual se va a asociar.

En general, la tarjeta de red selecciona el punto de acceso con el nivel de señal más fuerte. Algunos fabricantes pueden incluir otros parámetros para la elección, como el nivel de ruido y utilización.

2.6.2.2. Escaneo activo

A continuación se describe cómo una tarjeta de red inalámbrica utiliza el escaneo activo:

- La tarjeta de red envía una petición de prueba en cada canal de RF;
- El punto de acceso que recibe la petición, responde con una señal de prueba en respuesta. La respuesta de prueba es similar a la señal de trama. El escaneo activo, sin embargo, habilita la tarjeta de red para recibir información del punto de acceso cercano luego de cierto tiempo, sin esperar a ninguna señal;
- La tarjeta de red utiliza el nivel de señal y posiblemente otra información correspondiente a la respuesta de prueba, para decidir el punto de acceso al cual se asociará.

Cada fabricante de tarjetas de red implementa el método de escaneo de forma diferente. El método elegido, definitivamente impacta en la velocidad a la cual el terminal puede cambiar entre puntos de acceso.

2.6.3. Conexión a la red

Luego de obtener una lista de los posibles puntos de acceso por cualquiera de los métodos de escaneo, la tarjeta de red está lista para integrarse a la red, sintonizándose al canal del punto de acceso elegido. Para iniciar la asociación, la tarjeta de red envía una petición de autenticación y el punto de acceso responde con una trama en respuesta a la autenticación.

La autenticación predefinida que establece 802.11, ofrece diferentes opciones de llaves compartidas de autenticación (*Shared Key Authentication*). La más utilizada es WEP (*Wire Equivalent Privacy*), aunque es de fácil invasión. Algunas compañías utilizan métodos más seguros para la autenticación como por ejemplo, autenticación 802.1x, el cual se fía de servidores con métodos para autenticar al cliente o usuario.

Luego de realizar un acuerdo en la autenticación (*handshake*), la tarjeta inalámbrica envía una trama de petición de asociación al punto de acceso. Esta petición contiene información sobre la tarjeta de red, incluyendo el identificador del servicio (SSID, *Service Set Identifier*) y las tramas aceptadas por la tarjeta de red.

El SSID debe coincidir con el que tiene configurado en el punto de acceso para completar la asociación. El punto de acceso contesta a la tarjeta de red con una trama de respuesta de asociación que contiene el identificado de asociación (AID, *Association Identifier*). El AID es un número que representa la asociación de la tarjeta inalámbrica. En este momento, la tarjeta de red es

considerada asociada con el punto de acceso y ya puede empezar a enviar tramas de datos al punto de acceso y comunicarse con los otros equipos de la red.

2.6.4. Transferencia de datos

El intercambio de datos en la infraestructura de red es bidireccional entre la tarjeta de red y el punto de acceso. Como se mencionó en un principio, las tramas de datos en una infraestructura LAN inalámbrica no viajan directamente entre usuarios inalámbricos, sino que es necesaria la intervención de los puntos de acceso.

Una tarjeta de red o un punto de acceso (estación 802.11) que ya tiene una dirección MAC de la trama de datos, responde con una trama de reconocimiento (*Acknowledgement Frame*). Esta trama agrega encabezados significativamente grandes en comparación con los de una red *Ethernet* cableada que no requiere ACKs para cada trama de datos. Los ACKs son necesarios en 802.11 debido a la naturaleza compartida del medio. El medio, que en este caso es el espacio, es propenso a la pérdida de datos, por lo que las LAN inalámbricas implementan detección de errores y corrección de estos en la capa 2.

Si una estación 802.11 envía una trama de datos y no recibe un ACK después de cierto periodo de tiempo, la estación retransmite la trama. Estas retransmisiones ocurren hasta cierto límite particular; generalmente es de 3 a 7 veces. Si no se resuelve, protocolos de capas más altas proveerán la recuperación de errores.

El estándar 802.11 incluye el cambio automático de tasa de transmisión. Una estación 802.11 puede bajar su tasa de transmisión si la tasa de

retransmisión lo exige. Los puntos de acceso soportan múltiples tasas de transmisión para facilitar este tipo de operación.

Para aplicaciones de voz esto no es tan recomendable, se recomienda trabajar con tasas de transmisión fijas, para reducir la latencia.

2.6.5. *Roaming*

Cada tarjeta de red realiza un escaneo periódicamente ya sea activo o pasivo, para actualizar la lista de los puntos de acceso. Algunas tarjetas de red limitan la función de escaneo solamente a ciertos canales de RF donde anteriormente se han encontrado puntos de acceso. Esta facilidad habilita a las tarjetas inalámbricas a ofrecer un alto volumen de tasa de transmisión (*Throughput*) porque la tarjeta no enviará o recibirá tramas de datos mientras escanea otros canales.

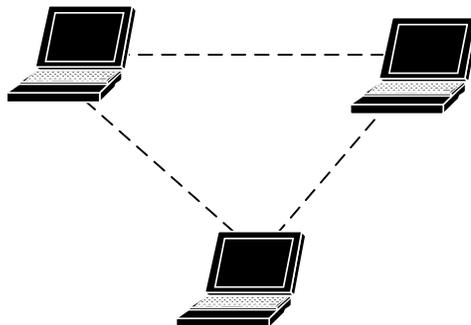
Si la señal del punto de acceso asociado se vuelve muy débil, la tarjeta de red empieza el proceso de buscar una nueva asociación. La tarjeta envía una trama de nueva asociación al nuevo punto de acceso y una trama para eliminar la asociación con el anterior punto de acceso. 802.11 no requiere que dé nueva autenticación. El punto de acceso anterior almacena en memoria (*buffering*) las tramas de datos destinadas a la tarjeta inalámbrica y se las envía al nuevo punto de acceso para que sea este el que se las envíe a la tarjeta inalámbrica.

Un excesivo retraso por *Roaming* interrumpe el flujo de las llamadas. Un problema existente en 802.11 es que no se ha definido un estándar para tratar los retrasos por *Roaming*, por lo que se ha desarrollado el 802.11r el cual es un estándar que mejoró el *Roaming* y la interoperabilidad entre diferentes fabricantes.

2.6.6. Modo AD HOC

En 802.11 hay una alternativa que permite a los usuarios conectarse entre ellos directamente; esto es lo que se conoce como modo *Ad Hoc*, como se ve en la figura 15. El razonamiento para este tipo de conexión es que habilita a los usuarios a crear redes inalámbricas espontáneamente. Este es un modo opcional y está disponible en la mayoría de las tarjetas inalámbricas disponibles. Con Ad Hoc no se necesita de puntos de acceso. La conexión se hace directamente de punto a punto.

Figura 15. Red *AD HOC*



Fuente: elaboración propia.

Un modo Ad Hoc es beneficioso cuando el usuario necesita enviar un archivo a otro usuario en un mismo cuarto de trabajo. Los dos usuarios pueden habilitar Ad Hoc en sus tarjetas de red y pueden comunicarse inalámbricamente. Se puede utilizar este tipo de LANs inalámbricas cuando sea necesario hacer una red rápidamente.

Debido a que las redes Ad Hoc no utilizan puntos de acceso, son las tarjetas inalámbricas las que deben transmitir la señal. La operación de las Ad Hoc se puede describir de la siguiente forma:

- Después de que los usuarios cambian al modo Ad Hoc. Cuando no han recibido una señal en un periodo de tiempo, las tarjetas inalámbricas empiezan a transmitir señales.
- Luego de recibir alguna señal, las tarjetas inalámbricas esperan un periodo de tiempo aleatorio.
- Si una señal no es escuchada en cierto tiempo por otra estación, la estación envía una señal. El tiempo aleatorio de espera causa que una de las estaciones envíe una señal antes que alguna otra. Esto es para distribuir el trabajo de enviar señales, incluso entre estaciones de 802.11.

Compartir la transmisión de señales entre todas las estaciones de trabajo Ad Hoc, es necesario para asegurar que las señales son enviadas aún si una estación en particular no está disponible. Si una estación se retira de la red, entonces otra enviará las señales en su lugar.

Con una red Ad Hoc pura no existe una conexión cableada directa a una red, lo cual limita las aplicaciones. Los sistemas de voz no están diseñados para operar bajo esta modalidad. Lo que sí es posible es configurar una estación 802.11 para funcionar como Ad Hoc y compartir su acceso a una red cableada. Incluso, con *software* y algunas funciones, la PC puede simular el funcionamiento de un punto de acceso.

Todas las demás estaciones pueden alcanzar los servicios a través de esta estación configurada, específicamente como un acceso a la red cableada.

2.6.7. Acceso al medio inalámbrico

Antes de transmitir tramas, una estación debe obtener acceso al medio, el cual es el canal de radio que comparten las estaciones. El estándar 802.11 define dos formas de acceso al medio:

- Función de coordinación distribuida (DCF, *Distributed Coordination Function*)
- Función de coordinación puntual (PCF, *Point Coordination Function*)

DCF, es una forma de acceso basada en el protocolo CSMA/CA (*Carry Sense Multiple Acces/Collition Avoidance*). Con DCF, la estación de 802.11 compete por el acceso e intenta enviar tramas cuando no hay ninguna otra estación transmitiendo. Si alguna otra estación está enviando una trama, las estaciones respetan la transmisión y esperan hasta que el canal esté libre.

El funcionamiento específico se describe a continuación:

Como primera condición para acceso al medio, la capa de MAC revisa el valor de la NAV (*Network Allocation Value*), el cual es un contador local en cada estación que representa el tiempo que la trama necesita para ser enviada. El NAV debe ser cero antes de intentar enviar la siguiente trama. Antes de transmitir una trama, la estación calcula la cantidad de tiempo necesaria para enviarla, basándose en la longitud de la trama y la tasa de transmisión. La estación establece un valor representando este tiempo en el campo de duración en el encabezado de la trama. Cuando las estaciones reciben la trama, estas examinan el campo de duración y lo usan de base para su propio NAV. Este proceso reserva el medio para una estación que espera por transmitir.

Un aspecto que se debe considerar de DCF es el tiempo aleatorio que espera una estación cuando detecta que el medio está ocupado. Si el canal está en uso, la estación espera este tiempo aleatorio antes de intentar acceder al medio nuevamente. Esta facilidad asegura que todas las estaciones que quieren transmitir no lo hagan al mismo tiempo. El retraso aleatorio obliga a las estaciones a esperar diferentes periodos de tiempo y evita que todos prueben el medio exactamente al mismo tiempo y encuentren el canal ocupado, transmitan y esto haga que colisionen unos con otros. El tiempo de restricción disminuye significativamente el número de colisiones y las retransmisiones específicas, especialmente cuando el número de usuarios aumenta.

Una LAN basada en equipos de radio transmisión no puede escuchar si habrá colisión mientras está enviando datos, esto se debe principalmente a que el receptor no está encendido mientras se envía una trama. Como resultado de esto, la estación receptora necesita enviar un reconocimiento (ACK) si detecta que no hay errores en la trama recibida. Si la estación que envía no recibe este ACK luego de un periodo de tiempo, entonces se asume que hubo una colisión (o una interferencia de RF) y retransmite la trama.

PCF, es un método de acceso al medio que soporta la distribución de tramas de datos, basándose en límites de tiempo. El punto de acceso garantiza a cada estación el acceso al medio por registro de la estación durante el periodo de competencia. Las estaciones no pueden transmitir tramas a menos que el punto de acceso las registre primero. El periodo de tiempo para el tráfico de datos basado en PCF ocurre alternativamente entre periodos de disputa.

El punto de acceso registra las estaciones de acuerdo con una lista de registro que luego cambia a un periodo de disputa cuando las estaciones usan

DCF. Este proceso soporta operaciones síncronas como aplicaciones de vídeo y también asíncronas como aplicaciones web, correo electrónico, etc.

2.6.8. Estándares de capa física 802.11

El estándar 802.11 ratificado para aplicaciones LAN inalámbricas fue el 802.11 en 1997, el cual especifica el uso de DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) y FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*) para la entrega de tasas de transmisión de 1 Mbps y 2 Mbps en la banda de 2.4 Ghz. DSSS y FHSS son diferentes formas de transmitir datos sobre LAN inalámbricas. Este ancho de banda era suficiente para soportar aplicaciones de códigos de barra, siendo esta la primera aplicación de uso comercial para las redes inalámbricas.

2.6.8.1. 802.11a

En 1999, el 802.11 estableció el estándar 802.11a, que ofrecía tasas de transmisión hasta 54 Mbps en la banda de 5 Ghz, utilizando multiplexación por división de frecuencias ortogonal (OFDM). Aunque el estándar 802.11a estuvo disponible en 1999, los puntos de acceso y las tarjetas inalámbricas estuvieron comercialmente disponibles hasta unos años después. La razón principal para este retraso fue por dificultades en el desarrollo de *hardware* que funcionara en la banda de los 5 Ghz y el pobre mercado potencial de componentes inalámbricos, ya que estos no operaban con las redes inalámbricas DSSS existentes en este momento.

Los productos que soportan 802.11a están disponibles actualmente, pero está limitada a ciertas aplicaciones especializadas donde el alto desempeño es necesario. Uno de los problemas es que los teléfonos IP inalámbricos no operan con puntos de acceso de 802.11a.

Una ventaja significativa de 802.11a es que ofrece alta capacidad comparado con otras capas físicas. 802.11a tiene definidos 12 canales de RF que no se traslapan en frecuencia; como resultado se puede tener 12 puntos de acceso de 802.11a que se pueden configurar y operar dentro las mismas instalaciones. Esta configuración produce hasta 12 radios celdas separadas que pueden soportar su propio grupo de usuarios inalámbricos. La mayoría de puntos de acceso de 802.11a para interiores solo usan 8 canales de RF, pero aún así, sobrepasa la capacidad comparada con 802.11b y 802.11g.

Otra ventaja de 802.11a es que opera en la banda de 5 Ghz, que está casi libre de interferencias de RF. Los hornos de microondas, dispositivos Bluetooth, teléfonos inalámbricos y la mayoría de redes inalámbricas vecinas operan en la banda de frecuencias de 2.4 Ghz. El bajo nivel de ruido en la banda de 5 Ghz también permite soportar tasas de retransmisión más altas y por lo mismo aumenta el volumen real de transmisión (*Throughput*) comparado con 802.11b y 802.11g.

Por otro lado 802.11a tenía hasta ese momento una aceptación limitada debido a la poca regulación. De hecho en muchos países no eran aceptadas las redes 802.11a. Esta situación ciertamente impacta en la decisión de seleccionar las capas físicas de 802.11 (a, b o g) porque los productos no se pueden vender en todo el mundo.

2.6.8.2. 802.11b

Esta capa física fue ratificada en 1999, la cual proveía tasas de transmisión más altas en la banda de 2.4 Ghz. Esto fue logrado con la mejora de DSSS el cual incluía tasas adicionales de 5.5 Mbps y 11 Mbps. La comercialización de puntos de acceso de 802.11b fue rápida.

La actualización del 802.11 DSSS inicial al nuevo 802.11b era fácil y los dispositivos eran compatibles. Muchos puntos de acceso y tarjetas inalámbricas solo necesitaban una actualización de *firmware* (bloque de instrucciones específicas). Por muchos años los dispositivos de 802.11b fueron los más vendidos y las redes de 802.11b fueron las más comunes.

Una ventaja de 802.11b es la buena interoperabilidad con la mayoría de redes existentes. Es por esto que la mayoría de los dispositivos inalámbricos usan 802.11b. No es compatible con 802.11a pero sí con 802.11g. Los dispositivos de 802.11b están propensos a interferencias por otras fuentes de RF en la banda de 2.4 Ghz.

Los hornos de microondas causan una degradación significativa en el *throughput* de 802.11b y 802.11g por las ondas de radio, causando dificultad de acceso al medio y errores de bit en las tramas que viajan. Debido al problema de las interferencias, es el motivo principal por lo cual se ha dejado de recomendar este problema.

Un factor limitante en 802.11b es que solamente soporta tres canales que no se traslapan en radio celdas dentro de la misma área. El espectro de la banda de 2.4 Ghz es aproximadamente 84 Mhz de ancho y un punto de acceso o tarjeta inalámbrica utiliza 30 Mhz cuando transmite.

Para evitar la interferencia es necesario especificar ciertos canales de uso, por ejemplo el 1, 6 y 11. Este es un factor que definitivamente se tiene que considerar cuando existen múltiples usuarios activos. Como resultado de la planeación de frecuencias y las pocas tasas de transmisión, el 802.11b tiene limitada capacidad.

2.6.8.3. 802.11g

Fue ratificado en el 2004 y es una de las capas físicas más recientes. Incluye tasas de transmisión de 54 Mbps en la banda de 2.4 Ghz usando OFDM. 802.11g es compatible con 802.11b por lo que se puede definir un modo de operación 802.11b/g. Por ejemplo, una tarjeta inalámbrica de 802.11b puede asociarse a un punto de acceso de 802.11g. La mayoría de las organizaciones están implementado 802.11g debido a la capacidad de transmitir a 54 Mbps y el alto desempeño que tiene. De cualquier forma aún está limitado, pues este funciona en la banda de 2.4 Ghz, lo cual limita a su vez la cantidad de canales no traslapados a tres. 802.11g tiene menor cantidad de canales no traslapados en comparación con 802.11a que tiene doce canales.

Una estación de 802.11b asociada a un punto de acceso 802.11g invoca mecanismos de protección como *request-to-send/clear-to-send* (RTS/CTS). La razón para utilizar este tipo de mecanismos es que 802.11b y 802.11g usan diferentes métodos de modulación, por lo que no son interoperables y tampoco se puede coordinar transmisiones de acuerdo con el protocolo 802.11. El punto de acceso indica a las demás estaciones que una estación 802.11b está presente por medio de un bit en la señal de trama. Luego de esto todas las estaciones empiezan a usar sus mecanismos de protección.

Los mecanismos de protección de RTS/CTS requieren que cada estación implemente el proceso completo de RTS/CTS para cada trama de datos que se necesite transmitir. El problema con este requerimiento es que el *throughput* se ve afectado. Una red mezclada entre 802.11b y 802.11g se ve degradada significativamente en el *throughput*, aproximadamente 30%, lo cual reduce el número de llamadas simultáneas que se pueden establecer.

La mayoría de los administradores de red configuran sus puntos de acceso para permitir solamente la asociación de dispositivos de 802.11g. Esta restricción supone que todos los usuarios utilizarán tarjetas de red inalámbricas de 802.11g, pero al menos se mantendrá un *throughput* relativamente alto. Existen también algunos fabricantes que permiten deshabilitar la protección RTS/CTS en un modo mixto. Esta modalidad es funcional cuando el número de usuarios no es muy grande, pues la probabilidad de que dos dispositivos con diferente capa física transmitan al mismo tiempo es baja.

Si existiera la necesidad de proveer cobertura para gran cantidad de usuarios, entonces la alternativa sería la de utilizar puntos de acceso de “doble modo”. Estos puntos de acceso tienen la capacidad de proveer separadamente los dos radios de acceso en canales de RF distintos y no traslapados. Los radios de acceso de 802.11g de los puntos de acceso son configurados en modo 802.11g-*only*. Esta configuración obliga a los usuarios de 802.11b a asociarse con el lado 802.11b del punto de acceso sin interactuar con el lado 802.11g. Debido a que están en canales RF distintos, los mecanismos de protección no se necesitan.

2.6.8.4. 802.11n

Esta nueva capa física aún está en desarrollo. De hecho, los productos están basados en una versión en borrador. Este estándar será la base para la nueva generación de LANs inalámbricas, con tasa de transmisión por encima de los 100 Mbps y mucho mejor *throughput*. En este momento aún no se ha decidido si la propuesta de borrador avanzará. Este estándar cuenta con tecnologías como *Multiple Input-Multiple Output* (MIMO). MIMO habilita múltiples antenas para crear canales de RF simultáneos que incrementan el

desempeño de una LAN inalámbrica, similar a las técnicas de conversión serie-paralelo usadas en redes cableadas.

Tabla III. **Comparativa de estándares inalámbricos**

	Espectro de RF	Velocidad máxima	Compatibilidad	Impacto de interferencia de RF	Año de ratificación
802.11a	5 Ghz	54 Mbps	Ninguna	Poca	1999
802.11b	2.4 Ghz	11 Mbps	Trabaja con 802.11g	Moderada	1999
802.11g	2.4 Ghz	54 Mbps	Trabaja con 802.11b	Moderada	2004

Fuente: elaboración propia.

2.7. Parámetros de configuración inalámbrica

El estándar 802.11 especifica varios parámetros de configuración, los cuales son establecidos en la tarjeta inalámbrica o en el punto de acceso o en ambos. Para optimizar el desempeño y seguridad de la LAN inalámbrica se deben configurar los parámetros según los requerimientos de las aplicaciones. La mayoría de estas configuraciones aplica a los puntos de acceso, pero es necesario hacerlas en las tarjetas de red de los usuarios finales, por ejemplo los teléfonos IP inalámbricos.

2.7.1. SSID

El SSID (*Service Set Identifier*) es un valor alfanumérico configurado en los puntos de acceso y las tarjetas inalámbricas, para distinguir una LAN inalámbrica de otra. En esencia, el SSID provee un nombre a la red. La señal de trama incluye al SSID. El sistema operativo extrae el SSID de la tarjeta

inalámbrica, el cual lo obtiene de la señal de trama. En el caso de Microsoft Windows, se despliega una lista de las redes inalámbricas disponibles al usuario. Si el usuario decide conectarse a alguna de las redes que se le presentan, entonces Microsoft Windows iniciará el proceso de asociación.

Cuando se instala una LAN inalámbrica con múltiples puntos de acceso, como en el caso de una red empresarial, todos los puntos de acceso deben tener configurado el mismo SSID. Esto minimiza los problemas de tener SSIDs incorrectos y asegura que el *Roaming* entre puntos de acceso, funcione de la forma más transparente sin requerir intervención por parte de los usuarios.

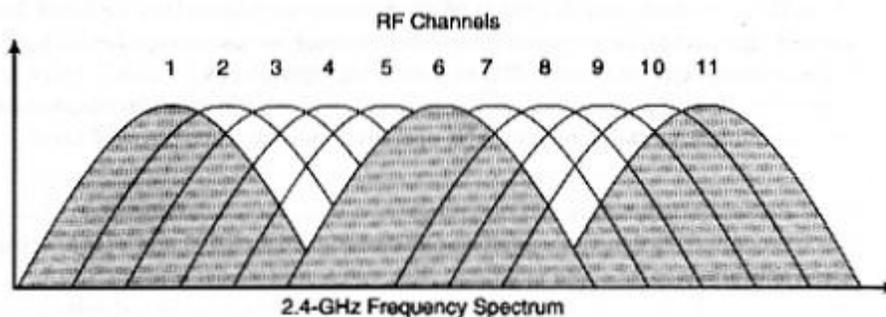
Algunos puntos de acceso permiten a los administradores deshabilitar la transmisión del SSID. Cuando se deshabilita la transmisión del SSID, la señal de trama lo omite. Windows o el sistema operativo disponible, ya no es capaz de obtener el SSID y no lo muestra como una posibilidad de red. Sin embargo es posible configurar el SSID de forma manual en la tarjeta de red y asociarse de esta forma a la red. Esta tarea debe ejecutarse al momento de dar de alta un teléfono IP inalámbrico. Deshabilitar la transmisión del SSID no es del todo deseable pues los usuarios que utilizan *hotspots* no ven las redes disponibles.

La limitación en el anuncio de SSID no es una medida de seguridad tan fuerte, existen *softwares* que pueden determinar un SSID solamente con monitorear las tramas de datos que viajan en el espacio. Un hacker puede encontrar un SSID en la trama de petición de asociación. El estándar 802.11 especifica que un punto de acceso debe incluir un SSID pero muchos de los fabricantes permiten la asignación de múltiples SSID para un mismo punto de acceso. Los administradores pueden mapear un SSID a diferentes Virtual LAN (VLAN), lo cual es útil para soportar diversas aplicaciones sobre una misma estructura de red inalámbrica.

2.7.2. Canales de radiofrecuencia

Cada capa física de 802.11 define un conjunto de canales de RF. Por ejemplo, 802.11b/g define 14 canales de RF en la banda de 2.4 Ghz. El reglamento de la FCC permite el uso de canales desde el 1 hasta el 11, en el caso de 802.11b/g, estos canales se traslapan entre ellos, como se ve en la figura 16. Las compañías que instalan LAN inalámbricas 802.11b/g deben configurar puntos de acceso adyacentes en canales que no se generen conflicto. En este caso, los canales que no se traslapan son el 1, 6 y 11. Esta técnica minimiza la interferencia entre puntos de acceso. El estándar 802.11a también define canales de RF que no se traslapan.

Figura 16. **Traslape de canales RF en la banda de 2.4 Ghz**



Fuente: GEIER, Jim. Deploying Voice over Wireless LANs. p.92.

La definición apropiada de los canales de RF se logra a través de un estudio de sitio. Este estudio provee información necesaria para identificar los canales donde se logrará un funcionamiento óptimo, evitando las diferentes fuentes de interferencia. Los canales de RF que se van utilizar, se configuran en los puntos de acceso. Algunos de estos tienen funciones de selección automática de canal. Esta facilidad hace que el punto de acceso escuche cada canal de RF y decida por sí mismo cuál va a utilizar. Las condiciones del sitio

pueden cambiar, por lo que el punto de acceso responde a estos cambios ajustando los canales de RF.

