

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica



TRABAJO DE DIPLOMA

Redes Inalámbricas de Área Local (WLAN) de alta densidad

Autor: Mayda Isela Heredia Peña

Tutor: Dr. Félix Álvarez Paliza

Santa Clara

2014

"Año 56 de la Revolución"

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica



TRABAJO DE DIPLOMA

Redes Inalámbricas de Área Local (WLAN) de alta densidad

Autor: Mayda Isela Heredia Peña

E-mail: maydai@uclv.edu.cu

Tutor: Dr. Félix Álvarez Paliza

Profesor Titular

Departamento de Telecomunicaciones

Facultad de Eléctrica

E-mail: fapaliza@uclv.edu.cu

Santa Clara

2014

"Año del 56 de la Revolución"



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Automática, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Autor

Firma del Jefe de Departamento
donde se defiende el trabajo

Firma del Responsable de
Información Científico-Técnica

PENSAMIENTO

“Quien no quiere razonar es un fanático; quien no sabe razonar es un tonto; y quien no se atreve a razonar es un esclavo.”

William

Henry

DEDICATORIA

A MI HIJO QUE ESTÁ POR NACER

A MI MADRE, LA ASEEDORA DE TODOS MIS SUEÑOS

A MI HERMANITO

A MI BOBE

AGRADECIMIENTOS

A mi madre y a mi hermano por el apoyo brindado en todo este tiempo.

A Elvira Querol Arteaga por estar noche tras noche sentada al borde de mi cama.

A mi Bobe de siempre y a Pablo por el apoyo y la ayuda incondicional.

A mi padre por tenderme su mano y hacerlo de la forma que yo esperaba.

A mis amigos por darme aliento cuando casi desistía, especialmente a Deney, Aibelín y Amed.

A los familiares y amigos de mis amigos por estar allí también de una forma u otra.

A mis compañeros de aula y en especial a Nadier, Lila, Lilo, Lianet, Diana, Aniladys y Ernesto.

A mi tutor Félix Álvarez Paliza.

RESUMEN

En este trabajo se desarrolla un procedimiento de diseño de redes inalámbricas de área local de alta densidad a partir del análisis de las diferentes tecnologías relacionadas con el estándar IEEE 802.11, por lo que se pretende contribuir al diseño de las WLAN y al perfeccionamiento de la calidad de la enseñanza de la disciplina Sistemas de Telecomunicaciones, en especial de Redes I.

Palabras claves: Redes inalámbricas, Wi-Fi, desempeño, 802.11n, OPNET

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. EVALUACIÓN DE LAS REDES INALÁMBRICAS DE ÁREA LOCAL	4
1.1 Redes inalámbricas de área local (WLAN).....	4
1.2 Estándar IEEE 802.11	5
1.2.1 Evolución del estándar.....	7
1.3 Aplicaciones de WLAN.....	11
1.4 Configuraciones de Redes Inalámbricas Locales (WLAN).....	12
1.5 Redes inalámbricas académicas.....	14
1.6 Ventajas y desventajas de las WLAN.....	17
1.7 Conclusiones parciales del capítulo	19
CAPÍTULO 2. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE WLAN DE ALTA DENSIDAD	20
2.1 Planificación y diseño de Redes Inalámbricas Locales (WLAN)	20
2.2 Factores que inciden en el diseño y planeación de una red WLAN.	20
2.2.1 Área de Cobertura.....	21
2.2.2 Frecuencia de operación	21
2.2.3 Tipos de aplicaciones.....	22

2.2.4	Cantidad máxima de usuarios	22
2.2.5	Conexión de la WLAN con la red cableada	23
2.2.6	Planeación y administración de las direcciones IP	25
2.2.7	Los identificadores de la red (SSID).....	25
2.2.8	Seguridad en la comunicación	25
2.3	Identificación de las capacidades de los equipos.....	27
2.4	Identificación del rendimiento para cada tipo de dispositivo	27
2.5	Pronósticos de AP y capacidad del canal.....	29
2.5.1	Ubicación de los Puntos de Acceso (AP)	29
2.6	Banda de 5 GHz y 2 GHz	31
2.7	Uso de canales con ancho de banda de 20 MHz	34
2.8	Señal de alta calidad a todas las áreas de cobertura	35
2.9	Interferencia co-canal entre Puntos de Acceso (AP)	36
2.10	Características de las instalaciones	37
2.11	Razones de transmisión	38
2.12	Optimización del rendimiento	40
2.13	OPNET Modeler	41
2.14	Conclusiones parciales del capítulo.....	42
CAPÍTULO 3.	ANÁLISIS DE LOS ESCENARIOS FIE Y CAMPUS UCLV	43
3.1	Estructura física de la Red UCLV.....	43
3.2	Despliegue inalámbrico en la red UCLV.	44
3.3	Modelación y Simulación de la Red WLAN de la UCLV	46
3.3.1	Topologías	46
3.3.2	Selección de las tecnologías	48

3.3.3	Consideraciones de tráfico.....	48
3.3.4	Selección de estadísticas y recolección de datos	49
3.4	Análisis y valoración del desempeño.....	49
3.4.1	Escenario Campus UCLV.....	49
3.4.2	Análisis y valoración del escenario interno de la red FIE	53
3.5	Conclusiones parciales del capítulo	58
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		60
Conclusiones.....		60
Recomendaciones		60
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		61
ANEXOS		63

INTRODUCCIÓN

El objetivo fundamental de las redes WLAN es el de proporcionar las facilidades no disponibles en los sistemas cableados y formar una red total donde coexistan los dos tipos de sistemas (alámbrico e inalámbrico). Enlazando los diferentes equipos o terminales móviles asociados a la red.

Este hecho proporciona al usuario una gran movilidad sin perder conectividad. El atractivo fundamental de este tipo de redes es la facilidad de instalación y el ahorro que supone la supresión del medio de transmisión cableado. Aun así sus prestaciones son menores en lo referente a la velocidad de transmisión que se sitúa entre los 2 y los 10 Mbps frente a los 10 y hasta los 100 Mbps ofrecidos por una red convencional.

Las redes inalámbricas son la alternativa ideal para hacer llegar una red tradicional a lugares donde el cableado no lo permite. En general las WLAN solo se utilizarán como complemento de las redes fijas.

Por estas razones se puede afirmar que este Trabajo de Diploma tiene una alta relevancia teórica y práctica, ya que aporta un estudio sistematizado acerca del diseño de redes inalámbricas para zonas de alta densidad, como son las redes de universidades, de servicios en terminales aeroportuarios, ómnibus, trenes, etc.

El objetivo general de la presente tesis es desarrollar un procedimiento de diseño de Redes Inalámbricas de Área Local con un buen desempeño para áreas de alta densidad de usuarios tomando como modelo la red inalámbrica de la UCLV.

Considerando como objetivos específicos:

- Descripción de los estándares de Redes Inalámbricas de Área Local (WLAN)
- El desarrollo de un procedimiento de diseño de Redes WLAN para zonas de alta densidad de usuarios.
- El rediseño de la red de campus de la UCLV a partir de la comparación de los protocolos que más auge tienen en la actualidad, con la finalidad de poder determinar cual de ellos puede tener mejor aceptación en cuanto a desempeño.
- La utilización de herramientas de modelación y simulación que apoyen los cambios propuestos.

Para ello se partirá de las siguientes Interrogantes Científicas:

¿Cuál es la situación actual que presenta la red inalámbrica del centro de altos estudios UCLV?

¿Cómo desarrollar un procedimiento actualizado para el diseño de Redes Académicas Inalámbricas considerando el buen desempeño de las mismas y la existencia de un mayor número de usuarios?

Con este trabajo se lograron diferentes resultados, entre ellos, quizás el más relevante, la contribución a la perfección de la calidad de la enseñanza de la disciplina Sistemas de Telecomunicaciones, en especial de Redes I con el diseño de WLAN.

Dando solución a los problemas existentes vinculadas a los diseños propios de redes WLAN, por lo que los mismos tienen una aplicación práctica y teórica, acorde a los nuevos cambios tecnológicos existentes y a sus aplicaciones.

Demostrando entonces que es factible modernizar la red de campus UCLV con las nuevas tecnologías inalámbricas.

Organización del informe

Este trabajo consta de tres capítulos distribuidos de la siguiente manera:

CAPÍTULO I: Análisis de las redes inalámbricas de Área Local (WLAN).

En este capítulo se definieron los estándares inalámbricos existentes actualmente, las aplicaciones más frecuentes de esta tecnología, así como su desempeño. Se deja explícito el equipamiento a usar para esta tecnología.

CAPÍTULO II: Procedimiento de Diseño de WLAN de alta densidad de usuarios.

Se explica detalladamente la forma en que se implementará el diseño de Redes WLAN y los pasos a seguir para cumplir dicho objetivo.

CAPÍTULO III: Análisis de los escenarios para la FIE y el campus UCLV

En este último capítulo se hizo un análisis y valoración del desempeño de la Red Wi-Fi de la Universidad Central “Martha Abreu” de Las Villas y de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, cumpliendo con los requerimientos propuestos en el diseño.

CAPÍTULO 1. EVALUACIÓN DE LAS REDES INALÁMBRICAS DE ÁREA LOCAL

1.1 Redes inalámbricas de área local (WLAN)

Al igual que las redes tradicionales cableadas se clasificará a las redes inalámbricas en tres categorías.

- WWAN/MAN (Wireless Wide Area Network/Metropolitan Area Network)
- WLAN (Wireless Local Area Network)
- WPAN (Wireless Personal Area Network)

En la primera categoría WAN/MAN, están a las redes que cubren desde decenas hasta miles de kilómetros. En la segunda categoría LAN, están las redes que comprenden desde varios metros hasta decenas de metros. Y en la última y nueva categoría PAN, están a las redes que comprenden desde metros hasta 30 metros.

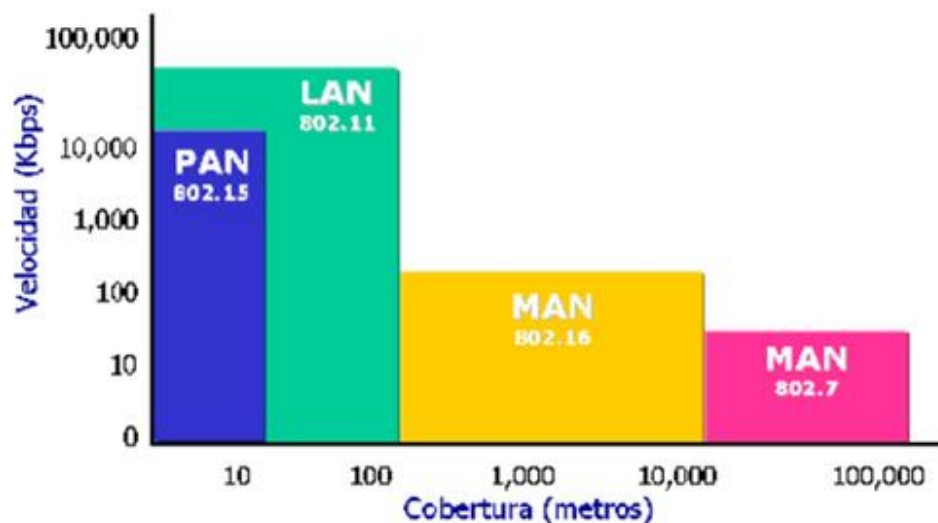


Figura 1.1 Distancia vs velocidad en Tipos de Redes (Enrique de Miguel Ponce, 2010)

En este trabajo solo se tratan las redes de área local inalámbricas, por ende se omitirán más las especificaciones de las demás categorías existentes de redes inalámbricas.

El origen de las Redes Locales Inalámbricas (WLAN) se remonta a la publicación en 1979 de los resultados de un experimento realizado por ingenieros de IBM en Suiza, consistente en utilizar enlaces infrarrojos para crear una red local en una fábrica. Estos resultados pueden considerarse como el punto de partida en la línea evolutiva de esta tecnología.

En mayo de 1985 la FCC (Federal Communications Commission) asignó las bandas IMS (Industrial, Scientific and Medical) 902-928MHz, 2.400-2.4835GHz, 5.725-5.850 GHz a las redes inalámbricas basadas en spread spectrum.

La asignación de una banda de frecuencias propició una mayor actividad en el seno de la industria: ese respaldo hizo que las WLAN empezaran a dejar ya el laboratorio para iniciar el camino hacia el mercado. Desde 1985 hasta 1990 se siguió trabajando ya más en la fase de desarrollo, hasta que en mayo de 1991 se publicaron varios trabajos referentes a WLAN operativos que superaban la velocidad de 1 Mbps, el mínimo establecido por la IEEE 802 para que la red sea considerada realmente una LAN.

Las WLAN habían tenido una aceptación marginal en el mercado por dos razones fundamentales: falta de un estándar y los precios elevados de una solución inalámbrica. Sin embargo con el paso de los años y en especial en el siglo XXI se lograron avances tecnológicos en el campo de las radiocomunicaciones y la radioelectrónica un crecimiento explosivo en este mercado (de hasta un 100% anual). Y esto es debido a distintas razones:

- El desarrollo del mercado de los equipos portátiles y de las comunicaciones móviles.
- La evolución de la norma IEEE 802.11 para redes de área local inalámbricas que ha establecido un punto de referencia y ha mejorado en muchos aspectos de estas redes. (Enrique de Miguel Ponce, 2010)

1.2 Estándar IEEE 802.11

El estándar IEEE 802.11 o también llamado Fidelidad Inalámbrica (Wireless Fidelity), fue definido por la IEEE en 1997 como un estándar que competiría con las conexiones alámbricas Ethernet con una conexión inalámbrica. La definición del estándar 802.11 para el estándar de las capas físicas incluye definiciones para el procedimiento de convergencia de la capa física y las subcapas dependientes del medio.

El estándar IEEE 802.11 define los protocolos de las capas del método de acceso al medio (Media Access Control MAC) mediante escucha pero sin detección de colisión y la capa física para una LAN con conectividad inalámbrica. El estándar de WLAN define el establecimiento de una red de área local donde los dispositivos conectados se comunican a través de radiofrecuencias a otros dispositivos que estén muy próximos uno del otro. (CISCO, 2012)

Este se centra en los dos niveles inferiores del modelo OSI, el físico y el de enlace de datos (Figura 1.2). Cualquier aplicación LAN, SS.OO. en red o protocolo, incluyendo TCP/IP y Novell NetWare corren sobre 802.11 tan fácilmente como corren sobre Ethernet. (CISCO, 2012)

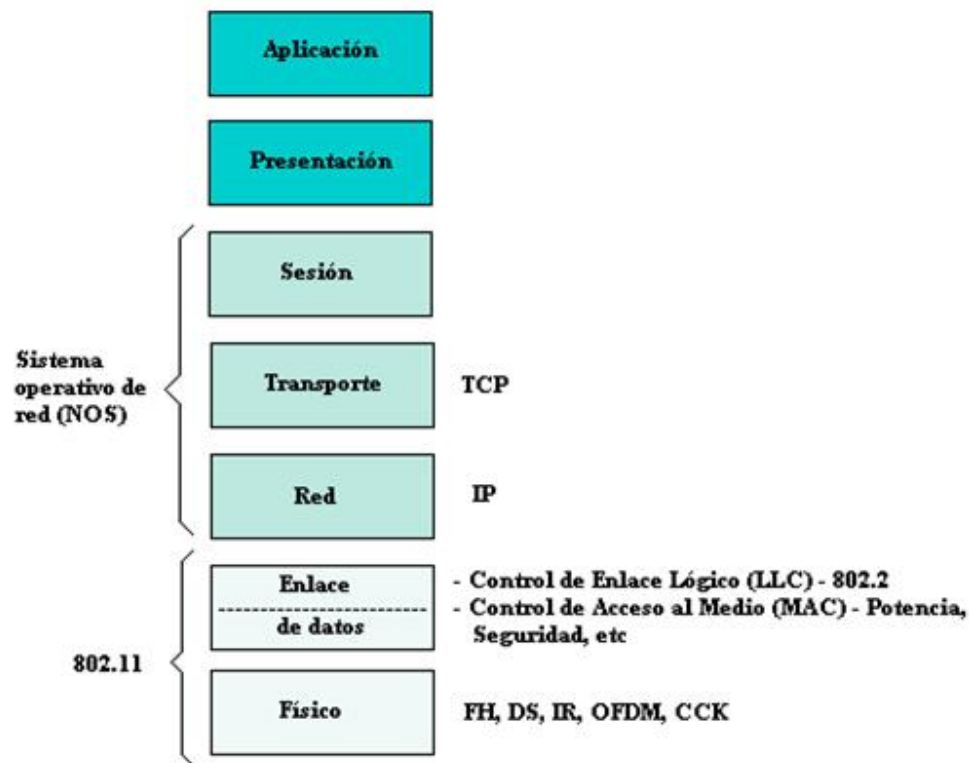


Figura 1.2 802.11 y modelo OSI (Praderas, 2009)

El estándar 802.11 define dos componentes, una estación inalámbrica (Wireless), que normalmente es un PC equipado con una tarjeta de red (NIC) y un Punto de Acceso (AP), que actúa como un puente entre las redes inalámbricas y las cableadas. Un Punto de Acceso normalmente consiste en una radio, una interfaz de red (por ejemplo un 802.3) y un

conmutador (Bridge) que cumple el estándar 802.1d. El Punto de Acceso actúa como la estación base para la red inalámbrica, agregando acceso para múltiples estaciones inalámbricas a la red cableada. Las estaciones inalámbricas pueden ser PC con tarjetas de interfaz 802.11, tanto ISA, PCI, o PCMCIA, o también pueden ser soluciones empotradas (como móviles celulares con interfaz 802.11). (Praderas, 2009)

1.2.1 Evolución del estándar

Es en 1999 cuando se crea una asociación conocida como Alianza de Compatibilidad Ethernet Inalámbrica (WECA, Wireless Ethernet Compatibility Alliance), siendo el objetivo de esta asociación la de crear un estándar que permitiese fomentar más fácilmente la tecnología inalámbrica y asegurar la compatibilidad entre equipos de diferentes fabricantes. La alianza Wi-Fi se ha convertido en toda una industria proveedora de especificaciones para la interoperabilidad y las pruebas de los productos que propone IEEE 802.11 para una mejor inserción en el mercado. Esta asociación ofrece recomendaciones para establecer movilidad (roaming) entre diferentes Proveedores de Servicio de Internet Inalámbricos (WISP) de tal manera que el usuario o cliente de un WISP pueda acceder a los servicios de una WLAN de otro WISP al cual no estuviere contratado el usuario. (Prasad, 2005)

El 802.11 tiene tres extensiones principales que se consideran actualmente. La primera extensión es la 802.11a, la segunda es la 802.11b y la tercera es la 802.11g.

La 802.11a fue la primera aproximación a las WN y llega a alcanzar velocidades de hasta 54 Mbps dentro de los estándares de la IEEE y hasta 72 y 108 Mbps con tecnologías de desdoblamiento de la velocidad ofrecidas por diferentes fabricantes. Esta variante opera dentro del rango de los 5 GHz. Inicialmente se soportan hasta 64 usuarios por Punto de Acceso.

Sus principales ventajas son su velocidad, la base instalada de dispositivos de este tipo, la gratuidad de la frecuencia que usa y la ausencia de interferencias en la misma.

Sus principales desventajas son su incompatibilidad con los estándares 802.11b y g, la no incorporación a la misma de QoS (posibilidades de asegurar de Calidad de Servicio, lo que en principio impediría ofrecer transmisión de voz y contenidos multimedia online), la no disponibilidad de esta frecuencia en Europa dado que esta frecuencia está reservada a la HyperLAN2 y la parcial disponibilidad de la misma en Japón.

