



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROPUESTA DE UNA RED WIMAX EN CIUDAD UNIVERSITARIA PARA EXPANDIR LA RIU Y PROVEER SERVICIOS DE VALOR AGREGADO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

PRESENTA:

JORGE ALBERTO AGUILAR MAGALLÓN

DIRECTOR:

ING. ALFREDO HERNÁNDEZ MENDOZA



CIUDAD UNIVERSITARIA

MÉXICO, D.F. 2009



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS:

- A Dios, por sus bendiciones y la bondad de haberme permitido alcanzar esta meta.
- A mis padres, quienes me lo han dado todo. Este logro es también de ellos.
- A mi hermano, por ser un extraordinario ejemplo.
- A Alicia, quien es y será siempre parte de mi familia.
- A mis abuelos, quienes nos dieron una familia maravillosa.
- Al Ing. Alfredo Hernández Mendoza, por toda su asesoría.
- A Alberto Monroy con quien obtuve la experiencia que apliqué en esta tesis.
- A Rocío Pantoja y los muchachos del NOC y TAC DGSCA por su paciencia.
- A Adriana Cafaggi, Raúl Escalante, Jaime Martínez, Lourdes Martínez, Ron S. Leder, Julio C. Luna, Manuel Álvarez, Benjamín Valera y Gabriel Ascanio.
- A mi bello país México y su Máxima Casa de Estudios.
- A los maestros que me formaron y quienes me ayudaron a perfeccionar este trabajo.
- A mis amigos y compañeros quienes siempre me apoyaron y motivaron.

PENSAMIENTOS:

No se puede desatar un nudo sin saber cómo está hecho.

Aristóteles (384 AC-322 AC).

Si buscas resultados distintos, no hagas siempre lo mismo.

Albert Einstein (1879-1955).

Vacía tu bolsillo en tu mente, y tu mente llenará tu bolsillo.

Benjamín Franklin (1706-1790).

Un poco de ciencia aleja de Dios, pero mucha ciencia devuelve a Él.

Louis Pasteur (1822-1895).

En torno de la esencia está la morada de la ciencia.

Platón (427 AC-347 AC).

Contenido

Introducción.....	1
1. Conceptos Y Tecnologías De Redes.....	4
1.1 Modelos De Red.....	4
1.1.1 Modelo OSI.....	4
1.1.1.1 Estructura.....	5
1.1.1.2 Organización De Las Capas.....	6
1.1.2 Modelo Aproximado Internet TCP/IP.....	7
1.1.2.1 Estructura.....	7
1.1.2.2 Organización De Las Capas.....	8
1.2 Sistemas De Red Alámbricos.....	8
1.2.1 Ethernet - IEEE 802.3.....	9
1.2.1.1 Descripción.....	9
1.2.1.2 Topologías.....	10
1.2.1.3 Desempeño Y Medio De Transmisión.....	13
1.2.1.4 Costos.....	16
1.2.1.5 Ethernet De Banda Ancha.....	16
1.2.2 Token Ring - IEEE 802.5.....	17
1.2.2.1 Descripción.....	17
1.2.2.2 Topologías.....	18
1.2.2.3 Desempeño Y Medio De Trasnmisión.....	19
1.2.2.4 Costos.....	20
1.3 Sistemas De Red Inalámbricos.....	21
1.3.1 Wifi - IEEE 802.11.....	22
1.3.1.1 Descripción.....	22
1.3.1.2 Topologías.....	24
1.3.1.3 Desempeño Y Medio De Transmisión.....	25
1.3.1.4 Costos.....	29
1.3.2 Wimax - IEEE 802.16.....	29
1.3.2.1 Descripción.....	30
1.3.2.2 Topologías.....	31
1.3.2.3 Desempeño Y Medio De Transmisión.....	33
1.3.2.4 Costos.....	34
1.4 Comparativa Y Reseña De Tecnologías.....	35

2. Situación De La RIU Y Propuesta De Expansión.....	38
2.1 Infraestructura Actual.....	39
2.1.1 Tecnología.....	39
2.1.2 Consumo De Ancho De Banda.....	40
2.1.3 Topología.....	42
2.1.4 Cobertura.....	42
2.1.5 Limitaciones.....	44
2.2 Propuesta De Implementación.....	45
2.2.1 Arquitectura Y Topología De La Red.....	45
2.2.2 Infraestructura Requerida.....	46
2.2.3 Estudio Técnico.....	48
2.2.3.1 Perfil De Las Trayectorias.....	49
2.2.3.2 Interferencias.....	50
2.2.3.3 Intensidad De La Señal Recibida.....	52
2.2.3.4 Tasa De Modulaciones.....	52
2.2.3.5 Óptica Del Espacio Libre Y Zonas De Fresnel...	54
2.2.3.6 Energizado.....	57
2.2.4 Disposición De La Malla Wimax.....	57
2.2.5 Disposición De La Red Wifi.....	60
2.2.5.1 Presupuesto De Enlace.....	61
2.2.5.2 Ubicación De Las Células Wifi.....	66
2.3 Interconexión Con Red UNAM.....	69
2.3.1 Conectividad Y Redundancia.....	69
2.3.2 Administración.....	70
3. Evaluación Del Proyecto Y Aplicaciones.....	72
3.1 Evaluación.....	72
3.1.1 Tiempo.....	72
3.1.2 Costos.....	74
3.1.3 Soporte Técnico.....	75
3.2 Aplicaciones.....	75
3.2.1 Control De Activos Mediante RFID.....	76
3.2.1.1 Monitoreo De Vehículos.....	77
3.2.2 Seguridad.....	79
Conclusiones.....	81
Glosario.....	82
Referencias.....	87

Introducción

Perspectiva

Las tecnologías de comunicación, en particular las inalámbricas, se han logrado desarrollar y perfeccionar en los últimos cincuenta años llegando a niveles muy confiables y seguros. Es por ello que muchos servicios que dependen de ellas, han logrado expandirse y se han convertido en herramientas cotidianas esenciales; tanto para las presentes generaciones como para muchos individuos de generaciones anteriores. Dada su utilidad y versatilidad, dichas tecnologías se utilizan para muchas aplicaciones de entre las cuales señalo algunos ejemplos:

- Comunicación: Radio, televisión, telefonía, Internet, redes de datos.
- Seguridad: Vigilancia, rastreo y control de activos, localización.
- Medicina: Control y ajuste de dispositivos dentro del cuerpo humano.
- Geografía: Alarmas sísmicas, pluviales, marítimas.
- Biología: Monitoreo y control de especies, ecología.
- Navegación: Control aéreo, espacial, marítimo.

En el campo particular de las redes digitales de datos, las tecnologías inalámbricas han tenido un gran auge desde el final de la década de los noventa. Han desplazado en gran medida a las alámbricas en los segmentos doméstico, pequeñas empresas, y académicos principalmente. Lo anterior se debe a que los requerimientos para éste tipo de usuarios son: economía, facilidad y rapidez de implementación; lo cual no siempre se encuentra en las alámbricas. No obstante, éstas últimas ofrecen una mejor disponibilidad y desempeño.