En las redes Ad Hoc, la primera tarjeta inalámbrica activa en la red es configurada por el usuario a un canal específico. Cada usuario que se conecta a esta red Ad Hoc se establece en ese mismo canal. El canal en uso por la red Ad Hoc es el usado en el primer usuario Ad Hoc de esa red.

2.7.3. Potencia de transmisión

La mayoría de los puntos de accesos y las tarjetas inalámbricas permiten definir la potencia de transmisión. EL valor más alto es, normalmente, 100 mw (0.1 W). Algunos dispositivos permiten una configuración tan baja como 1 mW. Lo mejor, en la mayoría de los casos es configurar el punto de acceso a la máxima potencia posible.

Para configurar una LAN inalámbrica para una óptima capacidad, se establece una potencia de transmisión al valor más bajo, lo cual reduce efectivamente el radio de cobertura hacia la radio celda. Esto provoca que se necesiten más puntos de acceso para cubrir las instalaciones. Si se realizara lo contrario, es decir pocos puntos de acceso, entonces más usuarios se conectarían a estos pocos puntos de acceso por lo que existiría competencia del medio.

El uso de baja potencia de transmisión y alto número de puntos de acceso es beneficioso para soportar aplicaciones de voz sobre WLAN, por supuesto que se asume que el retraso por *Roaming* entre puntos de acceso se ha considerado al mínimo. También se debe tomar en cuenta que una gran densidad de puntos de acceso supone alto costo por *hardware*.

2.7.4. Tasas de transmisión

La tasa de transmisión en un punto de acceso viene definida de modo automático, lo cual permite que las tarjetas inalámbricas usen cualquier tasa dada por la capa física (802.11). Por ejemplo, 802.11b permite tasas de transmisión de 1, 2, 5.5 y 11 Mbps. El estándar 802.11g extiende las tasas de transmisión hasta 54 Mbps. La tarjeta inalámbrica usualmente intenta enviar las tramas de datos a la tasa más alta soportada como 11Mbps para estaciones de 802.11b y 54 Mbps para estaciones de 802.11g. Cuando este parámetro está definido en auto (automático), la tarjeta inalámbrica cambia automáticamente a la tasa de transmisión más alta que la conexión pueda soportar. Una tasa más baja puede ser necesaria en el caso que la tarjeta inalámbrica encuentre muchas retransmisiones.

Un punto de acceso puede ser configurado a una tasa específica. Por ejemplo, si se define una tasa de transmisión de 1 Mbps, entonces todas las tramas serán enviadas a esta velocidad, aumenta el rango del punto de acceso, y la transmisión es más fiel a velocidades más bajas. Obviamente la conexión con aplicaciones se puede ver afectada.

La configuración de la tasa de transmisión en el punto de acceso no afecta la configuración de la tasa de transmisión de la tarjeta inalámbrica, en el caso que esté definida en modo auto. La tarjeta inalámbrica siempre intentará conectarse a la tasa más alta posible. Para maximizar el rango con pocas retransmisiones se debe de configurar la tarjeta inalámbrica con la tasa fija y en el valor más bajo posible. Esto ocasiona un impacto en la tasa de transmisión pero la tarjeta aún puede recibir tramas a la tasa más alta.

2.7.5. Modo ahorro de energía

La mayoría de las tarjetas inalámbricas cuentan con un modo de funcionamiento de ahorro de energía (*power-save mode*). Los puntos de acceso no implementan este modo, excepto para funciones de *buffering*, necesarias cuando las tarjetas inalámbricas utilizan funciones de ahorro de energía. Si el modo de ahorro de energía está habilitado, la tarjeta inalámbrica comienza un estado de suspensión, donde el consumo de energía es mucho más bajo que en su estado de trabajo normal. Esto hace que la energía se conserve en los dispositivos móviles en un 20% a 30%. El ahorro de energía en realidad depende de las aplicaciones y otras variables asociadas con el usuario.

Antes de entrar en modo de ahorro de energía, la tarjeta inalámbrica notifica al punto de acceso con el bit de administración de potencia en el campo de control de una trama de subida. El punto de acceso recibe esta trama y empieza a almacenar tramas de datos. El *buffer* estará haciendo esto hasta que la tarjeta cambie a su estado normal y requiera que el punto de acceso envíe las tramas de datos almacenadas para esa tarjeta inalámbrica.

Luego de que una tarjeta entra en modo de ahorro de energía mantiene un registro del tiempo y despierta periódicamente para recibir la señal del punto de acceso. Con esto, la tarjeta nota si el punto de acceso está almacenando tramas que le correspondan. El punto de acceso notifica a la tarjeta inalámbrica acerca de los paquetes almacenados a través de *Traffic Indication Map* (TIM).

Una tarjeta inalámbrica define el modo de ahorro de energía a tiempo para recibir TIM, el cual reside en la señal de trama. TIM indica el AID (*Association Identifier*) que las estaciones de 802.11 tienen tramas almacenadas en el punto de acceso. Si la estación descubre que sí tiene tramas almacenadas, entonces

la estación permanece encendida y envía una petición al punto de acceso para que le envíe las tramas. El tiempo necesario para transmitir todas las tramas dependerá de la utilización del punto de acceso y la calidad del enlace. Un gran número de estaciones implementando modo de ahorro de energía, puede causar una ola de tráfico, luego de cada señal de modo de ahorro de energía.

Después de que el punto de acceso entrega las tramas almacenadas, la tarjeta inalámbrica regresa al estado suspendido, a menos que la señal de trama corresponda a un *Delivery Traffic Indication Map* (DTIM). El DTIM está definido en el punto de acceso para determinar cuántas señales deben pasar antes que el punto de acceso entregue una trama *multicast*. Un intervalo común para DTIM es 3, lo cual significa que la trama *multicast* será enviada luego de la tercera señal de trama. El uso del modo de ahorro de energía hace que la duración de las baterías sea más extensa, pero el *throughput* decae.

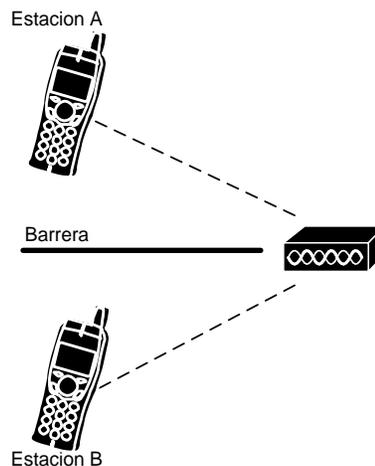
2.7.6. RTS/CTS

El estándar 802.11 define *request-to-send/clear-to-send* como una función opcional de 802.11, para regular la transmisión de datos en la red LAN inalámbrica, RTS/CTS puede ser definido en un punto de acceso o en una tarjeta inalámbrica individualmente, o en los dos dispositivos, simultáneamente. En la mayoría de los casos, la función de RTS/CTS es útil para contrarrestar las colisiones entre nodos.

Para ganar acceso al medio compartido, una estación puede transmitir solo si no hay otra estación ya transmitiendo dentro del radio de un punto de acceso; dos estaciones asociadas a ese mismo punto de acceso pueden estar fuera del rango entre ellas.

Por ejemplo, en la figura 17, se ilustra el escenario en el que la estación A está lejos de la estación B, o puede que una barrera esté bloqueando las señales de radio entre estas dos estaciones. El problema es que la estación A puede estar transmitiendo cuando la estación B quiera transmitir también. La estación B escucha el medio para determinar si otra estación está transmitiendo en ese momento. Debido a que la estación B no puede escuchar a la estación A, la estación B empieza a transmitir. Ocurre una colisión en el punto de acceso que destruye las dos tramas. Como resultado de esto, el punto de acceso no reconoce la recepción de las tramas y las dos estaciones tienen que retransmitir sus respectivas tramas, lo cual resultará en otra colisión.

Figura 17. **Problema de nodos ocultos en una LAN inalámbrica**



Fuente: elaboración propia.

La función de RTS/CTS es un acuerdo, que minimiza las colisiones cuando los nodos están ocultos y esperan en la red. Los mecanismos de protección pueden usar RTS/CTS para evitar las colisiones de 802.11.b y 802.11g. Si los nodos ocultos no causan una cantidad significativa de

retransmisiones o no existen nodos ocultos, entonces RTS/CTS no es necesario. RTS/CTS se habilita en cada estación para solicitar un *time slot* específico para transmisión de datos. Por ejemplo, si RTS/CTS está habilitado en las tarjetas inalámbricas de la estación A y la estación B; la estación A envía una trama de RTS al punto de acceso antes del envío de las tramas.

El punto de acceso recibe las tramas de RTS y responde con una trama de CTS. Las dos estaciones reciben la trama de CTS. Este proceso da la libertad a la estación A de transmitir las tramas. La trama de CTS lleva un valor de la duración que informa a todas las estaciones, incluyendo la estación B, que no transmitan durante cierto intervalo de tiempo. Este retraso es igual a la cantidad de tiempo que la estación A requiera para enviar sus tramas y para que el punto de acceso responda con el ACK. Como resultado de esto, las colisiones entre nodos ocultos son menos probables. Existe una forma en que todavía pueden ocurrir colisiones, y es cuando los nodos ocultos no reciben la trama de CTS por interferencias o señales débiles.

La habilitación de RTS/CTS requiere la configuración de un valor de umbral en el punto de acceso y la tarjeta inalámbrica. Este umbral es la longitud de la trama que invoca el proceso de RTS/CTS. Si la trama necesita un tiempo más largo que el umbral, se reutiliza el proceso RTS/CTS.

Si existe la sospecha de nodos ocultos que puedan estar causando colisiones en la red y degradando el desempeño de la red, se recomienda activar RTS/CTS. El umbral se configura comúnmente a 750 bytes, lo cual es aproximadamente el punto intermedio (50 % del tamaño máximo de trama).

Si el *throughput* se incrementa, el uso de RTS/CTS es beneficioso. Si el *throughput* decrece, no vale la pena activar RTS/CTS. RTS/CTS es de hecho

un factor significativo en el desempeño, se considera el cambio del umbral de modo que se maximice el *throughput*.

El uso de RTS/CTS agrega encabezados a la red porque la transmisión de tramas de datos puede requerir RTS así como CTS. Así que entre menos colisiones se generen por el uso de RTS/CTS, puede que no se ofrezca una mejora en el *throughput* para compensar el encabezado adicional de las tramas de RTS/CTS. Existe también la posibilidad que las mejoras en el desempeño sean cambiantes debido a los cambios que pueda sufrir el entorno y los usuarios móviles también contribuyen a estos cambios. El estándar 802.11 aún no ofrece mecanismos de ajuste automático para el umbral de RTS/CTS.

2.7.7. Fragmentación

Una tarjeta inalámbrica o un punto de acceso pueden configurarse opcionalmente para que utilicen la fragmentación. Esta opción hace que las tramas de datos de 802.11 se dividan en partes más pequeñas (fragmentos) que son enviadas separadamente al destino. Cada fragmento consiste en un encabezado de MAC, *frame check sequence* (FCS), y un número de fragmento que indica la posición dentro de la trama. Debido a que la fuente transmite cada fragmento independientemente, la estación receptora responde con ACKs independientes para cada fragmento.

Una estación de 802.11 aplica fragmentación solo a tramas que tienen un destino único (*unicast*), incluyendo cualquier trama de datos que esté cerca de una estación específica. Para minimizar el encabezado de la red, no se fragmentan los *broadcast* ni los *multicast*.

La estación destino junta nuevamente los fragmentos en la trama original usando los números de fragmento. Después de asegurar que la trama está

completa, la estación ya envía la trama a las aplicaciones superiores para el procesamiento. Aunque la fragmentación implica más encabezados, el uso resulta en un mejor desempeño si se configura adecuadamente.

La fragmentación puede incrementar la fiabilidad de la transmisión de tramas cuando las interferencias de RF están presentes. Cuando se transmiten fragmentos pequeños, es posible disminuir las colisiones. Adicionalmente, las tramas que encuentran errores pueden ser retransmitidas más rápidamente. El valor del tamaño de fragmento es típicamente 256 y 2048 bytes, aunque este valor es configurable. De hecho, se activa la fragmentación al definir umbral para el valor del tamaño. Si la trama que el punto de acceso está transmitiendo es más grande que el umbral, se dispara la fragmentación. Si el tamaño del paquete es igual o menos al umbral, el punto de acceso no usa la fragmentación.

Se considera la habilitación de la fragmentación en las tarjetas inalámbricas y puntos de acceso de la misma forma que con RTS/CTS. Se establece un valor de prueba de 750 bytes. Si el *throughput* aumenta, entonces la fragmentación es beneficiosa; si decrece, entonces no es recomendable.

3. ESTÁNDAR 802.11N

3.1. Introducción a 802.11n

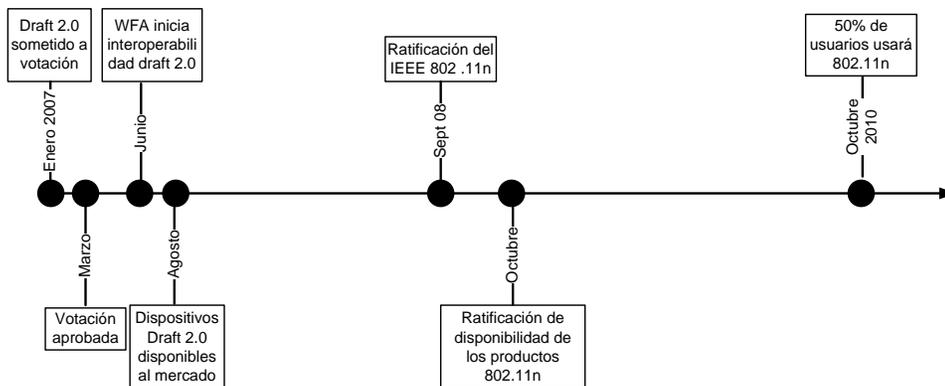
Las tecnologías de redes de datos inalámbricas han evolucionado y han dejado de ser aplicaciones de puntos de baja velocidad y simples propósitos. El siguiente paso es la adopción de dispositivos de datos móviles de alta velocidad capaces de usar aplicaciones como correo electrónico y navegación por la WEB. Las primeras implementaciones de redes de datos inalámbricas fueron consideradas para un ambiente de red, separado de las redes comunes cableadas. Hoy en día las redes de datos inalámbricas han sido integradas en una sola red empresarial que conjuntamente con las redes cableadas son capaces de entregar aplicaciones transparentemente.

Las siguientes generaciones de redes inalámbricas entregarán servicios de forma casi omnipresente con velocidades parecidas a las de una red cableada, y facilidades como políticas de calidad de servicio para aplicaciones sensibles a la latencia y servicios móviles. Las tecnologías de redes de datos inalámbricas de siguiente generación aún no han sido liberadas del todo, está todavía en un formato de borrador o boceto. Los detalles finales de 802.11n aún están bajo discusión. La WI-FI Alliance está utilizando un estándar provisional basado en IEEE 802.11n *draft* 2.0, como fundamento para las pruebas iniciales de la certificación WI-FI y la pruebas de compatibilidad empezaron en junio del 2007.

La decisión a tomar hoy en día es, si se implementaran redes con este estándar al momento de ya estar ratificado. La industria de estas tecnologías

está trabajando agresivamente para asegurar que los productos de 802.11n *draft* 2.0 sean actualizables a la versión final de 802.11n, solamente con la carga de *software*. Incluso algunos fabricantes están haciendo productos modulares por si existiera la necesidad de una actualización de *hardware*, y esta solo requiera el cambio de los módulos de radio y no implique el cambio completo del equipo.

Figura 18. **Recorrido evolutivo de 802.11N**



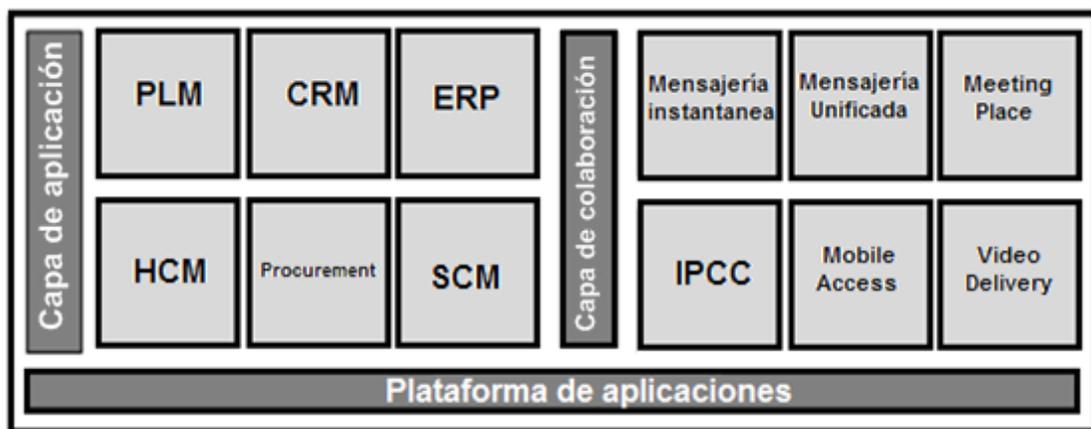
Fuente: elaboración propia.

Los primeros en adoptar estas tecnologías son los trabajadores móviles y los viajeros por negocios. Las organizaciones tienen la oportunidad de complacer a una variedad de usuarios con diversas necesidades. Algunos empleados que se ven atados a un escritorio requerían la habilidad de moverse a través de las facilidades de la institución y aún así mantenerse conectados, por así decirlo, a sus herramientas de trabajo. La cantidad de usuarios ha aumentado y esto también ha provocado un aumento en la demanda de redes inalámbricas; como resultado de esto la necesidad de mayores *throughputs* que vienen acompañados con la confiabilidad y predictibilidad.

La conveniente movilidad en conjunto con la disponibilidad de un sistema de seguridad robusto, ha permitido a las organizaciones de una gran variedad de industrias a usar sus redes inalámbricas para múltiples aplicaciones, además de correo electrónico y acceso a *Internet*.

Hoy en día los hospitales utilizan las redes inalámbricas como medio para almacenar y extraer registros médicos o transmitir imágenes de radiología. Las universidades usan las redes de datos inalámbricas para administrar exámenes y proveer acceso al *Internet* para los estudiantes. Las industrias manufactureras utilizan las conexiones inalámbricas para darle seguimiento al inventario y mejorar procesos de automatización. Los negocios de bolsa de valores usan las redes de datos inalámbricas para llevar a cabo transacciones financieras en tiempo real, requiriendo gran disponibilidad de la red.

Figura 19. **Aplicaciones críticas específicas**



Fuente: elaboración propia.

Los figura 19 ejemplifica algunas de las aplicaciones actuales y comunes que utilizan recursos en la red y muestran la importancia de que estas redes cuenten con gran confiabilidad y predictibilidad.

Con el incremento de usuarios de las diferentes áreas de una organización, viene una gran variedad de dispositivos finales que requieren conexión a la red inalámbrica. Además de los usuarios comunes que utilizan computadoras portátiles, se requiere ahora el soporte de correo electrónico móvil con el Asistente Digital Personal o *Personal Digital Assistant*, PDA y el incremento de disponibilidad de la red inalámbrica para que sea capaz de establecer y mantener llamadas telefónicas. La tecnología de siguiente generación que cumpla con lo anterior también debe ser capaz de soportar las tecnologías actuales e incluso las nuevas tecnologías que surjan sobre cualquier dispositivo inalámbrico.

Los diferentes negocios han reconocido los beneficios que podrían obtenerse usando redes de datos inalámbricas en el ámbito de vídeo y voz. El costo-beneficio de combinar voz y vídeo sobre una misma red ha sido probado con gran aceptación por muchos negocios.

Las redes inalámbricas deben de diseñarse para que estén preparadas para transportar voz y que sean capaces de manejar la latencia en aplicaciones multimedia sensibles a esta, mientras que despliegan cobertura confiable y predecible. Las tecnologías inalámbricas han sido desplegadas en una gran variedad de ambientes, incluso en aquellos que presentan retos significativos en términos de RF. Algunos de estos ambientes que pueden mencionarse son los pisos de una fábrica, bodegas, hospitales y universidades. Estos ambientes requieren cobertura de gran confiabilidad que sea capaz de combatir interferencias y problemas de múltiples caminos o *Multipath*.

Todos estos factores han contribuido al desarrollo de 802.11n. 802.11n es un estándar que promete cumplir con muchos de los atributos necesarios para servir a un número creciente de usuarios, aceptar la proliferación de una gran variedad de dispositivos, lograr la convergencia de datos, voz y vídeo, incluir en una misma red aplicaciones críticas sobre WLAN y atreverse a implementar redes inalámbricas en ambientes desafiantes. 802.11n tiene mucho que ofrecer a las empresas en términos de *throughput*, confiabilidad y predictibilidad, sin embargo es importante que las empresas examinen la forma en la cual 802.11n puede mejorar su red inalámbrica, cayendo siempre en la realidad de lo que es y no es posible.

Uno de los aspectos que 802.11n se muestra con gran interés es en las aplicaciones críticas que piden asegurar confiabilidad y disponibilidad.

Figura 20. Principales tecnologías de 802.11n

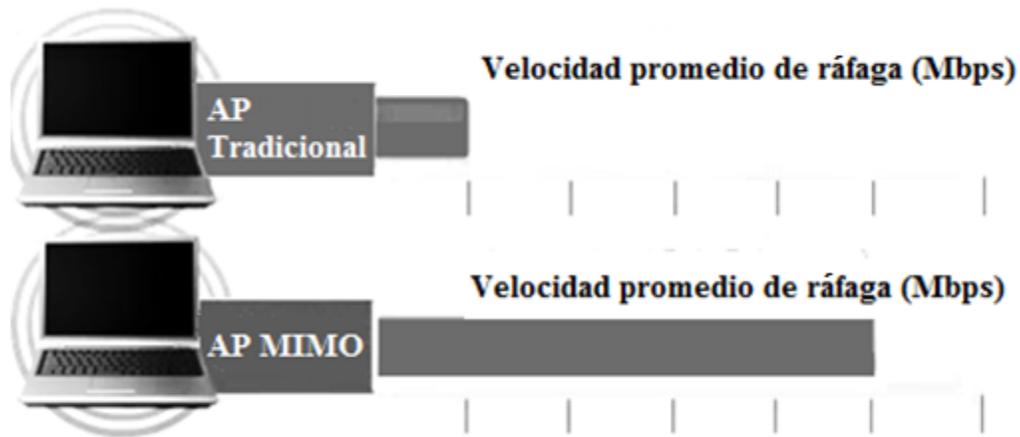
Componentes Principales de 802.11n		
<ul style="list-style-type: none"> • MIMO (multiple Input Multiple output) • MRC (Maximal Ratio Combining) • Beam Forming • Spatial Multiplexing 	<ul style="list-style-type: none"> • Canales de 40 MHz Dos canales de 20 MHz son combinados para formar un canal de 40 MHz 	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia de MAC Mejorada Agregación MAC mas pequeña unida en bloques de reconocimiento de datos

Fuente: elaboración propia.

802.11n usa tecnologías de procesamiento de señal Múltiple Entrada Múltiple Salida o como se le conoce Múltiple Input Múltiple Output (MIMO); esto se refiere básicamente a varias antenas y varios receptores que mejoran la confiabilidad del enlace inalámbrico, reduciendo de esta forma la pérdida o descarte de paquetes. La reducción en la pérdida de paquetes mejora la

confiabilidad de la red y un *throughput* más consistente que asegura cobertura predecible en cualquier punto de la instalación.

Figura 21. **Comparación del desempeño de un AP tradicional y un MIMO**



Fuente: elaboración propia.

Una de las mejoras más reconocidas es la habilidad 802.11n para incrementar el *throughput* de la red inalámbrica. En la figura 21 se observa que 802.11n tiene el potencial de ofrecer 5 veces el desempeño de una red inalámbrica actual.

En ambientes puros, esto es solo con dispositivos 802.11n; se ha logrado comprobar que las mejoras en el desempeño ofrecen 300 Mbps de ancho de banda por radio, lo cual será notable en un ambiente empresarial común. Este incremento del ancho de banda disponible para cliente incluye canales de 40 Mhz, Agregación de paquetes o *Packet Aggregation* y reconocimiento de bloques o *Block Acknowledgement*. Adicionalmente, la mejora de la señal resultante de MIMO habilita a los clientes a conectarse a tasas de transmisión

más elevada y una distancia dada desde el punto de acceso comparado con 802.11a, b o g.

802.11n *draft* 2.0 ha causado algunas preocupaciones para las empresas. Algunas empresas fabricantes han invertido en proteger la inversión de los clientes que utilizan sus productos. Los productos 802.11n *draft* 2.0 son certificados mediante la WIFI Alliance y se ha comprobado su interoperabilidad con Intel y muchas otras plataformas. Algunos de los fabricantes están proveyendo productos de arquitectura modular y flexible, diseñados para ser fácilmente actualizados a los estándares que van surgiendo constantemente. De esta forma los productos pueden pasar a la siguiente versión solamente realizando una actualización de *software*.

802.11n claramente provee avances y mejoras en las redes de datos inalámbricas con demandas crecientes de usuarios, variedad de dispositivos terminales accediendo simultáneamente, aplicaciones críticas y aplicaciones multimedia, ambientes de RF desafiantes. 802.11n muestra avances y mejoras necesarias para soportar movilidad a través de la red inalámbrica, por lo que para tener completa ventaja de las facilidades, es necesario implementar la infraestructura correcta.