En julio de 1999, la IEEE expande el 802.11 creando la especificación 802.11b, la cual tiene una velocidad teórica máxima de transmisión de 11 Mbps, comparable a una Ethernet tradicional, pero debido al espacio ocupado por la codificación del protocolo CSMA/CD (CarrierSenseMultiple Access / CollisionDetect), en la práctica la velocidad máxima de transmisión es de aproximadamente 5.9 Mbps para TCP y 7.1 Mbps para UDP. La 802.11b utiliza la misma frecuencia de radio que el tradicional 802.11 (2.4GHz). El problema es que al ser esta una frecuencia sin regulación, se podían causar interferencias con hornos microondas, teléfonos móviles y otros aparatos que funcionen en la misma frecuencia. Sin embargo, si las instalaciones 802.11b están a una distancia razonable de otros elementos, estas interferencias son fácilmente evitables. Además, los fabricantes prefieren bajar el costo de sus productos, aunque esto suponga utilizar una frecuencia sin regulación. (Andrew Tanenbamn, 2012)

En el 2003 se desarrolló el estándar IEEE 802.11g que es la tercera aproximación a las WN, y se basa en la compatibilidad con los dispositivos 802.11b y en el ofrecer unas velocidades de hasta 54 Mbps. Funciona dentro de la frecuencia de 2,4 GHz.

Las ventajas de las que dispone son las mismas que las del 802.11b además de su mayor velocidad.

Dispone de los mismos inconvenientes que el 802.11b.

A la postre aparecieron las variantes 802.11i): estándar que define la encriptación y la autenticación para complementar y mejorar el WEP, es un estándar que mejorará la seguridad de las comunicaciones mediante el uso del protocolo TKIP (Temporal Key Integrity Protocol) e IEEE 802.11j): estándar que permitirá la armonización entre el IEEE, el ETSI HyperLAN2, ARIB e HISWANA; ambas en el 2004.

En el 2005 aparece el IEEE 802.11e): estándar sobre la introducción de Calidad de Servicio (QoS) en la comunicación entre Puntos de Acceso (AP) y Radio Transmisores (TR). Actúa como árbitro de la comunicación. Esto permitirá el envío de vídeo y de voz sobre IP.

En el año 2008 se presentaron las variantes IEEE 802.11 k) conocido como (Radio Resource Measurement of Wireless LAN), el IEEE 802.11 y) para la operación (3650–3700 MHz Operation in USA) y el IEEE 802.11r) para el servicio rápido (Fast Basic Service Set (BSS) Transition) y mas tarde el IEEE 802.11n) se estandarizó en el 2009. El estándar

802.11n se tituló “Mejoras para incrementar el rendimiento” (Enhancements for Higher Throughput).

En 2010 surgen nuevos estándares tales como el IEEE 802.11p (Wireless Access in Vehicular Environment) para el acceso en vehículos y el IEEE 802.11z (Extensions to Direct-Link Setup, DLS) como extensión a la configuración por enlace directo. Luego siguieron otras recomendaciones y estándares en el 2011: para la administración, el IEEE 802.11 Wireless Network Management (IEEE 802.11v), para la interconexión con redes externas (Interworking with External Networks) el IEEE 802.11u) y el IEEE 802.11s (MeshNetworking) (IEEE, 2012a).

Todos los estándares anteriores fueron resumidos en el IEEE 802.11 del 29 de Marzo del 2012 (Revisión del estándar IEEE 802.11 del 2007).

Se pueden resumir otros estándares en:

802.11c: Estándar que define las características que necesitan los Puntos de Acceso (AP) para actuar como puentes (bridges).

802.11d: Estándar que permite el uso de la comunicación mediante el protocolo 802.11 en países que tienen restricciones sobre el uso de las frecuencias que éste es capaz de utilizar. De esta forma se puede usar en cualquier parte del mundo.

802.11f: Estándar que define una práctica recomendada de uso sobre el intercambio de información entre el AP y el TR en el momento del registro a la red y la información que intercambian los Puntos de Acceso (AP) para permitir la interoperabilidad. La adopción de esta práctica permitirá el Roaming entre diferentes redes.

802.11h: Estándar que sobrepasa al 802.11a al permitir la asignación dinámica de canales para permitir la coexistencia de éste con el HyperLAN. Además define el TPC (Transmit Power Control) según el cual la potencia de transmisión se adecúa a la distancia a la que se encuentra el destinatario de la comunicación.

802.11m: Estándar propuesto para el mantenimiento de las redes inalámbricas.

La Tabla 1.1 presenta una comparación de los estándares que en la actualidad son más utilizados.

Tabla 1.1 Estándares IEEE 802.11

ESTÁNDAR	Razón máx. (Mbps)	BW del canal	Banda de tx (GHz)	Alcance (m) espacio cerrado y	Tecnología que utiliza
----------	----------------------	-----------------	----------------------	----------------------------------	---------------------------

	(MHz)			abierto	
802.11a	54	20	5	70	OFDM
				70	
802.11b	11	22	2.4	100	DSSS
				200	
802.11g	54	30	2.4	50	OFDM
				400	
802.11n	289	20	2.4 o 5	50	MIMO
	600	40		500	
802.11ac	450	80	5	90	MIMO
	1 300	160		100	

Actualmente están en boga los estándares 802.11n y la 802.11ac y aunque los números apuntan al protocolo 802.11ac, toca de todos modos preguntarse cual de estos dos se adecua a las necesidades de un campus universitario cuyo número de usuarios no sobrepasa los 10 000; pero que aspira a, en un momento dado, superar esta cantidad.

El estándar 802.11n tiene una velocidad real de transmisión que podría llegar a los 600 Mbps (lo que significa que las velocidades teóricas de transmisión serían aún mayores), y debería ser hasta 10 veces más rápida que una red bajo los estándares 802.11a y 802.11g, y unas 40 veces más rápida que una red bajo el estándar 802.11b. (Gu, 2012)

Se espera que el alcance de operación de las redes sea mayor con este nuevo estándar gracias a la tecnología MIMO (Multiple Input – Multiple Output), que permite utilizar varios canales a la vez para enviar y recibir datos gracias a la incorporación de varias antenas. Existen también otras propuestas alternativas que podrán ser consideradas. A diferencia de las otras versiones de Wi-Fi, 802.11n puede trabajar en dos bandas de frecuencias: 2,4 GHz (la que emplean 802.11b y 802.11g) y 5 GHz (la que usa 802.11a). Gracias a ello, 802.11n es compatible con dispositivos basados en todas las ediciones anteriores de Wi-Fi. Además, es útil que trabaje en la banda de 5 GHz, ya que está menos congestionada y en 802.11n permite alcanzar un mayor rendimiento. El estándar 802.11n fue ratificado por la organización IEEE el 11 de septiembre de 2009 con una velocidad de

600 Mbps en capa física. En la actualidad la mayoría de productos son de la especificación 802.11n, sin embargo ya se ha ratificado el estándar 802.11n que sube el límite teórico hasta los 600 Mbps. (J.Cox, 2007)

El 802.11ac adopta muchas propiedades del 802.11n, como por ejemplo la codificación de canal o los modos MIMO. A ello se añaden anchos de banda de 80 MHz y 160 MHz (en el 802.11n hasta ahora solo 40 MHz), 256QAM, hasta ocho antenas así como MIMO multiusuario.

Con un ancho de banda de 80 MHz, una antena y 64QAM 5/6 se alcanza ya una velocidad de transmisión bruta de 293 Mbps; todos los equipos conformes al 802.11ac deben soportar este modo. En modos opcionales se pueden alcanzar bajo condiciones óptimas, con 256QAM y ocho antenas, velocidades brutas de 3,5 Gbps. El 802.11ac está previsto únicamente para las bandas de 5 GHz no sujetas a licencia, la banda ISM (industrial scientific medical) de 2,4 GHz, utilizada hasta ahora casi siempre para WLAN, ya no está incluida.(2013c)

Permite velocidades de al menos 1.000 Mbps en la banda de los 5 gigahercios, esa banda al principio restringida a edificios oficiales, como embajadas. Además, el alcance de cobertura es ampliamente superior a otras versiones, de modo que llega hasta un máximo de 90-100 metros mediante el uso de tres antenas internas, suficiente como para cubrir toda el área de una casa de forma aceptable, utilizando dispositivos de la potencia reglamentaria. (2013b)

Existen ya una gran cantidad de routers y tarjetas internas para PC que son compatibles con 802.11ac. Incluso mini adaptadores 802.11ac que no son más grandes que una unidad USB de almacenamiento.(2013d)

1.3 Aplicaciones de Redes Inalámbricas Locales (WLAN)

Las aplicaciones más típicas de las redes de área local que se podrán encontrar actualmente son las siguientes:

- Implementación de redes de área local en edificios históricos, de difícil acceso y en general en entornos donde la solución cableada es inviable.
- Posibilidad de reconfiguración de la topología de la red sin añadir costes adicionales. Esta solución es muy típica en entornos cambiantes que necesitan una estructura de red flexible que se adapte a estos cambios.
- Redes locales para situaciones de emergencia o congestión de la red cableada.

- Estas redes permiten el acceso a la información mientras el usuario se encuentra en movimiento. Habitualmente esta solución es requerida en hospitales, fábricas, almacenes...
- Generación de grupos de trabajo eventuales y reuniones ad-hoc. En estos casos no valdría la pena instalar una red cableada. Con la solución inalámbrica es viable implementar una red de área local aunque sea para un plazo corto de tiempo.
- En ambientes industriales con severas condiciones ambientales este tipo de redes sirve para interconectar diferentes dispositivos y máquinas.
- Interconexión de redes de área local que se encuentran en lugares físicos distintos. Por ejemplo, se puede utilizar una red de área local inalámbrica para interconectar dos o más redes de área local cableada situadas en dos edificios distintos. (Enrique de Miguel Ponce, 2010)

1.4 Configuraciones de Redes Inalámbricas Locales (WLAN)

El grado de complejidad de una red de área local inalámbrica es variable, dependiendo de las necesidades a cubrir y en función de los requerimientos del sistema que se desee implementar se van a utilizar diversas configuraciones de red. El estándar 802.11 define dos modos de operación: el modo Infraestructura y el modo ad hoc.

A continuación se discuten las configuraciones de redes más conocidas:

A).Redes de Igual a Igual (Peer to peer o redes ad-hoc)

La configuración básica es la llamada *de igual a igual* o *ad-hoc* y consiste en una red de dos terminales móviles equipados con la correspondiente tarjeta adaptadora para comunicaciones inalámbricas. Para que la comunicación entre estas dos estaciones sea posible hace falta que se vean mutuamente de manera directa, es decir, que cada una de ellas esté en el rango de cobertura radioeléctrica de la otra. Las redes de tipo *ad-hoc* son muy sencillas de implementar si no requieren ningún tipo de gestión administrativa.(2010a)

Este modo es muy eficaz para montar una red inalámbrica (Wireless) rápidamente en cualquier parte sin una infraestructura inalámbrica (Wireless), como en una habitación de un hotel, en un centro de convenciones, aeropuertos, o donde el acceso a la red cableada está bloqueado (como por ejemplo para consultores en la casa del cliente).

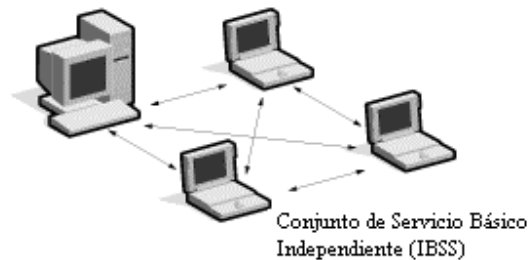


Figura 1.3 Modo ad-hoc

B. Modo Infraestructura

En el modo infraestructura (Figura 1.4), la red inalámbrica (Wireless) consiste por lo menos en un Punto de Acceso conectado a la red cableada y un set de estaciones inalámbricas (Wireless). Esta configuración se denomina BSS (Basic Service Set). Un Conjunto de Servicios Externo (ESS) es un conjunto de dos o más servicios Básicos (BSS) formando una subred.

Para aumentar el alcance de una red del tipo anterior hace falta la instalación de un punto de acceso. Con este nuevo elemento se dobla el alcance de la red inalámbrica (ahora la distancia máxima permitida no es entre estaciones, sino entre cada estación y el punto de acceso). Además, los puntos de acceso se pueden conectar a otras redes, y en particular a una red fija, con lo cual un usuario puede tener acceso desde su terminal móvil a otros recursos. Para dar cobertura en una zona determinada habrá que instalar varios puntos de acceso de tal manera que se pueda cubrir la superficie necesaria con las celdas de cobertura que proporciona cada punto de acceso y ligeramente solapadas para permitir el paso de una celda a otra sin perder la comunicación. (2010b)

Dado que la mayoría de las redes Inalámbricas (WLAN) requieren un acceso a los servicios de la LAN cableada (servidor de ficheros, impresoras, Internet), operarán en modo infraestructura.

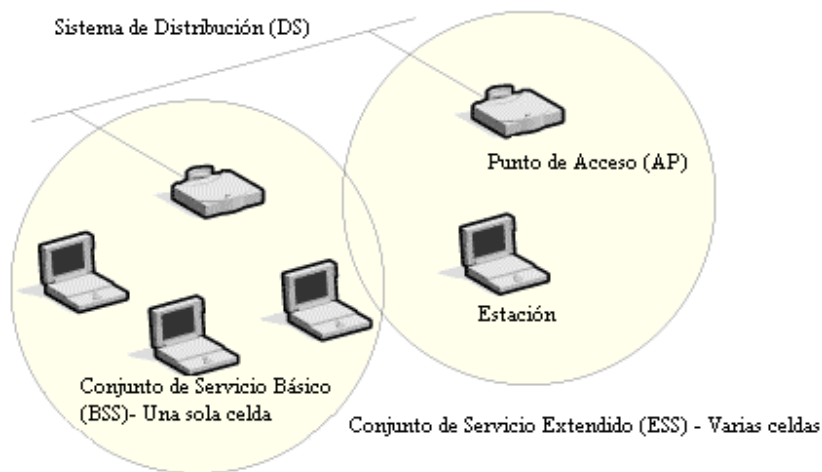


Figura 1.4 Modo infraestructura

C. Enlace entre varias LAN o WMAN

Para finalizar, otra de las configuraciones de red posibles es la que incluye el uso de antenas direccionales. El objetivo de estas antenas direccionales es el de enlazar redes que se encuentran situadas geográficamente en sitios distintos. Un ejemplo de esta configuración está en el caso en que se tenga una red local en un edificio y se quiera extender a otro edificio. Una posible solución a este problema consiste en instalar una antena direccional en cada edificio apuntándose mutuamente. A la vez, cada una de estas antenas está conectada a la red local de su edificio mediante un punto de acceso. De esta manera se podrán interconectar las dos redes locales.

1.5 Redes inalámbricas Académicas

Como se mencionó anteriormente, las redes inalámbricas académicas o para campus universitarios han tomado un gran auge en los últimos años. Por lo que a continuación se analizan algunos casos de interés.

Primer caso

La Universidad de Costa Rica (UCR) con más de 6900 docentes y unos 37 600 estudiantes por año, es la institución de educación superior más importante de América Central. Tiene el compromiso de mantener altos niveles de excelencia educativa y mejorar el acceso al conocimiento a través de sus cinco campus principales, siete centros regionales, 17 estaciones de campo y 24 bibliotecas y centros de documentación.

Sin embargo, esa excelencia se vio amenazada por las limitaciones de conectividad de la red. La única manera en que el personal y los estudiantes podían acceder a las herramientas y el material educativo en línea era a través de una cantidad limitada de computadoras conectadas en red alambrada. Los estudiantes que tenían equipos portátiles propios también tenían que utilizar las máquinas de las salas de computación de la universidad para ingresar en la red del campus y los sistemas informáticos centrales.

Para dar solución al problema la UCR comenzó por introducir la tecnología WLAN con puntos de acceso en auditorios y laboratorios de computación. Luego, la universidad decidió adoptar una implementación WLAN más amplia de interiores y exteriores que ofreciera alta disponibilidad, escalabilidad y velocidad. Además, la universidad consideró otros aspectos, entre ellos, la administración centralizada, el aprovisionamiento automático, la autenticación de acceso único a través del protocolo LDAP (Lightweight Directory Access Protocol), la protección de la inversión, seguridad y compatibilidad de plataforma.

En una fase inicial se implementaron 140 puntos de acceso inalámbrico. Año tras año se fue aumentando la cantidad de puntos de acceso hasta alcanzar las 460 unidades, según el último inventario. De esta forma se proporciona cobertura inalámbrica a zonas internas de sitios principales junto con espacios exteriores y sitios regionales.

En la actualidad, AURI-2 (Acceso Universitario a la Red Inalámbrica) está disponible en todas las sedes universitarias y ofrece un 80 % de cobertura, principalmente a través de puntos de acceso inalámbrico Cisco Aironet® de la serie 1130AG. Esto se complementa con puntos de acceso inalámbrico Cisco® Aironet de la serie 1140 en lugares donde la instalación sencilla y la eficiencia energética son prioritarias, y puntos de acceso inalámbrico Cisco de las series 1230AG, 1250, y 1310 en entornos más complejos. (2013a)

La universidad, además, cuenta con seis controladores de red LAN inalámbrica Cisco 5508 y un sistema de control inalámbrico Cisco para la supervisión y administración centralizadas. La plataforma inalámbrica está conectada a los servicios LDAP de la UCR. El acceso a la red únicamente está autorizado a estudiantes o empleados. En la actualidad, la UCR está trabajando para lograr el 100 % de cobertura mediante la instalación de un controlador de red LAN inalámbrica Cisco 5508 y 147 puntos de acceso adicionales.

La mayor cantidad de puntos de acceso en el campus de la UCR ha generado un impresionante aumento de la cantidad de usuarios. En 2007, apenas 300 usuarios se conectaban a la red WLAN; hoy, la red admite unos 1200 usuarios por día y esa cifra sigue en aumento.

La UCR ha identificado otras ventajas. Por ejemplo, los docentes que usan equipos portátiles, tabletas o teléfonos celulares pueden tener acceso a distintas bases de datos de la universidad y generar contenido multimedia para sus cursos en entornos exclusivos de Moodle y Cisco Web Ex

Mientras tanto, los estudiantes cuentan con un mayor acceso a plataformas educativas y de servicios de la universidad, como campus virtual, bibliotecas, consulta de deuda, comunicaciones de colaboración y registro en línea. También se pueden conectar a miles de recursos de aprendizaje multimedia en sitios académicos internacionales en línea.

Segundo caso

El proyecto del Campus Digital de la Universidad Libre de Berlín provee conexión total con alta seguridad al acceso inalámbrico respaldado por soluciones de Cisco (Cisco's Wireless LAN solution) utilizando el estándar 802.11n. Con este servicio se garantiza la seguridad y la confiabilidad del acceso a la Universidad desde tres campus en Dahlem, Daelppel y Lankwitz, contribuyendo a la competitividad de este recinto como un centro mundial del conocimiento. Se perfecciona además la búsqueda de información para los estudiantes al permitir conexión con los recursos de la red desde cualquier lugar dentro del campus. Con el uso del estándar 802.11n las celdas de radiación tienen una señal más estable permitiendo razones hasta de 300Mbps, proveyendo al usuario de una cobertura mayor. Además la selección automática de canales asegura que las celdas adyacentes transmitan y reciban en canales diferentes eliminando la interferencia co-canal (Cisco, 2009).