Dentro de los estándares de red, tanto alámbricas como inalámbricas, existen diversos tipos para satisfacer distintas necesidades. En los últimos años han emergido tecnologías de red inalámbricas con niveles de desempeño muy cercanos a los de aquellas alámbricas. Ejemplos como WiFi y WiMAX han hecho posible la creación de redes locales en casas y oficinas, redes metropolitanas entre sucursales de empresas, hospitales, escuelas,

zonas rurales y marginadas, entre otras. Sin necesidad de invertir en proyectos para cableado estructurado y el tiempo que puedan requerir, las tecnologías inalámbricas del siglo XXI, son un comodín para las redes actuales.

Objetivos y Alcance

Analizar la viabilidad de implementación de un sistema inalámbrico con topología tipo malla para expandir la Red Inalámbrica Universitaria (RIU); utilizando una tecnología de microondas con uso de frecuencia libre denominada WiMAX; manteniendo un desempeño óptimo, con un costo mínimo. Cubrir los espacios vacíos que por su topografía sería difícil, lenta, y costosa la utilización de cableado estructurado para la colocación de puntos de acceso. Hacer la red más robusta para los usuarios, versátil y útil para futuras aplicaciones y servicios de valor agregado.

Con esta tesis se debe reunir toda la documentación y estudios para contar con la viabilidad de este proyecto y que éste pueda implementarse como una solución complementaria a la RIU. Así mismo, adquirir la mayor experiencia posible para poder aplicar el uso de tecnologías emergentes para otros proyectos similares, como la modernización de zonas subdesarrolladas: comunidades rurales, zonas turísticas, seguridad urbana y banda ancha de última milla para enlaces dedicados o redes privadas virtuales a nivel empresarial.

El documento abarcará los principales conceptos y tecnologías de redes existentes para conocer sus características más relevantes, así como sus ventajas y desventajas. Posteriormente se reunirán los conceptos de antenas y transmisión de señales en microondas; realizando los cálculos necesarios para el correcto despliegue de la infraestructura.

Motivación

Actualmente se cuenta con una red inalámbrica que cubre algunos puntos importantes del campus Ciudad Universitaria, sin embargo, dicha red es escasa o nula en otras áreas. Con la tecnología propuesta, deberá ser posible llegar a puntos y zonas en

donde el cableado no es una opción viable. Además, si el proyecto se llevase a cabo, posteriormente se podrían implementar aplicaciones de seguridad tales como control de activos y video vigilancia.

La UNAM es el centro de investigación científica, humanística y cultural más importante de México; sin embargo, en Ciudad Universitaria hay mucha inseguridad. Si toda la comunidad universitaria trabajáramos en algún proyecto que involucrase un posible incremento en la seguridad, pienso que tendríamos un campus mejor.

Estructura del Documento

En el capítulo primero denominado “Conceptos y Tecnologías de Redes” se comienza por la descripción de los modelos y tecnologías de red más importantes y utilizadas desde sus inicios en los años setenta. También se mencionan aquellas otras que a pesar de su obsolescencia, sirvieron para mejorar las actuales. Se podrá apreciar que dicho capítulo se divide en dos principales secciones, la primera donde se habla de las tecnologías para sistemas alámbricos y la siguiente para inalámbricos. Por último, habrá una breve sección donde se comparan todas las tecnologías, ilustrando algunas de sus más relevantes ventajas y desventajas.

El capítulo segundo contiene la propuesta de implementación, objetivo principal de ésta tesis. Aquí se describen todas las características de los equipos tanto WiMAX como WiFi y los estudios técnicos que se necesitan llevar a cabo para el correcto diseño y despliegue de la nueva red. Finalmente, se propone el procedimiento para acoplar e interconectar dicho proyecto con Red UNAM.

En el capítulo tercero se evalúa el proyecto en cuanto a factibilidad técnica, económica y los beneficios que nos brinda. También se proponen algunas aplicaciones nuevas que podrían complementar este proyecto.

Por último, se incluyen: un glosario de los términos y nomenclaturas presentados en *cursivas*, las debidas conclusiones y las referencias bibliográficas.

1. Conceptos Y Tecnologías De Redes De Datos Digitales

En el siglo XXI las redes de comunicaciones son parte de nuestra vida cotidiana. Diariamente hacemos uso de servicios como el teléfono, televisión, radio, pagos electrónicos, computadoras, Internet, etc. Todas estas redes tienen varios conceptos en común que les permiten funcionar y las definen como tal.

1.1 Modelos De Red

Una *red* de datos digitales es una combinación de *hardware* y *software* mediante los cuales se envía información desde un lugar a otro. El hardware consiste en el equipo físico que procesa las señales digitales. El software consiste en una serie de aplicaciones e instrucciones lógicas que hacen posible los servicios que proporciona dicha red.

Durante una transmisión de datos desde un equipo transmisor “A” a un receptor “B” y viceversa, se involucran una serie de tareas controladas por software y ejecutadas de manera jerárquica. El software del equipo “A” realiza dichas tareas y posteriormente su hardware enviará la información al hardware del equipo “B”. Éste último tendrá un software que realizará las mismas tareas antes mencionadas, con igual jerarquía; pero en orden inverso. Finalmente procesará y entregará al usuario del equipo “B” la información recibida. Esta serie de tareas jerarquizadas son conocidas con el nombre de *capas de red* y su concepto ha sido muy importante para la creación de modelos y estándares de comunicación en red.

1.1.1 Modelo OSI

El *Open Systems Interconnection (OSI) model* es un modelo de interconexión de sistemas abiertos. Un sistema abierto es una serie de reglas y protocolos que permiten a dos equipos comunicarse sin importar la arquitectura existente detrás de ellos. Dicho modelo fue creado a finales de la década de 1970 por la *International Standards Organization (ISO)*. La estructura del modelo OSI permitió entender y diseñar arquitecturas de red que

fueran flexibles, robustas e interoperables. Aunque este modelo nunca se implementó completamente en el mercado, es importante conocerlo para comprender como se produce la comunicación entre distintos dispositivos; quedando únicamente como un modelo de referencia.

1.1.1.1 Estructura

La estructura del modelo OSI consiste en una serie de tareas jerarquizadas las cuales están organizadas en siete capas de red. En cada una de estas capas se define el proceso de transporte de información a lo largo de una red. La imagen 1.1 muestra las siete capas involucradas en la transmisión de datos entre dos usuarios.



Imagen 1.1 Las siete capas del Modelo OSI.¹

Dentro de un equipo transmisor, cada capa pide los servicios de la capa inmediatamente inferior, mientras que en el receptor, cada capa llama a aquella inmediatamente superior. En el equipo transmisor la capa 4 por ejemplo, utiliza los servicios que proporciona la capa 3, ésta a su vez, utiliza los de la capa 2, y así

sucesivamente. Las capas proporcionan los servicios para manipular los datos dentro de un equipo. Cuando llega el momento de transmitir datos entre dos equipos, la capa x de uno de ellos se comunica con la capa x del otro. Los procesos mediante los cuales las capas de dos equipos se comunican se llaman procesos *peer to peer* y así es como se le llama a una comunicación entre dos máquinas.