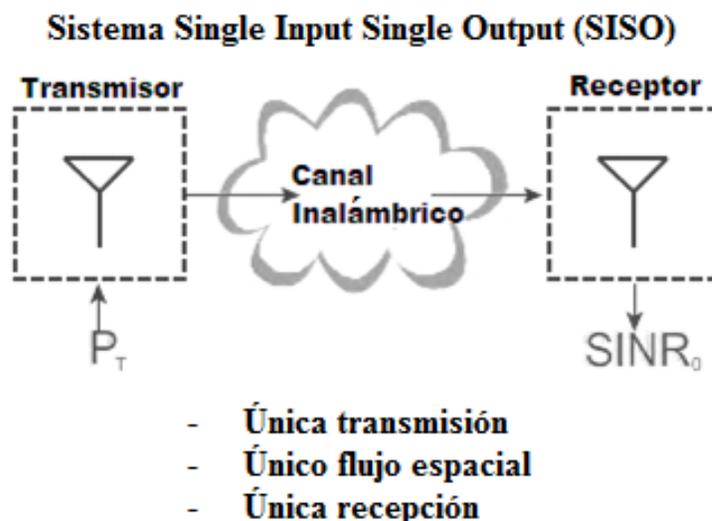
3.2. Descripción de las tecnologías de 802.11n

Las mejoras del estándar 802.11n radican sobre la utilización de múltiples antenas y el manejo de la información que se transmite y recibe. De esta manera, se optimiza el sistema inalámbrico. La tecnología principal se conoce como MIMO.

3.2.1. Tecnología MIMO

La tecnología *Multiple Input Multiple Output*, MIMO, es el corazón de 802.11n. MIMO comprende muchas tecnologías, que en conjunto proveen mejoras en el *throughput*, confiabilidad y predictibilidad. Se hará un repaso de los sistemas *Single Input Single Output* representado en la figura 22 y se cubrirán los componentes que constituyen MIMO: *Spacial Multiplexing*, *Transmit Beamforming* y *Maximal Ratio Combining*.

Figura 22. Sistema SISO



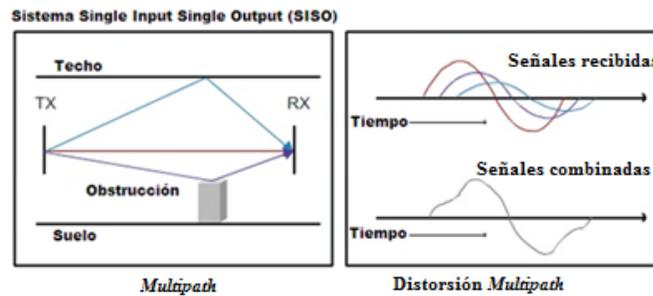
Fuente: elaboración propia.

Los puntos de acceso inalámbricos de hoy en día y los dispositivos cliente se comunican a través de un solo flujo espacial sobre una sola antena.

La cantidad de información que puede transportarse por una señal de radio depende de la cantidad por la que la señal recibida supera al ruido en el

receptor. Esto es llamado relación señal a ruido o *Signal-to-noise ratio* (SNR). SNR es típicamente expresado en decibeles (db). A mayor SNR, mayor es la información que puede ser llevada por la señal y ser recuperada por el receptor.

Figura 23. **Distorsión por múltiples caminos**

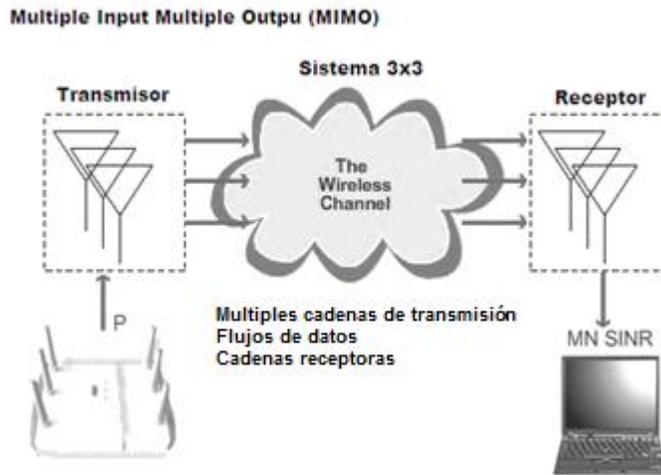


Fuente: elaboración propia.

Muchos de los puntos de acceso de hoy en día utilizan diversidad de antenas para incrementar el *throughput* del sistema y minimizar el efecto de la distorsión por múltiples caminos o *Multipath*, como se ve en la figura 23. La mayoría de estos sistemas usan dos antenas, haciendo un muestreo de cada una de las antenas y escogiendo la de menor distorsión. Un punto de acceso favorece una de las antenas designándola como antena primaria.

Si existe *Multipath* ocurren reintentos de transmisión de paquetes, entonces se monitorea la otra antena y en el caso de tener mejor señal se conmutará a esta. Los puntos de acceso de 802.11n y los clientes transmiten en dos o más flujos espaciales, empleando múltiples antenas receptoras y procesamiento avanzado de la señal para recuperar los múltiples flujos transmitidos. Aquí pueden verse tres cadenas transmitidas, tres flujos de datos y tres cadenas recibidas. Esto comúnmente se denomina como arreglo 3x3.

Figura 24. Sistema MIMO



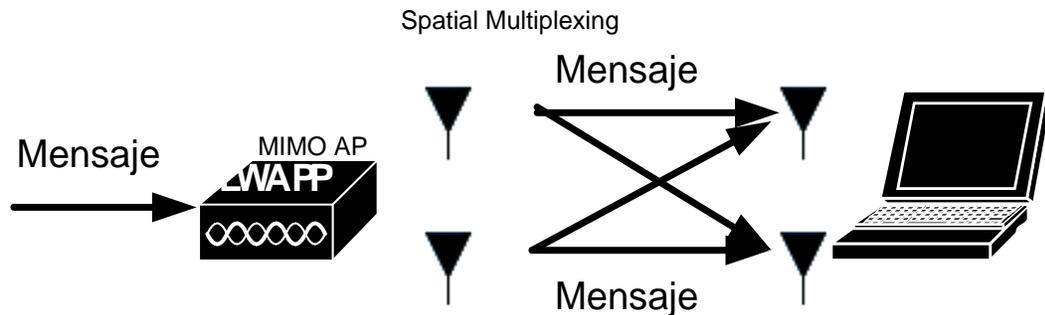
Fuente: elaboración propia.

Algunos fabricantes ya trabajan con arreglos de 2x3 que son básicamente dos transmisores y tres receptores. Las computadoras personales o laptops tienen configuraciones de 2x2. En un ambiente típico interior, las oficinas, hospitales y bodegas, raramente la señal toma el camino corto y directo desde el transmisor al receptor. Esto se debe a que raramente existe línea vista del transmisor al receptor. Los obstáculos comunes como puertas o artículos de oficina, obstruyen la línea vista. En estos ambientes a menudo existen obstrucciones que reflejan la señal de radio similarmente a la forma en que un espejo refleja la luz. Este fenómeno es llamado multicamino o *Multipath*.

Debido a que la señal viaja por múltiples caminos hasta el receptor, el tiempo que tarda en llegar depende del camino que haya escogido. La señal que haya tomado el camino más corto, obviamente llegará más rápido, seguido por copias o ecos de la señal, que llegan a tiempos retrasadas por haber tomado un camino más largo. Un transmisor MIMO envía múltiples señales de

radio al mismo tiempo tomando ventaja de *Multipath*. Cada una de estas señales es llamada flujo espacial o *spatial stream*. Cada flujo espacial es enviado desde su antena usando su propio transmisor y dependiendo del espacio entre antenas, cada señal seguirá diferentes caminos hasta el receptor. Esto se llama diversidad espacial o *spatial diversity*.

Figura 25. **Espaciamento espacial**

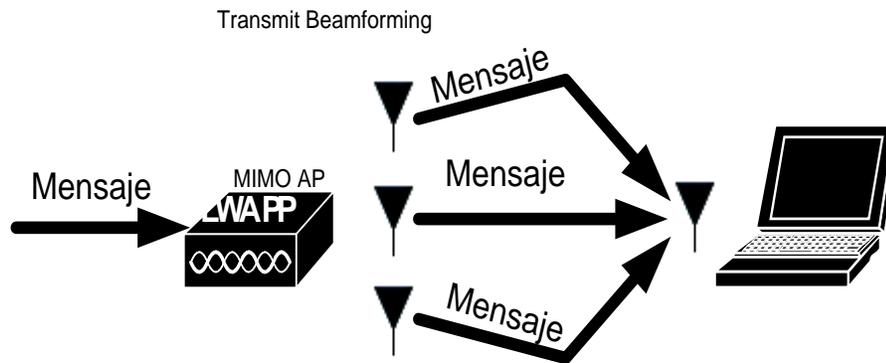


Fuente: elaboración propia.

3.2.2. Transmit Beamforming

Cada punto de acceso puede enviar diferentes flujos de datos por sus diferentes radios. El receptor también tiene múltiples antenas y cada una con su propio radio. Cada uno de los radios receptores decodifican independientemente la señal captada, luego cada señal es combinada con las señales de los otros radioreceptores. Después de un procesamiento complejo, el resultado es una señal recibida mejorada que puede lograrse en una sola antena o *Transmit Beamforming* (TXBF). La multiplexación espacial da la capacidad a los sistemas inalámbricos de mejorar el *throughput*, sin utilizar ancho de banda espectral adicional.

Figura 26. **Transmit Beamforming**



Fuente: elaboración propia.

Con TXBF es posible coordinar las señales enviadas por cada antena y esto hace que la señal recibida sea mejorada, considerablemente. Esta técnica es generalmente usada cuando el receptor tiene solo una antena y hay algunos obstáculos. TXBF usa las antenas transmisoras con la misma señal excepto que la magnitud y fase son ajustadas en cada transmisor de modo que se genere un haz focal. El receptor junta estas señales para aumentar el nivel de la señal en general.

TXBF no puede transmitir sin una señal de información del receptor. Esta retroalimentación está disponible solamente para dispositivos 802.11n. La retroalimentación no es inmediata y solo es válida por un corto tiempo.

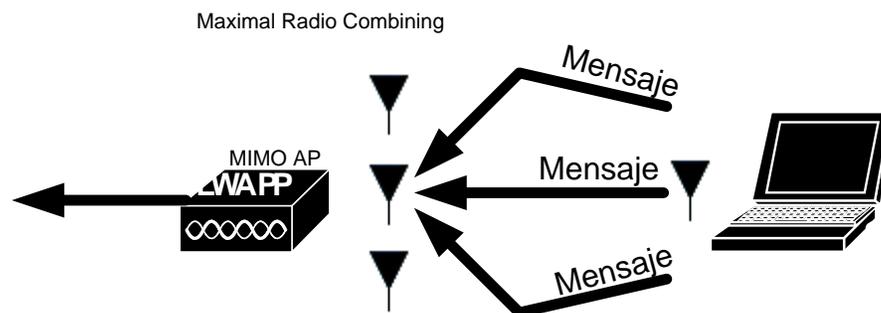
Cualquier movimiento físico del transmisor, receptor u otros elementos, invalidan los parámetros usados para la forma de onda.

3.2.3. Maximal ratio combining (MRC)

Spatial Multiplexing y *Transmit Beamforming* son tecnologías que se utilizan en caso de contar con múltiples transmisores. MRC es una tecnología utilizada por el receptor con múltiples antenas. El algoritmo de MRC determina cómo combinar óptimamente las energías de múltiples cadenas recibidas, de modo que el resultado sea una suma coherente en lugar de una sustracción destructiva. Esta tecnología mejora el rango de un sistema inalámbrico.

A medida que la distancia entre el transmisor y el receptor aumenta, la intensidad de la señal recibida se vuelve más débil y más susceptible de corromperse debido al ruido y a la interferencia. Teniendo más de una antena, la probabilidad de que al menos una antena reciba una señal no corrupta aumenta. El algoritmo de MRC pone énfasis en esa señal con la menor corrupción. Aún cuando todas las señales recibidas tengan ruido, el algoritmo de MRC determina la combinación de todas de modo que se obtiene un estimado de la data original.

Figura 27. **MRC**



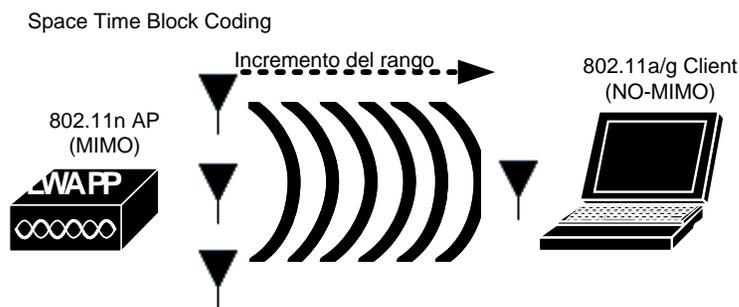
Fuente: elaboración propia.

3.2.4. Space time block coding (STBC)

STBC es una técnica típicamente usada para sistemas asimétricos, donde el número de cadenas transmitidas es mayor a una y el receptor solamente tiene una cadena. Un dispositivo móvil personal es tan compacto que solo puede llevar una antena que habla con un punto de acceso con múltiples antenas; es un típico ejemplo donde STBC puede ser usado. Múltiples transmisores resultan en el aumento de *Spatial Diversity* y por lo mismo mejora la robustez de la señal recuperada. Aún así, debido a que el punto de acceso transmite por múltiples antenas, STBC solamente mejora el rango del enlace de bajada; esto es en dirección hacia el dispositivo cliente.

En el punto de acceso, cada transmisor envía una combinación lineal conocida de las otras señales y el único receptor; puede, algebraicamente determinar cuál es el flujo original de datos basado en una fórmula lineal combinada, previamente conocida de cada transmisor.

Figura 28. *Space time block coding*

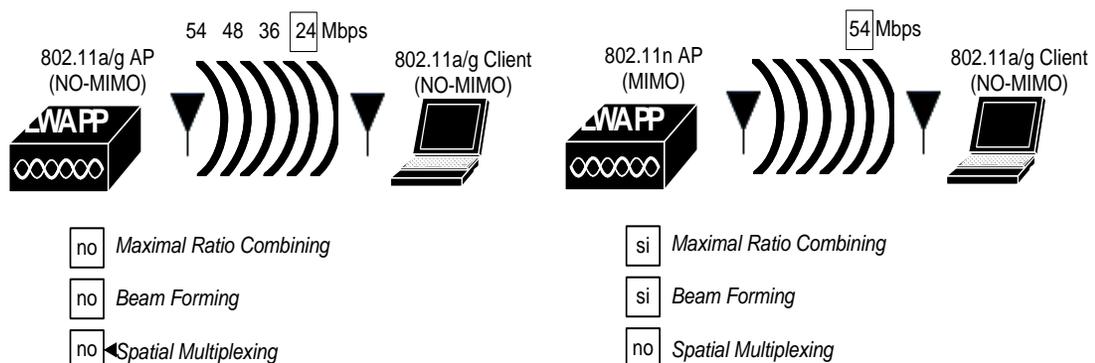


Fuente: elaboración propia.

En resumen, los componentes de MIMO que vienen a jugar un papel importante en el desempeño general, son tecnologías de antenas inteligentes que permiten a los puntos de acceso recibir señales más confiables a través de mayores distancias y además permiten a los clientes operar sobre tasas de transmisión y recepción más altas que con un punto de acceso estándar. Por ejemplo, a la distancia en que un dispositivo móvil se conecta con un punto de acceso de 802.11a u 802.11g, la señal decae de 54Mbps a 48Mbps o 36Mbps, el mismo cliente comunicándose con un punto de acceso con tecnologías MIMO puede continuar el enlace a 54Mbps.

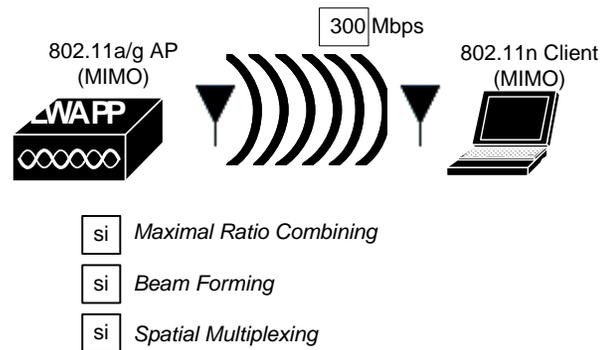
Cuando se implementa MIMO solo en los puntos de acceso, se entrega un servicio con mejoras en el desempeño por encima del 30% sobre redes con 802.11a, b o g. Cuando se opere con tecnologías MIMO, el desempeño aumentaría aún más en confiabilidad y *throughput*.

Figura 29. Anchos de banda con AP 802.11a/g vrs AP 802.11n



Fuente: elaboración propia.

Figura 30. Ancho de banda con AP y cliente 802.11n



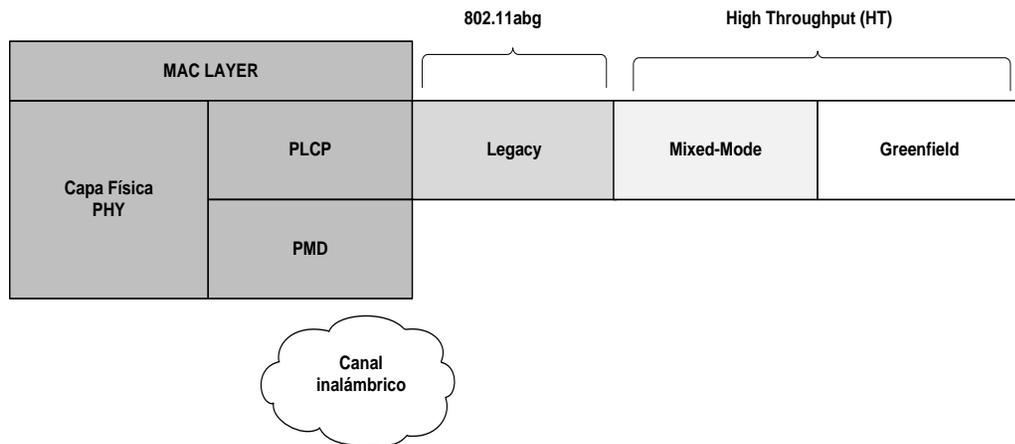
Fuente: elaboración propia.

Los puntos clave a recordar son, a mejor sensibilidad para los clientes durante *Beamforming* mejora la sensibilidad en el punto de acceso, debido a MRC y mejor sensibilidad se traduce en tasa de datos alta, a la distancia dada desde el punto de acceso.

3.3. Capa física de 802.11n

Esta sección muestra las funcionalidades de la capa física de 802.11n y la terminología. Adicional se verá el uso de las bandas de 2.4 Ghz y 5 Ghz, así como el uso de canales de 40 Mhz versus 20 Mhz; el uso de múltiples antenas y flujos espaciales.

Figura 31. **Capa física de 802.11n**



Fuente: elaboración propia.

La capa física provee la interfaz entre Media Access Control (MAC) y el medio inalámbrico. 802.11n soporta tres nuevos modos de operación y facilidades diseñadas para aumentar el desempeño. La capa física es la interfaz entre la MAC y el medio de acceso, transmite y recibe tramas de datos sobre el medio inalámbrico compartido. La capa física provee tres funciones principales:

- Intercambio de tramas entre la MAC y la PHY.
- PHY usa la señal portadora y modula a través del espectro.
- Provee indicaciones a la MAC sobre la portadora.

Tabla IV. **Estándares y tasas de velocidad máxima**

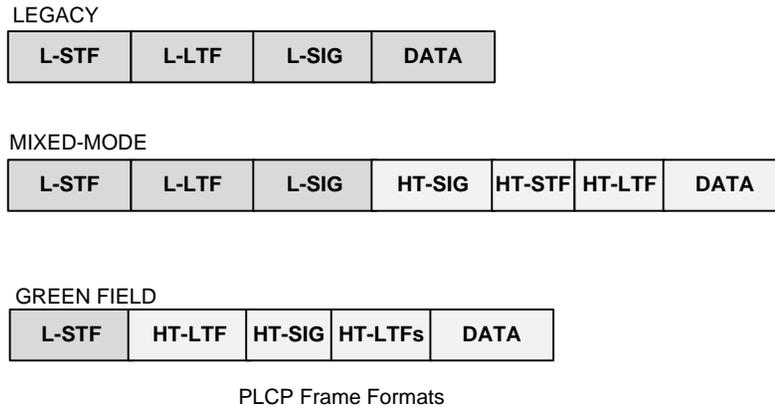
MAC						
802.11 FHSS PHY	802.11 DSSS PHY	802.11b HR/DSSS PHY	802.11a OFDM PHY	802.11g OFDM PHY	802.11n OFDM PHY	802.11n OFDM PHY
2 Mbps 2.4 GHZ	2 Mbps 2.4 GHz	5.11 Mbps 2.4 GHz	54 Mbps 5 GHz	54 Mbps 2.4 GHz	54 Mbps 2.4 GHz	54 Mbps 5.0 GHz

Fuente: elaboración propia.

El primer nivel provee el intercambio de tramas entre la MAC y la capa física bajo el control de la subcapa *Physical Layer Convergence Procedure* (PLCP). El segundo nivel utiliza una señal portadora y *Spread Spectrum Modulation* para transmitir tramas de datos a través del medio y bajo el control de la subcapa *Physical Medium Dependant* (PMD). El tercer nivel provee el *Carrier Sense Indication* (Indicación de envío de portadora) de regreso a la MAC, para verificar actividad en el medio.

Cada nivel es único en términos del tipo de modulación y diseño, lo cual es necesario para que puedan coexistir entre ellos. La capa física para 802.11n no es muy diferente a la de los anteriores estándares. 802.11n soporta tres modos de operación.

Figura 32. Modos de operación y formatos de la trama



Fuente: elaboración propia.

La capa física especifica las señales que serán transmitidas y recibidas por los dispositivos. En la figura 32 se muestran los modos de operación con los formatos de la trama. Estos son tramas de ejemplo ya que puede haber más de un HT-LTF. Modo *Legacy*, en este modo, las tramas son transmitidas en los formatos antiguos con 802.11a/g. En el modo *MixMode* las tramas son transmitidas con un preámbulo estándar compatible con 802.11a o g, que vienen del formato antiguo, el *Short Training Field* (STF), Long Training Field (LTF) y el Signal Field, de modo que los dispositivos anteriores (80211g) sean compatibles con este formato y aún puedan decodificar la señal. El resto de la trama tiene un nuevo formato.

El dispositivo terminal debe ser capaz de decodificar los dos modos, *Legacy* y *MixMode*. En el modo *Green Field* se transmiten tramas de *HighThroughput* sin ninguna parte compatible con dispositivos *Legacy*. Este modo es opcional. En este modo, el receptor debe ser capaz de decodificar tramas en el modo *Green Field*, tramas *MixMode*, y tramas en formatos

antiguos o Legacy. 802.11n hace un gran número de cambios en el radio para incrementar el *throughput* efectivo a la red inalámbrica. La operación de la capa física en el dominio de frecuencia está dividida en los siguientes modos de operación:

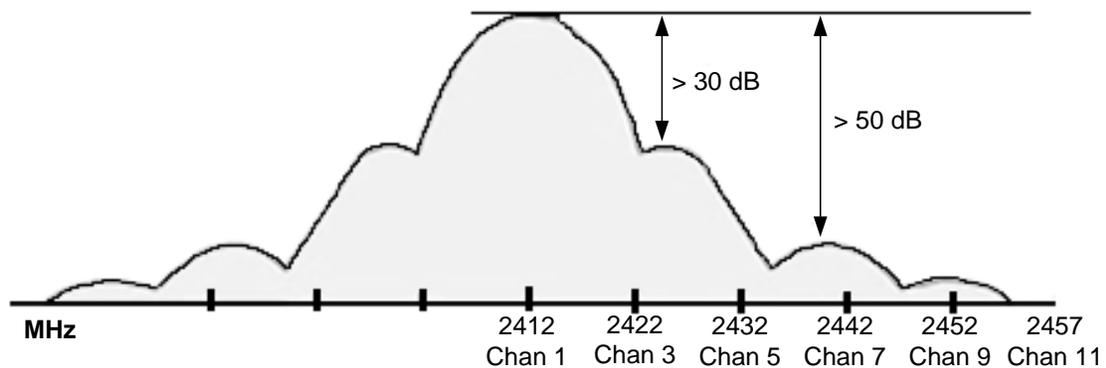
- Modo *Legacy* (LM)
- Modo HT
- Modo Duplicate Legacy
- Modo *Upper*
- Modo *Lower*

El modo *Legacy* es el equivalente a 802.11a/g. En modo HT el dispositivo opera en 40 MHz o 20 MHz de ancho de banda y con uno a cuatro flujos espaciales. Este modo incluye el modo de operación *High Throughput HT-Duplicate*. El modo *Duplicate Legacy* consiste en dos transmisiones *Legacy* idénticas de 20 MHz sobre dos canales adyacentes para lograr el canal de 40 MHz. Para reducir la potencia pico a la promedio del canal superior, la frecuencia es rotada 90 grados en relación con el canal inferior.

El modo *Upper* de 40 MHz es usado para transmitir paquetes de Legacy o *High Throughput-HT* en el canal de 20 MHz superior del canal de 40 Mhz. En los modos de 40 MHz, las tramas *Legacy* pueden enviarse solamente por el canal de 20 MHz, sin embargo las tramas HT pueden enviarse por cualquiera de los canales de 20 MHz, superiores o inferiores (*Upper* o *Lower*) de la señal.