Tercer caso

La Universidad de Chile cuenta con más de 400 Puntos de Acceso inalámbricos a Internet

La red inalámbrica cuenta con un controlador central, que dota de inteligencia a la red, mejorando la eficiencia en varios aspectos, siendo como objetivo principal mejorar la tecnología de Roaming, la que permite que un usuario de la red se cambie de ubicación

dentro de su Campus, o se desplace a otra locación de la Universidad donde exista cobertura y se mantenga conectado. Este controlador disminuye las interferencias dentro de los edificios, mejorando la calidad de la señal que se recibe y por tanto mejorando la conexión.

Docentes y Personal de colaboración pueden crear directamente cuentas temporales a sus invitados, dando acceso por días o semanas, sin la necesidad de solicitar que la unidad de informática de la facultad u otro organismo se las genere.

La nueva red Wi-Fi entrega adicionalmente la señal identificadora Eduroam. Esta señal habilita una red segura con encriptación del más alto nivel, permitiendo transacciones robustas y cifradas con Internet. La señal Eduroam, es el servicio mundial de movilidad segura desarrollado para la comunidad académica y de investigación de múltiples países. Ella integra a la comunidad de la Universidad de Chile, con el resto del Mundo, permitiendo que si usted va a una universidad en otra parte del mundo, donde también esté disponible esta red, se conecte sin ningún tipo de restricción ni configuración diferente, usando la cuenta Pasaporte. (2014b)

1.6 Ventajas y desventajas de las WLAN

Las redes WLAN son sencillas de instalar, usar, y manejar y por tanto vale la pena la inversión inicial en el equipo. WLAN entre otras características presenta un conjunto rico de herramientas de administración, potencia sobre Ethernet, y configuración de Puntos de acceso lo que bajará el costo completo de una LAN inalámbrica.

Así, el costo de instalación y mantenimiento de una WLAN generalmente es más bajo que el coste de instalación y mantenimiento de una red cableada tradicional y resulta más beneficiosa a largo plazo.

Entre las ventajas de las redes inalámbricas a corto y largo plazo, se incluyen:

Accesibilidad: Todos los equipos portátiles y la mayoría de los teléfonos móviles de hoy día vienen equipados con la tecnología Wi-Fi necesaria para conectarse directamente a una LAN inalámbrica. Los empleados pueden acceder de forma segura a sus recursos de red desde cualquier ubicación dentro de su área de cobertura. Generalmente, el área de

cobertura es su instalación, aunque se puede ampliar para incluir más de un edificio.

Movilidad: Los empleados pueden permanecer conectados a la red incluso cuando no se encuentren en sus mesas. Los asistentes de una reunión pueden acceder a documentos y aplicaciones. Los vendedores pueden consultar la red para obtener información importante desde cualquier ubicación.

Productividad: El acceso a la información y a las aplicaciones clave de su empresa ayuda a su personal a realizar su trabajo y fomentar la colaboración. Los visitantes (como clientes, contratistas o proveedores) pueden tener acceso de invitado seguro a Internet y a sus datos de empresa.

Escalabilidad: Conforme crecen sus operaciones comerciales, puede que necesite ampliar su red rápidamente. Generalmente, las redes inalámbricas se pueden ampliar con el equipo existente, mientras que una red cableada puede necesitar cableado adicional.

Seguridad: Controlar y gestionar el acceso a su red inalámbrica es importante para su éxito. Los avances en tecnología Wi-Fi proporcionan protecciones de seguridad sólidas para que sus datos sólo estén disponibles para las personas a las que les permita el acceso.

Costes: Con una red inalámbrica puede reducir los costes, ya que se eliminan o se reducen los costes de cableado durante los traslados de oficina, nuevas configuraciones o expansiones.

Las WLAN ofrecen la posibilidad de compartir información en tiempo real, sin la necesidad de buscar conexión física, permiten portabilidad y movilidad.

Las prestaciones de las WLAN aun se encuentran por debajo de las redes cableadas.

Una de las grandes desventajas de la tecnología inalámbrica es la baja velocidad de transmisión, con el 802.11b se puede llegar como máximo a una velocidad de 11 Mbps.

Además, la distancia y la potencia están limitadas. Conforme la distancia aumenta la velocidad de transmisión disminuye.

Por último, los componentes que se utilizan son caros, pero como ya se ha explicado antes es un coste que a largo plazo es compensado por el bajo coste de mantenimiento y facilidad de instalación y administración entre otras cosas. (Praderas, 2009)

1.7 Conclusiones parciales del capítulo

- ❖ Las redes inalámbricas no se ven como sustitutos a las redes cableadas, sino una opción de las mismas, ya que las cableadas ofrecen velocidades mucho mayores.
- ❖ Las mejores soluciones son las híbridas, con una red combinación de ambas, de manera que la parte principal de la red sea la red cableada y se dispongan de las ventajas que las redes inalámbricas ofrecen en cuanto a flexibilidad y movilidad.
- ❖ Los proyectos de Campus de alta densidad y con alta seguridad en su mayoría son mediante soluciones de Cisco utilizando el estándar 802.11n.

CAPÍTULO 2. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE WLAN DE ALTA DENSIDAD

2.1 Planificación y diseño de Redes Inalámbricas Locales (WLAN)

En las redes WLAN de alta densidad, es importante la atención en la planeación y el diseño de la red. También es importante seleccionar adecuadamente el equipo de red que se compre, debiendo ofrecer un alto desempeño y funciones de optimización para un espectro limitado, tales como:

- Reducción al mínimo de la interferencia de canales vecinos.
- Maximización de la capacidad espectral por medio de la localización de diferentes frecuencias.
- Optimización del ancho de banda para hacer un mejor uso de la capacidad espectral disponible.
- Equilibrio en el número de clientes por Puntos de Acceso (Access Point).
- Diseño basado en calidad de servicio

En el proceso de determinación de las necesidades, es posible identificar los objetivos de diseño de la red. Una planificación adecuada requiere un profundo conocimiento de los dispositivos que podría tener el usuario final y sus capacidades, la densidad de clientes en cada área de cobertura y las aplicaciones que dependen de un buen funcionamiento de la red WLAN.

El diseño de la red no es más que la síntesis de las necesidades identificadas en una arquitectura de red que cumpla con los requisitos definidos.

2.2 Factores que inciden en el diseño y planeación de una red WLAN.

Son varios los factores a considerar a la hora de seleccionar un sistema inalámbrico para la instalación y montaje de una red WLAN de alta densidad de usuarios con alto desempeño.

Algunos de los aspectos a tener en cuenta son los siguientes:

2.2.1 Área de Cobertura

Históricamente, muchas redes Wi-Fi se han diseñado para proporcionar una cobertura básica de un área de servicio deseada, por este motivo un diseño de “cobertura orientada” puede satisfacer las necesidades básicas de acceso a una red Wi-Fi a sólo unos pocos usuarios. Se requiere un enfoque diferente para el diseño de una red en crecimiento. Las redes Wi-Fi modernas deben ser diseñadas para soportar las necesidades actuales y prever una capacidad y rendimiento futuro.

Existen diferencias significativas entre las capacidades de las redes Wi-Fi diseñadas para la cobertura frente a los enfocados al desempeño. Los matices entre estos dos enfoques a menudo no son bien entendidos por el usuario final.

La mayor parte de los sistemas de redes inalámbricas usan RF porque pueden penetrar la mayor parte de lugares cerrados y obstáculos. El rango de cobertura de una LAN inalámbrica típica va de 30m. a 100m. Puede extenderse y tener posibilidad de alto grado de libertad y movilidad utilizando puntos de acceso (micro células).

Mientras la frecuencia aumenta, generalmente el rango de cobertura de la señal decremento, de modo que la frecuencia de operación de 5 GHz generalmente tiene menor rango de cobertura que la de 2.4 GHz. Hay que tener en cuenta si el punto de acceso se va a instalar en exteriores o interiores. Dependiendo de ello, será la gama de cobertura. En cubículos cerrados la cobertura es de 20 metros, en cubículos abiertos de 30 metros. En pasillos y corredores de hasta 45 metros. En exteriores de hasta 150 metros. El uso de antenas con mayor ganancia aumentará considerablemente la cobertura.

2.2.2 Frecuencia de operación

Cuando se diseña una WLAN generalmente causa confusión el hecho de seleccionar la frecuencia de operación que define el estándar que se va utilizar. Universalmente las

WLAN utilizan las frecuencias de 2.4 GHz (802.11b) y 5 GHz (802.11a/g). El hecho de utilizar una, tiene muchas implicaciones. Se han hecho diversos estudios sobre la propagación de las señales en estas dos frecuencias, dando como resultado que la frecuencia más baja (2.4 GHz) alcanza mayor propagación, extendiéndose más del doble de cobertura que la frecuencia de 5 GHz.

2.2.3 Tipos de aplicaciones

Es importante delimitar el tipo de aplicaciones de red que se van a establecer en la red inalámbrica, tales como acceso a Internet, correo electrónico, consultas a base de datos y transferencia de archivos. Dado el limitado ancho de banda, no es recomendable que se utilicen las WLAN para aplicaciones que consumen alto ancho de banda tales como transferencia de video e imágenes, videoconferencia, audio/video streaming. Sin embargo hoy en día esta no puede ser una limitante con el despliegue de las redes sociales.

2.2.4 Cantidad máxima de usuarios

En el diseño de una WLAN es muy importante delimitar el número de usuarios que utilizará la red. Como se aprecia en la tabla 2.1, los estándares definen diferente número de usuarios conectados simultáneamente a un punto de acceso (AP). Es obvio afirmar que a mayor número de usuarios conectados a una WLAN, menor será el desempeño de la misma. Hay que tener en cuenta el número máximo de usuarios que soporta cada estándar.

Tabla 2.1. Número de usuarios según el estándar.

Estándar	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n	802.11ac
Usuarios simultáneos	64	32	50	-	-

2.2.5 Conexión de la WLAN con la red cableada

Tener en cuenta que los puntos de acceso necesitan electricidad para poder operar y además deben estar conectados a la red cableada. Se recomienda instalar los puntos de acceso en lugares estratégicos sin olvidarse de éstas dos conexiones. Existen puntos de acceso que proveen la electricidad al AP a través del cable par trenzado. Esta característica se le conoce como PoE (Power over Ethernet).

La alimentación a través de Ethernet (Power over Ethernet, PoE) es una tecnología que incorpora alimentación eléctrica a una infraestructura LAN estándar. Permite que la alimentación eléctrica se suministre a un dispositivo de red (switch, punto de acceso, teléfono o cámara IP, etc.) usando el mismo cable que se utiliza para la conexión de red. Elimina la necesidad de utilizar tomas de corriente en las ubicaciones del dispositivo alimentado y permite una aplicación más sencilla de los sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI) para garantizar un funcionamiento las 24 horas del día, 7 días a la semana.

Power over Ethernet se regula en una norma denominada IEEE 802.3af, y está diseñado de manera que no haga disminuir el rendimiento de comunicación de los datos en la red o reducir el alcance de la red. La corriente suministrada a través de la infraestructura LAN se activa de forma automática cuando se identifica un terminal compatible y se bloquea ante dispositivos preexistentes que no sean compatibles. Esta característica permite a los usuarios mezclar en la red con total libertad y seguridad dispositivos preexistentes con dispositivos compatibles con PoE.

Actualmente existen en el mercado varios dispositivos de red como switch o hubs que soportan esta tecnología. Para implementar PoE en una red que no se dispone de dispositivos que la soporten directamente se usa una unidad base (con conectores RJ45 de entrada y de salida) con un adaptador de alimentación para recoger la electricidad y una unidad terminal (también con conectores RJ45) con un cable de alimentación para que el dispositivo final obtenga la energía necesaria para su funcionamiento.

Ventajas

- Es una fuente de alimentación inteligente: Los dispositivos se pueden apagar o reiniciar desde un lugar remoto usando los protocolos existentes, como el Protocolo simple de administración de redes (SNMP, Simple Network Management Protocol).
- Simplifica y abarata la creación de un suministro eléctrico altamente robusto para los sistemas: La centralización de la alimentación a través de concentradores (hubs) PoE significa que los sistemas basados en PoE se pueden enchufar al Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI) central, que ya se emplea en la mayor parte de las redes informáticas formadas por más de uno o dos PC, y en caso de corte de electricidad, podrá seguir funcionando sin problemas.
- Los dispositivos se instalan fácilmente allí donde pueda colocarse un cable LAN, y no existen las limitaciones debidas a la proximidad de una base de alimentación (dependiendo la longitud del cable se deberá utilizar una fuente de alimentación de mayor voltaje debido a la caída del mismo, a mayor longitud mayor pérdida de voltaje, superando los 25 metros de cableado aproximadamente).
- Un único juego de cables para conectar el dispositivo Ethernet y suministrarle alimentación, lo que simplifica la instalación y ahorra espacio.
- La instalación no supone gasto de tiempo ni de dinero ya que no es necesario realizar un nuevo cableado.
- PoE dificulta enormemente cortar o destrozar el cableado: Generalmente el cableado se encuentra unido a bandejas en los huecos del techo o detrás de conductos de plástico de muy difícil acceso. Cualquier corte de estos cables resultará obvio al momento para quien pase por el lugar y, por supuesto, para los usuarios de los ordenadores que serán incapaces de proseguir con su trabajo.

Desventajas:

- Ausencia de estándares tecnológicos para la interoperabilidad de equipos.
- Para poder usar PoE, todos los dispositivos de Red (Hubs/Switch, Cámaras IP, Puntos de Acceso,...) deben ser compatibles con esta norma.(2012)

2.2.6 Planeación y administración de las direcciones IP

Para la conexión a Internet todos los dispositivos inalámbricos necesitan de una dirección IP para poder identificarse. Por lo que será necesario reservar direcciones IPs para los dispositivos inalámbricos que se quieran conectar a la red WLAN. Por lo que será necesario emplear Enrutadores inalámbricos que puedan proporcionar direcciones IP privadas. También hay que considerar el uso servidores de DHCP para asignar direcciones dinámicamente; pero esto puede ser contraproducente.

2.2.7 Los identificadores de la red (SSID)

Los SSIDs son los identificadores de los puntos de acceso. Se deben utilizar identificadores SSIDs adecuados y no muy obvios. La razón: estos identificadores son fácilmente rastreables por aplicaciones o por otros Puntos de Acceso (AP). Es muy común que al instalar un AP, no se cambie el nombre del SSID que trae de fábrica. Esta mala práctica ocasiona que los usuarios maliciosos identifiquen claramente el nombre del fabricante del AP y puedan conocer la contraseña. Para después entrar al panel de administración de la configuración del AP y tomar el control total de la red.

2.2.8 Seguridad en la comunicación

Los objetivos de la seguridad son mantener la integridad, proteger la confidencialidad y asegurar la disponibilidad. Todas las redes deben estar protegidas para alcanzar su máximo potencial. Las Redes Inalámbricas WLAN de alta densidad presentan desafíos de seguridad únicos. (Reino, 2007)

Existen tres niveles de seguridad: el básico, intermedio y avanzado.

En el nivel básico existe ya por omisión un mecanismo de seguridad en el estándar 802.11x, conocido como WEP. Este mecanismo utiliza una llave o contraseña de 64 o 128 bits para acceder al AP. También existe en este nivel básico de seguridad el filtrado de direcciones MAC. Con este mecanismo se logra filtrar aquellas direcciones MAC que no pertenezcan a nuestra red. Se ha demostrado que es muy fácil corromper estos dos

mecanismos, por lo cual no es muy recomendable si se desea un nivel de seguridad más sofisticado.

En el nivel intermedio de seguridad se encuentran los servidores de autenticación, tales como el RADIUS y el kerberos. Para ellos se requiere la instalación y configuración de un servidor de autenticación, el cual implica un gasto extra por la contratación de una persona calificada que lo instale, configure y administre. El acceso al AP se hace mediante un registro (login) y una palabra clave (password) más personalizado para cada usuario. El servidor de autenticación validará ésta información antes de darle acceso al AP. Una de las desventajas de los servidores de autenticación es que éstos pueden ser accedidos maliciosamente por los hackers y obtener la lista completa de contraseñas y usuarios.

En el nivel avanzado de seguridad ya se hace uso de servidores de autenticación más sofisticados. En este nivel se pueden emplear protocolos de encriptación tales como IPSec, SSL o TLS. También pueden comprarse equipos VPN para crear túneles seguros entre los usuarios y los servidores de autenticación. (Evelio Martínez, 2010)

La mayoría de equipos de redes inalámbricas, contemplan las siguientes funciones para proteger la red de datos:

- La autenticación y el cifrado de datos.
- Filtrado de direcciones MAC
- Detección de intrusos.
- Ocultamiento del Identificador de Servicio (SSID).

Para el presente diseño la función que se tomara para proteger la red de datos será la de autenticación y cifrado de datos.

Para implementar autenticación se configuran los puntos de acceso IEEE 802.11 de forma que utilicen el estándar IEEE 802.1x y servidores RADIUS para identificar, autenticar y autenticar a los usuarios y dispositivos mediante políticas de acceso centralizadas.

Para implementar cifrado de datos, hasta ahora el único sistema ampliamente implementado por los fabricantes de productos compatibles con 802.11 es el WEP (Wired

Equivalent Privacy), disponible en versiones de 64 y 128 bits. (Agudelo, 2011)

La seguridad hoy en día es un punto que no hay que dejar por alto. Muchas de las organizaciones que instalan WLAN no contemplan la seguridad como una de sus prioridades. Es importante en cualquier organización la implantación de políticas de uso y seguridad. De esta manera todos los que pertenecen a la organización, se hacen responsables y conscientes del uso y de la seguridad de la red y no se deja esa labor a una sola persona, como sería el caso del administrador de la red. (Evelio Martínez, 2010)

2.3 Identificación de las capacidades de los equipos.

En primer lugar, se deben identificar los tipos de dispositivos que los clientes usarán en el medio, sus cantidades, así como sus capacidades de radio inalámbrico. La red inalámbrica debe servir a todos los dispositivos de forma simultánea. Identificar el tipo de radio en cada dispositivo y sus certificados IEEE (802.11b/g/a/n) ayudará a determinar las velocidades de datos, las bandas de frecuencia compatibles y las capacidades de rendimiento de las aplicaciones. Una vez que haya identificado el tipo de radio, incluyendo el número de flujos espaciales compatibles, es importante determinar la velocidad máxima de datos Wi-Fi que el dispositivo es capaz de lograr y en qué canales y bandas. La máxima velocidad de datos ayuda a esclarecer la rapidez con la que un cliente puede transmitir y recibir datos, lo cual afecta la cantidad de tiempo al aire utilizado para alcanzar el nivel de rendimiento requerido por las aplicaciones de destino y la planificación de la capacidad total de la red.

El siguiente paso es determinar el rendimiento de la aplicación con mayor consumo de red en cada tipo de dispositivo inalámbrico que estará en la red. Esto permite estimar la cantidad máxima de rendimiento TCP/IP que se puede lograr. La cantidad de sobrecarga de la red debe ser determinada a través de pruebas en campo o a través de una suposición sensata. Es común para las redes Wi-Fi tener entre un 40% y un 60% de sobrecarga con respecto a los resultados obtenidos en las pruebas. El mejor y más exacto método de determinación de las capacidades de rendimiento de un dispositivo, es realizar pruebas en vivo con los dispositivos clientes que se utilizarán y los mismos equipos de red y parámetros de configuración que se utilizarán en la implementación. (2009)

2.4 Identificación del rendimiento para cada tipo de dispositivo

A continuación la tabla 2.2 muestra la categoría de dispositivos comunes y capacidades.