1.1.1.2 Organización De Las Capas

Las siete capas se pueden separar en tres subgrupos. Las capas 1, 2 y 3 son las capas de soporte de red; ellas trabajan con los aspectos físicos de mover los datos de un equipo a otro. Las capas 5, 6 y 7 son aquellas que se encargan de la comunicación a nivel de usuario; permiten la interoperabilidad entre aplicaciones de software independientes. La capa 4 se encarga de unir a los dos subgrupos anteriores y asegura que la información transmitida entre las capas inferiores sea de una forma que las superiores puedan utilizar. A continuación se definen² las funciones y protocolos de cada capa de manera individual:

1. Los protocolos de la capa física son los responsables de la transferencia de *bits* a través de distintos medios.
2. La capa de enlace de datos contiene los protocolos encargados de transportar mensajes en la *Intranet* (i.e. entre los equipos de una red local). Algunas de sus funciones incluyen la identificación de dispositivos y acceso a canales de transmisión compartidos.
3. La capa de red contiene los protocolos responsables de la transferencia de mensajes en la *Internet* (i.e. entre los equipos de varias redes locales interconectadas).
4. La capa de transporte hace posible que se introduzcan varios niveles de calidad en el proceso de transmisión del mensaje y alerta si dicha calidad se ve comprometida.
5. La capa de sesión dialoga y controla la sincronización de las transmisiones. Por ejemplo, ordena a los equipos a iniciar, detener, reiniciar o abandonar una transmisión.
6. La capa de presentación es la responsable de la conversión de distintos tipos de mensajes. Ésta negocia y establece una forma común para la representación de datos que incluyen la traducción, compresión y codificación de los mensajes.

7. La capa de aplicación hace posible que aplicaciones iguales o diferentes las cuales se ejecutan en diferentes sistemas, utilicen los servicios de una red para intercambiar datos. Es la capa responsable de proporcionar servicios al usuario.

1.1.2 Modelo Aproximado Internet TCP/IP

El modelo que domina las redes de comunicación de datos desde los años noventa, es el modelo de *Internet*; llamado *Transport Control Protocol / Internet Protocol (TCP/IP)*. Aunque TCP/IP fue desarrollado antes que el modelo descrito en el inciso anterior, su comprensión se simplifica después de haber analizado OSI previamente.

1.1.2.1 Estructura

A diferencia del modelo OSI, el modelo TCP/IP esta compuesto de cuatro capas únicamente. En la imagen 1.2 se aprecia su estructura, así como su correspondencia aproximada con las capas del modelo OSI.

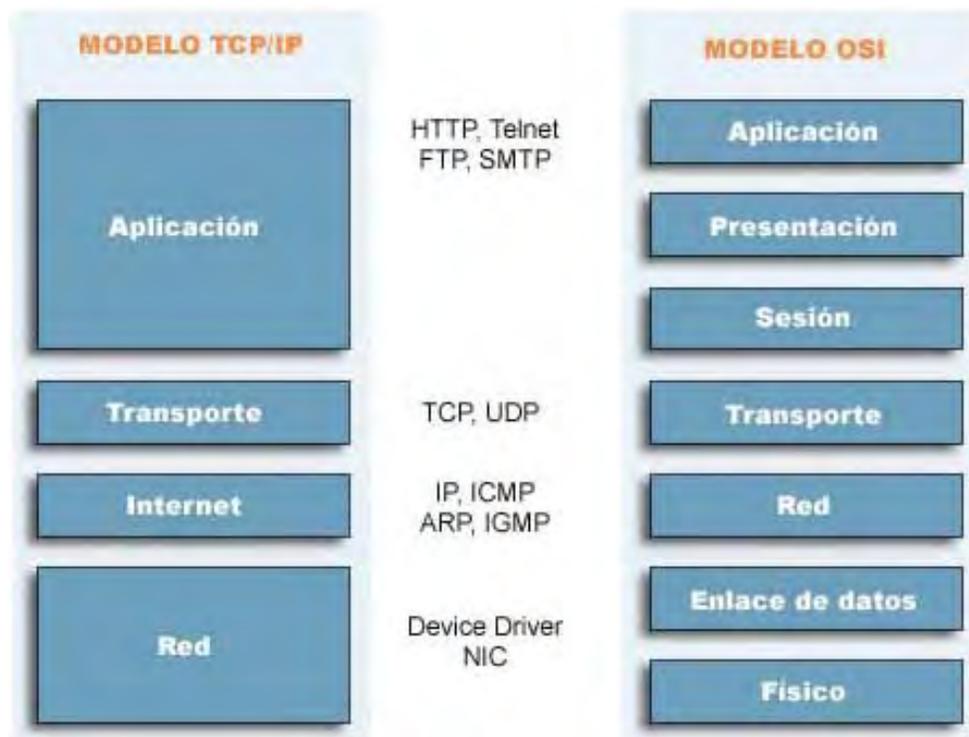


Imagen 1.2 Aproximación de capas entre modelos.³

1.1.2.2 Organización De Las Capas

La forma en la que operan los servicios en las capas de TCP/IP y los procesos involucrados, son similares a los del modelo OSI en cuanto a las jerarquías que tienen. Sin embargo, el modelo TCP/IP define más de un protocolo en una capa dada, y la funcionalidad de estos protocolos puede no ser la misma o respetar la jerarquía mencionada. Lo anterior se debe a que dicho modelo es descriptivo en vez de prescriptivo, como sucede con OSI. Por el contrario, es común que una serie de protocolos situados en una misma capa, comparta servicios con los protocolos de la siguiente capa inferior.

Como se ha visto, no existe un modelo tal de TCP/IP. Sin embargo, es muy útil caracterizar con capas el conjunto de protocolos involucrados en ellas, lo cual facilita su comprensión. A continuación se tienen las definiciones⁴ de dichas capas:

- **Aplicación:** Provee las comunicación entre los procesos y aplicaciones entre nodos separados.
- **Transporte:** Provee servicios de transferencia de datos peer-to-peer. Esta capa puede incluir también protocolos de calidad y confiabilidad. También esconde los detalles de la capa de aplicación referentes a la red o las redes detrás de dicha capa.
- **Internet:** Es la responsable de dirigir los datos desde el nodo de origen hasta el de destino a través de una o varias redes interconectadas.
- **Red o Acceso de Red:** Se encarga de los procesos lógicos entre las interfaces de un nodo y la red a la cual está inmediatamente conectada. En esta capa se definen también las características físicas del medio de transmisión, señales, *tasas de modulación*, y esquemas de codificación.