Figura 33. Eficiencia espectral

Canales de radio 802.11a de 20 Mhz
Canales de radio 802.11b y 802.11g de 22 Mhz
Eficiencia espectral
11Mbps/22 Mhz = ½ bits por Hertz
54Mbps/20 Mhz = 2.7 bits por Hertz



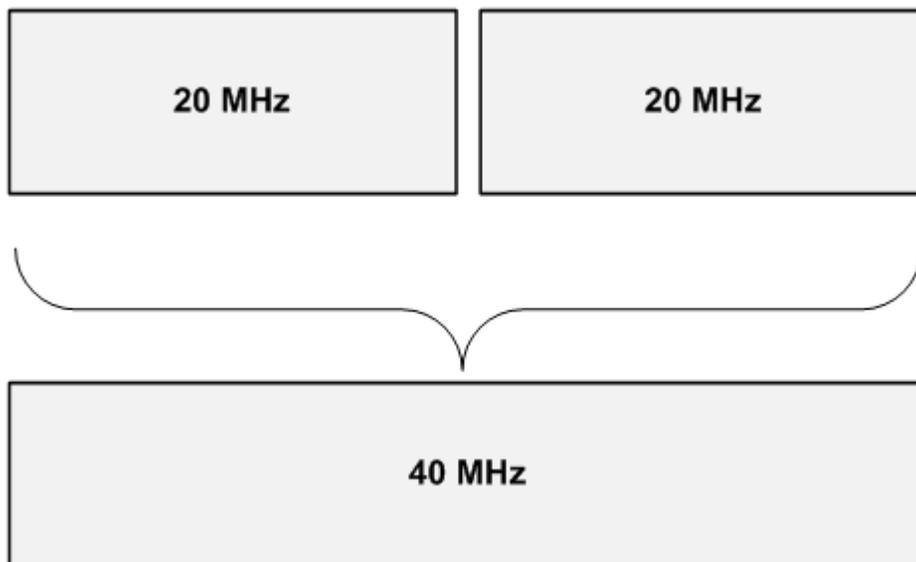
Fuente: CISCO. Curso Cisco Quick Learning Module Series,
Introduction 802.11n Next Generation Wireless. Video 3.

La modulación por *Direct Sequence* original de 802.11 y 802.11b usa un espaciamiento en sus canales de 22 MHz de ancho. 802.11a utiliza un espaciamiento de 20 MHz de ancho. 802.11g es una extensión de 802.11b por lo que utiliza el mismo espaciamiento de 22 MHz de ancho. El tamaño o ancho de banda del canal de radio es una importante medida de eficiencia del radio. Esto se llama eficiencia espectral o *spectral efficiency* y se mide en Bits por *Hertz*.

La eficiencia espectral de 802.11b es ½ de bit por *Hertz*. Por ejemplo 11 Mbps en 22 MHz. 802.11a y 802.11g tienen alta eficiencia espectral la cual puede ser tan alta como 2.7 bits por *Hertz* a 54 Mbps. Usando exactamente la misma tecnología en 802.11a y 802.11g algunos sistemas inalámbricos propietarios disponibles, pueden proveer hasta 100 Mbps. Estos sistemas

propietarios utilizan una técnica simple para doblar la tasa, usando dos canales simultáneos. Esta técnica es llamada *Channel Bonding*.

Figura 34. ***Channel Bonding***

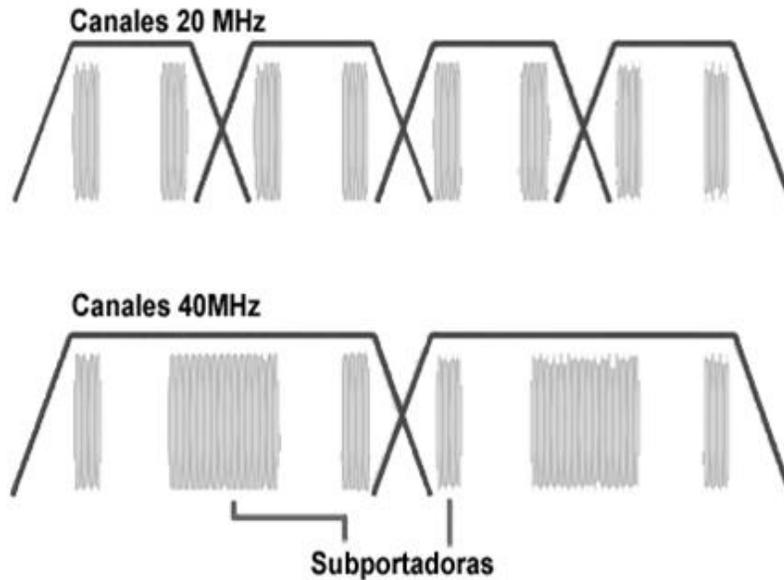


Fuente: elaboración propia.

Con el uso de *Channel Bonding* la eficiencia espectral es la misma que 802.11a y 802.11g pero el ancho de banda es el doble. Esto provee una forma sencilla de doblar la tasa de transmisión. 802.11n utiliza canales de 20 MHz y 40 MHz, al igual que productos con tecnologías propietarias, se usan dos canales de 20 MHz adyacentes que se unen.

Figura 35. **Utilización de canales en 802.11**

* 802.11n puede usar canales de 20MHz y 40MHz

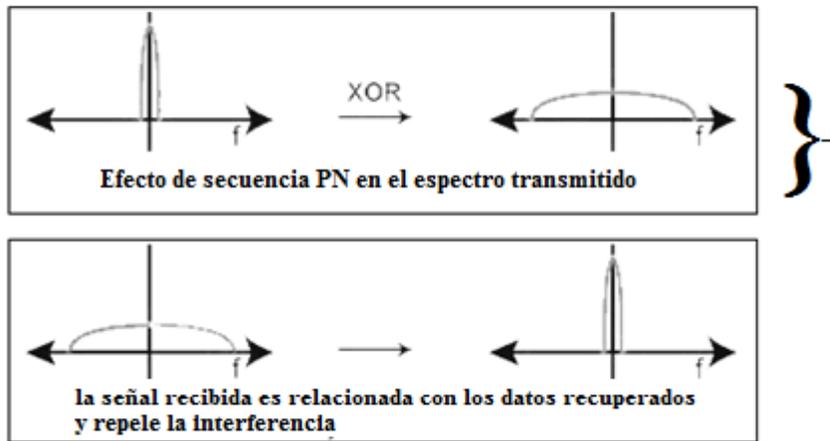


Fuente: CISCO. Curso Cisco Quick Learning Module Series, Introduction 802.11n Next Generation Wireless. Video 3.

Cuando se usan canales de 40 MHz unidos, 802.11n toma ventaja de que cada canal de 20 MHz tiene una pequeña cantidad del canal reservado al principio y al final para reducir la interferencia en los canales adyacentes. Cuando se utilizan canales de 40 MHz la parte superior del canal inferior y la parte inferior del canal superior no tienen reservada ninguna sección. La pequeña parte del canal que antes no se utilizaba, es ahora portadora de información y se aprovecha el uso de los dos canales de 20 MHz. 802.11n logra una pequeña mejora cuando se dobla la tasa de transmisión de 20 MHz a 40 MHz.

Figura 36. **Direct Sequence Spread spectrum 802.11**

Secuencia de *chipping* de 11 bits, reduce la potencia usada para transmitir datos y mejora la resistencia al ruido
BPKS: 1 bit/simbolo x 11 Mchips/seg x 2 Mhz = 22 Mhz

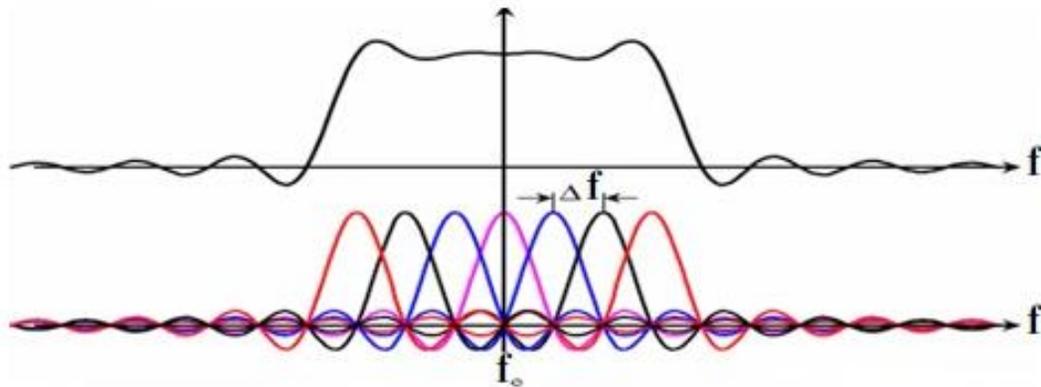


Fuente: CISCO. Curso Cisco Quick Learning Module Series, Introduction 802.11n Next Generation Wireless. Video 3.

El *Direct Sequence* original que utilizaba 802.11 transmite un símbolo que representaba cada bit o un conjunto de bits enviados desde el transmisor al receptor. Cada símbolo con una duración de 1 microsegundo consistentes en series fijas de 11 *chips*. Un *chip* es un dígito binario usado en el proceso de difusión. Los bits son datos de alto nivel, mientras que los chips son números usados en el proceso de codificación. Cada *chip* es modulado en la señal de radio usando la técnica de *Phase Shift Keying* PSK para una tasa de datos de 1 Mbps donde un solo símbolo es enviado cada microsegundo. Para una tasa de 2 Mbps, dos símbolos son enviados y se utiliza la técnica de modulación *Quadrature Phase Shift Keying*.

802.11b extendió la utilización de *Direct Sequence* y consiguió codificar mas bits en el mismo número de símbolos y utilizando como método de modulación QPSK. La tasa de datos se elevó a 11 Mbps.

Figura 37. **Modulación OFDM en 802.11a/g**



Fuente: CISCO. Curso Cisco Quick Learning Module Series, Introduction 802.11n Next Generation Wireless. Video 3.

802.11a y 802.11g cambiaron la forma en que la información era transmitida a través de las señales de radio. Esta tendencia adoptó un método llamado *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM). OFDM divide los canales de radio en un gran número de canales más pequeños, cada uno con su propia señal subportadora.

Cada una de estas señales portadoras son capaces de transportar información independiente de las otros canales portadores. En términos generales, es como decir que se cuenta con un grupo de radios independientes pero que están unidos entre sí.

Tabla V. Esquema de modulación y codificación en 802.11n

Índice MCS	Tipo	Tasa de codificación	Flujo espacial	Tasa (Mbps) de canales a 20 Mhz		Tasa (Mbps) de canales a 40 Mhz	
				800 ns	400 ns	800ns	400 ns
0	BPSK	1 /2	1	6,50	7,20	13,50	15,00
1	QPSK	1 /2	1	13,00	14,40	27,00	30,00
2	QPSK	3 /4	1	19,50	21,70	40,50	45,00
3	16 QAM	1 /2	1	26,00	28,90	54,00	60,00
4	16 QAM	3 /4	1	39,00	43,30	81,00	90,00
5	64 QAM	2 /3	1	52,00	57,80	108,00	120,00
6	64 QAM	3 /4	1	58,00	65,00	121,50	135,00
7	64 QAM	5 /6	1	65,00	72,20	135,00	150,00
8	BPSK	1 /2	2	13,00	14,40	27,00	30,00
9	QPSK	1 /2	2	26,00	28,90	54,00	60,00
10	QPSK	3 /4	2	39,00	43,30	81,00	90,00
11	16 QAM	1 /2	2	52,00	57,80	108,00	120,00
12	16 QAM	3 /4	2	78,00	86,70	162,00	180,00
13	64 QAM	2 /3	2	104,00	115,60	216,00	240,00
14	64 QAM	3 /4	2	117,00	130,00	243,00	270,00
15	64 QAM	5 /6	2	120,00	144,40	270,00	300,00
16	BPSK	1 /2	3	19,50	21,70	40,50	45,00
...
31	64 QAM	5 /6	4	260,00	288,90	540,00	600,00

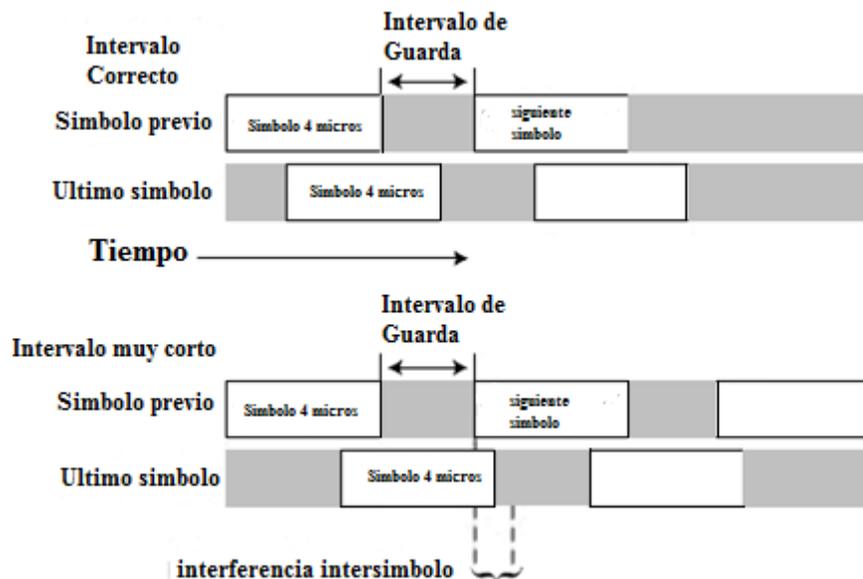
Fuente: elaboración propia.

802.11n continúa el uso de OFDM y utiliza símbolos de 4 microsegundos, similar a 802.11a y 802.11g. Sin embargo, 802.11n incrementa el número de subportadoras en cada canal de 20 Mhz de 48 a 52. Esto hace que incremente la tasa de datos a un máximo de 65 Mbps para un solo radio de transmisión. El transmisor de 802.11n provee la selección de 8 tasas de datos y también aumenta el número de transmisores permitidos. Para dos transmisores, la tasa máxima es de 130 Mbps. Tres transmisores proveen un máximo de 195 Mbps

de tasa de datos. Por consiguiente, cuatro transmisores proveen 260 Mbps. En total 802.11n provee hasta 32 tasas de datos utilizables en un canal de 20 Mhz.

El esquema de modulación y codificación, *Modulation & Codification Scheme, MCS Index* es un valor que determina la modulación, codificación y el número de canales espaciales. Es una representación compacta que es llevada en el campo *High Throughput*. MCS determina si el punto de acceso estará enviando datos usando uno o dos flujos espaciales. MCS usa de 0 a 7 para un flujo espacial y de 8 a 15 para el otro flujo espacial.

Figura 38. **Guard Interval**



Fuente: CISCO. Curso Cisco Quick Learning Module Series, Introduction 802.11n Next Generation Wireless. Video 3.

El intervalo de guardia o *Guard Interval* es parte de los símbolos de OFDM. Este es el periodo de tiempo que se utiliza para minimizar la interferencia entre símbolos. Este tipo de interferencia es causado por ambientes con múltiples caminos, cuando el inicio de un símbolo llega al receptor después del final del último símbolo. Estos dos símbolos están llegando por caminos diferentes. El símbolo que no ha sido completamente recibido cuando el nuevo símbolo ya ha empezado a llegar, está siendo enviado por un camino más largo. La situación anterior produce una reducción en la relación señal a ruido efectiva o SNR del radio enlace.

El *Guard Interval* es un periodo entre símbolos que permite que símbolos tardíos lleguen sobre caminos más largos. El valor del *Guard Interval* es seleccionado según la complejidad del ambiente con múltiples caminos. 802.11a y 802.11b usan un intervalo de 800 ns, permitiendo diferencias en los caminos de 800 pies. 802.11n tiene la opción de un *Guard Interval* corto que cuando se utiliza, provee mejoras en el desempeño.

En esta sección se planteó las propiedades de operación de la capa física de 802.11, así como las mejoras en la capa física y los diferentes modos de operación, *Channel Bonding* y el intervalo de Guarda. En conjunto, estas facilidades incrementan el *throughput* y el desempeño de una red inalámbrica bajo 802.11n.

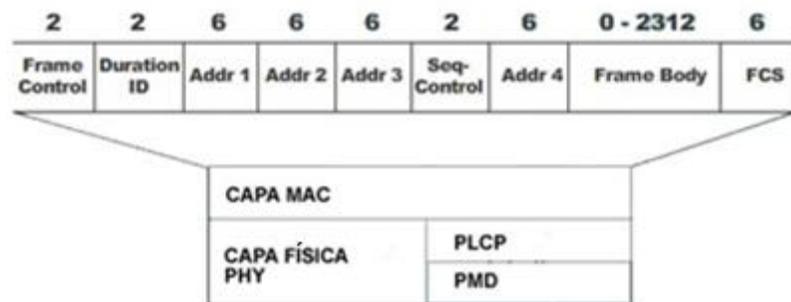
3.4. Capa MAC de 802.11n

En esta sección se presentan las facilidades de la capa MAC de 802.11n y la terminología, así como los formatos de las tramas y el concepto de *Packet Aggregation*, Modo *High Throughput* y compatibilidad *Backward*. La subcapa de

MAC proporciona la funcionalidad requerida para proveer mecanismos de entrega confiables.

Figura 39. Funcionalidades de la capa MAC

- Entrega de datos confiable
- Control de acceso
- Protección de datos



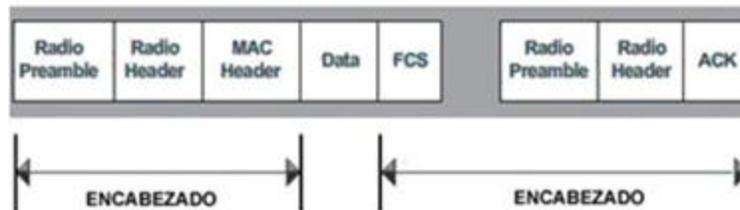
Fuente: elaboración propia.

La primera función de la MAC es proveer servicios de entrega de datos confiables. A través de un protocolo de intercambio de tramas a nivel de la MAC, 802.11n ofrece mejoras en la entrega de datos a través del medio inalámbrico comparado con las primeras redes inalámbricas. La segunda función es controlar imparcialmente el acceso al medio compartido. Esta función la realiza a través de dos mecanismos de acceso.

El mecanismo básico de acceso es *Distributed Coordination Function DCF* y el mecanismo de control de acceso central, llamado *Point Coordination function*. La tercera función de la capa MAC es proteger los datos entregados.

Figura 40. Problemas direccionados en la capa MAC

- Gran cantidad de encabezados
- Reconocimiento de cada trama
- Espaciamiento entre las tramas



Fuente: elaboración propia.

Debido a que las redes inalámbricas no contienen un área física en particular, en la mayoría de los casos, la capa MAC provee los servicios de privacidad que encriptan los datos enviados sobre el medio inalámbrico. Hay muchas mejoras que se han conseguido con 802.11n, principalmente en el aumento de la tasa de datos, a pesar de esto, sigue existiendo una cantidad significativa de encabezados fijos en los protocolos de la capa MAC, en el espaciado entre tramas y reconocimientos de cada trama transmitida.

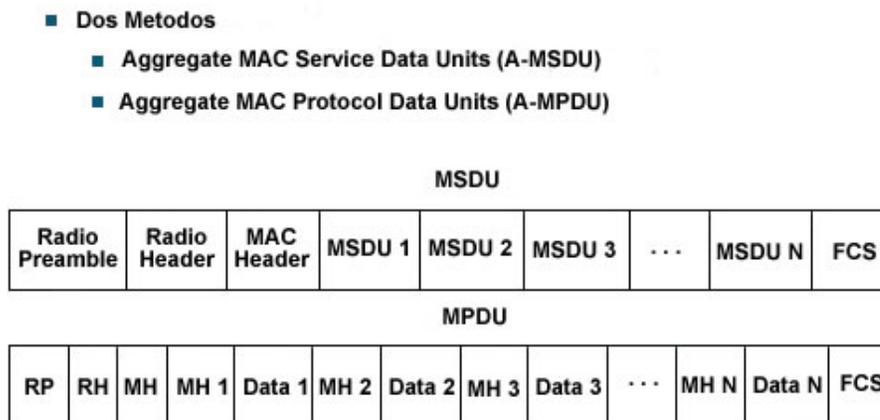
En la tasa de datos más alta, solamente este encabezado puede ser más largo que la trama de datos específica, además de la disputa del medio compartido el cual reduce el efecto del *throughput* que puede generarse con 802.11n.

802.11n direcciona todos estos problemas con cambios específicos en la capa MAC para mejorar las ineficiencias impuestas por estos encabezados fijos y pérdidas por disputas del medio.

Cada trama transmitida por un dispositivo de 802.11n tiene un encabezado asociado al preámbulo del radio y el campo de trama MAC que

limita el efecto de *throughput*, aún si la tasa de datos fuera infinita. Este preámbulo es una sección de datos en el encabezado de un paquete que contiene información del punto de acceso y del dispositivo del cliente. Para reducir este encabezado, 802.11n introduce agregación de tramas o *Frame Aggregation*. *Frame Aggregation* es esencialmente la unión de dos o más tramas en una sola transmisión. 802.11n contiene dos métodos de Frame Aggregation:

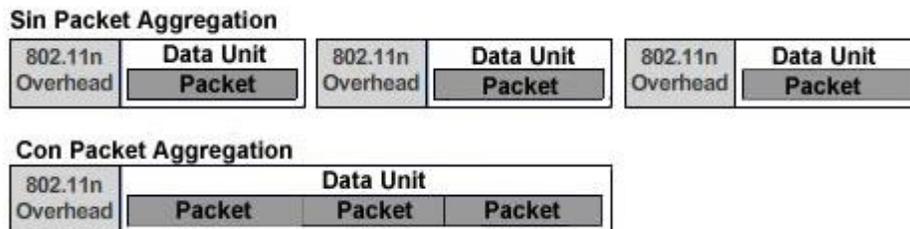
Figura 41. **Frame Aggregation**



Fuente: elaboración propia.

Los dos métodos reducen el encabezado a un solo preámbulo de radio para cada trama transmitida. Debido a que múltiples tramas son ahora enviadas en una sola transmisión, la posibilidad de colisión y el tiempo perdido en retransmitir es significativamente reducido. El tamaño máximo de trama en 802.11n es incrementado para acomodar largas tramas agregadas. El tamaño cambió de 4 kbits a 64 Kbits.

Figura 42. Limitaciones de **FRAME AGGREGATION**



Fuente: elaboración propia.

Una limitante de *Frame Aggregation* es que todas las tramas deben ser enviadas al mismo destino. Esto es, que toda la trama agregada debe direccionarse al mismo dispositivo cliente o al mismo punto de acceso. La segunda limitación es que todas las tramas que serán agregadas deben estar listas para ser transmitidas desde el cliente o desde el punto de acceso simultáneamente. Generando un potencial retardo ya que se espera un tiempo a que las tramas adicionales se traten de incluir con el fin de enviar solo una trama de agregados.

Una tercera limitación sobre la agregación es que el tamaño máximo de la trama está afectada por un factor denominado *Channel Coherence Time*. Este parámetro depende en qué tan rápido se esté moviendo el transmisor o receptor u otro dispositivo a través del medio. Entre más rápido se mueva el dispositivo, el tamaño de la trama debe ser más pequeño. La tasa de datos se ve disminuida, por ejemplo, el tiempo para la transmisión debe ser menor que el *Channel Coherence Time*.

La agregación por MSDU es la más eficiente de los dos métodos. Recae en el hecho de que el punto de acceso recibe tramas por el interfaz *Ethernet*, el

cual traduce a la trama de 802.11n y luego se transmite a los dispositivos móviles.

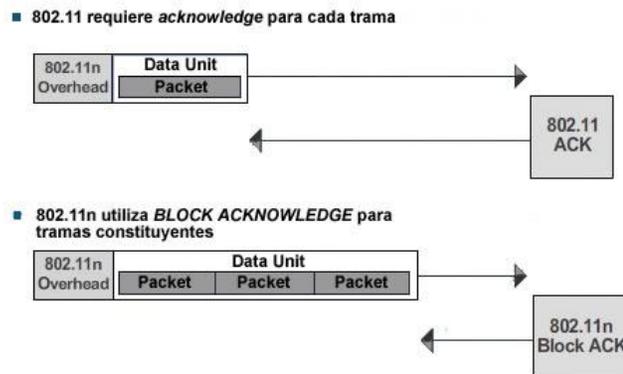
Teóricamente, MSDU permite tramas para múltiples destinos y las agrega en una sola transmisión. MSDU recoge las tramas *Ethernet* para un destino común, empaqueta la colección completa en una sola trama de 802.11n y luego la transmite como una sola. Este método es más eficiente que la agregación MPDU porque el encabezado es más pequeño.

La agregación MPDU es un poco diferente a MSDU, en vez de recolectar las tramas *Ethernet*, MPDU traduce cada trama *Ethernet* a otro formato 802.11, y luego recolecta cada una de estas tramas que van a un destino común. La recolección no requiere de empaquetar en otra trama ya que las tramas empiezan con un encabezado MAC 802.11.

MPDU sí requiere que toda la trama 802.11 que está contenida en la trama agregada tenga la misma dirección destino. Con la agregación MPDU es posible encriptar cada trama independientemente, usando la asociación de seguridad para cada destino individual. Similar a MSDU, MPDU requiere que todas las tramas pertenecientes utilicen el mismo nivel de QoS.