Tablet se traduce como Tableta y las Tabletas se producen hoy en cantidades mayores a la producción de Laptops y PC juntas.

Tabla 2.2 Categoría de dispositivos comunes y capacidades

Categoría del servicio	Tipo de radio Wi-Fi	Canales soportados	BW	Pot. de tx de energía	Max. Tasa de tx
Teléf. móviles comunes	802.11a/g	1-11	20MHz	11dbm	54Mbps
Smartphone	802.11n	1-11	20MHz	11dbm	65-72Mbps
Tables	802.11n	1-11,36-48, 149-161	20MHz	11-14dbm	65-72Mbps
Netbooks	802.11n	1-11,36-48, 149-161	20/40MHz	11-17dbm	144/300Mbps
PCs de bajo rendimiento	802.11n	1-11	20MHz	17-20dbm	144Mbps
PCs de medio rendimiento	802.11n	1-11,36-48, 149-161	20/40MHz	17-20dbm	144/300Mbps
PCs de alto rendimiento	802.11n	1-11,36-48, 5264,100-140, 149-161	20/40MHz	17-20dbm	216/450Mbps

Una vez que los dispositivos cliente y las capacidades de radio han sido identificadas, se debe continuar con las aplicaciones que se van a utilizar y los requisitos de rendimiento de las mismas para cada dispositivo. Un conocimiento profundo de las necesidades de las aplicaciones proporcionará la información necesaria para diseñar una red que satisfaga las necesidades del usuario final. A través de este proceso, es posible identificar las aplicaciones críticas y no-críticas utilizadas en cada dispositivo y establecer el nivel de rendimiento de las aplicaciones de destino por cada dispositivo en la red. (2009)

2.5 Pronósticos de AP y capacidad del canal

El pronóstico se deriva mediante la estimación de la carga de la red o el tiempo al aire necesario para cada dispositivo cliente, el cual le permite alcanzar el nivel de rendimiento esperado a las aplicaciones de destino. Esto se representa como un porcentaje del tiempo de emisión que será consumido por cada dispositivo cliente en un radio de AP. Con la suma total se puede predecir la capacidad de AP requerida para apoyar a todos los clientes al mismo tiempo.

Si todos los dispositivos cliente estarán en línea al mismo tiempo, entonces no es necesario realizar ningún ajuste.

La previsión es útil como un punto de partida para el diseño de la red WLAN con un estudio del sitio. A través del proceso de inspección del lugar y la verificación de la capacidad esperada, es probable que se deban hacer modificaciones debido a las características de las instalaciones que requieren mayor capacidad de co-localización de los Puntos de Acceso o cobertura en las zonas menos comunes tales como pasillos, escaleras y ascensores.(2009)

2.5.1 Ubicación de los Puntos de Acceso (AP)

Una vez que los equipos de acceso son montados, los ajustes se hacen mucho más complejos, por lo que las pruebas se deben realizar previas a la instalación para asegurar la cobertura definida en el diseño.

La rápida evolución de las tecnologías y equipos de acceso conduce a que si uno de estos dispositivos tiene capacidad para antena externa le sea incorporada de ser necesario para lograr mejor cobertura inalámbrica.

El emplazamiento del punto de acceso encima de las edificaciones en grandes entornos no es adecuado aunque en ocasiones no quede otra opción. Hay varios modos de solucionar este problema y, según el ambiente y las restricciones impuestas, se utilizan varios métodos que se proponen a continuación:

Montaje Superior (Overhead)

El método más común de conseguir cobertura espacialmente consiste en colocar el Punto de Acceso AP directamente sobre los clientes. Hay múltiples opciones para acomodar el montaje del AP encima del edificio de manera discreta. Una de ellas es el uso de antenas interiores, resulta menos costoso el montaje del AP. Aunque si lo que se quiere es gran cobertura pueden utilizarse antenas exteriores direccionales lo que causa un ligero aumento en el precio de la instalación. Si la decisión es incorporar antenas externas entonces se recomienda que sean direccionales lo que conlleva a una reutilización de canales en 2.4GHz, favorable en espacios pequeños. La altura del techo y el tipo de antena (direccional para 2.4GHz u omnidireccional para 5GHz) determinaran el límite de la célula para el desempeño requerido.

Si el objetivo del diseño, por asuntos estéticos, es el de utilizar antenas interiores, se pueden desplegar AP de manera tal que se asignan 9 canales para 5 GHz y 3 para 2.4 GHz consiguiéndose un rendimiento aceptable sin interferencias.

Montaje Lateral

Los espacios grandes tienen pasillos que separan los locales en secciones, siendo estos sitios zonas de solapamiento de celdas. Para disminuir el efecto de la Interferencia Co-Canal (CCI) el diseño comprende entonces un montaje lateral manteniendo una inclinación de las antenas (downtilt) direccionales de 30°- 60° a una altura mínima de 2.4 m.

Montaje Frontal y Trasero

En la zona delantera y trasera de la zona de cobertura existen espacios abiertos que deben ser cubiertos. En un entorno de gran cantidad de usuarios se coloca el AP delante y detrás (arriba y abajo) para garantizar máxima cobertura. Con antenas como la AIR-ANT2460NP-R con 80 grados horizontales y 75 grados verticales para cubrirlas primeras filas. (Nótese que dos de éstos AP proporcionan casi unos 180 grados de cobertura y dos canales de 2.4

GHz). Para 5GHz, se utiliza la AIR-ANT5160NP-R con 65 grados horizontales y verticales. Además un AP AIR-ANT25137NP-R con 55 grados verticales y horizontales cubre la sección detrás de las primeras filas (con 55 grado ,3-4 canales). Se repite el mismo procedimiento para la sección trasera, este modelo garantiza gran cantidad de canales disponibles. Ver en Anexo I los datos técnicos de las antenas recomendadas.

Montaje teniendo en cuenta las sombras

Las columnas de apoyo o los balcones pueden representar sombras naturales dentro de un área determinada. Bajo densidad es normal, tales rasgos requerirían que AP adicionales aseguren la cobertura para usuarios colocados en tal sombra. En una instalación de alta densidad estos rasgos pueden aprovecharse, pues provoca una reutilización del canal; al maximizar este efecto otro canal puede ocupar dicho espacio.

2.6 Banda de 5 GHz y 2 GHz

La cantidad de espectro disponible limita la capacidad total de una red Wi-Fi conformada por múltiples celdas adyacentes. Una red inalámbrica conformada por varios Puntos de Acceso (AP) requiere puntos de solape entre las celdas adyacentes para facilitar la continuidad del servicio en clientes móviles, ya que estos deambulan por el medio.

Todas las estaciones de la red inalámbrica local, incluyendo Puntos de Acceso que operan en la misma frecuencia, deben competir por tiempo de acceso al medio entre ellos. Por lo tanto, la colocación de múltiples puntos de acceso operando en el mismo canal dentro de la misma área de servicio física no aumenta la capacidad. Por el contrario tiene el efecto contrario, pues aumenta la contención y reduce la capacidad.

Es fundamental que las celdas adyacentes operen en frecuencias diferentes para reducir la interferencia co-canal y aumentar así la capacidad de la red. Cuando las estaciones inalámbricas de la red funcionan en frecuencias que no se superponen, es menos probable que sus transmisiones interfieran con las de otro AP. En efecto, mediante la segmentación de grupos en diferentes frecuencias, el dominio de colisión se hace más pequeño. Esto sirve para reducir la interferencia de estaciones y por lo tanto aumenta la capacidad dentro de cada celda.

Existen diferencias significativas entre la cantidad de espectro sin licencia disponible en la banda de 2.4 GHz y el diseño de redes en 5 GHz. La banda de 2.4 GHz está compuesta por sólo tres canales de 20 MHz que no se superponen (22 MHz para el estándar 802.11b).

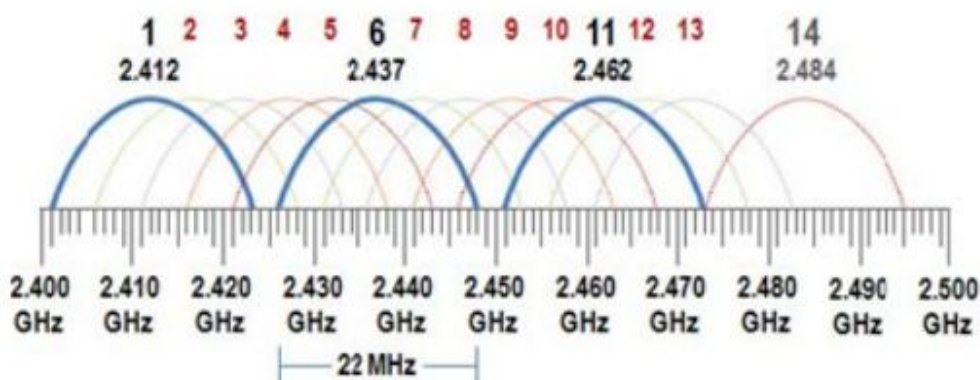


Figura 2.1 Relación de canales en el espectro de 2,4 GHz (2009)

Debido a la cantidad relativamente escasa de espectro disponible en la banda de 2.4 GHz, normalmente no hay suficientes canales disponible en un edificio para servir a una población de clientes sin afectar negativamente el plan de reutilización de canales no superpuestos.

La banda de 5 GHz está conformada por cuatro bandas de frecuencias únicas y un total de 23 canales de 20 MHz que no se superponen. En contraste con la banda de 2.4 GHz, la banda de 5 GHz ofrece mucha más capacidad espectral para las redes Wi-Fi. Esto facilita una mayor separación entre los puntos de acceso que operan en el mismo canal y permite un mejor plan de reutilización de frecuencias. En entornos de alta densidad, múltiples radios de 5 GHz pueden ser físicamente co-localizados utilizando diferentes canales, con el fin de aumentar la capacidad.

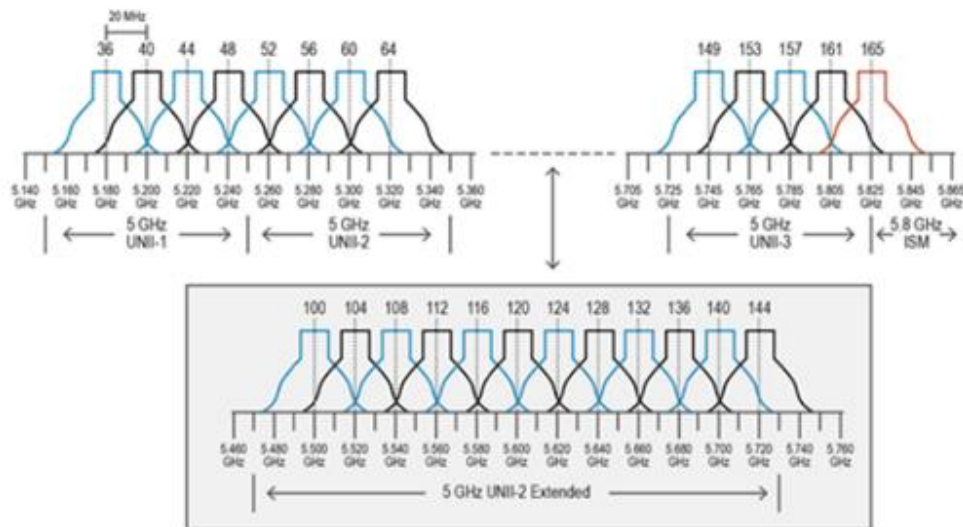


Figura 2.2 Relación de canales en el espectro de 5 GHz(2009)

Dos de las cuatro bandas de 5 GHz vienen con restricciones regulatorias que pueden hacer su uso poco atractivo y reduce de forma significativa la capacidad disponible. Dos de estas bandas, UNII-2 y UNII-2 extendido (UNII-2e), requieren de selección dinámica de frecuencias (Dynamic Frequency Selection, DFS) que es una funcionalidad requerida por las WLAN que operan en la banda de 5GHz con el fin de evitar interferencias co-canal con sistemas de radar y para asegurar una utilización uniforme de los canales disponibles. (DFS) detectará y evitará interferencias con los sistemas militares y radares meteorológicos. Las regulaciones son estrictas en exigir el cese inmediato de la transmisión cuando se detecta el radar. Esto puede causar interrupciones del servicio en las redes Wi-Fi mientras se informa a los clientes conectados sobre un nuevo canal seleccionado.(2014a)

Los puntos de acceso admiten las bandas de 2,4 y de 5 GHz. En función del tipo de aplicación y de las condiciones locales, una de ellas será más adecuada para su red Wi-Fi que la otra.

Banda de 2,4 GHz: muchos clientes WLAN, en particular, los modelos más antiguos, solo admiten la banda de 2,4 GHz. Si estos clientes van a comunicarse a través de la red WLAN, es esencial que la red funcione en la banda de 2,4 GHz. Desventaja: este rango de

frecuencia suele estar muy saturado, y hay disponible menos ancho de banda global porque ciertos mecanismos, como la agrupación de canales, no están disponibles.

Banda de 5 GHz: con esta frecuencia, el estándar 802.11n puede dejar patente su auténtica capacidad y lograr las velocidades de transmisión de datos más altas. Cualquier persona que diseñe una WLAN totalmente nueva debería optar por la banda de 5 GHz. Ventaja adicional: esta banda es utilizada por menos aplicaciones inalámbricas, por lo que cabe esperar menos interferencias. Con el funcionamiento combinado de ambas bandas se obtiene el máximo nivel de flexibilidad y rendimiento.

Sin embargo, los diseñadores de redes deben todavía ser conscientes del impacto que la desactivación de los canales DFS tendrá en la capacidad de la red y el plan de reutilización de canales.

2.7 Uso de canales con ancho de banda de 20 MHz

La capacidad espectral disponible también está influenciada por el ancho de banda del canal operativo. Esto es de consideración primordial en la banda de 5 GHz, donde es común encontrar canales con anchos de banda mayores para aumentar la capacidad de la celda. 802.11n introduce canales con anchos de banda mayores para aumentar el ancho de banda máximo y el rendimiento dentro de una sola celda Wi-Fi (Jim Whiteaker, 2013). La modificación 802.11ac introduce aún mayores anchos de banda que pueden ir desde 80 MHz hasta 160 MHz como se muestra a continuación:



Figura 2.3 Capacidad espectral vs ancho de banda del canal.(2009)

El aumento del ancho del canal es atractivo debido a que aumenta la velocidad de datos máxima y el rendimiento para los clientes individuales que puedan funcionar en todo el

canal, lo cual es muy notorio para los usuarios finales y logra crear la percepción de una red inalámbrica de alto rendimiento. Sin embargo, el uso de canales de mayor ancho en una red de alta densidad puede tener el efecto contrario, reduciendo el número total de canales disponibles para su reutilización entre los Puntos de Acceso (AP) adyacentes y puede reducir la capacidad global de la red.

En las redes Wi-Fi de alta densidad, la reutilización de canales y la segmentación de los dispositivos cliente en dominios de colisión separados, es de mayor importancia que el ancho de banda de los canales y el rendimiento máximo por dispositivo cliente, debido a la eficiencia del uso del espectro. Limitar el número de canales disponibles para el reúso de frecuencias mediante el uso de canales con mayor ancho de banda puede reducir la capacidad global de la red. En redes a 2.4GHz se recomienda siempre utilizar un ancho de banda de 20 MHz.(Jim Florwick, 2011)

2.8 Señal de alta calidad a todas las áreas de cobertura

Cuando se diseña una red por capacidad, los clientes deben conectarse a los Puntos de Acceso (AP) a razones de transmisión de datos lo más elevadas posibles, para maximizar el rendimiento o desempeño de la aplicación. Esto mejora la capacidad de la red global mediante la reducción del tiempo al aire usado por cada cliente.

Muchos fabricantes de dispositivos recomiendan mantener una intensidad de señal mínima de -65 a -67 dBm con una SNR (relación señal ruido) de 25-30 dB para lograr el mejor rendimiento, especialmente para las aplicaciones multimedia (voz y video). Por lo tanto, las redes de alta densidad deben estar diseñadas para asegurar que los clientes siempre tengan una fuerte señal de dos Puntos de Acceso (AP) configurados en canales que no se superpongan.(2009)

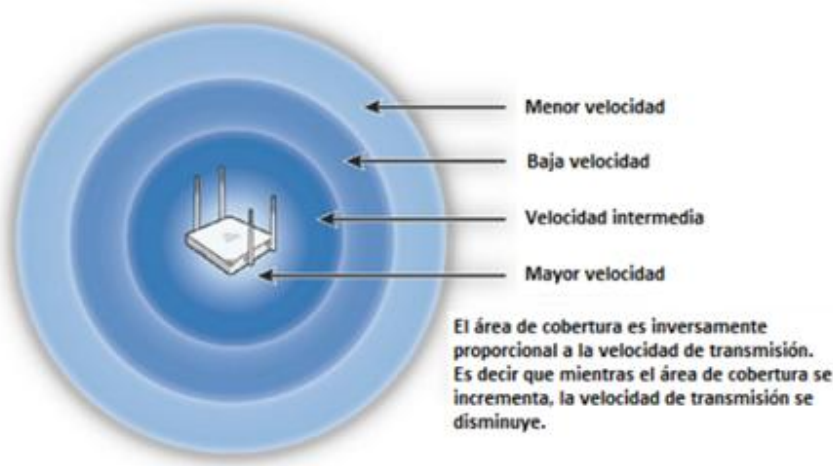


Figura 2.4 Velocidad de datos vs rango de cobertura. (2009)

Esto reduce efectivamente el tamaño de la celda Wi-Fi a la que pueden estar asociados los clientes para cada AP. Ya que los clientes se mueven más lejos del AP y la intensidad de la señal disminuye hacia el umbral de -67 dBm, estos deben ser capaces de descubrir un AP alternativo que puede seguir proporcionando una señal confiable. Esto requiere que los administradores de red diseñen una red Wi-Fi en la que las áreas de cobertura por AP proporcionen un solapamiento igual o superior a -67 dBm. Cuando se compara con una red orientada a la cobertura, el diseño puede requerir niveles mucho más bajos de señal; de -72 dBm por ejemplo. Esto reduce la eficacia de la celda. (Jim Florwick, 2011)

2.9 Interferencia co-canal entre Puntos de Acceso (AP)

Un diseño de red orientado a la capacidad introduce un diferencia importante entre la distancia a la que los clientes podrán asociarse a un AP (rango de asociación mayor a -67 dBm) y la distancia a la que la señal del AP puede crear interferencia co-canal con otros Puntos de Acceso que operan en el mismo canal (rango de entre -67 a -85 dBm). Por lo tanto, los puntos de acceso crearán interferencia co-canal en distancias mucho mayores a las que normalmente se pueden asociar los clientes. La interferencia co-canal es normalmente la causa más significativa de limitación en el rendimiento y capacidad en una red Wi-Fi.

El resultado de la interferencia co-canal es que los AP están compartiendo la capacidad y el tiempo al aire disponible. Por este motivo no es posible añadir más capacidad a una red con

la instalación de más Puntos de Acceso. Si se hace sin tener en cuenta la consideración de canales, solo se va a lograr que se comparta la capacidad entre los equipos asociados. Por el contrario, los AP adicionales deben configurarse para operar en canales que no se superponen y así aumentar la capacidad global de la red.