1.2 Sistemas de Red Alámbricos

Desde sus inicios, las tecnologías alámbricas han sido la primera opción para cualquier sistema de comunicación. Al tener un medio físico dedicado (cable), hace de éstos sistemas los de mayor índice de desempeño, seguridad y eficiencia en cuanto a la transmisión de datos; en este aspecto están siempre un paso adelante de las inalámbricas, sin embargo, las alámbricas pueden ser más costosas y difíciles de implementar en algunas ocasiones. El costo aumenta con la distancia a la que se encuentren los *nodos* y los

dispositivos que los interconectan; además puede requerir mano de obra especializada para realizar el cableado estructurado, como por ejemplo, en edificios grandes o a lo largo de una zona urbana. En los siguientes incisos se describen las principales tecnologías para este tipo de sistemas, así como los *estándares* que las definen.

1.2.1 Ethernet - IEEE 802.3

Ethernet es uno de los estándares pioneros de las redes *LAN*, a la fecha es el más desarrollado, y por ende del cual hablaré más a fondo en ésta parte. Fue creado desde hace más de 3 décadas por Robert Metcalfe con la ayuda de David Boggs. Metcalfe era un estudiante del Instituto Tecnológico de Massachussets quien estaba muy interesado en mejorar el desempeño de la famosa red de 1970 *ALOHA* montada en Hawaii. Uno de los principales problemas que presentaba la red, era que los *paquetes* de datos colisionaban al ser transmitidos al mismo tiempo y por el mismo medio. Al efecto, Metcalfe desarrolló un protocolo conocido como *CSMA* (el cual describiré más adelante), y ha sido la base para éste tipo de tecnología.

En 1972 Metcalfe conoció a Boggs al trabajar en el Centro de Investigaciones XEROX en Palo Alto, California y a ambos les fue encomendada la tarea de desarrollar una red capaz de compartir tanto recursos como información y periféricos a alta velocidad con un desempeño óptimo. En 1973 lograron su objetivo; utilizando cable *coaxial* al cual denominaron “éter” debido a la antigua y desmentida teoría física que el éter era el elemento del Universo por el cual viajaban las ondas electromagnéticas.

La primera estandarización de Ethernet fue publicada en 1980 por el consorcio de las compañías DEC (Digital Equipment Corporation), Intel y Xerox denominado *DIX*. Posteriormente fue revisada y estandarizada por el *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)* y actualmente es el estándar oficial de Ethernet.

1.2.1.1 Descripción

La tecnología Ethernet está basada en la técnica llamada *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD)*. Es una técnica de comunicación de señales

entre dos terminales, donde la parte transmisora averigua primero si el medio por el cual se va a propagar la señal está libre; para ello “escucha” primero si no hay *tramas* de datos viajando (por el medio) y una vez cerciorado de esto, prosigue a la transmisión de su señal. Las tramas que no se pueden transmitir debido a la ocupación del canal son retenidas mientras que esperan su turno o cierto período de tiempo. El proceso y la operación de ésta técnica parece sonar largo y tardado, sin embargo ocurre en fracciones de segundos dentro del dominio de colisión.

En una red se conoce como *dominio de colisión* al grupo de equipos terminales que están conectados inmediatamente entre sí y para lo cualcomparten el mismo medio de transmisión. Esto implica que por dicha vía sea muy probable que vayan a colisionar algunos paquetes de datos en ciertos momentos. La técnica CSMA/CD logró reducir enormemente los tiempos de transmisión al disminuir las colisiones en un mismo entorno de red Ethernet.

1.2.1.2 Topologías

Existen varias topologías para las redes Ethernet:

- Bus
- Estrella
- Árbol
- Malla

La topología *bus* fue la primera en desarrollarse y sobre la que Metcalfe trabajó en un principio. Es conocida también bajo la norma IEEE 802.3a como 10Base2. La nomenclatura anterior se refiere a que podía transmitir hasta 10Mb/s en una distancia máxima de 2 hectómetros (200m) utilizando una sola frecuencia portadora y sin modulación, de ahí el termino “*Base*”, que se refiere a la transmisión en *banda base*. En ella se utiliza un cable coaxial (similar al utilizado en televisión) para conectar en serie los equipos terminales utilizando un conector BNC en forma de “T” (imágenes 2.3 y 2.4).



Imagen 1.3 Cable coaxial.



Imagen 1.4 Conector BNC.

Dentro de una red bus, los paquetes de datos viajan directamente de un nodo de la red a otro y absolutamente todos los equipos terminales escuchan la señal que se envía. Para que un equipo terminal pudiera distinguir si un paquete de datos iba dirigido a él o no, se asignaron a las interfaces de red una dirección conocida como *Media Access Control (MAC)* la cual funge como indicador único de la interfaz del equipo terminal al que va dirigido el paquete. Actualmente las topologías bus son obsoletas y están prácticamente fuera de uso.

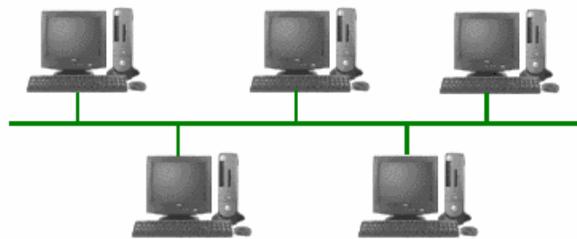


Imagen 1.5 Ejemplo de una red en bus.

La topología *estrella* sustituyó a la anterior, comenzando por el medio utilizado para la transmisión de datos. El cable coaxial fue reemplazado por cable de hilos de cobre trenzados en pares y conexiones de tipo telefónico, en particular el conector *RJ-45* (imagen 1.10). El conjunto contaba ahora con un dispositivo concentrador de red denominado *hub* donde se conectarían todas las terminales, cada una con un cable independiente. Los hubs eran los dispositivos más comúnmente usados, sin embargo, ahora han sido sustituidos por otros similares llamados *switches*. Los switches proveen un mejor desempeño que los hubs

anteriores, dado que segmentan los dominios de colisiones por puerto; además, hoy en día un switch es igualmente económico y accesible que un hub. Posteriormente surgieron switches que eliminan por completo el dominio de colisión, de ellos se hablará más adelante. Para el público general que quiere implementar una red en su hogar o en una oficina pequeña, un switch es muy económico, fácil de adquirir e instalar.

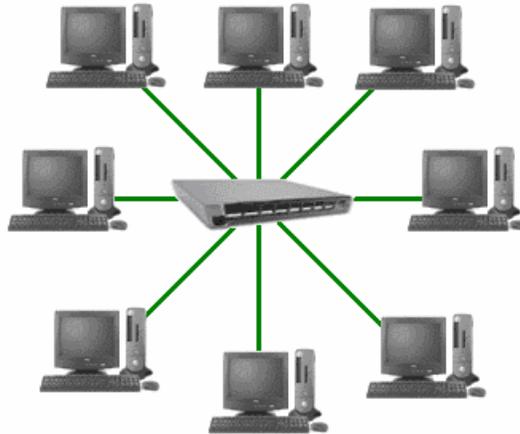


Imagen 1.6 Ejemplo de una red en estrella.