Para que el protocolo MAC 802.11 opere confiablemente, cada trama transmitida a direcciones individuales, que no sean tramas multicast o broadcast, es inmediatamente reconocida por el receptor. La agregación MSDU no requiere ningún cambio para esto, ya que la trama agregada es reconocida como cualquier otra trama 802.11 lo hace, sin embargo este no es el caso para MPDU ya que cada trama perteneciente a la agregación debe ser reconocida individualmente.

Figura 43. Reconocimiento de bloques

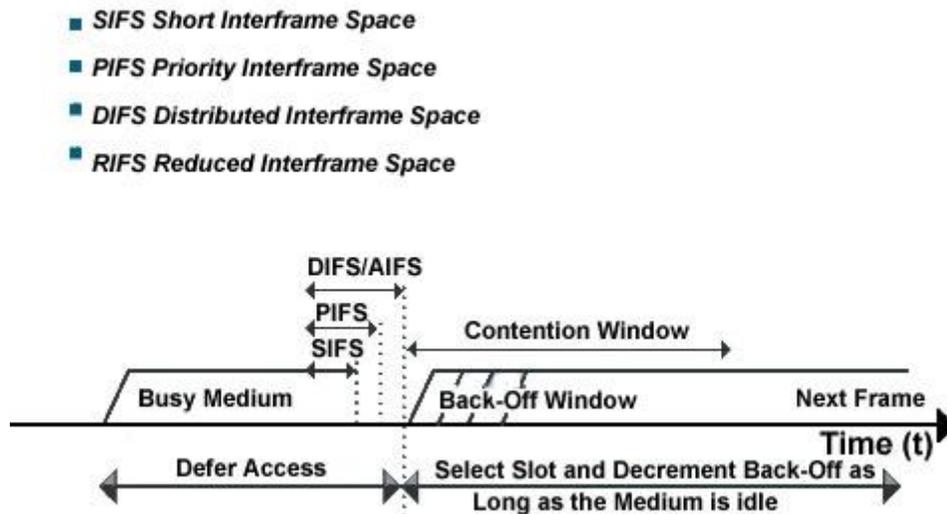


Fuente: elaboración propia.

El mecanismo utilizado para el reconocimiento es llamado *Block Acknowledgement* o reconocimiento por bloque. Cuando la agregación de tramas no es posible, 802.11n provee un mecanismo para reducir los encabezados que tratan con el flujo transmitido de tramas a diferentes destinos. Este mecanismo reduce el espaciado entre tramas recibidas, una trama de reconocimiento y la trama siguiente. 802.11e es una extensión para QoS o *Quality of Service*, la cual agrega la habilidad para un mismo transmisor, de enviar una ráfaga de tramas en una misma oportunidad de transmisión.

Durante el tiempo de transmisión, el transmisor no necesita realizar ningún procedimiento de *Random Back Off* el cual es un algoritmo de contención para adquirir acceso a un canal, para separar las tramas transmitidas mediante *Short Interframe Space* (SIFS). 802.11n mejora este mecanismo mediante la reducción del encabezado de las tramas, especificando un espaciado aún más pequeño llamado *Reduced Interframe Space* (RIFS).

Figura 44. **Espaciamiento reducido entre tramas**

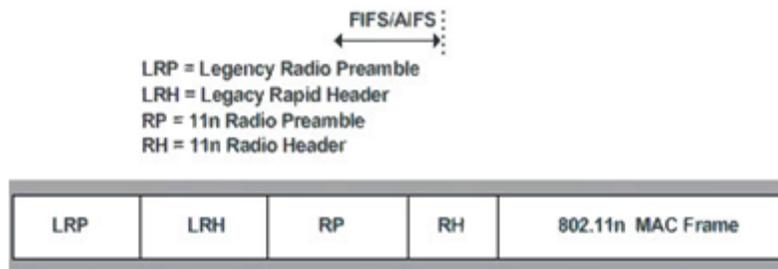


Fuente: CISCO. Curso Cisco Quick Learning Module Series, Introduction 802.11n Next Generation Wireless. Video 3.

La compatibilidad con los dispositivos de estándares existentes 802.11a, b y g es un factor crítico para 802.11n. En 802.11n existen mecanismos que respaldan la compatibilidad con los estándares anteriores, permitiendo a los dispositivos con estos estándares operar dentro de la misma área.

Figura 45. **Compatibilidad**

- La compatibilidad es crítica
- Operación en Mix-Mode
- Campos de radio Preamble y Signal



Fuente: elaboración propia.

Este tipo de operación mixta continuará hasta que todos los dispositivos hayan sido actualizados o reemplazados por 802.11n. Existe un mecanismo de protección para este modo de operación que es muy similar al que se utiliza en 802.11g. Así como 802.11g, 802.11n transmite una señal que no puede ser decodificada por dispositivos funcionales en otro estándar, permitiendo a través del *Legacy Preamble* y *Signal Field* que los transmisores antiguos se informen de que hay otra transmisión en el medio y el tiempo que tardará.

Los dispositivos de 802.11n envían el resto de la información utilizando tasas de 802.11n y múltiples flujos espaciales, incluyendo el *Preamble* y *Signal Field* de 802.11n. Adicional al preámbulo antiguo y al *Signal Field*, puede ser necesario usar mecanismos de protección adicionales de 802.11g para permitir a los dispositivos diferenciar el momento apropiado para transmitir y cuándo deberían de realizar *Back Off*. El mecanismo utilizado por 802.11g y 802.11n cuando en el ambiente está presente 802.11g y 802.11a, es *CTS-to-Self*. *CTS-to-Self* (*Clear to Send*) permite que los dispositivos de 802.11n transmitan una

trama corta de CTS direccionada a sí mismo, y que incluya información del tiempo necesario para comunicarse a las MAC de los vecinos antiguos.

En esta sección se vio las mejoras a la capa MAC que en conjunto ofrecen un desempeño más alto así como *throughputs*. La subcapa MAC provee la funcionalidad requerida para los mecanismos confiables de entrega de servicios sobre ambiente ruidosos. La confiabilidad provee un mayor SNR sobre el enlace de datos, lo cual se traduce directamente en comunicaciones a mayores tasas de datos. La cobertura predecible a través del uso de múltiples flujos espaciales a través de tecnología MIMO, se ve reflejada en menos puntos muertos.

4. IMPLEMENTACIÓN DE VOZ SOBRE WLAN

4.1. Determinando el retorno de la inversión

Antes de empezar la instalación de un sistema de VoWLAN, las empresas que pretenden dicha implementación deben completar un estudio para determinar el retorno de la inversión (ROI) que proveerá las bases para las decisiones de los costos. Un ROI adecuado debe de indicar suficientes beneficios antes que la empresa asigne el recurso para financiar el *hardware* y los servicios necesarios para instalar y mantener el sistema.

En la mayoría de los casos las empresas desean recuperar el dinero gastado en un lapso de uno a tres años. Si los beneficios no son bien definidos o no son suficientes, la implementación del sistema no vale la inversión. Además de que el resultado del ROI debe ser positivo, debe ser completamente entendible por toda la variedad del personal que toma las decisiones. En esta sección se describen los pasos necesarios para un estudio de ROI.

4.1.1. Análisis inicial

El primer paso para realizar un estudio de ROI es el análisis inicial. Deben de tomarse en cuenta todos los detalles posibles para poder definir los beneficios y determinar los costos necesarios de *hardware*, *software* y servicios a instalar y mantener. En las etapas iniciales del proyecto, especialmente durante la fase de estudio de ROI, es posible que no todos los detalles sean conocidos; sin embargo, los detalles se irán conociendo a medida que el proyecto vaya avanzando.

Las siguientes son tareas que una empresa debería de completar como parte de la etapa de planeación inicial:

- Identificar retrasos de comunicación significativos: señalar los problemas que la empresa tenga antes de justificar una solución de *VoWLAN* es algo muy importante. Si las personas que trabajan en la empresa no tienen necesidad de comunicarse cuando se alejan de sus estaciones de trabajo, entonces no es necesario un sistema de *VoWLAN*, simplemente utilizarían sistemas de telefonía cableados. Por el contrario, Las personas que están en constante movimiento y necesitan comunicarse con otros empleados o con otras personas fuera de la empresa, a estas personas sí les convendría un sistema de *VoWLAN*. Hay que analizar este tipo de situaciones y verificar los retrasos que los empleados muestran para responder a eventos importantes.
- Identificar los principales objetivos y los beneficios esperados: al igual que se hace con cualquier proyecto, se debe de exponer claramente lo que se espera con la implementación de una solución de *VoWLAN*, y expresar los objetivos en la mejora, tal como disminuir la respuesta en atención al cliente a un tiempo específico y los costos que la compañía espera eliminar al reemplazar los mecanismos de comunicaciones utilizando una infraestructura compartida de datos y voz.
- Definir los requerimientos preliminares para la aplicación: determinar los requerimientos mínimos para evaluar la infraestructura de red actual y determinar adecuadamente los costos de la solución. En la fase de estudio del ROI, se debe al identificar a quién beneficiará directamente el uso de terminales *VoWLAN* y cuántos se necesitará adquirir. También es útil información del número y frecuencia de llamadas que cada usuario completa. Esta información ayuda a determinar si es necesaria alguna

actualización o mejora de la red actual para que soporte las llamadas. Es bueno separarlo en requerimientos presentes y futuros.

- Evaluación de redes existentes: determinar si la infraestructura de la red cableada existente tiene la capacidad de soportar el tráfico de *VoWLAN*. En caso que no soporte este tráfico, es un factor que se debe sumar al costo de la implementación. Ciertamente, el costo de la solución dependerá de la presencia de una red LAN inalámbrica (WLAN) ya existente. Si una WLAN ya existe, hay que asegurarse de las capacidades que esta tenga para soportar voz. Serán necesarios más puntos de acceso para lograr una cobertura más apropiada, lo cual resultará en costos.
- Considerar cambios en el futuro: para poder lograr el ROI esperado, el sistema de *VoWLAN* debe continuar operando y proveyendo beneficios por varios años. Las empresas tienden a sufrir movimientos, crecimientos y esto introduce costos porque es necesario expandir el sistema. Si este tipo de cambios son conocidos, se deben de tomar en cuenta.

4.1.2. Costos

Como parte del análisis del ROI, una empresa debe de definir sus costos operacionales y capitales. Este análisis proporciona una representación de lo que la empresa necesita pagar para completar la implementación del sistema y que resulte en beneficio.

4.1.2.1. Costos operacionales

Para los costos operaciones, deben calcularse todos los servicios necesarios para implementar y mantener la solución. A continuación, un listado de todos los elementos operacionales que representan costos para la implementación de *VoWLAN*:

- Planeación: abarca la definición de todos los requerimientos de asuntos de seguridad, necesidades de desempeño y planeación del proyecto.
- Evaluación de la red: incluye la inspección de la WLAN actual y determina la capacidad de la red LAN y WAN para soportar los requerimientos del tráfico de voz que se incluirán.
- Instalación: incluye la colocación y configuración de todos los componentes tales como, las terminales *VoWLAN*, *Gateway* para tráfico de voz, *software* necesario y puntos de acceso inalámbricos.
- Pruebas: aseguran que el sistema instalado opere eficientemente y cumpla con todos los requerimientos.
- Capacitación: provee las habilidades necesarias al personal de IT para poder mantener y dar soporte al sistema.
- Soporte operacional: es necesario para el personal de IT para agregar nuevos usuarios, solucionar problemas y responder a cualquier consulta de los usuarios.

4.1.2.2. Costos de capitales

Los costos de capitales son, el *Hardware* y *software* que hacen que el sistema funcione. Los siguientes, son los elementos de costos capitales para la implementación de un sistema *VoWLAN*.

- Terminales de *VoWLAN*: es el dispositivo terminal que realiza la función de teléfono, el cual será utilizado por cada usuario.
- *Gateway* de voz: es la plataforma que gestiona el tráfico de voz sobre IP, las interfaces con la central telefónica existente.
- Puntos de acceso inalámbricos: es el *hardware* que interconecta los dispositivos terminales con la red.

4.1.3. Ahorros

El cálculo de los ahorros resultantes de una solución de *VoWLAN* incluye la combinación cualitativa y cuantitativa de los beneficios. A continuación se muestran algunos de estos tipos de beneficios que ayudan a justificar los costos de *VoWLAN*.

4.1.3.1. Beneficios cuantitativos

Los beneficios cuantitativos comprenden el ahorro de dinero resultante directamente de la implementación de la solución de *VoWLAN*. Este dinero es en general el efectivo que la empresa evita pagar por un servicio en particular, aunque también puede incluir ventas de *hardware* que el sistema *VoWLAN* estará reemplazando. Los siguientes son tipos de beneficios cuantitativos que se pueden obtener con una solución de *VoWLAN*:

- Cargos reducidos por llamadas de larga distancia: el enrutamiento de llamadas de *VoIP* es virtualmente gratis, por lo que un sistema de *VoWLAN* elimina los cargos asociados a las llamadas hacia otro usuario de *VoWLAN*.
- Reducción de líneas telefónicas cableadas: una empresa puede eliminar la necesidad de una línea telefónica por cada usuario de *VoWLAN*, lo cual ahorra en cargos asociados, debido a que un usuario de *VoWLAN* no necesita cablear sus líneas cuando se realizan cambios de ubicaciones.
- Aumento en la productividad: este beneficio es un tanto difícil de definir en algunos casos, pero permite que los empleados completen tareas más rápidamente y la atención al cliente se mejore. Esto resulta en aumento de los ingresos para la empresa, lo cual siempre es un beneficio.

4.1.3.2. Beneficios cualitativos

Los beneficios cualitativos mejoran la operación de la empresa aunque estos no resultan en una cantidad de dinero definible. Estos tipos de beneficios a menudo apoyan los fundamentos para el proyecto cuando los beneficios cuantitativos no fueron bien definidos. Los siguientes son los tipos de beneficios cualitativos que se consideran, cuando se realiza un estudio de ROI para una solución de *VoWLAN*:

- Mejora de seguridad: este beneficio es ciertamente el más importante para cualquier empresa. En algunos casos, el uso regular de teléfonos *VoWLAN* pueden proveer comunicación inmediata en situaciones de emergencia.
- Mejor Imagen frente a clientes: con el uso de teléfonos *VoWLAN*, los clientes verán que los empleados de la compañía pueden obtener

resultados más rápido y más eficientemente, lo cual hace que el cliente se incline a realizar negocios con la empresa.

- Incremento de la moral de los empleados: los empleados que hacen uso de los dispositivos terminales de *VoWLAN*, tienen menos frustración en no poder comunicarse cuando lo requieren. Siempre tienen al alcance su propia terminal.

4.1.4. Período de recuperación

Teniendo en mente los costos y los ahorros de la implementación de *VoWLAN*, ahora se podría calcular el periodo de recuperación y determinar si el proyecto vale la inversión o no. El periodo de recuperación es la cantidad de tiempo que el sistema necesita operar para realizar los ahorros suficientes que paguen por los gastos iniciales. La mayoría de las empresas hace la transición con un periodo de recuperación menor a tres años. Sin embargo, los beneficios cuantitativos deberán de exceder para poder soportar los costos en un año.

Por ejemplo, una empresa puede ver que un sistema de *VoWLAN* les ahorrará Q600, 000 en cargos de llamadas de larga distancia. Si el costo inicial del *hardware* y servicios es Q640, 000 y el costo operacional anual, en caso de ser necesario, es de Q120, 000, el periodo de recuperación es solamente por encima de un año.

La implementación de una solución *VoWLAN* puede proveer beneficios sustanciales a las compañías. En la mayoría de los casos estos beneficios se perciben como aumento en la productividad, debido a la mejora de las comunicaciones y disminución en los cargos de llamadas de larga distancia. La mayoría de las marcas disponibles en el mercado aseguran que *VoWLAN* es un método de bajo costo para la implementación de telefonía móvil dentro de

edificios de gran tamaño, esto comparado con sistemas de telefonía celular; sin embargo, ahora se puede argumentar que esta solución continúa requiriendo una inversión relativamente alta para las empresas.

4.2. Principios de diseño para redes de voz sobre WLAN

Las redes inalámbricas se han introducido rápidamente en las empresas. La disponibilidad de terminales de clientes de voz inalámbricos, la introducción de terminales *Smartphone* de funcionamiento dual (inalámbricas y celulares) y el aumento en la productividad generado por la fuerza de trabajo móvil, está empujando a las WLANs de ser un elemento de conveniencia a ser un elemento crítico para la infraestructura de las redes empresariales.

Cuando se implementa la infraestructura de una red inalámbrica LAN para soportar las aplicaciones de voz, es útil entender los principios de diseño de una *VoWLAN* y cómo estos difieren de un red WLAN convencional que solo soporta aplicaciones de datos. En esta sección se discutirán los principios de diseño de una solución *VoWLAN*. Aún si no se incluirán servicios de voz de manera inmediata, tener la infraestructura de la red lista para estas aplicaciones ayuda a proteger la inversión inicial sobre dicha infraestructura.

Algunas de las marcas que producen dispositivos para construir la infraestructura de una *VoWLAN* han creado herramientas de *software* que sirven para facilitar el diseño de la solución, sin embargo esto significa que toda la infraestructura deberá ser de la misma marca para obtener respuestas consistentes y no dejar espacios sin evaluar. Normalmente, esta situación es difícil en el caso de poseer una red ya existente en la cual se pretende reutilizar equipo. En estas situaciones será necesario que el diseñador sea lo suficientemente hábil para lidiar con estos casos.

Los servicios de voz establecen requerimientos más estrictos en el desempeño general de la red. Debido a que es voz digitalizada, generada de muestras de una señal análoga, la transmisión es más sensible a los retrasos durante la transmisión, de hecho, para que la voz funcione correctamente sobre cualquier infraestructura, el tiempo que debe tardar en atravesar su camino de punta a punta debe ser menos a 150 ms. Si se encuentran problemas durante la transmisión, resultan imperfecciones en la señal reconstruida; esto se conoce como *jitter*. El *jitter* es básicamente la variación en el retraso que un sistema experimenta.

Debido a que una WLAN está basada en protocolos de acceso impredecibles, permite a los clientes el registro libre, en un medio compartido entre los dispositivos inalámbricos con protocolos de seguridad específicos. Agregar servicios de voz, tiene implicaciones entre las que se pueden nombrar:

- Requerimientos de cobertura y planeación de la implementación.
- Infraestructura de red y diseño lógico de subredes.
- Calidad de servicio (QoS) para redes inalámbricas.
- Arquitectura de seguridad de la red.
- Requerimientos de voz para las facilidades de cliente inalámbrico

En esta sección se proveen los principios detallados que se recomiendan para habilitar servicios de voz sobre WLAN con alta calidad.

4.2.1. Pasos para una implementación exitosa

Los servicios de voz han sido implementados exitosamente por muchas empresas en los últimos años y a la fecha se cuentan con múltiples dispositivos y aplicaciones disponibles para facilitar el diseño e implementación.

Para implementar exitosamente una red inalámbrica se deben seguir 8 pasos secuenciales tal y como se muestran en la tabla siguiente:

Tabla VI. Pasos para una implementación

Paso	Descripción	Propósito
1	Definición	Definición de las aplicaciones de voz, clientes que se instalarán y quiénes son los encargados de la toma de decisiones.
2	Áreas de cobertura y fases de proyecto	Definición de las áreas dentro de las instalaciones que soportarán las aplicaciones de voz
3	Aprobación de plan	Aprobación de las personas encargadas de tomar las decisiones.
4	Auditoría de RF y <i>site survey</i>	Validar y ajustar el diseño.
5	Implementación de la infraestructura	Implementación del diseño.
6	Prueba de RF	Prueba de la implementación sobre la infraestructura instalada.
7	Ajustes finales	Ajuste de los puntos de acceso.
8	Puesta en operación y soporte	Transición a la operación y soporte.

Fuente: elaboración propia.

A continuación se detalla cada uno de los pasos:

4.2.1.1. Paso 1: definición

En esta etapa es crítico identificar quiénes son las personas que tomarán las decisiones para asegurar que sus requerimientos sean incorporados al diseño. Se define cuáles serán los objetivos a lograr y quiénes son estas personas que tomarán las decisiones sobre si se implementa o no. Hay que estar seguros de incluir a los departamentos de mantenimiento en este paso, pues serán ellos los encargados de proveer fuentes de energía necesarias y las facilidades de las ubicaciones donde se instalará. Al finalizar esta etapa, se debe ser capaz de identificar los grupos de personas que serán clientes de la aplicación, que tipo de clientes de voz se necesitaran y que aplicaciones serán utilizadas por estos clientes.

Comúnmente se presentan problemas en la implementación, debido a que no se identificaron correctamente las necesidades de los usuarios y de las aplicaciones.

Debe notarse que en algunas ocasiones se tendrán servicios basados en la ubicación y esto puede influenciar el diseño de la red inalámbrica. Como resultado de esto se debe definir el impacto de las aplicaciones móviles por adelantado y considerarlas en términos generales aplicables a toda la red; de esta manera se pueden descubrir resultados inesperados que pudieran presentarse más adelante; lo anterior se convierte en ahorro de recursos y tiempo.

4.2.1.2. Paso 2: áreas de cobertura y fases desarrollo de un proyecto

En este paso, se completa en términos generales el diseño de la red tomando en cuenta los principios del diseño acá descrito y los requerimientos del paso 1. La definición de las áreas de cobertura es crítica para establecer las expectativas de los usuarios finales. En muchos casos la implementación se realiza por fases, ya sea para tomar experiencia de las diferentes áreas implementadas o para acomodar presupuestos. En caso existan diferentes fases en el proyecto, estas deben ser identificadas claramente.

La revisión del diseño debe ser realizada con el fin de asegurar la robustez de la red y de la aplicación. Se puede recomendar que al menos el 10%-20% del plan sea reservado para cualquier cambio que surja en la revisión del diseño. Si la revisión del diseño no sufre ningún impacto en términos generales, es probable que dicha revisión no haya sido lo suficientemente estricta.

4.2.1.3. Paso 3: aprobación del plan

Se debe reunir a todas las personas responsables de la aprobación y presentarles el plan para la decisión, con el fin de asegurar el soporte y los recursos apropiados.

4.2.1.4. Paso 4: autoría de RF y *Site Survey*

Este paso debe de empezar con una evaluación informal de las instalaciones, lo cual se realiza con una inspección de las áreas designadas para la implementación.

El objetivo de esta evaluación del sitio es buscar cualquier problema que pueda afectar al desempeño de la red. Algunos ejemplos de estos problemas serían:

- La presencia de múltiples WLANs, ya sea de la misma empresa o de empresas que se encuentran en los alrededores.
- Instalaciones abiertas o que no tengan ningún tipo de divisiones.
- Variaciones de la cantidad de dispositivos en un área específica, ya sea por los cambios de horario o turnos o ubicaciones que aumentarán la densidad de usuarios en un tiempo determinado como salas de reuniones.
- Cambios extremos de temperatura.
- Presencia de dispositivos que generan señales que pueden entorpecer la red inalámbrica, como microondas o dispositivos *bluetooth*.

Después de que los resultados de esta inspección informal se han agregado al diseño, se da paso a la medición de RF que tiene como objetivo validar el diseño general. Este proceso se llama comúnmente inspección de sitio o *Site Survey*.

4.2.1.5. Paso 5: implementación

Después de ajustar el diseño a las mediciones de RF, es momento de instalar los puntos de acceso. Es muy importante documentar la red tal y como se está instalando y configurando en esta etapa, debido a que los ambientes de RF tienden a cambiar conforme el tiempo y en la mayoría de los casos el diseño de la red tendrá un tiempo de vida útil de 3 a 7 años. Las medidas del ruido ambiental al momento de la implementación inicial son bastante útiles para realizar búsqueda de problemas en un futuro.

4.2.1.6. Paso 6: prueba de RF

Es posible que pasen semanas o incluso meses entre la auditoria de RF, las inspecciones de sitio y la implementación de los puntos de acceso. Por esta razón, es una buena idea realizar pruebas de las características actuales de RF del equipo implementado para ayudar a asegurar que se cumplan los requerimientos. Además, algunas pruebas pueden realizarse para verificar la confiabilidad de la implementación bajo condiciones de alto tráfico.

4.2.1.7. Paso 7: ajustes de RF

En casi todas las implementaciones, la potencia deberá ser ajustada una vez que ya se ha terminado la implementación. Se recomienda que la potencia inicial sea alrededor de 50 mW y a partir de este valor elevar o disminuir. Muchas de las marcas poseen herramientas que permiten validar los requerimientos para el rango de cobertura.

4.2.1.8. Paso 8: puesta en operación

Las personas que toman las decisiones, deben definir con anticipación a los responsables de dar el soporte post implementación. La transición hacia este equipo se realiza en el paso 8, y serán los encargados del mantenimiento así como de la optimización de la red, basándose en los patrones de utilización que se vayan observando.

4.3. Planeación de la cobertura para VoWLAN (paso 1 y paso 2)

Para implementar una WLAN que esté lista para soportar servicios de voz, es importante anticipar la naturaleza de la movilización de los clientes de voz y enfocarse como mínimo en que las llamadas no se desconecten al momento que los usuarios se muevan a través del edificio. Esto significa que la red debe ser implementada con una cobertura continua en las áreas en las que se planea ofrecer servicios de voz.