Se deben diseñar celdas con solapamiento entre AP vecinos en diferentes canales a niveles superiores a los -67dBm y desarrollar un plan de canales que minimice la interferencia co-canal entre los Puntos de Acceso configurados en el mismo canal, para que solo exista solapamiento en niveles por debajo de los -85 dBm.(2009)

El diseño de un plan de canales que reduzca la interferencia co-canal es mucho más sencillo al utilizar la frecuencia de 5 GHz que la banda de 2.4 GHz, debido a la cantidad de capacidad espectral disponible. Al existir un mayor número de canales disponibles que no se superponen, es posible obtener una mayor separación física entre los puntos de acceso que operan en el mismo canal. En la mayoría de los entornos, no es posible eliminar la interferencia co-canal en la banda de 2.4 GHz por tener sólo tres o cuatro canales que no se superponen. Sin embargo esto depende en gran medida de las características de la instalación donde se está ubicando el servicio inalámbrico.(Jim Whiteaker, 2013)

2.10 Características de las instalaciones

El diseño de la red inalámbrica de área local debe tener en cuenta las características de las instalaciones, los materiales utilizados, etc.

El uso de construcción de instalaciones para aislar Puntos de Acceso (AP) entre sí, puede ser especialmente útil en el diseño de un plan de canales para la banda de 2.4 GHz. Habiendo sólo tres canales que no se superponen, normalmente no se proporciona la suficiente capacidad espectral para aislar adecuadamente los vecinos de la interferencia co-canal, a menos que exista suficiente atenuación de la señal de RF.

En casos específicos, puede ser necesario ubicar múltiples puntos de acceso en un solo espacio físico para proporcionar la capacidad requerida. Una sala de conferencias, un gimnasio o una sala de exposiciones pueden requerir más capacidad que tres Puntos de Acceso de doble radio operando en varios canales de 2.4 GHz y 5 GHz que no se superponen.

Se pueden utilizar varias técnicas para aumentar la capacidad de la red cuando existan zonas de alta demanda:

- Antenas semi-direccionales con potencia de transmisión baja para limitar el área de cobertura de los Puntos de Acceso.
- Diferentes canales de 5 GHz que no están en uso para suplir las necesidades de la red. Esto se puede lograr mediante el uso de Puntos de Acceso de doble radio con acceso restringido para la banda de 5 GHz o mediante el uso de Puntos de Acceso configurados para operación únicamente en 5 GHz.
- Suplir las necesidades de la red a través de Puntos de Acceso a 2.4 GHz instalados en lugares donde la atenuación de la señal RF reduce la propagación de la señal en sólo una parte de la zona de cobertura como por ejemplo el lado opuesto de una pared o debajo del suelo.

Cuando se utiliza cualquiera de estas técnicas, se debe asegurar que todos los Puntos de Acceso se ubiquen a un mínimo de 3 metros de distancia el uno del otro para reducir la interferencia de canal adyacente (ACI). Además, los puntos de acceso deben ser configurados para usar canales no adyacentes y se debe ajustar la potencia de salida correspondiente.

La instalación también puede requerir puntos de acceso adicionales para proporcionar cobertura en las zonas menos comunes que serán utilizados a la ligera, como pasillos, escaleras y ascensores. La cobertura en estas áreas dependerá del comportamiento de los usuarios con las aplicaciones admitidas en el medio. Por ejemplo, en entornos en los que se utiliza voz sobre IP (VoIP), es común que los usuarios esperen cobertura en pasillos y escaleras de modo que las conversaciones de voz puedan continuar sin interrupción mientras se mueven a lo largo de la instalación.(2009)

2.11 Razones de transmisión

Las redes de alta densidad requieren que los clientes o usuarios finales transmitan tramas a razones lo más elevadas posibles. El uso de mayores razones de transmisión (tramas por segundo) permite la transmisión de información (voz, datos, video) del cliente más rápido,

reduce el uso de tiempo al aire del cliente y proporciona una mayor capacidad y rendimiento de la red.(Jim Florwick, 2011)

La desactivación de razones de transmisión más bajas, asegura que los clientes sólo puedan conectarse utilizando razones elevadas y ayuda a evitar situaciones de clientes que pueden reducir la capacidad global de la red. La reducción de la cantidad de tipos de datos soportados por un punto de acceso también puede ayudar a minimizar el cambio de velocidad de datos. Esto puede aumentar el rendimiento de la red, ya que el cambio de velocidad de datos puede causar retransmisión excesiva de tramas.

El uso de cualquier tasa de transmisión de datos 802.11b debe evitarse a menos que sea absolutamente necesario. Estas transmisiones lentas utilizan un DSSS mayor y modulación HR/DSSS. Estos métodos de modulación anticuados consumen significativamente más tiempo al aire que los métodos OFDM usados en los sistemas 802.11g y 802.11n y requieren mecanismos de protección, tales como RTS/CTS y CTS-to-Self que puede traducirse hasta en un 40% de incremento en los gastos de protocolo. Por lo tanto, la eliminación de razones bajas y protocolos, como el estándar 802.11b, aumentará la capacidad total del canal mediante la reducción de la utilización de tiempo de emisión de cada cliente. Sin embargo, si al menos un cliente 802.11b debe ser apoyado en la red, entonces la red y todos los clientes deben adaptarse a este requisito y permitir el uso de al menos una velocidad de datos 802.11b.

Para asegurar que los clientes sólo utilizan las velocidades de datos más altas, es necesario personalizar los Puntos de Acceso para las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz. Para esto se debe configurar un índice básico mínimo bastante alto para la transmisión de datos (18 Mbps, por ejemplo) y desactivar todas las transmisiones de datos más bajas.

Esto permite moverse de manera más agresiva entre los diferentes puntos de acceso con una intensidad de señal lo suficientemente fuerte como para mantener el uso de velocidades de datos altas, lo cual conserva el tiempo al aire y aumenta la capacidad general de la red.

Si existen problemas de compatibilidad con algunos clientes, se ha de establecer tasas de 6, 12, y 24 Mbps como básicas y 36, 48 y 54 Mbps como opcionales y desactivar todos los otros tipos. Si deben ser apoyados clientes 802.11b, se debe ajustar 11 Mbps como la única

tarifa básica y 18, 24, 36, 48 y 54 Mbps como opcionales y desactive todos los otros tipos.(2009)

2.12 Optimización del rendimiento

En las redes inalámbricas se tiene la tecnología denominada Dirección de Bandas (Band Steering) es una tecnología que detecta si el cliente inalámbrico puede trabajar en la banda de 2.4 GHz y 5 GHz Si lo es, el sistema va a empujar al usuario a conectarse a la red de 5 GHz menos congestionada. Lo hace mediante el bloqueo de los intentos del cliente para asociarse con la red de 2.4 GHz. Dado que tanto 802.11n como los últimos estándares 802.11ac apoyan la banda de 5 GHz, esta función puede asegurar que se alcance el máximo rendimiento de los usuarios sin sufrir los cuellos de botella ocasionados por los equipos que funcionan en los estándares 802.11b/g. De esta forma se puede aprovechar al máximo la última tecnología y al mismo tiempo garantizar la compatibilidad con los equipos existentes.

La programación del tiempo de permanencia en el aire dinámico mejora el rendimiento de la red para los clientes de alta velocidad mediante la reducción de la monopolización del tiempo de transmisión por parte de los clientes de baja velocidad. En una red tradicional 802.11 inalámbrica, se proporcionan las mismas oportunidades de transmisión para todos los paquetes de la misma clase de servicio a través de todas las estaciones. Esto se refiere a menudo como “equidad según nivel de paquete”, porque todos los paquetes de la misma clase QoS tiene una probabilidad estadísticamente equivalente de transmisión. Clientes más lentos (802.11a/b/g) utilizan mucho más tiempo al aire para transmitir la misma cantidad de datos que los clientes más veloces (802.11n y 802.11ac) debido al uso de tasas menores. Este defecto de “justicia a nivel de paquetes” da como resultado que los clientes más lentos monopolicen el tiempo al aire y se disminuya significativamente la capacidad de la red en conjunto y el rendimiento de los clientes más rápidos.

Para hacer frente a esto y permitir un acceso más equitativo de tiempo de transmisión, algunas marcas proporcionan Calidad de Servicio (QoS) basado en tiempo al aire. En lugar de simplemente utilizar Calidad de Servicio (QoS) según el tráfico y la gestión de colas, algunos Puntos de Acceso (AP) asignan tiempo al aire por cliente, por cada clase de tráfico y por perfil de usuario mediante el cálculo de forma dinámica del consumo de tiempo de

transmisión en función de cada fotograma. En el caso de múltiples tipos de clientes (802.11a, b, g, n) conectados a la misma red WLAN, todos los clientes reciben la misma cantidad de tiempo en el aire sin tener en cuenta el tipo de cliente. Debido a que las tasas de datos de los clientes cambian a menudo con respecto a la velocidad de datos, es apropiado asignar tiempo al aire por cada cliente en función de la velocidad de datos actual de cada uno y no en función de las capacidades PHY del cliente. (Evelio Martínez, 2010)

2.13 OPNET Modeler

Modeler es un simulador basado en eventos orientado a la simulación de redes de telecomunicaciones creado por OPNET (Optimized Network Engineering Tools).

Para ser más explícitos se podría definir como un simulador dinámico y discreto que puede realizar simulaciones deterministas y/o aleatorias basándose en teorías de redes de colas.

- Dinámico porque la representación del sistema durante la simulación evoluciona con el tiempo.
- Discreto porque el comportamiento de los sistemas representados cambia únicamente en instantes de tiempo concretos, es decir, eventos.
- Una simulación es aleatoria cuando durante la simulación entran en juego variables aleatorias. En cambio, se define como determinista cuando no entra en juego ninguna variable aleatoria. En OPNET se puede definir gran cantidad de variables y asignarles un patrón determinista o aleatorio.

OPNET Modeler es uno de los simuladores más avanzados en el campo de las redes de telecomunicaciones. Quizás, la característica más relevante es que es un simulador orientado a objetos, lo que permite interactuar al usuario sin problemas y ofrece una gran facilidad de interpretación y creación de escenarios aparte de tener en cada objeto una serie de atributos configurables. Dispone de multitud de librerías, lo que permite simular gran diversidad de redes donde intervenga un amplio número de protocolos y variables específicas que el usuario podrá modificar y estudiar. Número de paquetes perdidos, throughput, jitter, caída de enlaces, potencia de transmisión son algunos de los parámetros que se pueden controlar. Cabe destacar que OPNET permite entre

otras cosas dotar de movilidad a los nodos de la red, modificar el código fuente de las librerías de los nodos para alterar su comportamiento ante diversas acciones, definir tipos de tráfico además de carga de la red debido a tipos de servicios, como por ejemplo HTTP, correo, VoIP, streaming, etc. (Kanashiro, 2013)

2.14 Conclusiones parciales del capítulo

- ❖ Para el diseño de la red inalámbrica de una zona de alta densidad la utilización de la banda de 5GHz resulta la mejor opción dado que facilita la colocación de los AP en un mayor número de canales (23) separados unos de otros permitiendo cubrir áreas extensas (100m) en este caso la del campus UCLV.
- ❖ Es beneficioso para el diseño con redes de alta densidad que los Puntos de Acceso (AP) utilicen la técnica DFS (Dynamic Frequency Selection) para evitar las interrupciones por interferencia.
- ❖ El uso de canales con un ancho de banda de 20MHz resulta más recomendable que el de 40MHz, pues facilita la reutilización de canales, elemento sumamente importante en el trabajo de la red de alta densidad.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS ESCENARIOS FIE Y CAMPUS UCLV

En este capítulo se va a tomar a modo de ejemplo el campus de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas para validar el diseño de una red WLAN de alta densidad.

3.1 Estructura física de la Red UCLV

La topología física de la red alamburada UCLV es una topología de estrella con fibra óptica multimodo (62.5/125 μ m y 50/125 μ m) con topología de estrella con centro ubicado en el local conocido como “La Puerta”. Allí quedan conectadas las 16 áreas fundamentales de la parte central del campus universitario. Con posterioridad se incorporaron enlaces con fibra monomodo (9/125 μ m) (más actual), todas las áreas tienen un par de fibras que llegan directo hasta La Puerta, lo cual permite la redundancia de todos los enlaces. El conmutador (switch) central de fibra óptica de 24 puertos conecta todo el backbone de la red a 1 Gbps, interconectando a la totalidad de las facultades y centros de investigación del campus universitario. La figura 3.1 muestra el área que ocupa el campus universitario y los dos anillos de fibra que lo recorren. En rojo la estrella inicial y en verde los dos anillos de fibra óptica monomodo que cubren también toda el área.(Fleites, 2014)

La figura 3.1 muestra el área que ocupa el campus universitario y los dos anillos de fibra que lo recorren. En rojo la estrella inicial y en verde los dos anillos de fibra óptica monomodo que cubren también toda el área.

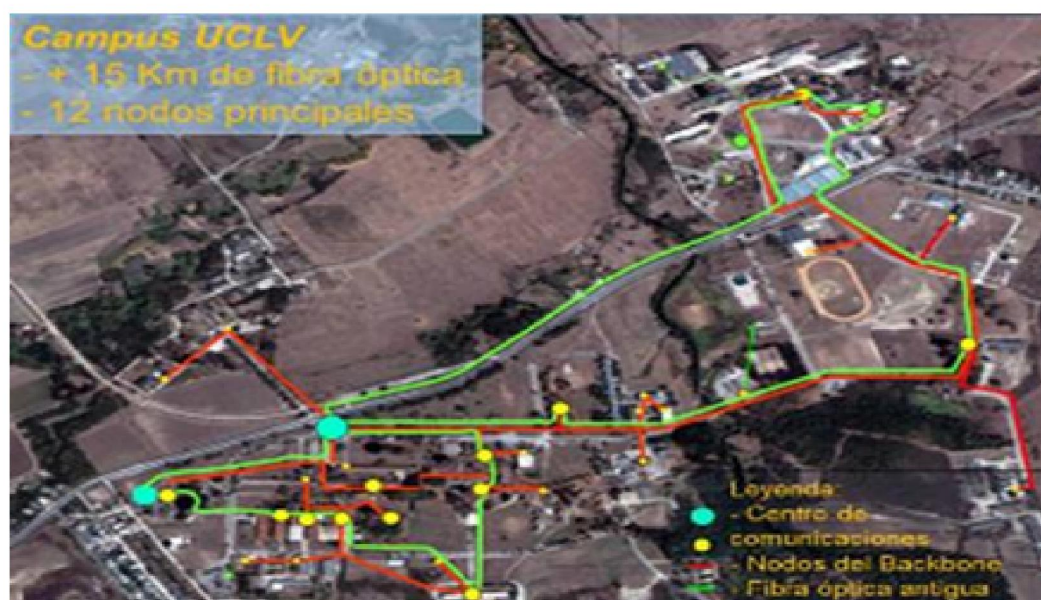


Figura 3.1 Campus UCLV(Fleites, 2014)

Existen dos locales principales donde están instalados los servidores, uno está en La Puerta como principal nodo de interconexión física de toda la red interna y los enlaces externos y desde ahí se atienden los servicios principales de correo y navegación de internet y el otro es el local del Centro de Datos recién instalado, que atiende el nuevo sistema de virtualización que se expande ya a 80 servidores virtuales. Ello mejora considerablemente la estabilidad y desempeño de las aplicaciones informáticas asociadas a entidades universitarias. (Fleites, 2014)

La universidad cuenta con alrededor de 187 servidores profesionales y 3 300 computadoras en 13 facultades y 4 centros de investigación; para prestar servicio a más de 13 000 usuarios entre estudiantes y profesores de la sede central, las 14 sedes universitarias municipales y el Colegio de Formación Básica que están enlazados físicamente a la red UCLV.

3.2 Despliegue inalámbrico en la red UCLV.

La red UCLV tiene un cubrimiento parcial inalámbrico de sus instalaciones como se muestra en la figura 3.2, el primer enlace inalámbrico punto a punto está establecido entre el Centro de Estudios que ocupa el Jardín Botánico con la Facultad de Ingeniería Eléctrica que es el lugar más cercano con conexión cableada aproximadamente a 530m y el mismo

[illegible]

Para el cubrimiento de interiores se utilizaron los AP TEW-430APB de la Firma Trendnet, con un total de 80 puntos de acceso de interiores, para ello se pueden ver sus especificaciones técnicas en anexo I.

Para el nuevo diseño de la red WLAN de la UCLV se incorporarán equipo de exteriores de la firma Kbest Modelo 4201 en las facultades de Agropecuaria, MFC e Ingeniería Mecánica, en el CEDER, Comedor Central, U11 y U2; manteniéndose los ubicados en el Rectorado, FIE, Construcciones y “La Puerta”.

En el escenario de la red FIE se incorporaran dos equipos de interiores de la firma TPlink modelo WR941ND en los salones de conferencia uno y tres, y uno en los locales del CEETI, CEDAI y la biblioteca.

3.3 Modelación y Simulación de la Red WLAN de la UCLV

Con vistas a validar los resultados se proponen dos escenarios de alta densidad de usuarios, uno externo (outdoor) y otro interno (indoor) donde se consideró el caso de la Facultad de Ingeniería Eléctrica (FIE). Donde se crearon 12 y seis subredes respectivamente utilizando para ello el Asistente de Redes Inalámbricas (Wireless Network Deployment) que ofrece el OPNET. La figura 3.3 muestra las aéreas de la red Wi-Fi de la UCLV que presentan mayor cobertura, quedando descubiertas aéreas del Rectorado, la FIE, el Comedor Central, el U2, U11, CEDER, QF y FIM. Las zonas circulados en rojo reflejan las áreas de mayor cobertura, ellas son: MFC, CDICT, FC y FCA.



Figura 3.3 Cubrimiento de la red Wi-Fi de la UCLV

3.3.1 Topologías

Para analizar el comportamiento de la red de campus inalámbrica de la Universidad se propone una topología simplificada del escenario con 12 subredes: FIE, FIM, MFC, U2,

Facultad de Construcciones, Comedor Central, Rectorado, "La Puerta", QF, Facultad de Agropecuaria, U11 y el CEDER; tal como lo muestra la figura 3.2. Cada una de las subredes cuenta con un AP, a excepción de la subred FIE que cuenta con dos Puntos de Acceso uno de ellos mirando hacia el Jardín Botánico, que brindaran servicio a un total de 21 usuarios.

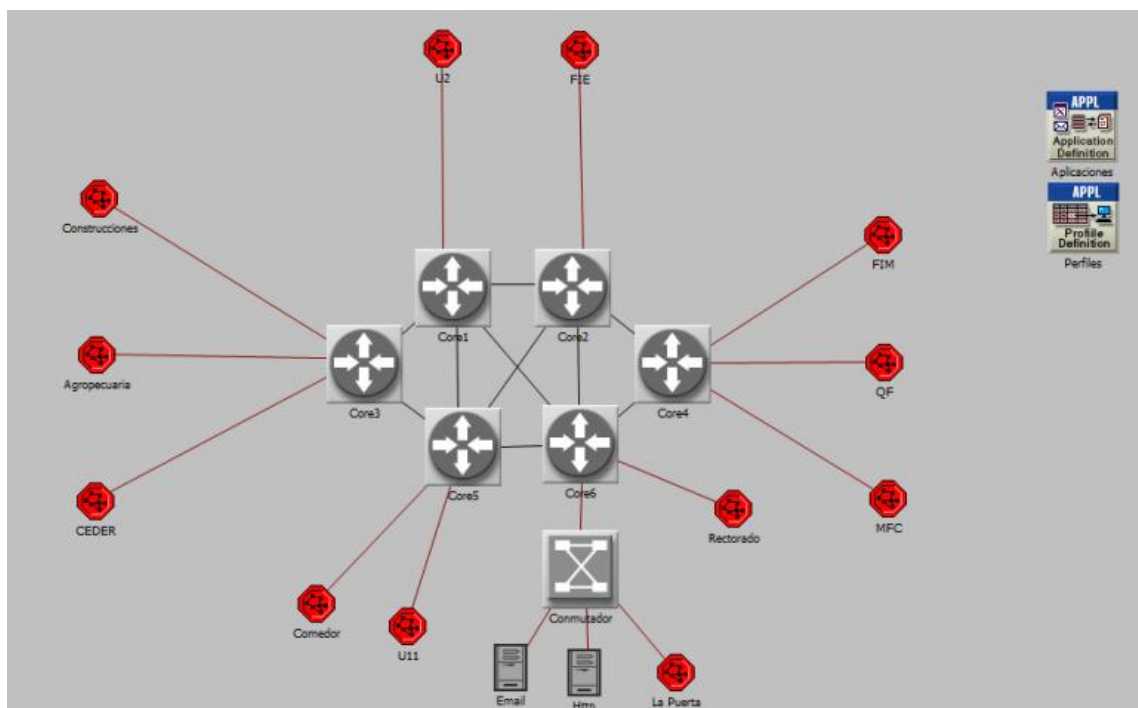


Figura 3.4 Topología de la red WLAN de la UCLV

Para el análisis de una red WLAN interna, se escogió como escenario el área de la FIE se compone de 6 subredes (Salón 1 y 3, Biblioteca, CEDAI, CEETI y el decanato) las mismas cuentan con un Punto de Acceso y 12 usuarios, a excepción de las subredes salón 1 y 3 que cuentan cada una con 2 Puntos de acceso y 21 usuarios. En la Figura 3.3 se muestra la topología simplificada mediante la herramienta OPNET.