La topología en *árbol* es simplemente un arreglo de varias redes en estrella, ésta se definirá más a detalle en el inciso de sistemas inalámbricos (sección 1.3.1.2). La topología en *malla* no se utiliza tanto en sistemas alámbricos de redes locales (LAN), pero sí en aquellas más grandes como *MAN*, *WAN* y en algunos sistemas inalámbricos; las definiré también en los capítulos referentes a dichos sistemas.

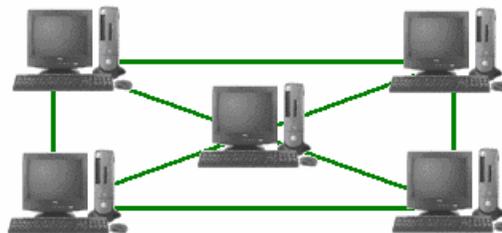


Imagen 1.7 Ejemplo de una red en malla.

1.2.1.3 Desempeño Y Medio De Transmisión

Aquí me enfocaré exclusivamente a hablar de la Ethernet, considerando la modalidad en estrella, pues es la más relevante. El desempeño de Ethernet mejoró extraordinariamente al cambiar el medio debido a que el cable coaxial fue implementado para las redes, más no fue en un principio creado para ellas. En los extremos de cada terminal era necesario poner una resistencia para lograr el acoplamiento de impedancias, y en caso de no estar bien acopladas, ocasionaban problemas de interferencias y ruidos los cuales disminuían el desempeño de la red. En cambio, el par de cobre trenzado tenía su propia forma de cancelar las interferencias electromagnéticas al ir los hilos trenzados por pares; también ayudó a cancelar problemas de *diafonía* o en inglés *crosstalk (XT)* entre hilos adyacentes.

Al utilizar cable de *categoría (CAT) 5 ó 6*, cuyos hilos de cobre trenzados en pares tienen un calibre de 24 *AWG*, y sin malla protectora *Unshielded Twisted Pair (UTP)* es posible transmitir sin problemas en una distancia de hasta 100 metros en velocidades desde 10Mb/s hasta los 1000Mb/s; dependiendo del tipo de cable (imagen 1.8-1.9). Existen variaciones del cable CAT con forros y/o mallas protectoras para aislar los hilos de cobre de interferencias electromagnéticas. Estos cables son conocidos como *Foiled Twisted Pair (FTP)* par trenzado con forro de aluminio, y *Shielded Twisted Pair (STP)* par trenzado con blindaje de malla. Éstos se utilizan en lugares donde existe un alto grado de radiación electromagnética, como pueden ser edificios debido a los balastos de lámparas de gas y largos tendidos exteriores susceptibles a radiaciones por descargas atmosféricas.

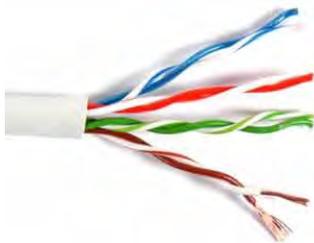


Imagen 1.8
Cable UTP.



Imagen 1.9
Cable STP o FTP.



Imagen 1.10
Conector RJ-45.

Antiguamente la comunicación entre los equipos de una red podía darse en un solo sentido por vez. A éste modo de transmitir se le conoce como *half-duplex*. Un ejemplo de un sistema así es la comunicación por radio o *walkie-talkie*, en la cual sólo una de las partes puede hablar en cada intervalo de tiempo. En cambio la red telefónica es un sistema *full-duplex*, donde ambas partes pueden hablar al mismo tiempo. Hoy en día existen sistemas *full-duplex* que pueden transmitir al mismo tiempo; haciendo la transmisión de datos más rápida, eficiente y sin colisiones. Por lo anterior, en dichos sistemas se elimina el llamado dominio de colisión, dado que los choques de señales son inexistentes.

Actualmente las redes Ethernet se han extendido hasta varios kilómetros, gracias al uso de la fibra óptica. Los cables de este tipo presentan una pérdida mínima de la señal comparado con los de cobre. Además, dichos cables son inmunes a las radiaciones electromagnéticas, pues al ser un medio completamente dieléctrico, no se inducen corrientes parásitas. Las velocidades de transmisión que puede manejar la fibra óptica dependen de su versión como se indica en la imagen 1.13 y son equiparables con las de cobre. Dicha característica hace que la implementación de redes Ethernet con diversos tipos de cable sea muy compatible, pues la mayoría brindan niveles de desempeño muy cercanos.

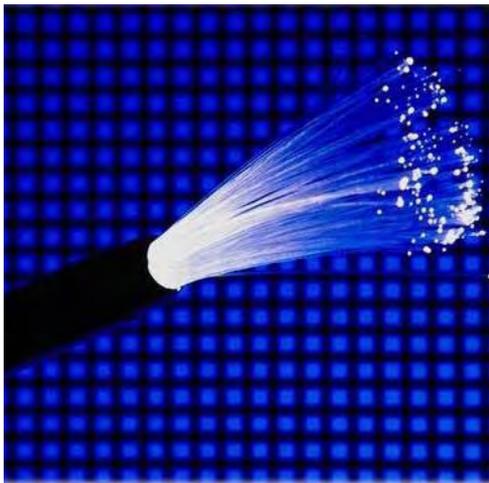


Imagen 1.11 Cable de fibra óptica.



Imagen 1.12 Conectores de fibra óptica.

Una característica más que ha mejorado considerablemente el ancho de banda que Ethernet puede manejar, es el método de *codificación de señal*. Dicha tarea se refiere a codificar las señales binarias que el nodo de origen quiere transmitir, en señales que el medio de transmisión pueda transportar para posteriormente ser decodificadas por el nodo de destino. La transmisión se realiza con señales discretas (altas o bajas) que en la práctica corresponden a dos diferentes voltajes en un medio de cobre, o dos diferentes niveles de potencia en un medio óptico.

Tecnología	Velocidad De Transmisión	Tipo De Cable	Distancia Máxima	Topología	Codificación De La Señal
10Base2	10 Mbps	Coaxial	185 m	Bus	Manchester
10BaseT	10 Mbps	Par Trenzado	100 m	Estrella	Manchester
10BaseF	10 Mbps	Fibra óptica	2000 m	Estrella	Manchester
100BaseT4	100 Mbps	CAT 3 UTP	100 m	Estrella. Half Duplex y Full Duplex	4B/5B
100BaseTX	100 Mbps	CAT 5 UTP	100 m	Estrella. Half Duplex y Full Duplex	4B/5B
100BaseFX	100 Mbps	Fibra óptica	2000 m	Estrella. Half Duplex y Full Duplex	4B/5B
1000BaseT	1000 Mbps	CAT 5e ó 6, UTP	100 m	Estrella. Full Duplex	4D-PAM5
1000BaseSX	1000 Mbps	Fibra óptica (multimodo)	550 m	Estrella. Full Duplex	8B/10B
1000BaseLX	1000 Mbps	Fibra óptica (monomodo)	5000 m	Estrella. Full Duplex	8B/10B

Imagen 1.13 Tabla comparativa de algunas variantes de Ethernet.⁵

1.2.1.4 Costos

Hasta finales de los años noventa, la tecnología Ethernet era la opción más económica en pequeñas empresas, oficinas y hogares pues a pesar de requerir conocimientos técnicos para su cableado, o en su defecto, la contratación de mano de obra especializada, ofrecía la mejor relación en cuanto a costo y desempeño. Actualmente sigue siendo la tecnología alámbrica con mayor aceptación a nivel de área local (LAN).