Actualmente, existen en el mercado múltiples opciones que pueden satisfacer las necesidades de ambientes, con productos con capacidades para cubrir todo un nivel de un edificio y para instalación en ambientes externos o internos, con características que cumplen los requerimientos según la saturación del ambiente, vestíbulos, áreas de ingreso/egreso, parqueos, cafeterías, en general todo tipo de ambientes que puedan requerir cobertura. Adicional, se deben tener consideraciones especiales para coberturas en gradas, pasillos y elevadores, ya que en estas áreas se suelen llevar a cabo llamadas de importancia.

Es igualmente importante, para la satisfacción de los usuarios finales establecer expectativas apropiadas para el uso de aplicaciones de voz. Si la red de voz es requerida en áreas especiales, como centros de soporte a cliente o centros de llamadas, los usuarios deben esperar cierto nivel de servicio dentro de estas áreas.

Crear un servicio predecible es útil para la calidad del servicio. Los usuarios esperan que los teléfonos *Wi-Fi* tengan una operación con la misma calidad que un servicio celular y óptimamente igual a un servicio de línea

cableada. Esto significa que la WLAN debe minimizar cualquier interferencia para optimizar la calidad de las llamadas.

4.3.1. Ambiente RF para servicios de voz

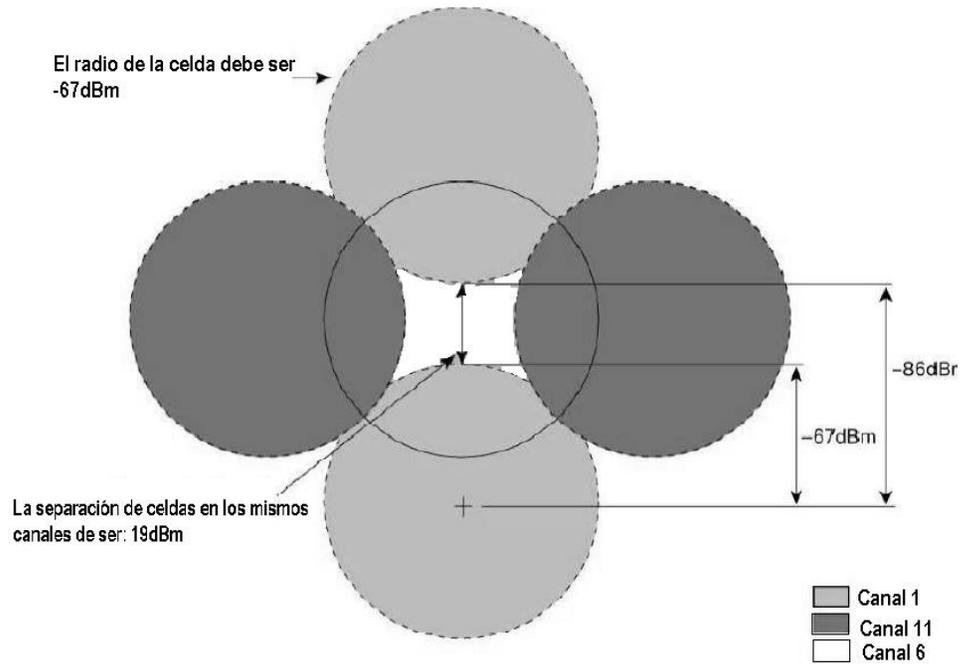
Los estándares IEEE 802.11 usan señales en 2.4 Ghz (802.11b y 802.11g) y 5 Ghz (802.11a). En la banda de 2.4 Ghz puede haber hasta 11 canales disponibles. Cada canal ofrece 11 Mbps o 54 Mbps (para 802.11b o 802.11g, respectivamente). Debido a que el medio inalámbrico es compartido y continuo, todos los clientes asociados a un punto de acceso sobre el mismo canal, compartirán el ancho de banda disponible en ese canal, y la potencia se verá disminuida con la distancia.

Para agregar capacidad a la red se necesita más puntos de acceso sobre canales no traslapados. En la banda de 2.4 Ghz, existen 3 canales no traslapados, sin embargo en la banda de 5 Ghz existen hasta 23 canales no traslapados, lo cual resulta en un incremento en la capacidad de la red, escalabilidad mejorada y la habilidad de implementar celdas adjuntas sin producir interferencia.

En el extremo de cada celda de voz, el valor del indicador de la intensidad de la señal recibida (*Received signal Strength Indicator, RSSI*) deberá ser -67 dBm (35 dB), aproximadamente, para optimizar el desempeño de la terminal. El concepto se ilustra en la figura 46.

El traslape entre celdas adjuntas en una red para asegurar la continua operación de los clientes, incluso en el evento de falla de alguno de los puntos de acceso, se recomienda entre un 15% a 20%.

Figura 46. Esquema de traslape de coberturas



Fuente: CISCO. White Paper Design principles for voice over WLAN. p. 5.

4.3.2. Auditoría de RF e inspección de sitio

El objetivo de cualquier inspección de sitio deberá ser realizar medidas de RF del ambiente actual, donde la red inalámbrica entrará en operación. En el caso de existir fuentes de señales provenientes de dispositivos ajenos a la red inalámbrica pero que generan señales en las mismas frecuencias que los puntos de acceso, estas señales vienen a proporcionar ruido al ambiente; tal es el caso de dispositivos como hornos de microondas, sistemas de radar o *bluetooth*. Con la llegada de tecnologías emergentes basadas en RF como redes sensoriales, esta tendencia continuará.

La inspección de sitio y herramientas para el análisis del espectro proveen una visión precisa de cualquier otra actividad de RF presente. Una inspección de sitio debe ser conducida usando el mismo plan de frecuencia para toda implementación, esto provee más precisión para estimar cómo un canal en particular y una ubicación en particular reaccionarán a la interferencia y a la propagación múltiple. La inspección de sitio debe realizarse con el mismo dispositivo terminal que finalmente será utilizado por los usuarios, en caso contrario se pueden obtener discrepancias entre el estudio y la operación normal. Lo mismo aplica para antenas internas y externas.

En resumen, la selección del tipo de puntos de acceso y clientes deberá definirse antes de la inspección del sitio. Mientras más dispositivos sean agregados, será necesaria una actualización periódica de la inspección, para ayudar a la optimización de RF dentro de la red. Estas actualizaciones se consideran parte del paso 8.

Se recomienda realizar varias inspecciones de sitio, durante días y horarios distintos para asegurar que se obtenga una vista apropiada del dominio de RF. La actividad de RF es variable y depende de muchos factores, incluyendo la actividad de los empleados. La inspección de sitio debe identificar las fuentes de RF que producen interferencia y la variación en los patrones, debido a los cambios físicos que puedan tener los alrededores, por ejemplo, movimiento de maquinaria y la presencia de elevadores, por mencionar unos ejemplos.

Una visión clara del dominio de RF ayuda a disminuir las fuentes de interferencias potenciales. La inspección de sitio debe identificar áreas dentro de la implementación que puedan requerir capacidad adicional, debido a concentración de usuarios o interferencia de canales.

4.3.3. Herramientas de planeación para WLAN

Las herramientas de planeación para redes inalámbricas son básicamente *softwares* que ayudan a la administración de los recursos. En general, este tipo de aplicaciones trabaja de mejor forma cuando se utiliza la misma marca en todos los dispositivos que integran la red, sin embargo esto no quiere decir que no se pueda optimizar una red con múltiples marcas, aunque será más difícil su ajuste. Algunas de estas herramientas de *software* permiten importar los planos del diseño de la construcción y asignar las características de RF. Con esto se puede predecir con mucha exactitud y visualizar el comportamiento de la red inalámbrica. Algunas de estas herramientas son:

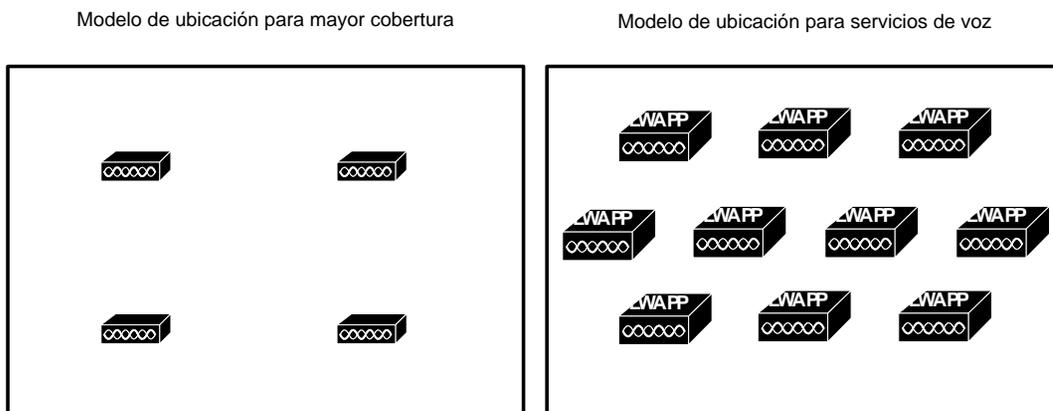
- Siemens - Hipath Wireless Manager
- Enterasys - Wireless Management Suite
- CISCO - Cisco Wireless Control System
- Alcatel-Lucent OmniAccess Wireless Base *Software*

Las herramientas de planeación son ideales para ambientes ordinarios, sin embargo para ambientes más desafiantes se sugiere la contratación de empresas especializadas. Adicionalmente, los dispositivos terminales, para ser específicos los teléfonos de inalámbricos *VoIP*, cuentan con facilidades que ayudan a realizar las inspecciones de sitio, mostrando información de los puntos de acceso al alcance y niveles de potencia. Esta información es útil para realizar la inspección precisa de sitio, en las ubicaciones más problemáticas. Algunas dispositivos incluso, muestran información de registro de errores, acceso a página web interna para diagnóstico y capacidades de análisis del espectro.

4.3.4. Ubicación de los puntos de acceso

La ubicación de los puntos de acceso es una importante característica en la configuración de la red para servicios de voz. En contraste con la teoría tradicional de implementación de los puntos de acceso, en la cual se recomienda dicha implementación con el objetivo de cubrir una mayor extensión de la ubicación, en sistemas de VoWLAN se recomienda la ubicación considerando la densidad de usuarios utilizando la mayor cantidad de puntos de acceso, evitando la generación de interferencias excesivas. El modelo de la colocación preferida de puntos de acceso, los ubica alrededor del perímetro del edificio, para luego rellenar en el centro, tal como lo muestra la figura 47:

Figura 47. Modelos de ubicación de los puntos de acceso



Fuente: elaboración propia.

Como una guía y punto de inicio para la inspección de sitio, en una red WLAN que soporta servicios de voz, los puntos de acceso deberán ser implementados con una densidad aproximada de un punto de acceso por cada

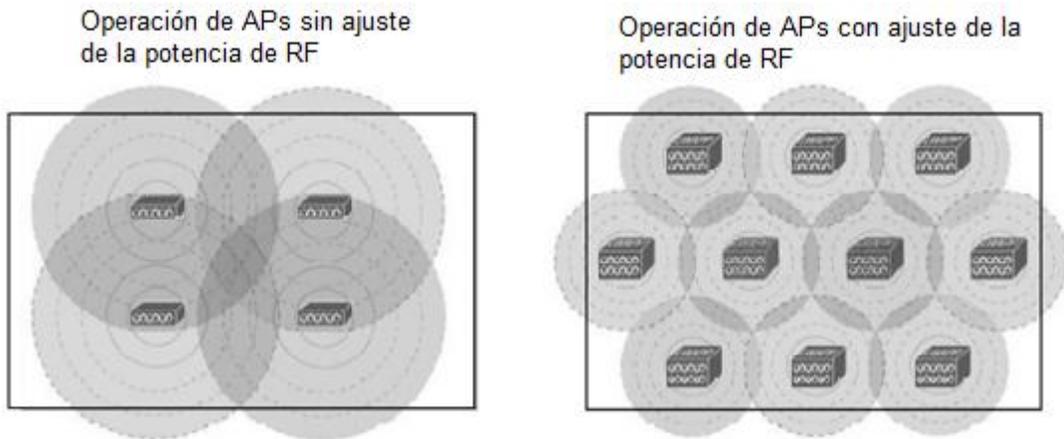
278 m², por el contrario del otro modelo donde se sugiere un punto de acceso cada 464.51 m² para uso de redes, únicamente de datos.

Para calcular el número de puntos de acceso requerido para una implementación, debe dividirse el área total de las instalaciones por 278 y así se obtiene un buen número para iniciar el diseño. Esta densidad de puntos de acceso ayuda a que los servicios de voz tengan la cobertura de RF necesaria y el *throughput*, requerido, para proporcionar una capacidad óptima para el servicio. Aún así, es necesario realizar la inspección de sitio para maximizar la cobertura y minimizar las interferencias.

Las terminales y los puntos de acceso se comunican vía radiofrecuencia en un canal en particular. Cuando se comunican a través de este canal, las terminales no advierten el tráfico y la comunicación que ocurre en otros canales que no se traslapan. Una función de las herramientas de *software* para la administración de redes inalámbricas es el manejo de la potencia de salida de los puntos de acceso, el cual se puede ajustar según la topología.

En una implementación con densidad elevada de puntos de acceso, la potencia transmitida por cada punto de acceso se tiene que disminuir hasta conseguir el límite de interferencia de canales traslapados con otros vecinos, como se muestra en la figura 48.

Figura 48. **Operación de la potencia de RF**



Fuente: CISCO. White Paper Design principles for voice over WLAN. P.8.

4.3.5. Planeación de la capacidad de los servicios de voz

El algoritmo utilizado por las redes inalámbricas 802.11 se basa en protocolos de contención (CBP), en los cuales se permite a varios usuarios usar el mismo canal de RF. Este procedimiento es conocido comúnmente como “escucha, luego habla”. Basado en este método de acceso, encabezados, cálculo de ancho de banda y pruebas de voz sobre redes inalámbricas, se ha determinado que un punto de acceso de IEEE 802.11b soporta hasta 7 flujos de llamada con un códec G.711 u 8 flujos usando G.729, y un cantidad razonable de tráfico de datos. Una sesión telefónica activa es la que transporta una conversación. Un cliente de voz que está asociado al punto de acceso y no mantiene una sesión, no es considerado activo.

Dentro de una celda con tráfico de voz activo, se debe poder asegurar los recursos necesarios para mantener la sesión.

Los dispositivos actuales son capaces de proporcionar y asegurar los recursos a través de la herramienta de QoS conocida como *Call Admission Control* (CAC). El controlador del sistema inalámbrico mantiene una visión de toda la red de clientes, junto con el total de la capacidad de las llamadas entre todos los puntos de acceso sobre un mismo canal. Esta facilidad ayuda a asegurar la capacidad de llamada entre puntos de acceso. El resultado es un desempeño más confiable y una respuesta más predecible.

Otro importante requerimiento para la red inalámbrica es el apropiado aprovisionamiento del ancho de banda. La asignación de ancho de banda implica el ancho de banda entre la red cableada y la inalámbrica, así como el número de llamadas de voz simultáneas que un punto de acceso pueda manejar. Los puntos de acceso típicamente se conectan a la red cableada con enlaces de 100 Mbps a puertos de un conmutador.

En las redes a la fecha instaladas, basadas en 802.11b el *throughput* debería ser 11 Mbps. Luego de considerar la naturaleza *half-duplex* del medio inalámbrico y encabezados, se tendría alrededor de 7 Mbps. La discrepancia en el *throughput* entre la red cableada e inalámbrica, puede resultar en descarte de paquetes cuando existen ráfagas de tráfico en la red.

Al momento de enviar excesivas ráfagas de tráfico al punto de acceso, el cual las recibirá y las descartará, es mejor idea limitar la tasa de transferencia o aplicar políticas de tráfico a una tasa que la red inalámbrica pueda soportar. El envío de tráfico excesivo que el punto de acceso recibe y descarta, también causa incremento en la utilización de procesador y congestión. Aplicar políticas adecuadas a una tasa de 7Mbps en el link del punto de acceso, ayuda a que el tráfico sea descartado en conmutador de la capa de acceso.

Es importante notar que dependiendo de la implementación, el *throughput* puede incluso ser menor a 7Mbps, especialmente si el número de dispositivos asociados a cada punto de acceso sobrepasa la recomendación.

4.4. Infraestructura inalámbrica para servicios de voz

Los servicios de voz sobre una red inalámbrica vienen a agregar ciertos requerimientos. Los siguientes son mejoras tecnológicas que se deben implementar cuando se planea una red con servicios de voz.

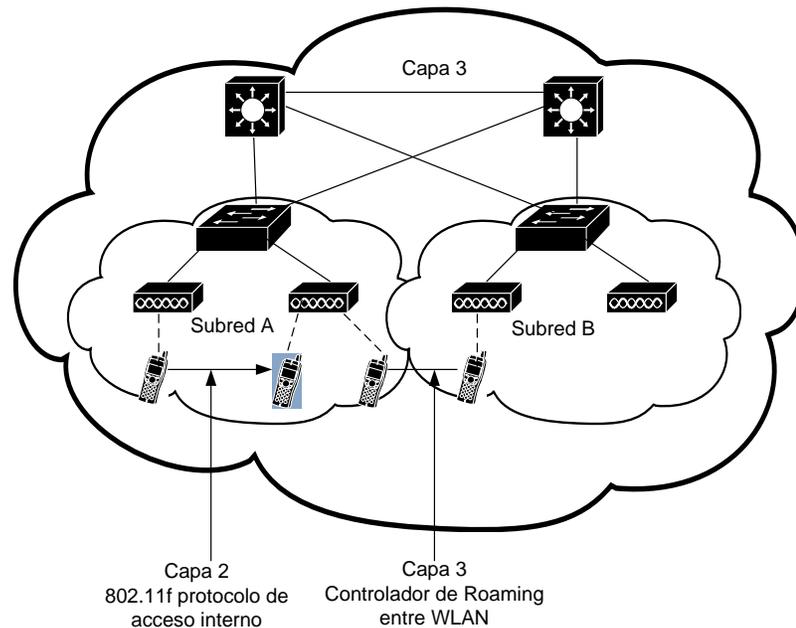
4.4.1. Roaming

El *Roaming* es integral en los servicios de voz sobre redes inalámbricas. Un cliente de voz, inalámbrico, debe ser capaz de mantener la asociación de uno de los puntos de accesos a otro y con la mínima latencia posible. Es importante entender lo que es el *Roaming*, cómo se relaciona a los requerimientos de infraestructura, cómo y cuándo ocurre. Es también importante conocer los tipos de *Roaming* y sus diferencias.

Para implementar *Roaming*, los administradores deben de considerar cuidadosamente los esquemas de direccionamiento IP, antes de implementar los clientes de voz inalámbricos. En particular, es necesario considerar cómo se sobrepone la cobertura de la *WLAN* con el direccionamiento de capa 2 y capa 3 dentro de la red IP.

Una red de capa 2 estará definida como una única subred IP y dominio de *Broadcast*, mientras que la red de capa 3 estará definida como una combinación de múltiples subredes y dominios de *Broadcast* (Figura 49).

Figura 49. Roaming capa 2 y capa 3



Fuente: Cisco. White Paper Design principles for voice over WLAN. p.10.

4.4.2. Roaming capa 2 en una misma subred IP

Al igual que en una infraestructura de red LAN cableada, cuando se implementa VoWLAN, se recomienda habilitar al menos dos VLANs en la capa de acceso. En un ambiente inalámbrico LAN, la capa de acceso incluye el punto de acceso y el primer salto de conmutador (*first-hop Switch*). Las redes inalámbricas también deben separar los servicios de voz y datos a través de los identificadores (SSIDs) para asegurar que el tráfico de voz y los parámetros de seguridad apropiados sean optimizados y personalizados gracias a esta separación de tráfico. Además, así como en los dispositivos terminales LAN cableados, los terminales inalámbricos deben ser direccionados usando direcciones de subred privadas RFC 1918.

Se pueden utilizar más de dos VLANs, dependiendo de los tipos de dispositivos disponibles dentro de la red y pueden asignarse diferentes características de seguridad.

Con una VLAN de voz a través de la red corporativa, cada punto de acceso conectado a la red debe ser capaz de agregarse a la VLAN de voz y de datos. Todos los clientes que se mueven alrededor de los ambientes del edificio, deben ser capaces de mantener la conexión sin notar alguna interrupción porque nunca dejan la subred de voz, por lo tanto siempre tienen acceso a los recursos de red requeridos.

4.4.3. *Roaming* capa 3 a través de subredes

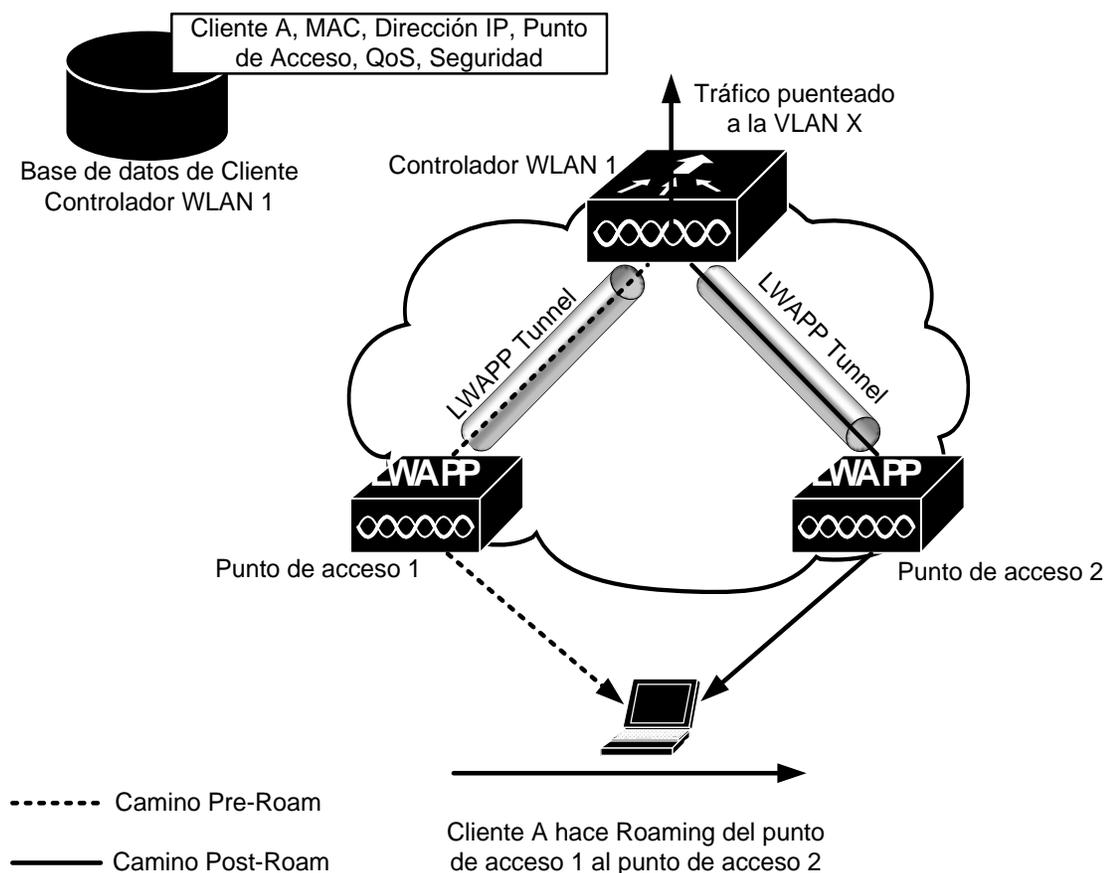
En casos donde la configuración de VLANs capa 2 se vuelve difícil, se recomienda que la capacidad de *Roaming* se defina operando a través de subredes de capa 3. Esto elimina la necesidad de configurar VLANs capa 2 desplegadas en toda la red empresarial y reduce los costos operacionales asociados con configuración.

Es posible agrupar los dispositivos en grupos móviles de capa 3, con lo cual se consigue un mecanismo donde se invoca los recursos deseados para el comportamiento del cliente. Un Grupo Móvil hace más que definir la conectividad de RF. Define los recursos de infraestructura y su conectividad con los demás. Si un cliente necesita hacer *Roaming* transparente de una locación a otra, incluso en diferentes subredes, los recursos en esas locaciones deben ser definidos en el Grupo Móvil.

Cuando un cliente inalámbrico se asocia y se autentica a un punto de acceso, los controladores inalámbricos LAN hacen seguimiento de estos

clientes en su base de datos, cuando el cliente hace *Roaming*, a otro Grupo Móvil, la dirección MAC y dirección IP del cliente, características de seguridad asociadas, QoS, WLAN IDs y punto de acceso, son transferidos al nuevo controlador WLAN.

Figura 50. **Roaming entre puntos de acceso**



Fuente: CISCO. White paper design principles for voice over WLAN. p.11.

Cuando el cliente inalámbrico mueve la asociación de un punto de acceso a otro, los controladores actualizan la base de datos de clientes registrados a ese nuevo punto de acceso.