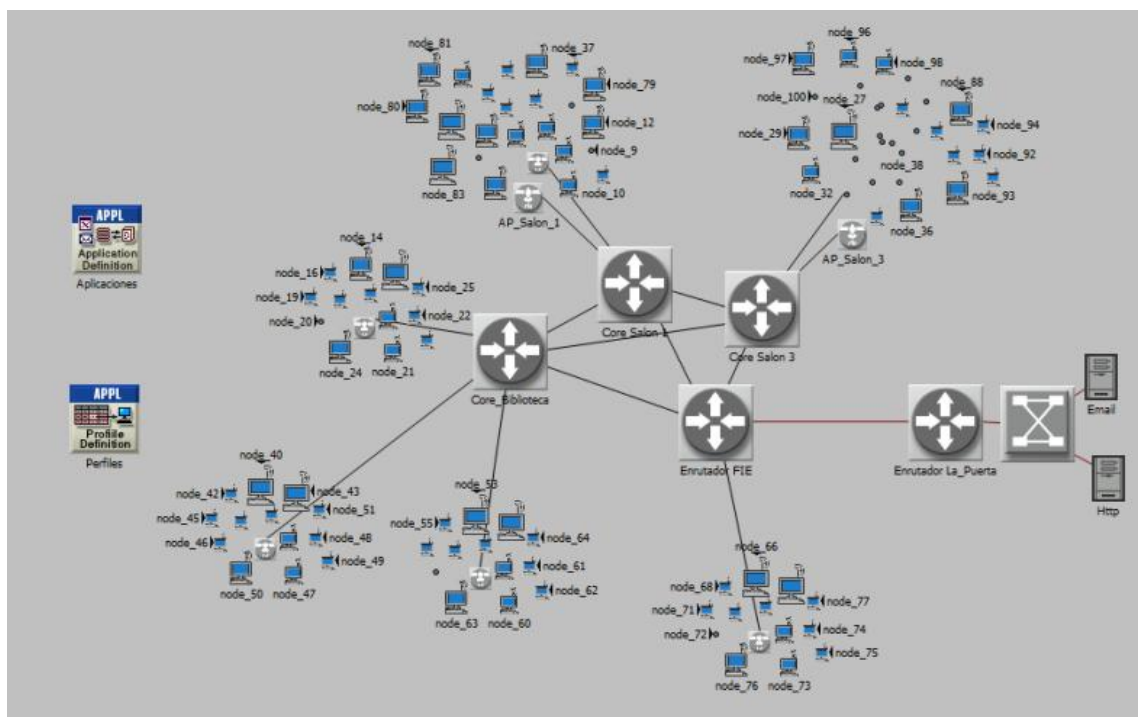


Figura 3.5 Topología para la red WLAN de la FIE

3.3.2 Selección de las tecnologías

Para desarrollar la simulación mediante la herramienta OPNET modeler hay que seleccionar las tecnologías y ello se ejecutó mediante el Asistente (Wireless Network Deployment). Seleccionándose en la operación de la red WLAN el modo infraestructura, con una potencia de transmisión de las estaciones de trabajo de 5 mW, configurando luego los AP a 100 mW para 5 GHz. La razón de datos impuesta para el estándar 802.11n fue de 54 Mbps lo que va a tender a un mayor desempeño en la red.

3.3.3 Consideraciones de tráfico

El siguiente paso previo a la corrida de la simulación está en las consideraciones del tráfico que se va a tener en la red WLAN. Para ello se consideraran las siguientes aplicaciones estándares de una Intranet:

- Correo electrónico (E-mail)
- Navegación web (HTTP)

3.3.4 Selección de estadísticas y recolección de datos

Como paso importante antes de la corrida, está la selección de los parámetros o estadísticas que miden el desempeño de la Red WLAN de alta densidad.

Se seleccionaron las siguientes estadísticas: interferencia, la carga, retardo (delay), razón de transferencia (throughput), tráfico enviado y recibido (cantidad de bytes transmitidos o recibidos por segundo) y tiempo de respuesta para la descarga (upload response time), etc.

3.4 Análisis y valoración del desempeño

El análisis está enfocado en dos soluciones: una externa (outdoor) del Campus UCLV y otra interna (indoor) de la FIE en tal sentido la valoración de lo simulado abarcará 4 parámetros esencialmente: tráfico enviado, retardo, throughput y tiempo de respuesta para la descarga. Para los otros parámetros ver anexos.

3.4.1 Escenario Campus UCLV

La aplicación Navegación Web (HTTP) es hoy una de las aplicaciones que más demanda presenta, esto se debe en gran medida a que la mayoría de la información actualizada se encuentra digitalizada y a que Internet se ha convertido en una fuente de información esencial.

Los resultados mostrados en el gráfico de la figura 3.6 son una ratificación de lo antes expuesto, donde en la aplicación Correo (E-mail) llegado los 2 minutos de tráfico recibido se comienza a experimentar un decremento de 22 000 bytes/segundos a 10 000 bytes/segundos en un período de 10 minutos, no siendo así con la aplicación de Navegación (HTTP) donde a partir de los 2 minutos el tráfico recibido muestra un aumento exponencial llegando a los 31 000 bytes/segundos.

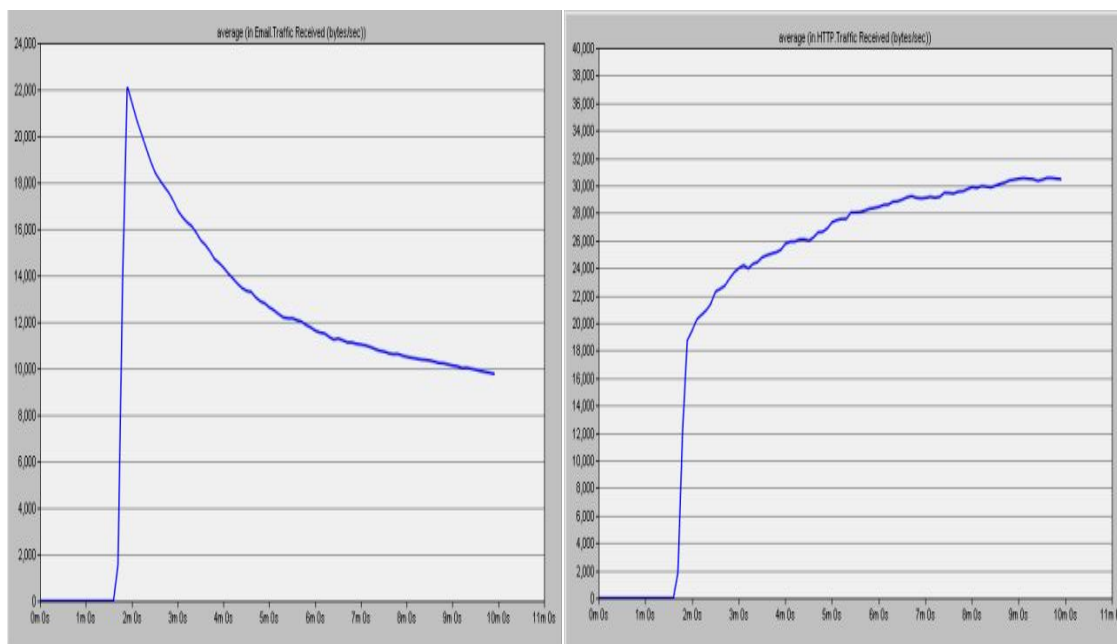


Figura 3.6 Tráfico recibido en bytes/ segundos para la aplicación de E-mail y HTTP respectivamente.

Cabe destacar que en el tráfico enviado las simulaciones muestran eventos iguales a los del tráfico recibido para ambas aplicaciones, por lo que el análisis se hace similar al del tráfico recibido. Ver anexo IV.

La gráfica 3.7 muestra el retardo en la red donde se ve una demora constante de 0.0004 segundos en los primeros 2 minutos del tráfico en la red, experimentando una subida hasta los 0.0028 segundos para decrementar pasado los 2 minutos hasta 0.0020 segundos, si se compara lo sucedido en la presente simulación con la simulaciones enfocadas en los estándares 802.11a y 802.11g se hace notable una demora menor en nuestro caso (0.0042 segundos y 0.0040 segundos respectivamente). Ver anexo V.

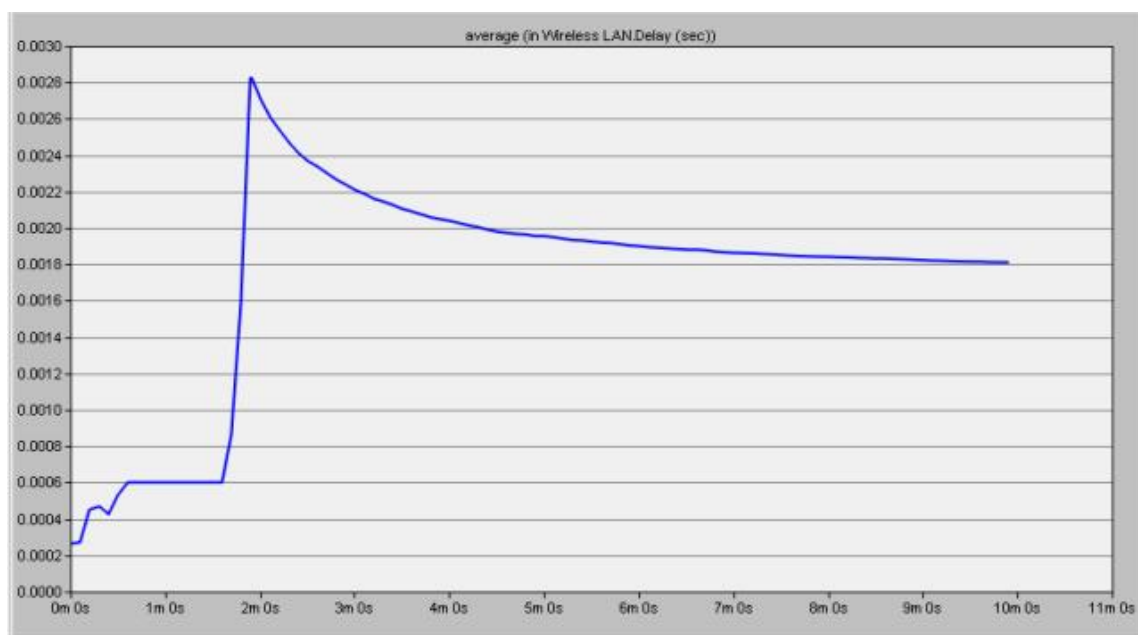


Figura 3.7 Retardo en la red

El razón de transmisión en la red pasado los 2 primeros minutos de tráfico se mantiene constante en 360 000 bits/segundos, tal como se muestra en la figura 3.8. En el anexo VI se muestra como se comporta la carga en la red, llega a alcanzar un valor de 3600 000 bits/segundos; manteniéndose con ese valor todo el tiempo restante después de los 2 minutos de iniciado el tráfico. El resultado de la razón de transferencia está bastante acorde a los valores que muestra la carga en la red.

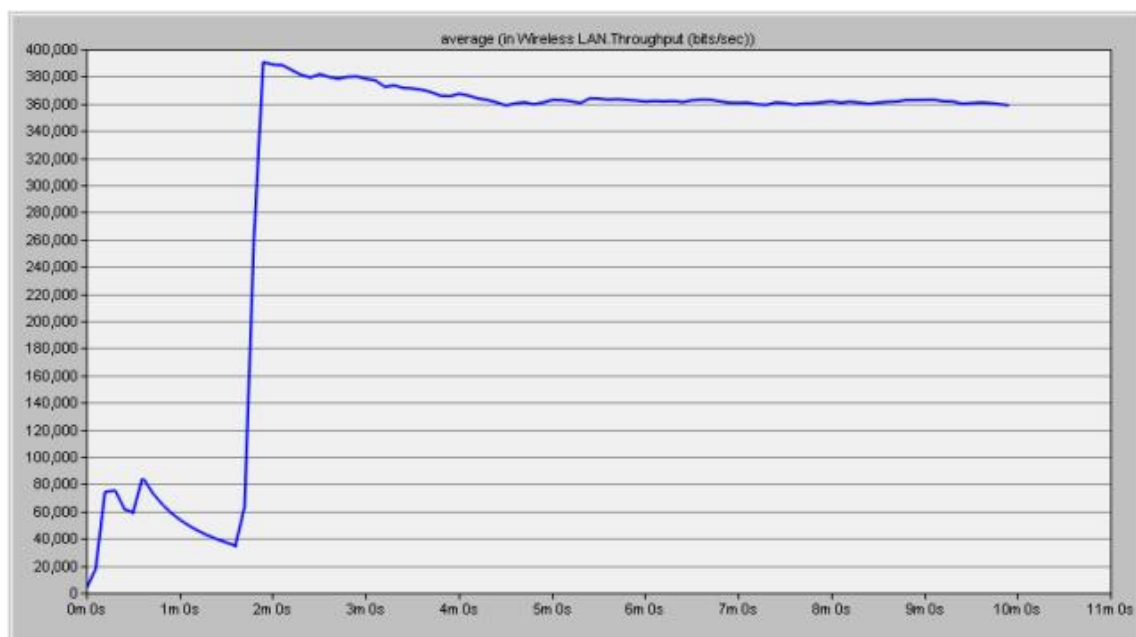


Figura 3.8 Razón de transmisión en la red

Las figuras 3.9 y 3.10 muestran los resultados de la simulación para el tiempo de respuesta para la descarga en las aplicaciones de Correo (E-mail) y Navegación Web (HTTP= respectivamente, donde comparando ambas aplicaciones el tiempo de respuesta para la descarga es menor (0.03 segundos) en la navegación para la descarga de páginas Web no siendo así para el caso de descargas de imágenes donde el tiempo de respuesta es de 0.06 segundos. En la aplicación Correo electrónico el tiempo de respuesta pasado los 2 primeros minutos de tráfico es de 0.05 segundos, luego de experimentar una subida de hasta 0.12 segundos tiempo antes de los 2 minutos.

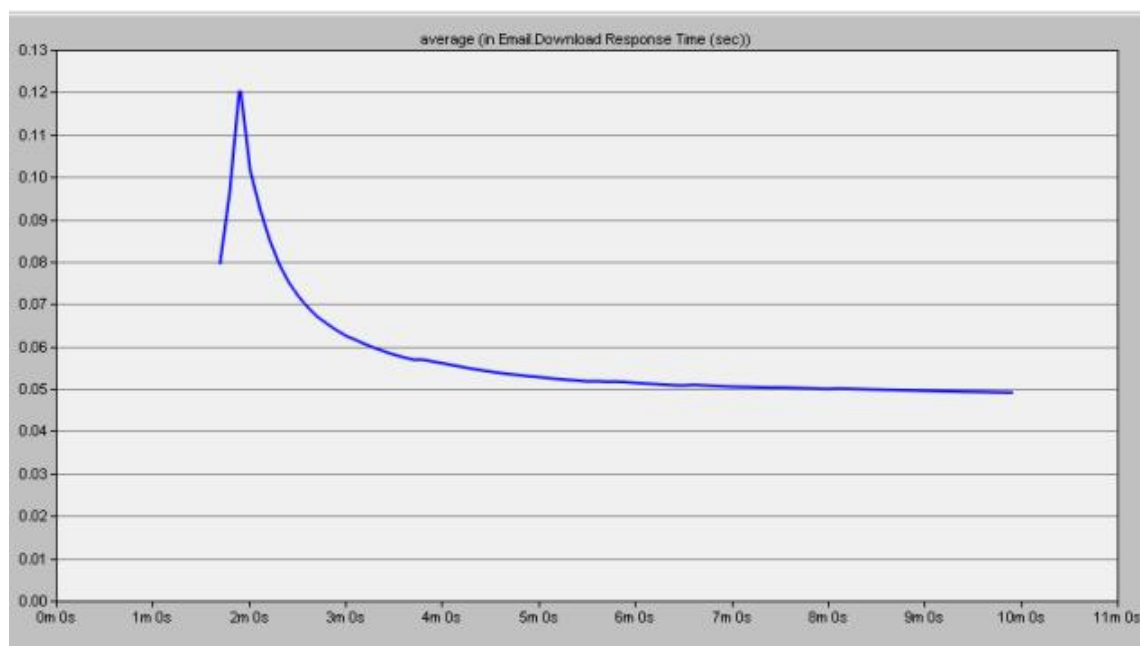


Figura 3.9 Tiempo de respuesta para la descarga para la aplicación E-mail.

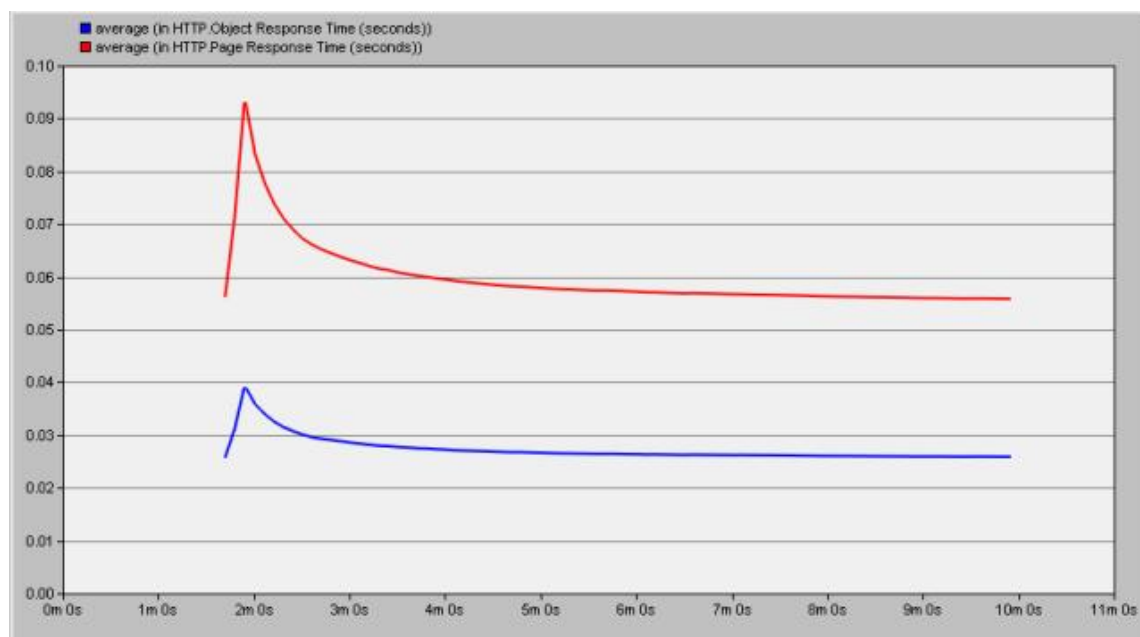


Figura 3.10 Tiempo de respuesta para la descarga en la aplicación HTTP.