Los límites de la Ethernet radican en sus costos cuando ésta se quiere implementar en lugares donde el cableado resulta complicado de instalar, ya que más allá de los precios del material, se incrementa el precio de la mano de obra. Un ejemplo es en edificios y complejos viejos, donde se requiere pasar el cable por áreas comunes, para lo cual se necesitaría sepultarlo o tender con postes, éstss operaciones incrementan aún más el precio. El gran impacto de la Internet a mediados de la década de 1990 ayudó a desarrollar tecnologías de banda ancha las cuales en un principio se pensaron para proveer éste servicio a usuarios domésticos y pequeñas empresas, sin embargo, hoy en día se utilizan para expandir redes a nivel local, metropolitano, o dónde el cableado estructurado resulte costoso.

1.2.1.5 Ethernet De Banda Ancha

Para poder extender las redes Ethernet a nivel metropolitano, se han aprovechado medios ya instalados como lo es el cableado telefónico ó el de televisión por cable. La idea básica fue *modular* la señal Ethernet a través de éstos medios y posteriormente *desmodularla*; convirtiéndola en Ethernet de nuevo. Al dispositivo capaz de lograr esto se le conoce como *modem* debido a su doble función de modular y desmodular (imágenes 1.14-1.15). Además, fue posible usar el mismo medio físico para transmitir varias señales a diferentes terminales mediante una técnica conocida como *multiplexado*. Cada señal se modula para que viaje con una frecuencia portadora diferente sin que éstas interfieran entre sí. Debido al amplio rango de frecuencias utilizadas en cierta banda del espectro electromagnético, se le denominó *banda ancha* a las tecnologías que permitieron llevar la Ethernet a mayores distancias que aquellas de banda base.

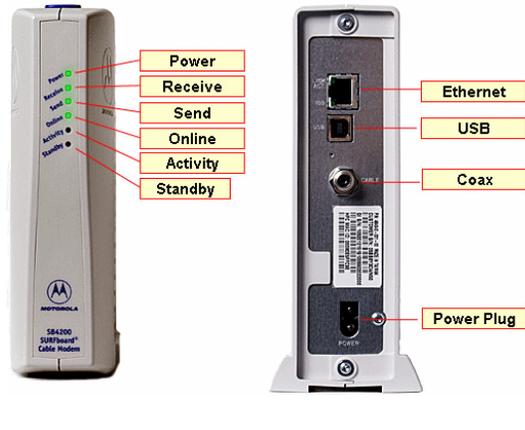


Imagen 1.14 Módem de cable coaxial.

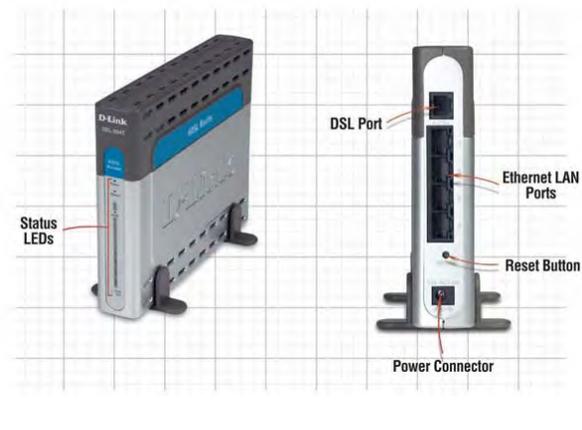


Imagen 1.15 Módem telefónico digital.

1.2.2 Token Ring - IEEE 802.5

La tecnología Token Ring fue desarrollada a finales de los la década de los setenta y principios de los años ochenta por la compañía estadounidense *Industrial Business Machines (IBM)*. Posteriormente fue estandarizada por el IEEE hasta 1985; sin embargo, su diseño es anterior a la tecnología Ethernet. A diferencia de las antiguas redes de bus en donde había un alto índice de colisión de datos, la idea de IBM era conectar todos los equipos terminales de la red en una cadena circular (*ring*) en la cual, los datos fluyeran en un solo sentido; evitando así el problema de colisiones. A pesar que ésta tecnología actualmente es obsoleta, es importante mencionarla, ya que su competencia con Ethernet fue vital para el desarrollo de ésta última; además, sirvió de base para tecnologías que emergieron después, en particular las inalámbricas.

1.2.2.1 Descripción

En este tipo de tecnología, cada equipo del anillo examina los datos que se encuentran viajando, revisa si van dirigidos a él y siendo así los toma. En caso que el paquete no vaya dirigido a él, lo pasa a la estación terminal siguiente y así sucesivamente hasta que llegue a su destino. El *token* o *testigo* es un pequeño paquete de datos único en la red el cual le da al equipo terminal que lo posea la facultad de transmitir datos. Es como un juego en el cual aquel que posea un comodín u objeto similar es quien puede tirar o quien tiene uso de la palabra en un debate. El token es transferido de estación en estación en un sentido único. Cuando un equipo tiene que enviar información, espera hasta que el token

llegue a él para poder hacer uso del anillo. Una vez que recibe el token y por ende el permiso para transmitir, comienza a enviar los datos hasta que los transfiere por completo o hasta que alcanza el límite máximo de transmisión por evento. Lo anterior significa que sólo puede transmitir una cantidad máxima de paquetes en cada turno que recibe el token. Si la información a transmitir excede el límite de transferencia por turno, deberá esperar cuantos turnos sean necesarios para completar la transferencia. Esto hace que todos los equipos de la red puedan hacer uso del anillo de forma equitativa.

1.2.2.2 Topologías

Básicamente existe una sola topología para las redes Token Ring, aunque tiene algunas variantes. La estructura física de ésta red es igual a la de las Ethernet en estrella. Todos los equipos terminales se enlazan a un concentrador mediante unos conectores especiales diseñados por IBM conocidos como *UDC*, llamados también conectores “hermafroditas” ya que son ambos de tipo macho y hembra. Sin embargo, la topología lógica es de un anillo (imagen 1.16) en el cual los datos fluyen en una sola dirección.