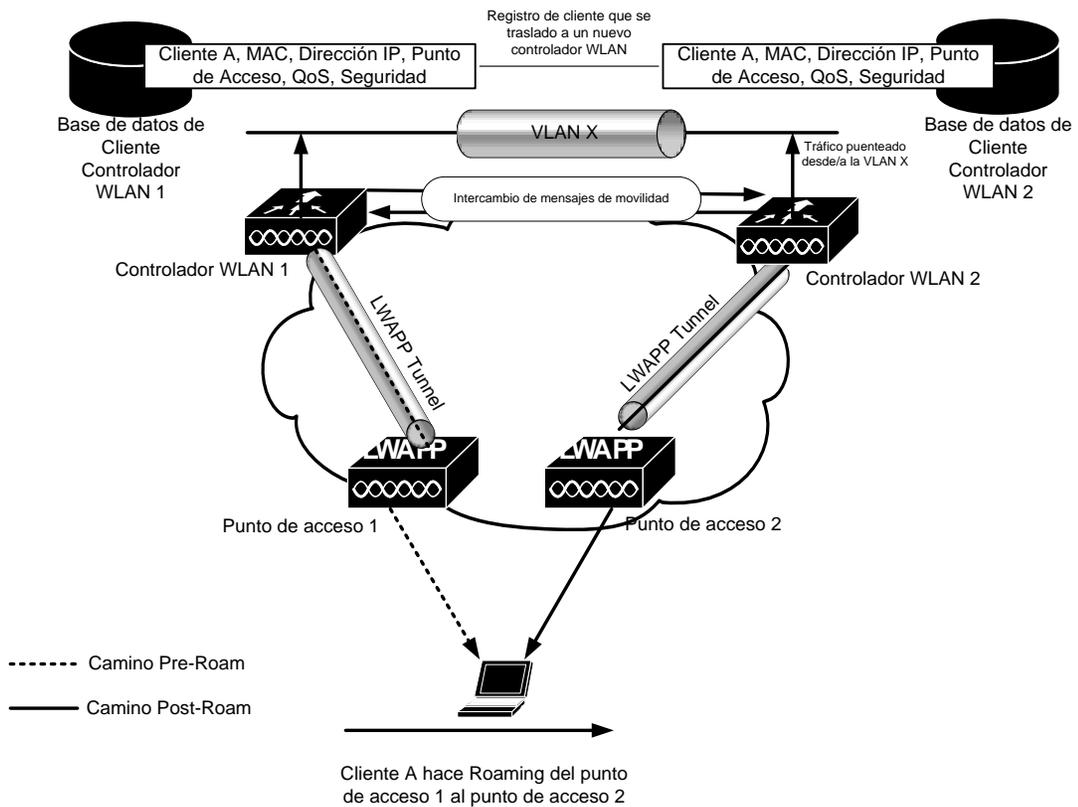
De ser necesario, se asociarán las políticas de seguridad. Esta capacidad ayuda a asegurar que las aplicaciones sensibles al tiempo, *VoIP*, pueden ser completamente móviles y aseguren una latencia mínima.

Con una arquitectura basada en un controlador, es posible que el cliente haga *Roaming* de un punto de acceso disponible a otro punto de acceso disponible. Con un controlador de *Roaming*, la infraestructura mantiene las características, además existen protocolos de intercambio de información sobre clientes entre controladores.

Los nuevos controladores que se agreguen intercambian mensajes de la movilidad con el controlador original y los registros de la base de datos de cliente son trasladados al nuevo controlador.

Las características de seguridad y las asociaciones son establecidas de ser necesario, y los registros apropiados en la base de datos son actualizados. Este proceso se conoce con *Inter-access-point handoff*, y es transparente para el usuario.

Figura 51. **Controlador de Roaming capa 3**



Fuente: CISCO. White paper design principles for voice over WLAN. p.12.

Para habilitar los grupos de movilidad, el administrador simplemente define cuáles son las ubicaciones físicas a incluir. Como una guía general, un grupo móvil debe abarcar un área con una cobertura de 80% a 90% de los patrones de *Roaming* del usuario; de lo contrario, los clientes no podrán hacer *Roaming* transparentemente. Por lo tanto, antes de habilitar los grupos de movilidad, los implementadores deben tener una elevada comprensión sobre cómo los usuarios se moverán a través del edificio e incorporar este conocimiento a la creación de cada grupo móvil.

4.4.4. Consideraciones de calidad de servicio (QoS)

Las políticas de QoS en una red inalámbrica son más que una simple priorización de un tipo de paquete sobre otro tipo. El tráfico WLAN no es determinístico, el acceso a los canales está basado en algoritmos binarios definidos por el estándar 802.11 y su naturaleza es variable, porque depende del número de clientes que ingresan a la red. El factor móvil, hace que sea más difícil el control. El número de usuarios activos en cualquier ubicación es dinámico y no puede ser determinado por ninguna herramienta de administración. Cumplir con las necesidades de QoS de los usuarios móviles de voz determinará si la implementación resultará en éxito o en fracaso.

4.4.5. QoS y VLANs

Es recomendable el uso de VLANs para separar el tráfico de voz del tráfico de datos, asignando SSID en la WLAN para cada VLAN. Usar VLAN separadas, permite designar características específicas de QoS a todo el tráfico de voz con un perfil más alto. Comúnmente se utilizan niveles de QoS tales como: voz, vídeo, *Best Effort*, entre otros.

Separar el tráfico por VLANs y usar perfiles de QoS reduce la probabilidad de que los clientes de datos saturen la WLAN de voz con causar tráfico de encabezados y retrasos innecesarios. Debe notarse que esto es en adición a la recomendación previa de RF de asegurar canales con traslapados para evitar la interferencia. No debe de malinterpretarse como una sustitución a la recomendación.

Todo el tráfico de WLAN que transita entre los puntos de acceso y el controlador inalámbrico es encapsulado. Esta encapsulación mantiene la

marca de capa 3 en el paquete original. Una vez que al paquete se le remueve la encapsulación en el punto de acceso o en el controlador, la marca original de capa 3 es usada nuevamente por los mecanismos de QoS. Con esta capacidad la red logra servicios de QoS para voz de extremo a extremo, sobre el medio inalámbrico y a través de la red cableada.

4.4.6. IEEE 802.11e y WI-FI multimedia

Para mejorar la confiabilidad de las transmisiones de voz en este ambiente inalámbrico no determinístico, se recomienda que los dispositivos terminales soporten el estándar IEEE 802.11e y sea certificado como WMM (*Wi-Fi Multimedia*). WMM habilita diferenciación de servicios para voz, vídeo, *best effort data* y cualquier otro tráfico. Sin embargo, para que esta diferenciación de servicios provea suficiente QoS para paquetes de voz, solo cierta cantidad de ancho de banda de voz puede servirse o admitirse en una canal a la vez. Si la red puede manejar n cantidad de llamadas con ancho de banda reservado cuando la cantidad de tráfico de voz rebase este límite (esto sería n+1 llamadas), la calidad de las llamadas decaerá.

4.4.7. Control de admisión de llamadas

La mayoría de dispositivos de red inalámbrica soportan *Call Admission Control*. CAC sirve para controlar la capacidad de llamadas por punto de acceso. Los dispositivos procesadores encargados del procesamiento de las funciones de las llamadas en una red, proveen características de CAC adicionales para red cableada, ayudando a asegurar la implementación de CAC de extremo a extremo.

Las facilidades de CAC permiten la reserva de ancho de banda y requerimientos de acceso en cada punto de acceso vecino para que pueda suceder sin ningún problema el *Roaming*. Una vez que el límite del ancho de banda de voz es alcanzado, la carga adicional de la siguiente llamada será balanceada al siguiente punto de acceso vecino, y la llamada podrá ser completada sin ninguna afectación de la calidad en las llamadas ya establecidas.

La dificultad de proveer una buena función CAC depende de la ubicuidad de la cobertura diseñada, recomendada anteriormente. Cuando se habilita CAC y los dispositivos terminales ya están en uso, se recomienda el uso de una herramienta que permita administrar de manera global desde el controlador inalámbrico todos los puntos de acceso, ya que un punto de acceso administrado aisladamente no permitirá la misma cantidad de tráfico que uno que es parte de la red y es tomado en cuenta en la vista general.

Los puntos de acceso cuantifican las MAC de los clientes y puntos de acceso vecinos, para determinar si la cantidad de tráfico en un canal RF determinado soportara una nueva llamada.

4.5. Consideraciones de seguridad para el diseño

La implementación de la seguridad de una WLAN es prioridad. Los exigentes requerimientos para voz en términos de tiempo de entrega y predictibilidad, aunados con la habilidad de los clientes para movilizarse entre puntos de acceso, presentan todo un desafío a los esquemas de seguridad.

4.5.1. Administración de claves y EAP-FAST

Para minimizar los retrasos introducidos por autenticación de los clientes al momento de *Roaming*, se recomienda utilizar *extensible Authentication Protocol – Flexible Authentication via Secured Tunnel* (EAP-FAST). Este es el método de autenticación 802.1x, que encripta las transacciones EAP en un túnel con la capa de transporte de seguridad. Es muy similar a otros métodos de autenticación como *Protected Extensible Authentication Protocol* (PEAP), pero difiere en que el establecimiento es basado en claves más fuertes y únicas para cada cliente. Estas claves se conocen como *Protected Access Credentials* (PACs), las cuales son generadas usando una clave maestra.

Durante el *Roaming*, el tiempo para volver a autenticar con un servidor de RADIUS puede tomar 500 ms o más. Existen mejoras que se han diseñado para poder disminuir el tiempo de autenticación a 100 ms. Estas mejoras permiten una negociación de una clave de sesión generada por una clave maestra y evita la necesidad de realizar la autenticación, autorización y contabilización (*Authentication, Autorization, Accounting – AAA*) con un servidor durante el *Roaming*. Cuando el cliente hace *Roaming*, informa a la infraestructura que ha saltado y esta traslada las claves al nuevo punto de acceso. La eficiencia de EAP-FAST ayuda asegurar la máxima protección con un mínimo de tiempo de transacción.

4.5.2. Seguridad de la VLAN de voz y diseño de SSID

Las redes VLAN permiten separar la red física en múltiples redes lógicas. Para la seguridad de las llamadas de voz, se recomienda crear VLANs separadas y SSID exclusivos para voz. A la vez, asociar el SSID de voz con la VLAN de voz, crea una red de voz unificada a través de la red cableada y con

perfiles de seguridad y QoS consistentes. El controlador WLAN trasladará el tráfico de los SSIDs de voz a la VLANs de voz. La ventaja principal de esta separación física del tráfico de voz y el de datos, es que el tráfico que es enviado sobre la red de voz no es visible para los usuarios de la red de datos internos ni externos y viceversa.

Los siguientes son algunas de las formas cómo las VLANs protegen los sistemas de voz de las amenazas de seguridad:

- Prevención de fraudes de tarifas: las compañías puede aplicar diferentes políticas de acceso a la VLAN de voz; por ejemplo, autorización a los empleados a las diferentes áreas de la red (voz y datos). Establecer una VLAN de voz separada también previene que los empleados que pertenecen a una VLAN no usen la VLAN de otro departamento y se evita cargos en la cuenta de ese departamento.
- Prevención de ataques DoS (*Denial-of-Service*): la mayoría de ataques de DoS se originan en una computadora, por lo tanto, no se puede afectar a los teléfonos IP y a los servidores de procesamiento de llamadas que están conectados en una VLAN de voz separada.
- Prevención de *eavesdropping* (escuchar) e interceptar: los intrusos (*hackers*) típicamente escuchan conversaciones usando un computador con algún tipo de *software*, conectados en la misma VLAN en la que se encuentren los terminales en sesión. Si se realizan particiones lógicas, prácticamente se está aislando esa conversación de la VLAN en la cual se encuentra la computadora.

4.5.3. Mejores prácticas para la seguridad inalámbrica

Con todas las recomendaciones anteriormente mencionadas, también se encuentran las prácticas más empleadas en la seguridad inalámbrica. Se pueden nombrar las cinco más importantes.

- Crear una política de seguridad WLAN
- Asegurar la WLAN
- Asegurar la red cableada (*Ethernet*) contra amenazas provenientes de la red inalámbrica
- Defensa de la organización contra amenazas externas
- Informar a cada uno de los empleados de las políticas para salvaguardar la red

La política de seguridad, es básicamente una introducción del por qué se están incluyendo servicios inalámbricos en la red y el rol que tendrá esta herramienta en las aplicaciones o funciones de la empresa. Se debe definir la autoridad de la política, quienes la respaldan, el equipo de soporte, los usuarios que aplican y las consecuencias de perjudicar o ir en contra de la política de acceso. Además, es necesario informar sobre los riesgos corporativos y las consecuencias por no cumplir con los lineamientos, impactos y cualquier otra información relacionada que se considere de relevancia.

Para asegurar la WLAN debe modificarse el SSID por defecto, utilizando encriptación fuerte, implementando métodos de autenticación entre clientes y red, usar VPNs o WEP y algún tipo de control de acceso MAC, identificadores de red, asegurar los puertos de administración, implementación de puntos de

accesos *Lightweight*, asegurar el acceso físico a los puntos de acceso y monitoreo de las instalaciones.

Para asegurar la red cableada contra amenazas inalámbricas, debe hacerse a través de la implementación y habilitación de direccionamiento exclusivo para los puntos de acceso y clientes inalámbricos.

Se recomienda el uso de dispositivos con servicios de seguridad tales como *firewalls*, VPN, *software* antivirus, etc.), en el caso de defensa contra las amenazas externas.

Se debe informar a cada uno de los empleados de las políticas para salvaguardar la red; es decir mantener público las políticas de seguridad inalámbrica, ya sea con correos internos o con anuncios dentro de las instalaciones.

4.5.4. Requerimientos de clientes de voz sobre WLAN

Una red de voz WLAN requiere que los clientes sean capaces de soportar los estándares de 802.11 para QoS. Además de que será útil que soporte la infraestructura de *Roaming*, administración, facilidades de seguridad y sean compatibles con los puntos de acceso y demás dispositivos de red.

4.6. La inspección de sitio (*Site Survey*)

Así como fue descrito en la sección anterior, la inspección de sitio es una actividad indispensable para asegurar que los requerimientos de cobertura inalámbrica se cumplan. A continuación se hará una revisión preliminar de un edificio de varios niveles en el cual se realizará una inspección de sitio. La

mayoría de los niveles cuenta con espacios de oficina básicos y espacios de demostraciones a clientes, los cuales son compartidos; implicando consideraciones que se deberán tomar en la inspección.

4.6.1. Revisión del sitio

El primer paso para cualquier inspección es hacer una revisión rápida al sitio. Se revisaran los planos de construcción en caso estuvieran disponibles, cuestionarios, recopilación de información desde el cliente, etc. Esto proporcionará una comprensión decente del ambiente que se va a evaluar y permitirá elaborar un plan para el método de inspección, el tiempo que tomará y el equipo necesario para las pruebas.

El tiempo que se calcule, se recomienda extenderlo lo suficiente para realizar otras tareas y contemplar la adición a la red de cualquier componente que haga falta.

Si al finalizar, sobrara tiempo, siempre es útil para la implementación u optimización de WLAN. Con lo anterior en mente es momento de realizar la revisión (de las características físicas y de RF básicas) del plano:

Figura 52. Plano de ejemplo



Fuente: SIEMENS. HiPath Wireless Controller, Access Points and Convergence Software V4.0 Site Survey Guide. p.74.

Según el número asignado en el mapa se puede definir:

- Ingeniería: en este departamento existen empleados que comúnmente tienen herramientas que pueden causar interferencias, producir EMI o dispositivos generadores de RF.
- Cuarto de equipos: no es una ubicación que afecte directamente al modelo de RF; sin embargo es tomado en cuenta, ya que de esta ubicación saldrán los cableados a los puntos de acceso y consideraciones de alimentación sobre *Ethernet*.

- Cuarto de suplementos o almacenamiento: aunque esta área no es de relativa importancia, puede contener elementos que contaminan la propagación de la señal.
- Horno de microondas: la frecuencia de un microondas puede variar pero usualmente es 2.45-2.50 GHz, lo cual si coincide con algunos canales del espectro de 802.11. La mayoría de los hornos microondas modernos están contruidos de modo que contienen apropiadamente la interferencia que estos mismos producen, aún así, se recomienda mantenerlos lejos de los puntos de acceso.
- Vidrio reforzado con malla: este tipo de vidrio es usado comúnmente en las empresas.
- Cuarto de baño: contiene componentes como espejos, azulejos, metal, etc. Estos espacios no necesariamente necesitan cobertura en su interior, pero podrían estar en el borde de dos áreas que sí lo necesitan.
- Librería: al igual que el área de almacenamiento, usualmente tienen gabinetes metálicos o de madera que cubren el espacio del suelo al techo, los cuales perjudican la señal.
- Elevadores: prácticamente son cajas metálicas aisladas sin una posición fija que representen una barrera física para RF. Esto no significa que no sea posible la cobertura dentro del elevador, pero es más desafiante.
- Salas de conferencias: en estos sitios no hay muchos factores que limiten la propagación, más bien la mayor preocupación es la capacidad que pueda necesitarse para cubrir concentraciones de usuarios.
- Divisiones móviles: se encuentran en salas de reuniones o de conferencias y se utilizan para hacer divisiones provisionales de espacios. La reflexión o absorción de RF dependerá básicamente del material con el

que estén fabricadas. Se recomienda hacer la inspección con y sin las paredes móviles.

- Área de gradas: los materiales usados en la construcción de graderíos tienden a generar interferencia comportándose como obstáculos. Aunque normalmente los problemas se resuelven con la ubicación de puntos de acceso en estas áreas.
- Desperdicio de RF o *RF BLEED*: esto incluye todas las áreas que no se pretende dar cobertura. Por asuntos de seguridad se debe mantener la propagación de RF dentro de los límites de las instalaciones.
- Fuentes existentes de RF: muchas de las *VoWLANs* son instaladas en ambientes donde ya existen redes inalámbricas. El cuestionario que recopila información deberá obtener los detalles de la misma, acerca de todos los aspectos de RF. Estas redes inalámbricas pueden tratarse incluso de tecnologías como FHSS, DSSS de sistema de telefonía anteriores.
- Vecinos de RF: la popularidad que han adquirido las redes inalámbricas ha hecho que se extienda el uso de ellas, por lo que es bastante probable tener vecinos que cuenten con su propia red inalámbrica. Esta es una situación inevitable, por lo que se recomienda analizar cada cierto tiempo y hacer los ajustes necesarios.
- Área *Plenum*: es un área no muy conocida, pero se refiere al espacio existente entre el techo estructural y el cielo falso. El efecto que tiene, es que puede afectar de cierta forma la propagación de RF debido a los elementos que contiene en su interior.
- Salidas de emergencia: normalmente estas áreas contienen elementos como ductos, envoltorios de *plenum*, espumas, etc. El cuidado que se

debe de tener es simplemente que no obstruyan la instalación y posicionamiento de los puntos de acceso.

4.6.1.1. Otras consideraciones de inspección de sitio e implementación

Después de recopilar toda la información, evaluarla y eliminar todos los problemas potenciales, ahora es momento de utilizar el equipo de inspección. Este deberá de contar con:

- Un terminal *VoWLAN* con características apropiadas para inspección
- Computadora portátil con *software* apropiado para el análisis
- Mástil móvil
- Antenas de varios tipos
- Accesorios de montaje temporales
- Cinta para marcar
- Rueda métrica
- Cámara
- Intercomunicadores inalámbricos
- Analizador de espectro
- Receptor de RF
- *Software* de modelaje de RF

Deben tomarse en cuenta los siguientes pasos:

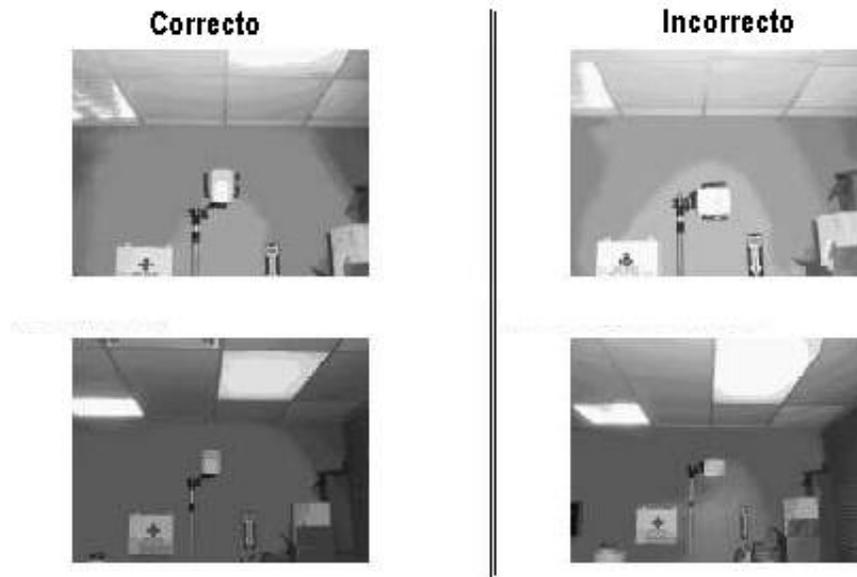
- Paso 1: el objetivo es tener un resultado que refleje cómo va a ser la propagación de RF, por lo que se recomienda el uso de varias terminales con un mismo tipo de punto de acceso. De ser posible, se recomienda el uso de las mismas terminales que estarán bajo la cobertura. Las terminales normalmente tienen un modo de inspección y análisis de la señal, lo cual proveerá información sobre cómo exactamente esta terminal recibirá la cobertura.
- Paso 2: será necesario utilizar un punto de acceso colocado en el mástil el cual simulara la posición del punto de acceso que finalmente quedara fijo para la cobertura de esa área.

4.6.1.2. Selección del AP y la orientación

Ya sea para la implementación o para la inspección, el modelo y la orientación del punto de acceso es crucial para proveer la apropiada cobertura, analizar las zonas de transición, etc. El uso de una antena externa versus una interna, dependerá de los requerimientos de la ubicación y la orientación.

La referencia que el inspector deberá siempre tomar en cuenta es el patrón de radiación de la antena y la posición en que esta se ubique. La propagación más efectiva se sugiere sobre el plano H. Se muestra una imagen de ejemplo:

Figura 53. **Forma correcta de posicionar un punto de acceso**

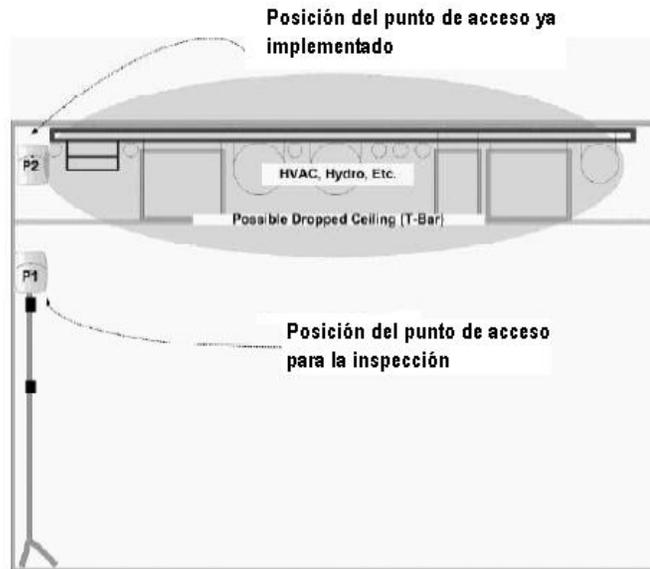


Fuente: SIEMENS. HiPath Wireless Controller, Access Points and Convergence Software V4.0 Site Survey Guide. p.83.

4.6.1.3. Impedimentos visibles y no visibles a la propagación de la señal de RF

Normalmente, la mejor manera de ubicar un punto de acceso para optimizar la cobertura, no corresponde a la forma más estética; en otros casos, los lugares para el montaje son limitados. En la imagen siguiente se ve como en la inspección no se ve afectada la propagación por ningún elemento, sin embargo, la posición final sí tendrá muchos inconvenientes.

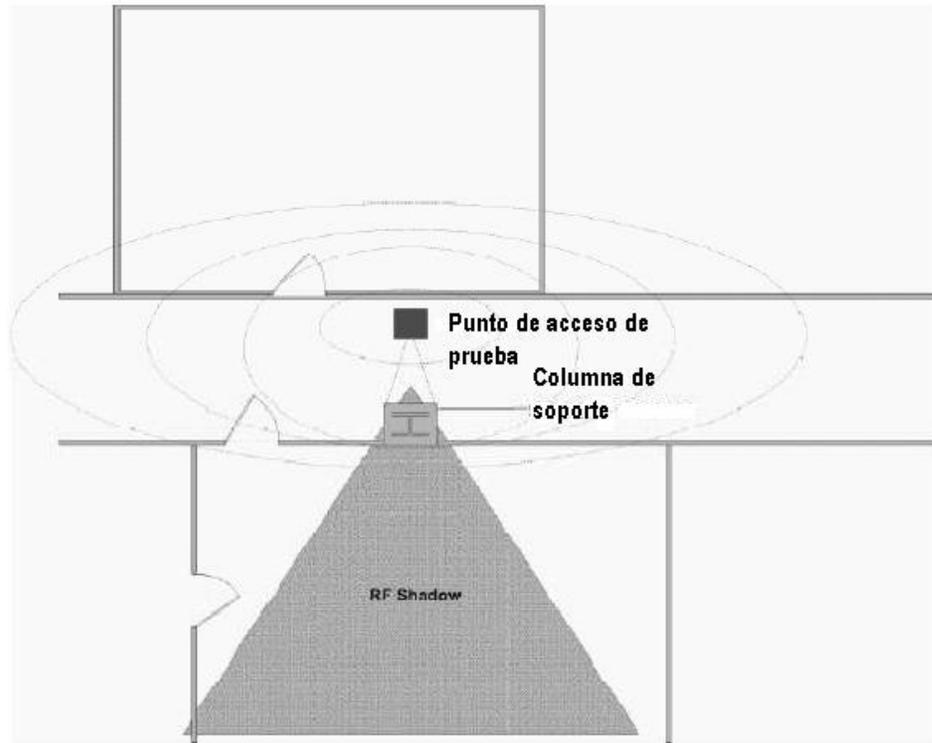
Figura 54. Prueba de ubicación de punto de acceso



Fuente: SIEMENS. HiPath Wireless Controller, Access Points and Convergence Software V4.0 Site Survey Guide. p.85.