3.4.2 Análisis y valoración del escenario interno de la red FIE

Este escenario cuenta con 6 subredes nombradas: Salón 1 y 3 ambas con dos Puntos de Acceso que brindaran servicio a cerca de 20 usuarios, Biblioteca, CEDAI, CEETI y Decanato, estos últimos con un AP y 13 usuarios. Como lo muestra la figura 3.11

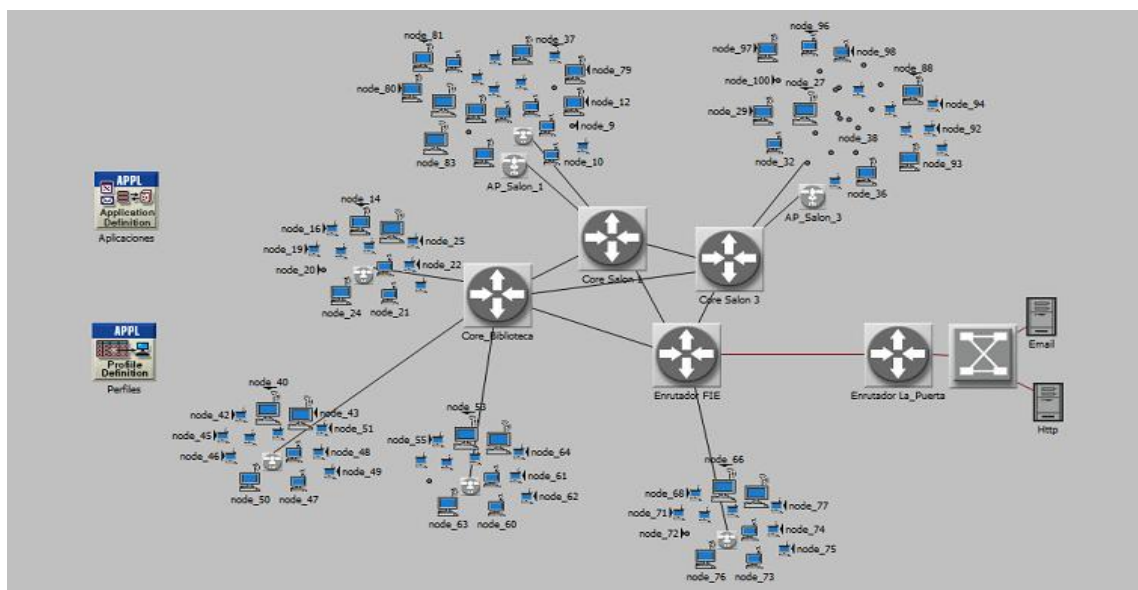


Figura 3.11 Topología de la red WLAN en la FIE.

Las simulaciones que muestra la figura 3.12 son una afirmación de lo expuesto anteriormente en el sub-epígrafe 3.4.1 (fig. 3.6) donde transcurrido un tiempo la aplicación Correo (E-mail) disminuye de casi 11 000 bytes/segundos a 5 000 bytes/segundos, no siendo así con la aplicación de Navegación (HTTP) que experimenta una subida de hasta 15 000 bytes/segundo en el mismo instante de tiempo en que el tráfico en el E-mail va decayendo. Hoy el tráfico para la aplicación HTTP es mayor dado que además de lo antes expuesto, los usuarios cuentan con recursos (laptops, tables, teléfonos celulares, etc.) que le permiten acceder a este servicio desde cualquier parte.

En el tráfico enviado para estas dos aplicaciones las gráficas muestran el mismo comportamiento que para el tráfico recibido, ver anexo VII.

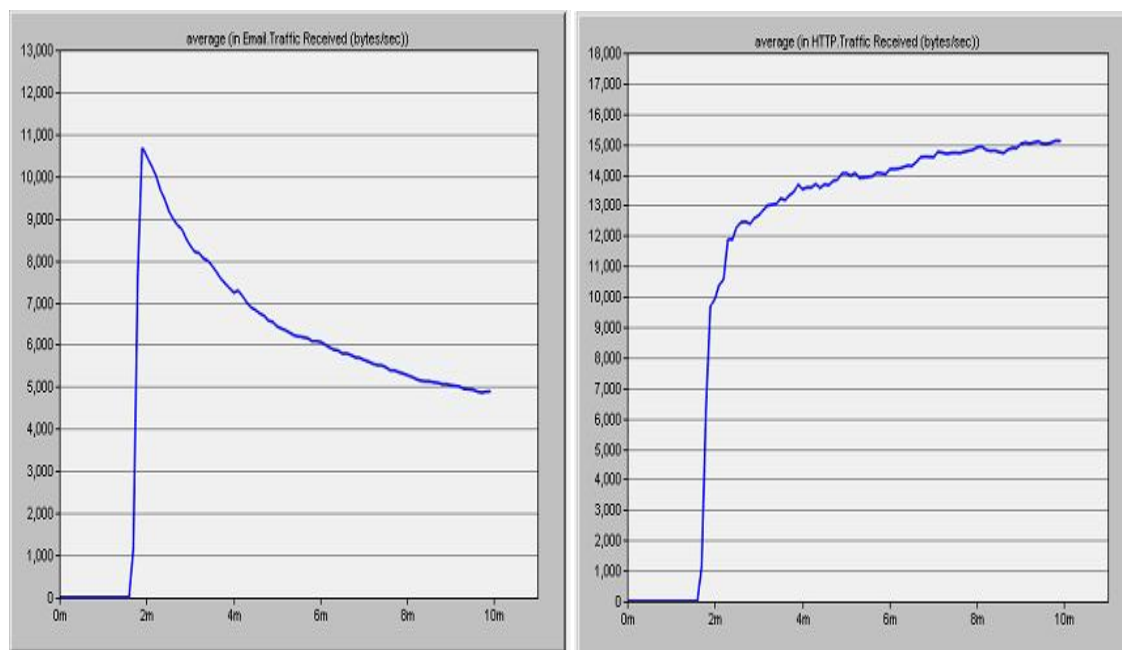


Figura 3.12 Tráfico recibido en bytes/segundo para las aplicaciones E-mail y HTTP respectivamente.

La red experimenta un retardo constante de 0.0004 segundos antes de llegar a los 2 minutos tráfico, para luego incrementar hasta 0.0016 segundos pasado 2 minutos más y mantenerse casi constante con esa demora, como lo muestra la figura 3.13. Aun cuando en los horarios de la noche el número de usuarios aumenta y los salones no están siendo usados cabe destacar que la demora no va experimentar un cambio muy visible dado que se podrá estar contando con las subredes añadidas al nuevo diseño de la red.

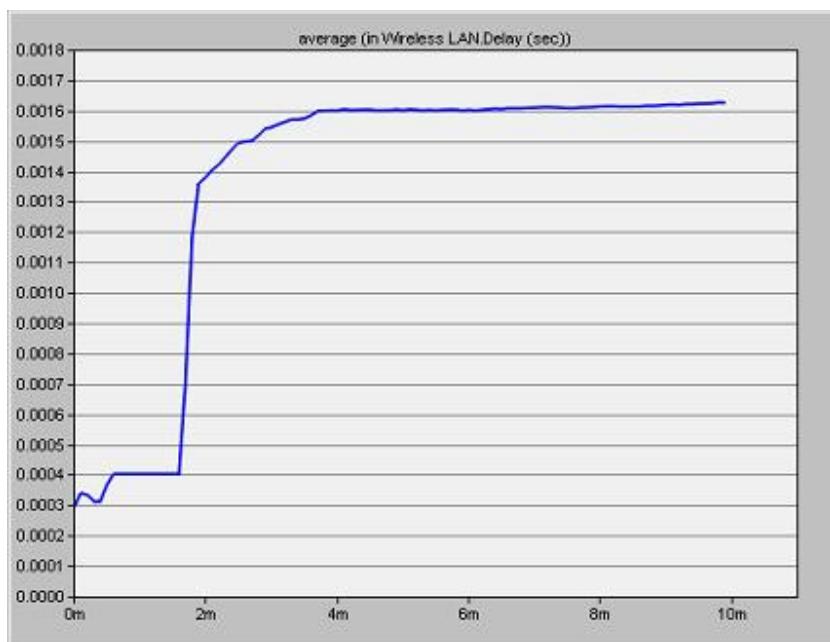


Figura 3.13 Retardo en la red

La carga en la WLAN experimenta un incremento bastante marcado arribando a los 2 minutos para traducirse luego en un valor que se mantendrá casi constante en 180 000 bits/segundos, con la razón de transmisión sucede algo similar llega hasta 200 000 bits/segundos para decrementar en 20 000bits/segundos y mantenerse oscilando entre los 18 000bits/segundos (ver figura 3.14). La existencia de una relación entre carga y razón efectiva de transmisión es totalmente razonable si se asume que se está hablando de una zona de alta densidad, donde además el número de usuarios tiende a aumentar o mantenerse mientras transcurre el tiempo.

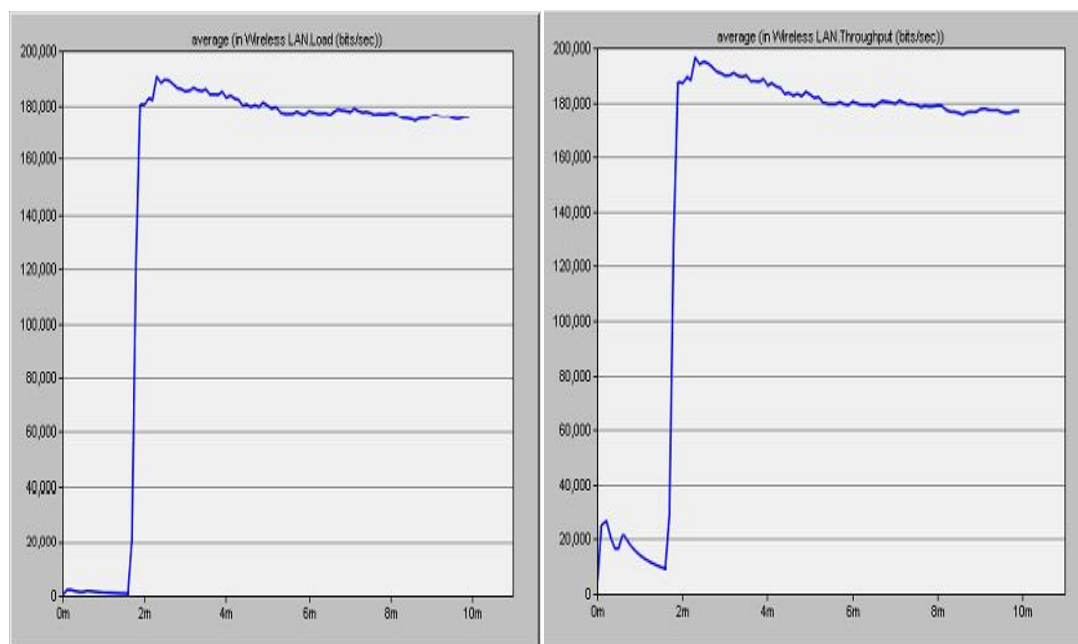


Figura 3.14 Carga y razón de transmisión en bits/segundos

Las figuras 3.15 y 3.16 muestran los resultados de la simulación para el tiempo de respuesta para la descarga en las aplicaciones de Correo (E-mail) y Navegación Web (HTTP) respectivamente, donde comparando ambas aplicaciones el tiempo de respuesta para la descarga es menor (0.025 segundos) en HTTP en la descarga de páginas Web, resultando ser mayor para la aplicación E-mail donde pasado los 2 primeros minutos de tráfico la respuesta para la descarga es de 0.047 segundos, luego de haber experimentado una subida una subida de hasta 0.085 segundos tiempo antes de los 2 minutos.

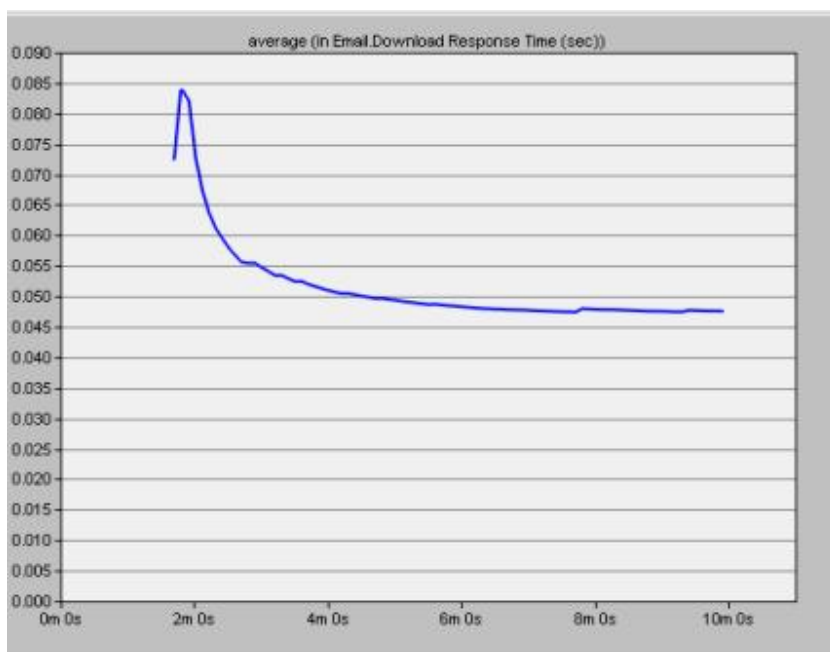


Figura 3.15 Tiempo de respuesta para la descarga de Correos

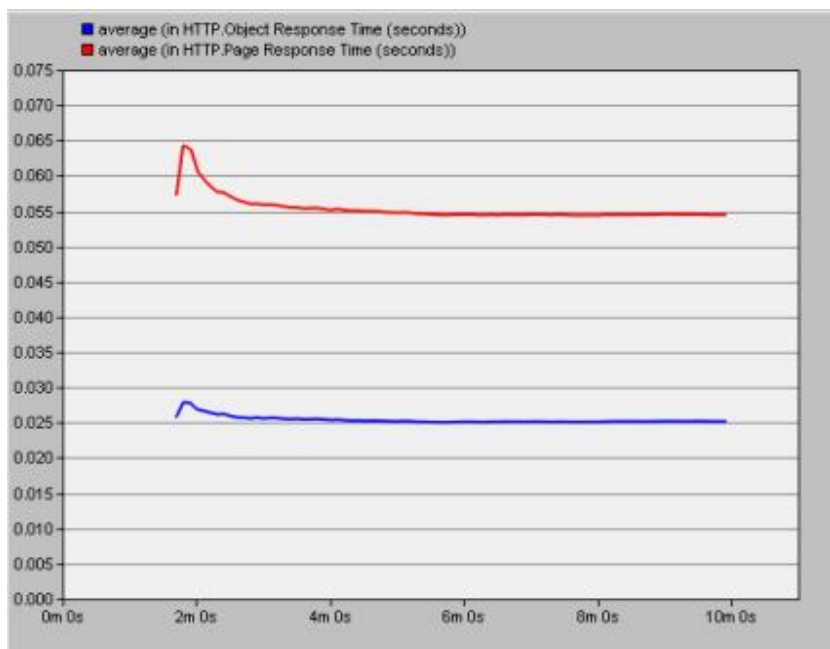


Figura 3.16 Tiempo de respuesta para la descarga de la aplicación de Navegación Web.

3.5 Conclusiones parciales del capítulo

Aún cuando se ha incrementado la cantidad de usuarios (carga de la red) y por ende el tráfico en las aplicaciones de correo y navegación, los parámetros que miden el

comportamiento o desempeño (retardo, throughput, etc.) de la red se encuentran en valores que posibilitan incrementar aún más la densidad de usuarios.

La aplicación que más tráfico recibe es la de navegación Web en cualquiera de los escenarios (outdoor / indoor) que se presenten, lo que se encuentra acorde a las necesidades actuales de búsqueda y descarga de información por parte de estudiantes y profesores del centro

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- 1 Las redes locales inalámbricas más que una sustitución de las LAN convencionales son una extensión de las mismas.
- 2 Las redes LAN inalámbricas basadas en el estándar 802.11n con unas velocidades netas de transmisión de más de 100 Mbps por módulo de radio, son más rápidas que las redes LAN Fast Ethernet; son flexibles, seguras y, gracias a su gran alcance y a su óptima cobertura, proporcionan, además, una señal de excelente calidad incluso a gran distancia.
- 3 Es importante diseñar redes Wi-Fi de alta densidad poniendo mucha atención en la planificación y diseño de la red, para asegurar que los equipos de red adquiridos sean capaces de ofrecer un alto rendimiento y funciones que permitan optimizar el uso limitado del espectro.
- 4 Los resultados que arrojo la simulación del diseño propuesto de la red fueron satisfactorios, OPNET sigue siendo una herramienta muy práctica para analizar el desempeño de una red.

Recomendaciones

- 1 Editar documentos actualizados en formato duro o digital referentes al diseño de Redes Inalámbricas de Área Local, a partir de las tesis , maestrías, etc.
- 2 Aplicar los procedimientos de diseño antes expuestos a la red inalámbrica de la Universidad, explotando las bondades que nos brinda el estandar 802.11n.
- 3 Fomentar los trabajos referentes a la formación de habilidades para trabajar en las herramientas de Modelación y Simulación.


REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- CISCO.2013a.2009. *Diseño de Red Wi Fi* [Online]. Available: <http://www.hometehtecolombia.com/boletines/PDF/DisenarRedWiFi.pdf> [Accessed].
- 2010a. *Red ad hoc inalámbrica* [Online]. Available: http://es.wikipedia.org/wiki/Red_ad_hoc_inalambrica [Accessed].
- 2010b. *Redes de Area Local Inalámbricas* [Online]. Available: http://www.uazuay.edu.uy/estudios/sistemas/teleproceso/apuntes_1/laninalambricas.html [Accessed].
2012. Available: es.wikipedia.org/wiki/Power_over_Ethernet [Accessed].
- 2013a. *Cisco Aironet 1130AG/1240AG de Cisco Serie Access Points* [Online]. Available: http://www.cisco.com/web/solutions/smb/espanol/productos/inalambrica/aironet_1130g_1240g_serie_access_points.html [Accessed].
- 2013b. *El nuevo protocolo IEEE 802.11ac, wi-Fi a velocidad de fibra óptica* [Online]. Available: <http://blogs.unisys.com/2013/07/10/el-nuevo-protocolo-ieee-802-11ac-wifi-a-velocidad-de-fibra-optica> [Accessed].
- 2013c. *Multi-user MIMO* [Online]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/multi-user-MIMO> [Accessed].
- 2013d. *Prepárate para el Wi-Fi 802.11ac* [Online]. Available: <http://www.fayerwayer.com/2013/04/preparate-para-el-wifi-802-11ac/> [Accessed].
- 2014a. *IEEE 802.11* [Online]. Available: http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11 [Accessed].
- 2014b. *Universidad de Chile* [Online]. Available: <http://soporte.uchile.cl/mediawiki/index> [Accessed].
- AGUDELO, J. P. 2011. *Redes Inalámbricas WLAN*.
- ANDREW TANENBAMN, D. W. 2012. *Redes de computadoras*. Quinta edición.
- CISCO 2012. *IEEE Standard for Information technology_ Telecommunications and information exchange between systems local and metropolitan area networks - Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification Amendment 1: Prioritization of Management Frames* New York: IEEE Standards Association.
- ENRIQUE DE MIGUEL PONCE, E. M. T., VICENTE MOMPÓ MAICAS 2010. *Redes Inalámbricas: IEEE 802.11*.
- EVELIO MARTÍNEZ, A. E. 2010. *Diseño y planeación de redes WLAN*.
- FLEITES, A. E. R. 2014. *Sistema de Gestión de la red inalámbrica UCLV*.
- GU, Y. 2012. *Performance Analysis of 802.11n Wireless LAN in different operating System Environments*.