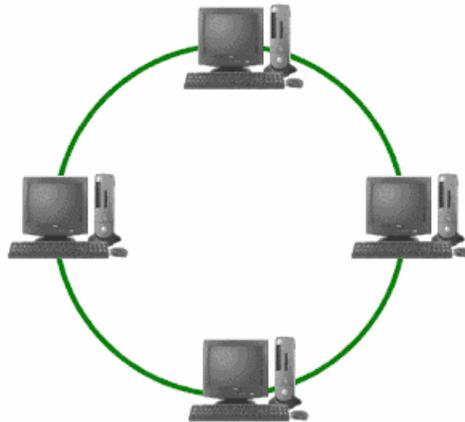


Imagen 1.16 Topología lógica de anillo.

Existe una variante que consiste en 2 anillos concéntricos donde los datos fluyen en direcciones contrarias en cada uno. Está topología es característica de las redes de tipo *Copper/Fiber Distributed Data Interface (CDDI/FDDI)*.

1.2.2.3 Desempeño Y Medio De Trasnmisión

Las redes Token Ring operaban a una velocidad de 4 Mb/s, cuando recién salieron al mercado. IBM afirmaba que su tecnología era más eficiente que la Ethernet de 10 Mb/s debido a la ausencia de colisiones. Posteriormente salió la versión de 16Mb/s la cual se situó por encima de la Ethernet, pero sólo por algún tiempo; tal parecía que el producto de IBM era la red perfecta, sin embargo, como toda tecnología tenía sus puntos débiles. El mayor problema apareció cuando se “rompía” el famoso anillo, ya que en ocasiones sucedía que alguno de los equipos terminales presentaba fallas y rompía la cadena lógica.

El método que se usaba para la interconexión de las redes Token Ring era mediante un dispositivo concentrador conocido como *Multistation Access Unit (MAU)* y conectores *Universal Data Connectors (UDC)*, ambos de IBM. El primero utilizaba la energía eléctrica de los equipos terminales, por lo que prescindía de una fuente de alimentación externa. Cuando un equipo se conectaba, activaba un relevador en el MAU que integraba a dicho equipo en la cadena, lo contrario sucedía al ser desconectado. Al presentarse el problema del “anillo roto” era necesario averiguar cual de los equipos terminales era el que estaba ocasionando la ruptura, y por ende tendría que ser físicamente desconectado del concentrador ó apagado por completo. Este tipo de situaciones ponía al Token Ring en desventaja con la Ethernet en estrella, en la cual, si un equipo fallaba no alteraba al resto.



Imagen 1.17 Concentrador MAU.



Imagen 1.18 Conector UDC.

Para expandir un anillo de red con más estaciones, los MAU contaban con conectores de entrada *Ring In (RI)* y salida *Ring Out (RO)* para añadir más concentradores.

El conector de salida del primer MAU se conectaría al conector de entrada del siguiente, y así sucesivamente; el último MAU tendría que conectar su puerto de salida al puerto de entrada en el primero para así cerrar el anillo. Con el mismo cable UTP (utilizado en las redes Ethernet) se podría conectar un máximo de 72 equipos en un sistema Token Ring.

Aunque IBM alcanzó a desarrollar en sus laboratorios la red Token Ring hasta velocidades de 100 Mb/s, ésta nunca se expandió en el mercado mundial; por el contrario ya había surgido la FDDI (que mencioné anteriormente) desarrollada por el *American National Standards Institute (ANSI)*. Dicha tecnología fue ampliamente utilizada por varios años; a la fecha existe infraestructura que la sigue ocupando y tenía 2 grandes ventajas sobre la Token Ring tradicional: velocidad y confiabilidad. Al utilizar fibra óptica se alcanzaban velocidades de 100 Mb/s y 200 Mb/s con 1 ó 2 anillos respectivamente; siendo posible conectar equipos a grandes distancias con una longitud máxima de 200 kilómetros. La topología consistía en 2 anillos concéntricos con flujo de datos opuestos, cuando un anillo fallaba o la trama de datos se perdía, se tenía el soporte del segundo anillo para la zona afectada. A ésta forma automática de reparar las transmisiones en una red se le adjudicó el término *redundancia* ya que para corregir errores se enviaban bits extras con los mismos (redundantes) datos.

1.2.2.4 Costos

A pesar de los momentos en los cuales las redes en anillo se situaron por encima de la Ethernet en cuestión de desempeño, Token Ring fue siempre más costosa debido a que fue estandarizada tiempo después que su competidora. Dado lo anterior, la producción de equipo para ella y su comercialización abarcó un mercado mucho más reducido. La mayoría del equipo Token Ring que se vendía era de IBM. Los conectores UDC en un concentrador MAU ocupaban espacios muy grandes debido al mecanismo de conexión con relevadores; esto hacía que los dispositivos fueran muy grandes y pesados para apenas unos cuantos puertos.

Las redes FDDI se vieron en circunstancias similares a las de IBM respecto a los costos. Para entonces las redes Ethernet, tanto de cobre cómo de fibra óptica, ya habían

alcanzado los 1000 Mb/s. Dicha situación terminó no solo quitándole el trono a FDDI, también la hizo convertirse en obsoleta.

1.3 Sistemas De Red Inalámbricos

Los sistemas de comunicación inalámbricos tuvieron su origen a finales del siglo XIX en la época preindustrial, cuando el italiano Guiseppe Marconi realizó sus primeros experimentos para la comunicación telegráfica mediante ondas electromagnéticas. En el Reino Unido consiguió la patente para el primer sistema de radio en el mundo en 1897. Los principios en los que se basó Marconi se expandieron después a otros sistemas como la televisión, navegación aérea, comunicaciones espaciales, vía satélite, telefonía, etc. En estos sistemas se utiliza un solo medio al igual que en aquellos alámbricos para la transmisión de las señales; siendo para los inalámbricos el aire y/o el vacío. La diferencia entra ambos sistemas radica en que éste medio no está dedicado a un solo equipo de comunicación, además carece de una forma de *guía de onda* regular pues se encuentra en todas partes. Al ser el aire una vía compartida por muchos medios de comunicación, se tuvo que llegar a acuerdos a nivel mundial para dividir el espectro electromagnético en bandas de frecuencias; a fin de evitar interferencias y garantizar la calidad de las comunicaciones.

En principio las tecnologías inalámbricas han sido considerablemente más caras que las alámbricas, su confiabilidad y seguridad se han cuestionado siempre debido a que el medio utilizado es compartido e irregular. Todas las señales deben pasar por procesos de modulación y amplificación de potencia para su transmisión, posteriormente su sintonización, filtrado y finalmente su desmodulación. Esto las ha puesto ocasionalmente en desventaja respecto a las alámbricas en cuestión de desempeño, debido a la latencia y pérdidas de estos procesos; afectando comunicaciones donde el tiempo de respuesta de la transmisión es crítico, sin embargo, hasta ahora se han desarrollado a tal grado que ya han alcanzado niveles de desempeño y seguridad comparables a las alámbricas.