La figura 55 muestra un punto de acceso que se ve afectado por una columna de soporte, la cual genera una sombra en todo un cuarto a pesar de estar propagando en una área amplia; el cuarto más próximo no recibe ninguna señal.

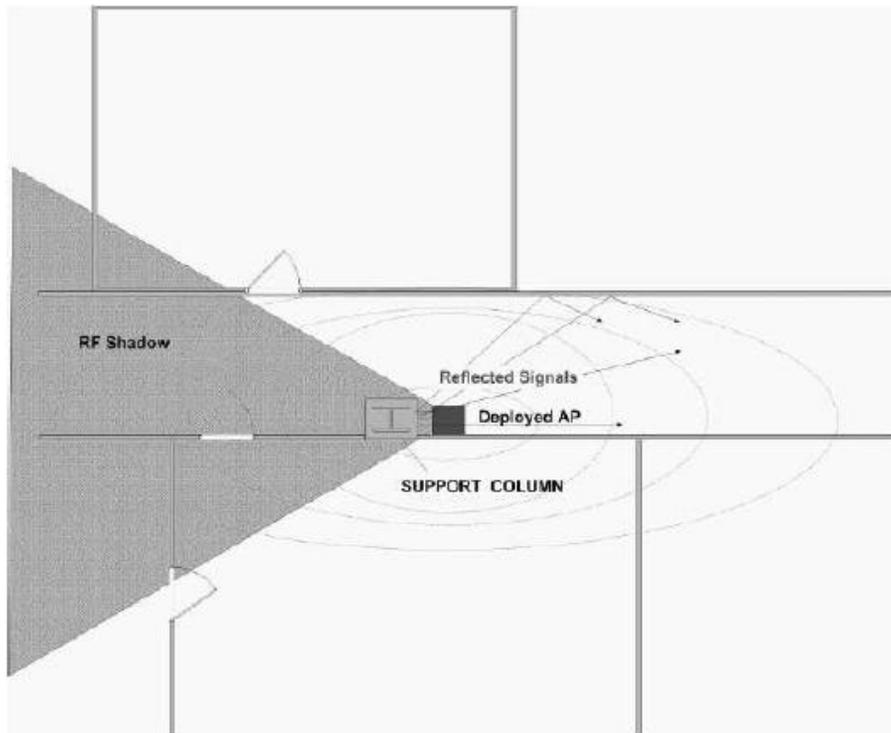
Figura 55. **Ubicación de un AP con afectación de propagación**



Fuente: SIEMENS. HiPath Wireless Controller, Access Points and Convergence Software V4.0 Site Survey Guide. p.87.

En figura 56 vemos que aunque cambiemos de ubicación el punto de acceso siempre vamos a tener un área afectada.

Figura 56. **Ubicación de un AP con afectación de propagación**



Fuente: SIEMENS. HiPath Wireless Controller, Access Points and Convergence Software V4.0 Site Survey Guide. p.88.

4.6.1.4. Consideraciones de pisos adyacentes y dispersión de la señal de RF

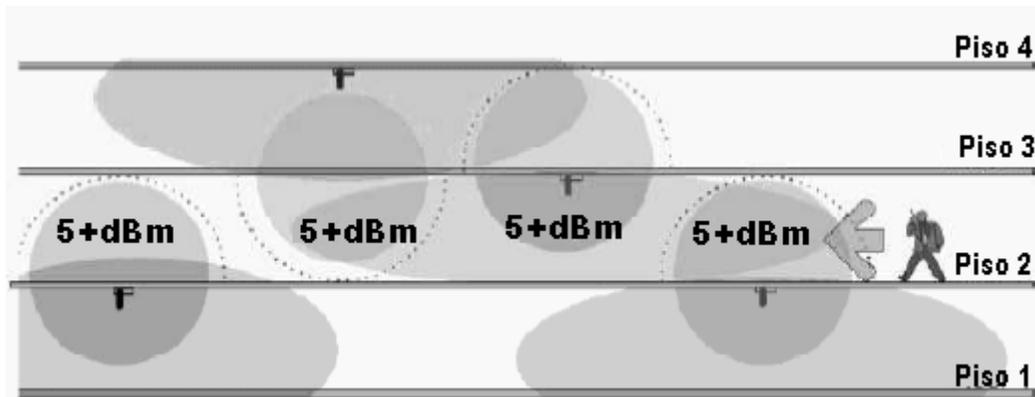
Es una de las situaciones más difíciles de manipular al momento de diseñar, implementar y solucionar problemas en una WLAN. Constantemente, se lucha por mejorar la propagación para una mejor cobertura, evaluando la cantidad de canales no traslapados, densidad de usuarios, requerimientos de

aplicaciones, etc. Esto obliga a designar tiempo tratando de controlar la cantidad de RF de un área a otra, en un espacio tridimensional.

Uno de los primeros puntos que se deben considerar, son los materiales de la construcción que definitivamente afectarán el desempeño de las celdas. La atenuación que producen las paredes y puertas entre ambientes en una construcción común, es alrededor de 3-4 dB, comparado con la atenuación que puede sufrir cuando atraviesa paredes reforzadas la cual alcanza los 17-20 dB. Por mucho, la propagación a través de ambientes es mejor que la que pasa a través de paredes reforzadas como las de los corredores.

Lo anterior es una consideración en dos dimensiones, debido a la naturaleza de la propagación, la implementación debe considerarse en tres dimensiones. Se comentó que la selección y orientación del punto de acceso es importante para asegurar la mayor intensidad de la señal. Debido a que se consigue una mayor intensidad en el plano H, esto definitivamente producirá penetración a través de los pisos superiores e inferiores y un potencial traslape de canales. Una aplicación de datos, podría soportar fácilmente esta situación, pero una aplicación de voz recaería en problemas en la calidad de los enlaces para los usuarios móviles.

Figura 57. Interferencias entre pisos



Fuente: SIEMENS. HiPath Wireless Controller, Access Points and Convergence Software V4.0 Site Survey Guide. p.91.

En la figura 57 se pueden ver las diferentes interferencias. Un mal diseño de la cobertura fue seleccionado para esta instalación. La atenuación entre pisos es mínima, por lo que la propagación de RF es sustancial. Independiente de la razón por la cual se han formado lóbulos de cobertura en cada piso, la terminal es capaz de iniciar la sesión con un punto de acceso. Sin embargo, esta podrá mantenerse solo por un pequeño espacio.

En el caso del piso 2, se puede observar que existe una cobertura de 3 puntos de acceso en un espacio muy cerrado y si la terminal hace una búsqueda de puntos de acceso cada 8 segundos, podría darse la situación que al estar saliendo de la cobertura del tercer punto de acceso aún se mantenga sesión con el primero.

4.6.1.5. Modelaje de la señal de RF (*Shaping*) y zonas de transición

Así como el nombre lo implica, es la técnica que se utiliza para acomodar la RF producida por el sistema inalámbrico que mejor se adhiere al espacio físico y al comportamiento de los usuarios, para así proveer cobertura robusta y transparente que minimice la interferencia.

El modelaje de RF puede realizarse con la combinación de varios aspectos:

- Selección de antena: omnidireccional, bidireccional, direccional, etc.
- Selección de la potencia: Optimizada dependiendo de la ubicación.
- Plan de Reutilización de canales.

4.6.2. Localizando el punto de inicio

Existen muchas formas de realizar una inspección de sitio. La forma clásica toma como punto inicial la solución de cobertura de la siguiente forma:

- Seleccionar un mínimo de RSSI (*Received Signal Strength Indication*) SNR (*Signal to Noise Ratio*) para el área a cubrir. Un valor de SNR de 20 dB es un ejemplo que se requiere para una red de datos WLAN. Para aplicaciones de voz y otras aplicaciones requieren un mejor SNR y este dependerá del fabricante del dispositivo, por lo que se recomienda revisar los requerimientos.

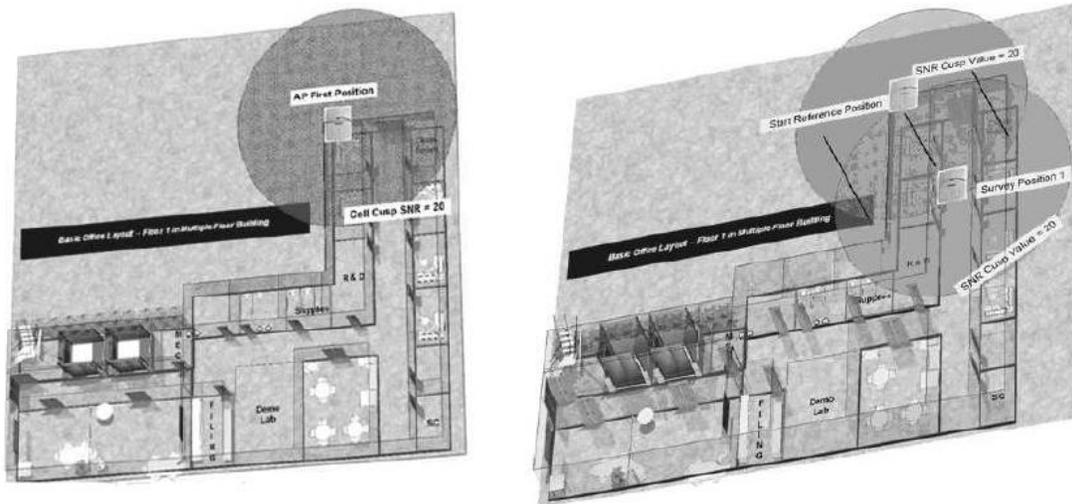
- Empezar la inspección del sitio en una esquina de las instalaciones y colocar un punto de acceso de inspección en esa ubicación.
- Moverse dentro de las instalaciones y determinar cuál es la región de límite para el RSSI seleccionado o el umbral de SNR.
- Reubicar el punto de acceso al lugar donde se marcó el límite. Esta ubicación, será la primera ubicación para el primer punto de acceso. Alejarse de esta ubicación y encontrar el siguiente límite para colocar el segundo punto de acceso, cumpliendo con los umbrales seleccionados.

4.6.3. Ajustando el punto inicial

El punto de acceso inicial con el valor mínimo de SNR mapeado, puede cubrir áreas en la cuales la propagación de RF no es necesario o de hecho es mejor dejar fuera. En la recomendación se mencionaba empezar en una esquina de las instalaciones; esto casi siempre resulta en que cierta parte de la cobertura quedará en áreas donde no se desea.

A partir de la evaluación inicial es posible mover la ubicación inicialmente definida a una nueva ubicación donde se sigan cumpliendo los requerimientos de SNR pero que evite propagar la RF sin sentido. Esto también puede conseguirse manipulando la potencia transmitida.

Figura 58. **Ajustando la ubicación del punto de acceso inicial**

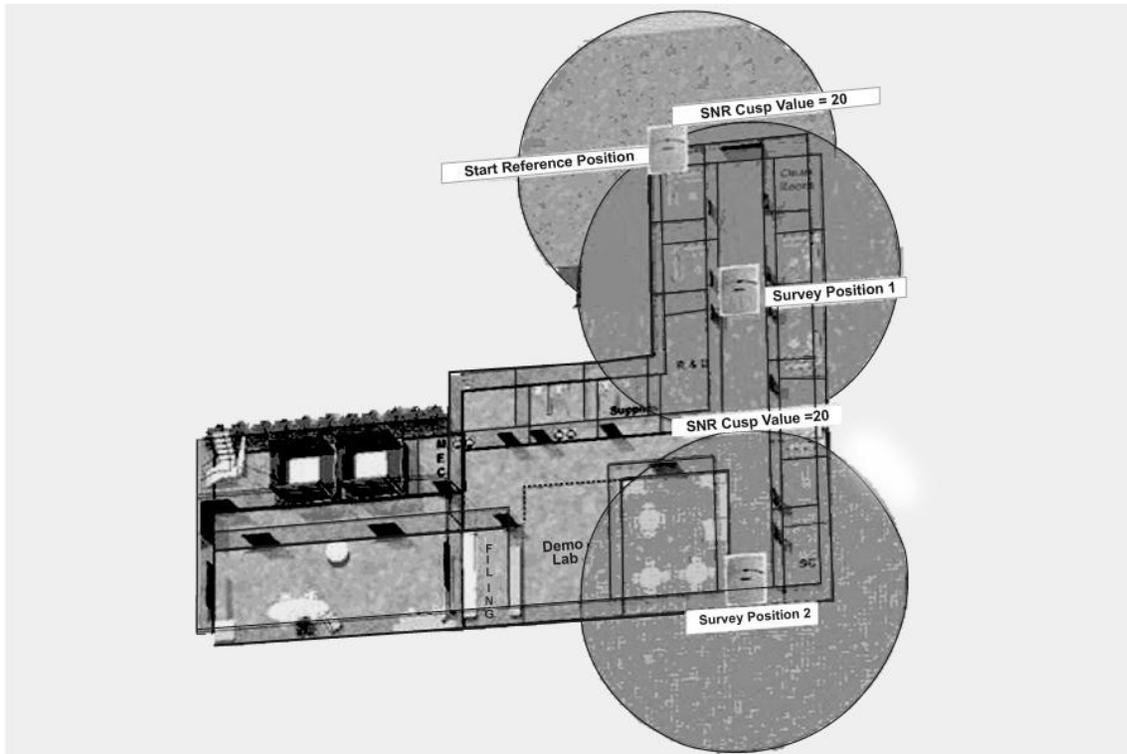


Fuente: SIEMENS. HiPath Wireless Controller, Access Points and Convergence Software V4.0 Site Survey Guide. p.97.

4.6.4. **Construcción de la red inalámbrica**

Idealmente, los puntos de acceso se trabajan en parejas, determinando la siguiente ubicación con una intersección SNR de 20 dB y ubicando el siguiente punto de acceso muy cerca del otro extremo de las instalaciones.

Figura 59. Punto de referencia inicial

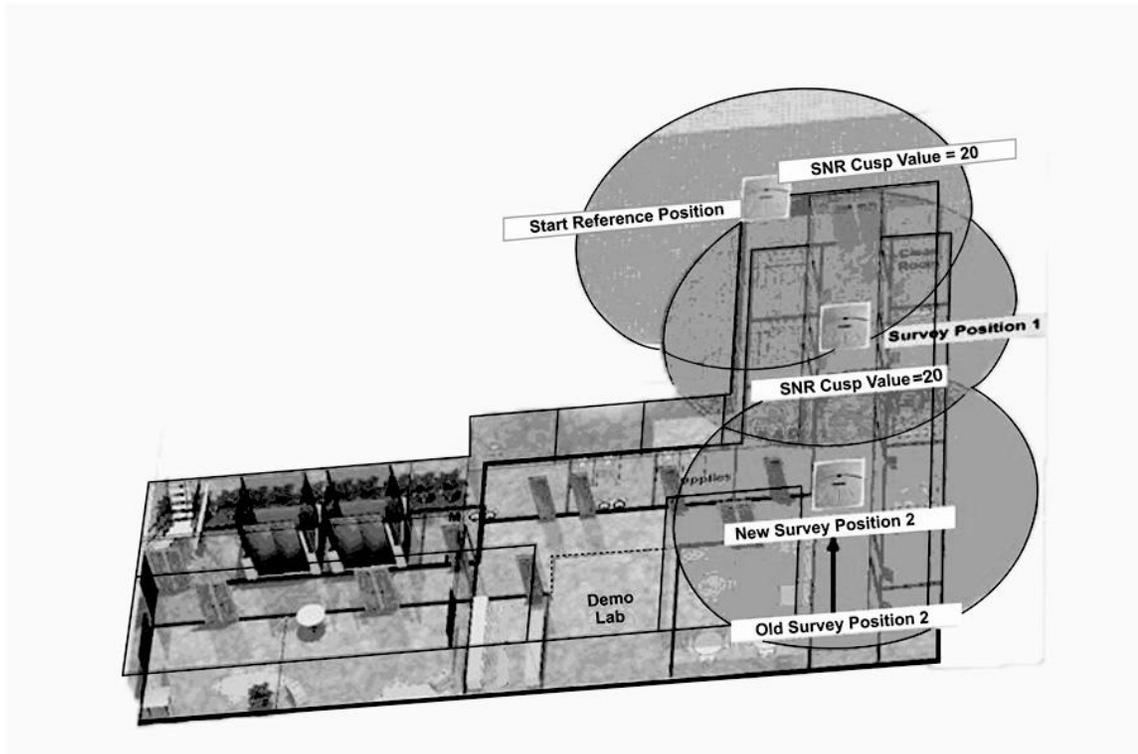


Fuente: SIEMENS. HiPath Wireless Controller, Access Points and Convergence Software V4.0 Site Survey Guide. p.98.

4.6.5. Ajustes

La posición del segundo punto de acceso es ajustada, compensando y permitiendo una mejor cobertura de la pared derecha para asegurar que la potencia propagada no sea fuera de las instalaciones. Esto provee un mejor sistema de traslape para conseguir tasas más altas. Nuevamente, la potencia transmitida también puede ser ajustada para lograrlo.

Figura 60. **Ajuste del punto de acceso 2**

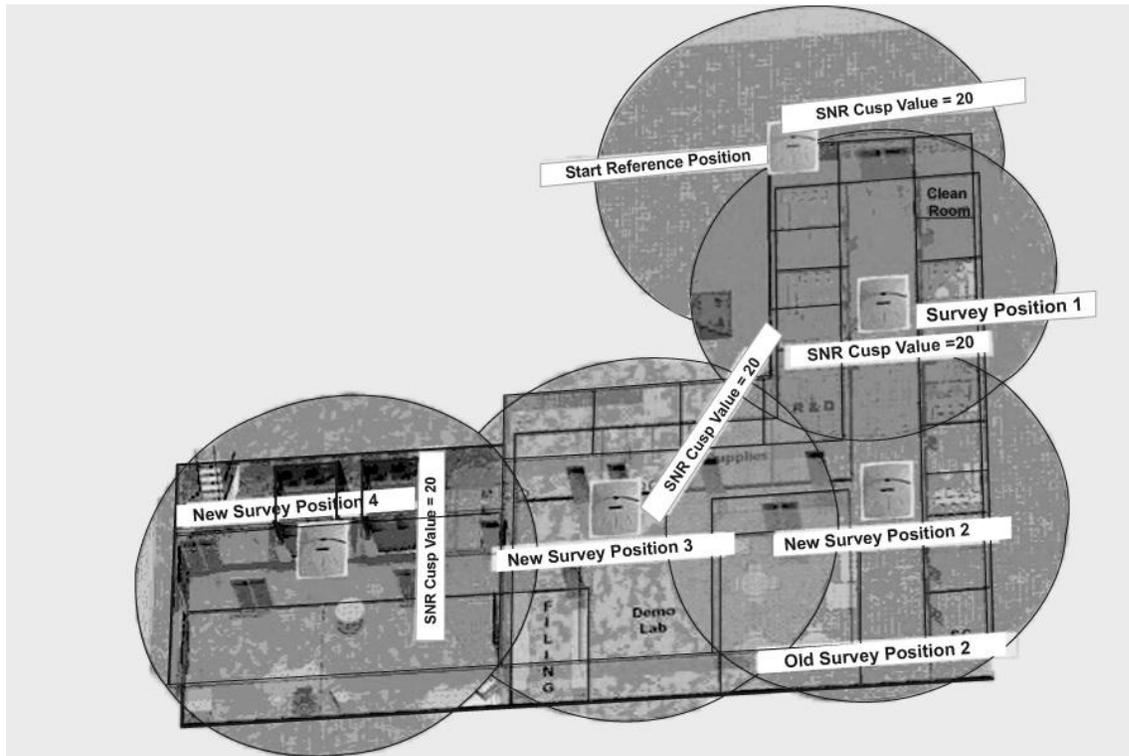


Fuente: SIEMENS. HiPath Wireless Controller, Access Points and Convergence Software V4.0 Site Survey Guide. p.99.

4.6.6. Punto de acceso 3 y 4

El punto de acceso 3 y 4 se encuentra ahora en una posición nueva, la cual se determinó de una forma similar al punto de acceso 2.

Figura 61. Ubicación de los 4 puntos de acceso para el nivel 1



Fuente: SIEMENS. HiPath Wireless Controller, Access Points and Convergence Software V4.0 Site Survey Guide. p.101.

4.6.7. Consideración 3D

Luego de haber realizado la inspección para la ubicación de los puntos de acceso en el primer nivel del edificio, ahora debe considerarse el siguiente nivel. Los puntos de acceso del primer nivel irradian señal un poco más débil en las mismas posiciones, pero en el segundo nivel. La disposición de los puntos de acceso sigue los mismos lineamientos, respetando los umbrales de SNR definidos desde un inicio.

CONCLUSIONES

1. Las aplicaciones de voz sobre redes de acceso locales exigen características de desempeño de la red apropiadas, para que su funcionamiento sea óptimo. Los estándares actuales no proveen de estas características o en algunos casos no son capaces de soportar altas densidades de clientes ni largas distancias, generando latencias y retrasos que producen y que no permiten que las aplicaciones de voz se desempeñen apropiadamente. El estándar 802.11n tiene como finalidad proveer de esas características necesarias para el funcionamiento de densidades de tráfico multimedia.
2. Los parámetros necesarios para configurar los puntos de acceso de una red basada en estándares 802.11n, no son muy distintos de los parámetros de una red 802.11 a, b o g.
3. Las características generales que mejoran el desempeño del nuevo estándar están más enfocadas en la capa física y en la capa de datos. Por lo mismo se sigue disponiendo de las topologías, esquemas de conexión y dispositivos de red que en los estándares comunes.
4. La señalización de las llamadas continúa siendo a través de protocolos sombrilla H323 o SIP.
5. Con la utilización de 802.11n, la codificación de las llamadas puede aumentarse a una con mejor calidad, por ejemplo G.729; ya que actualmente se utiliza la de menor capacidad para efectos de disminuir el

requerimiento de anchos de banda. Con una mayor capacidad podemos aumentar la calidad, aunque esto quedará a discreción del administrador de red.

6. Las mejoras en los estándares 802.11n en la capa física se fundamentan en la tecnología MIMO, la cual utiliza múltiples antenas para transmitir y recibir.
7. Las mejoras en la capa MAC (capa de datos) se consiguen con características de *Block Acknowledgement* que reduce el número de tramas de ACK que el receptor envía, *Frame Aggregation* que aumenta el tamaño de carga efectiva que se puede acarrear, reduciendo así el tráfico adicional de encabezados.
8. Los conceptos básicos que se utilizan para evaluar la implementación de una aplicación de voz sobre redes de acceso local son: los costos operacionales y capitales, beneficios cualitativos y cuantitativos, y el período de recuperación.
9. Se consideran 8 pasos fundamentales para una implementación exitosa: definición del proyecto, áreas de cobertura y fases de proyecto, aprobación de plan, auditoría de RF e inspección de sitio, implementación de la infraestructura, prueba de RF, ajustes finales, puesta en operación y soporte.

RECOMENDACIONES

1. Para el diseño de una red inalámbrica, no se debe prescindir de la experiencia de campo ni del conocimiento teórico del comportamiento de la señal de RF y/o redes de datos inalámbricas. En caso de la carencia de alguna, será necesario desarrollar las habilidades para concretar un diseño profesional, óptimo y funcional.
2. La estandarización promueve el uso de equipamiento de múltiples proveedores, sin embargo, siempre es importante hacer una revisión de las especificaciones de los equipos, máxime cuando se implementa una aplicación de voz en una red inalámbrica ya existente.
3. Los ambientes inalámbricos ya existentes, basados en 802.11 a, b o g son compatibles con 802.11n, pero en casos donde la carga de tráfico es alta, aún sin la adición de VoIP, se debe considerar la migración completa a una plataforma puramente 802.11n, debido a que una red inalámbrica homogeneizada provee el aprovechamiento completo de las características de este estándar.

BIBLIOGRAFÍA

1. CISCO. *Cisco QLM Series, Introduction 802.11n Next Generation Wireless*. CISCO, 2008. [en línea]. www.cisco.com/web/learning/index.html. [Consulta: 23 de abril de 2008].
2. _____. *White Paper: Design Principles for Voice over WLAN*. [en línea]. USA, 2007. 16 p. www.cisco.com. [Consulta: 21 de abril de 2008].
3. FINNERAN, Michael. *Voice over WLAN: the complete Guide*. Burlington, MA: Elsevier, 2008. 399 p. ISBN: 978-0-7506—8299-2.
4. GEIER, Jim. *Deploying Voice over Wireless LAN's*. Networking Technology Series Indianapolis, Indiana: CISCO Press, 2007. 248 p. ISBN-13: 978-1-158705-231-6.
5. SIEMENS. *Hipath Wireless Infrastructure V5R1*. [en línea]. Academy for Professional Training. SIEMENS AG, 2002.. www.siemens.com. [Consulta: 20 de abril de 2008]
6. SIEMENS COMMUNICATION. *Hipath Wireless controller, Access Points and Convergence software, Site Survey Guide V4.0*. [en línea]. Octubre 2006. <http://www.siemens.com>. [Consulta: 20 de abril de 2008].