- J.COX 2007. Guide to Enterprise Wireless LAN System Wireless networksThe burning questions. What impact will 802.11n have? Which security threats are scariest?What of wireless VoIP?
- JIM FLORWICK, J. W., ALAN CUELLAR AMROD,JAKE WOODHAMS 2011. Wireless LAN Design Guide for Density Client Environments in Higher Education.
- JIM WHITEAKER, A. C. A., JIM FLORWICK, JAKE WOODHAMS 2013. Wireless LAN Desing Guide for High Density Client Environments in Higher Education.
- KANASHIRO, W. R. R. 2013. Redes inalámbricas y simulación de WLAN mediante OPNET.
- PRADERAS, G. S. 2009. Redes Inalámbricas (WLAN) -Estándar 802.11.
- PRASAD, P. 2005. 802.11 WLAN and IP networking security, QoS and mobility.
- REINO, A. 2007. Diseño de arquitectura segura para redes inalámbricas.

ANEXOS

Anexo I: Antenas Direccionales (MIMO)

Producto	Descripción	Ganancia
 AIR-ANT2460NP-R	2.4 GHz 80°/75° MIMO direccional	6 dBi
 AIR-ANT5160NP-R	5 GHz 65°/65° MIMO direccional	6 dBi
 AIR-ANT2410Y-R	2.4 GHz 55°/47° single element yagi (1 Piece, 3 Required)	10 dBi
 AIR-ANT25137NP-R	Dual-Band 2.4 GHz 36°/36° 5 GHz 55°/48° MIMO directional patch Requires AP 3502P	13/7 dBi

Anexo II: Equipos inalámbricos de exteriores de la firma Kbest y Trendnet respectivamente

Dispositivos	Características Generales
 Modelo 4201	<ul style="list-style-type: none"> • Antena direccional integrada de 18 dBi • Responde a la norma IEEE 802.11g • Máxima tx de datos a 54 Mbps • Trabaja en la banda de frecuencias de 2,4 GHz de manera estable, necesita tener un sistema de tierra física que pueda proteger todo el equipamiento de las descargas eléctricas.



Modelo AP TEW-430APB

- Responde al estándar IEEE 802.11b/g 10/100BASE-TX con conexión Fast Ethernet: 10/100Mbps a la red cableada y 54 Mbps para la conexión inalámbrica.
- Potencia de salida: 2dBi (antena integrada al equipo) o 5dBi (antena opcional),
- Ofrece una operabilidad DSSS para capacidades de bridging WDS (puenteo) y roaming transparentes para los nodos inalámbricos.
- Permite a los usuarios conectarse a dos o más puntos de acceso al mismo tiempo de forma inalámbrica.
- Con este punto de acceso inalámbrico y adaptadores de red inalámbrica, los usuarios pueden conectarse a LAN Ethernet/Fast Ethernet desde sus áreas de estudio o trabajo.

Anexo II: Equipos inalámbricos de interiores de la firma TPlink y Lobometrics Lobo

Dispositivos	Características generales
--------------	---------------------------



Modelo WR941ND

- Con antenas omnidireccionales
- Usa la norma IEEE 802.11n.
- Velocidad inalámbrica de 300 Mbps (siempre y cuando se tenga un adaptador Wi-Fi n)
- Tres antenas para aumentar las prestaciones y estabilidad de la conexión inalámbrica.
- Fácil Encriptación de seguridad inalámbrica con sólo presionar el botón WPS
- En él se pueden combinar conexiones tanto por cable como conexiones inalámbricas a gran velocidad.
- Tiene 4 puertos Ethernet 10/100Mbps que aseguran una transmisión de datos segura, rápida y constante. Incorpora en la parte Wireless la tecnología MIMO y SST, lo cual logra una mayor cobertura y rendimiento a las PCs de sobremesa o portátil.
- Selecciona automáticamente el canal Wireless menos saturado con lo que se obtendrá una mayor estabilidad



Modelo MIURA OSB PRO



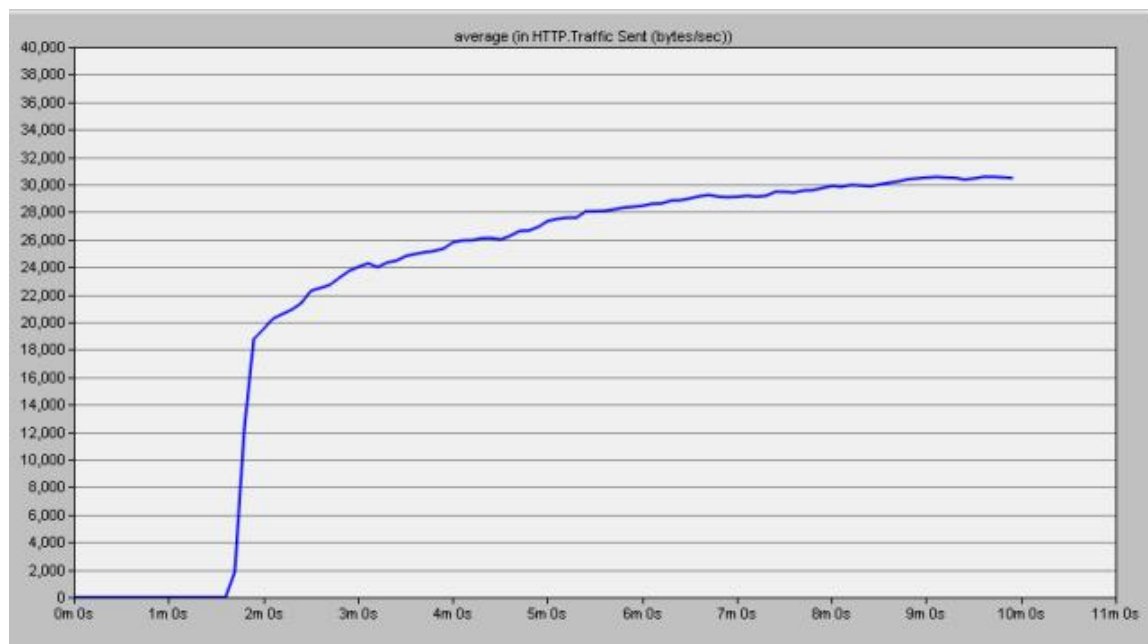
Modelo MIMO BMAP 14

Equipos Lobometrics

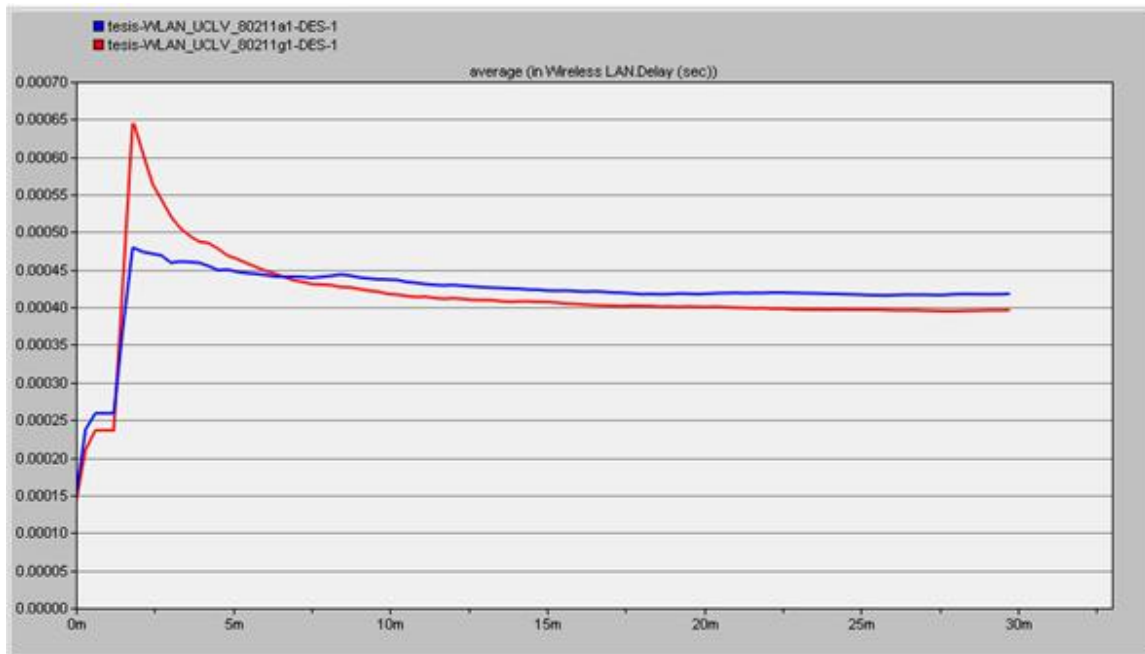
- Operan en las bandas de 900Hz, 2.XGHz, 3.XGHz, 5GHz
- Operan a distancias hasta los 200 km, puede ser usado como repetidor.
- Poseen de 1 a 4 radius interiores con velocidades desde 17 Mbps hasta 1 Gbps.
- Son equipos de alto alcance, seguridad, rendimiento, interoperabilidad y fidelidad.
- Se pueden usar para dar cobertura inalámbrica en interiores, para conexiones de exteriores de alto alcance y puede ser usado como puente.
- Se administran por software usando el winbox, acceso web, y por telnet tienen además ftp, firewall, usan radius server.
- Permiten enlaces punto a punto, punto a multipunto.
- Pueden ser usados para la prestación de servicios basados en IP para empresas y abonados residenciales, Comunidad Internet, Aplicaciones industriales entre otros.
- Son capaces de actuar como los dos dispositivos de borde de la red y gestión de la red
- Los sistemas de seguridad para la conectividad de red se pueden ampliar a través de la opción de multipuerto de una

	<p>manera que la red física se puede dividir en regiones diversas de seguridad con la posibilidad de crear túneles VPN y VLANs.</p> <ul style="list-style-type: none">• Tienen además Origen y destino NAT, ruteo y marcado de paquetes usa Filtrado por: Dirección IP y el rango de direcciones.• Soporta IPv6.
--	---

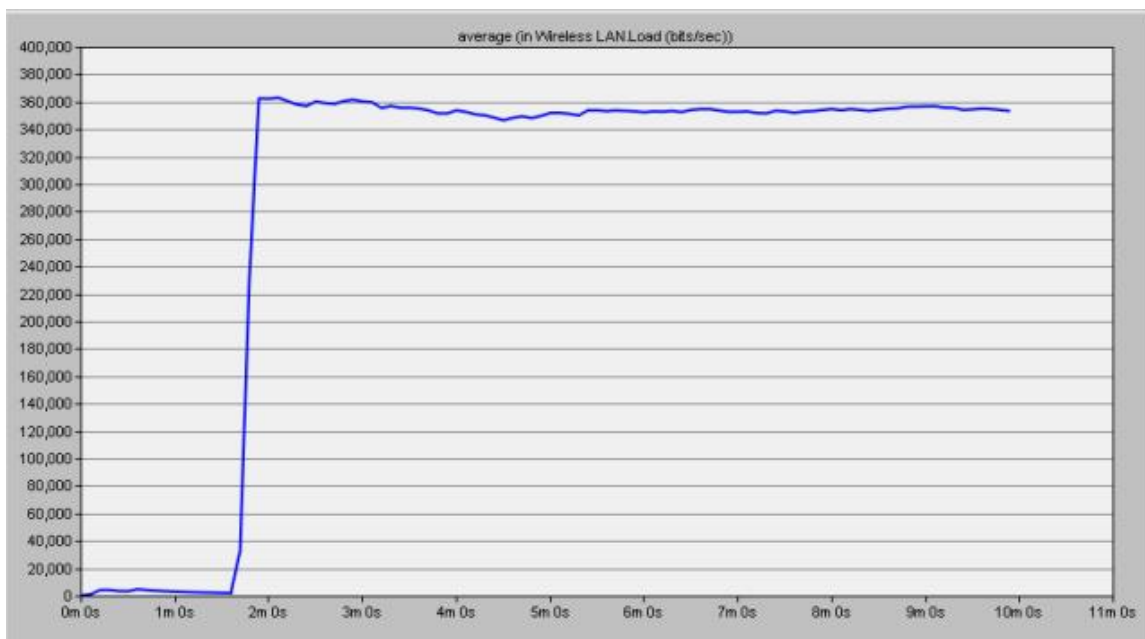
Anexo IV: Tráfico enviado para la aplicación HTTP (outdoor)



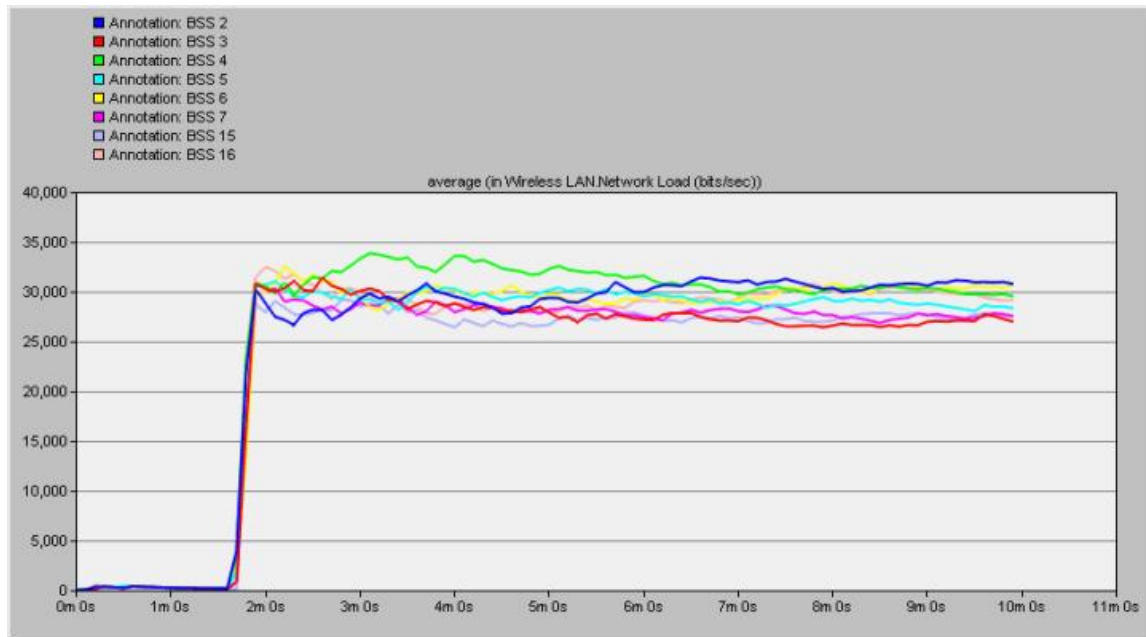
Anexo V: Retardo para los estándares 802.11a y 802.11g (outdoor)



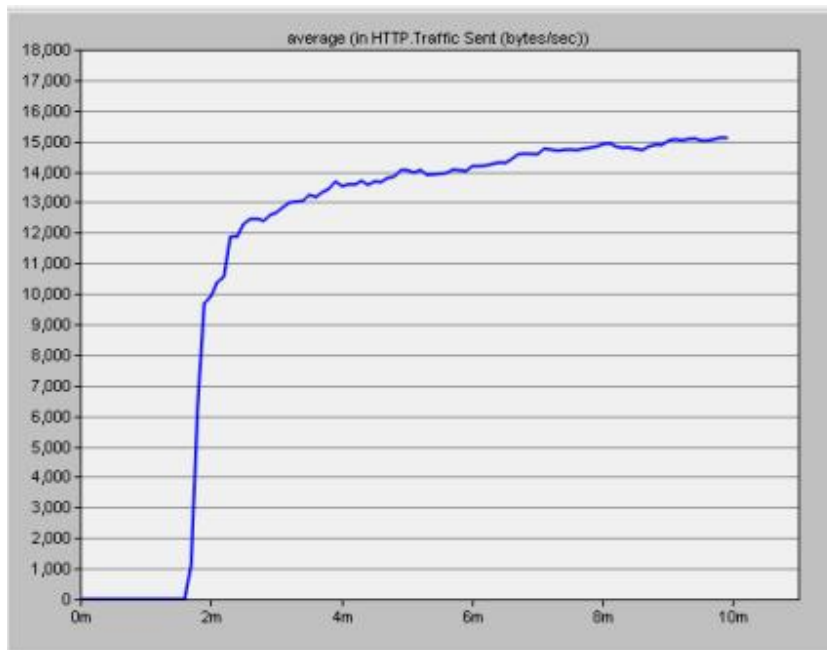
Anexo VI: Carga en la red (outdoor)

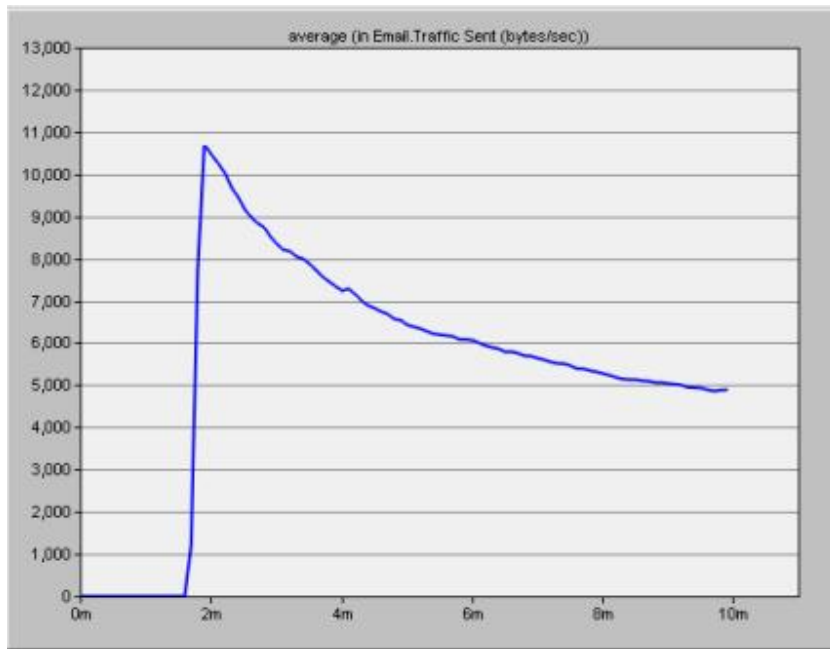


Anexo VII: Carga en los Puntos de acceso de 8 de las 12 subredes propuestas (outdoor)



Anexo VIII: Tráfico enviado (indoor) para las aplicaciones HTTP y E-mail respectivamente.





Anexo IX: Carga en los Puntos de acceso (indoor)