Gracias a la estandarización a nivel internacional de los sistemas de comunicaciones inalámbricos, los costos se han reducido considerablemente; haciéndolos más accesibles al público en general. Hoy en día tienen un papel muy importante, dada su conveniencia en

situaciones donde el cableado no es una opción debido a los elevados costos que implicaría cubrir largas distancias, pasarlo por zonas de difícil acceso y donde el tiempo de instalación es un requerimiento.

1.3.1 WiFi - IEEE 802.11

La mundialmente conocida WiFi es una tecnología inalámbrica que fue estandarizada a finales de la década de 1990 por el IEEE y certificada por una organización sin fines de lucro, conocida como *Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA)*. La idea de esta organización fue crear un nombre comercial o marca asociado a un estándar de red inalámbrica. Este nombre se convertiría en una certificación para garantizar al público en general, que aquel dispositivo que llevara el sello de dicha marca: “WiFi” cumplía con la norma IEEE 802.11; siendo éste compatible con dispositivos de otras marcas que llevaran el mismo sello. En los últimos años se ha hecho muy popular y por ello se encuentra disponible en la mayoría de los lugares públicos como restaurantes, hoteles, aeropuertos, cafés, parques, escuelas, etc.

WiFi es una tecnología de *espectro amplio*. En éste tipo de tecnologías se utilizan técnicas las cuales permiten que la señal transmitida se module en un amplio rango de diferentes frecuencias; lo que resulta en la ocupación de un mayor ancho de banda, de ahí el nombre que recibe. Al ocuparse un espacio mayor en el espectro electromagnético, se disminuye la probabilidad de interferencias; haciendo las comunicaciones más confiables y seguras que aquellas que transmiten con una sola frecuencia portadora. Además, dichas comunicaciones se vuelven más difíciles de interceptar y/o bloquear para poder garantizar la privacidad de los usuarios.

1.3.1.1 Descripción

Ésta tecnología fue diseñada para ser compatible al implementarse e interconectarse con las redes alámbricas. Al utilizar WiFi otro medio para la transmisión de la señal, cambian las especificaciones a nivel de capa 1 (física) y también en la capa 2 (enlace de datos) en el modelo de referencia OSI, las especificaciones en el resto de las capas no se alteran. Gracias a dicha similitud, es absolutamente compatible con el estándar IEEE 802.3.

Lo anterior hace posible la expansión de las redes locales Ethernet, lo que permite brindar conectividad a usuarios móviles; creando puentes entre dos o más redes alámbricas además de proveer un mayor servicio. A pesar de ofrecer velocidades de transferencia de datos muy altas, WiFi no es utilizada como tecnología de banda ancha debido al uso limitado de frecuencias que se utilizan.

En WiFi se utilizan básicamente tres técnicas a nivel físico (capa 1). La primera, *Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)* es una técnica en la cual se modifica la señal al ser multiplicada con una secuencia de ruido cuyo orden es aleatorio. Ambos equipos, transmisor y receptor, conocen el orden de la secuencia aleatoria, de tal forma que cuando la señal es recibida, se multiplica con la misma secuencia pero negativamente; dando como resultado la señal original transmitida de forma segura. La segunda técnica, *Frequency Hop Spread Spectrum (FHSS)* se basa en un patrón similar mediante el cual se transmite la señal cambiando de frecuencias en forma aleatoria. Al igual que en la técnica anterior, ambos equipos conocen el orden de la secuencia y es así como se desmodula la frecuencia exacta en el momento preciso; resultando nuevamente la obtención de la señal original. La tercera, es la *Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)* para la cual se utilizan varias frecuencias portadoras *ortogonales* que transmiten al mismo tiempo y cada una transporta una parte de la información total. Ésta última es muy robusta ya que es capaz de recuperar la información de entre las distintas señales con distintos retardos y atenuaciones que llegan al receptor; corrigiendo así los errores producidos en la transmisión.

A nivel de enlace de datos (capa 2) se utiliza la técnica CSMA/CA, similar a la de Ethernet donde las últimas iniciales significan *Collision Avoidance (CA)*. Las colisiones en un medio como lo es el aire, son muy difíciles de detectar, pero sí se pueden evitar, para lograrlo, el equipo transmisor manda un pequeño paquete de datos mediante el cual pide autorización para transmitir y anuncia al resto de los equipos dicha intención, si el equipo receptor está libre, éste le contestará con otro paquete de datos con el cual le autoriza para iniciar la transmisión deseada. El resto de los equipos esperan un lapso de tiempo antes de intentar su turno para transmitir. Se puede ver que este proceso de pedir autorización mediante un paquete de datos pequeño, es similar al “token” utilizado en las redes de anillo.

1.3.1.2 Topologías

Existen tres topologías para las redes WiFi:

- Ad-Hoc (peer to peer)
- Infraestructura
- Malla (mesh)

Las redes inalámbricas del tipo *ad-hoc* tienen enlaces directos entre dos o más equipos (imagen 1.19), lo que les permite realizar una conexión de punto a punto conocida en inglés como *peer to peer*. Es muy útil cuando se prescinde de un punto de acceso y son relativamente pocos nodos.

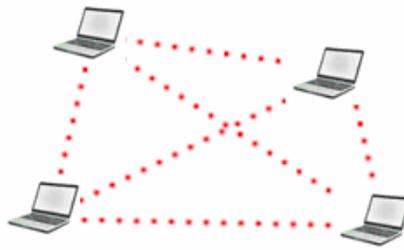


Imagen 1.19 Topología ad-hoc.

En las topologías de tipo *infraestructura* se utiliza un dispositivo conocido como *access point (AP)* o punto de acceso, al cual se conectan todos los equipos terminales y a través del cual fluyen los datos de todo el sistema (imagen 1.20). Un access point es similar a un concentrador como lo es un *switch* o un *hub*, pero inalámbrico. Por lo tanto, se dice que las redes inalámbricas en configuración de infraestructura tienen una topología lógica de estrella o de árbol, ésta última se da en caso de tener varios AP conectados en uno o varios *hubs* y/o *switches*. El área de cobertura provista por un access point se denomina *célula*. Un AP permite expandir una red local actual a usuarios móviles; permitiendo a éstos ambular y cambiar automáticamente entre células y (tal como lo haría un teléfono celular en movimiento) pueden funcionar como repetidores de señal donde ya no es posible conectar dichos APs con cable, o bien, un par de estos equipos puede utilizarse para crear un *punte* entre dos redes alámbricas.

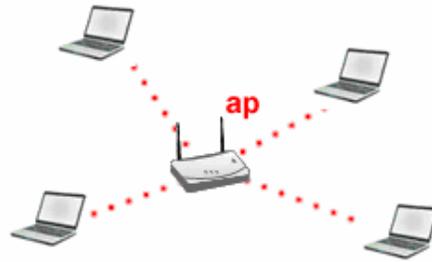


Imagen 1.20 Topología en infraestructura.

Existe un tercer tipo de topología conocida como *mesh* (malla) por medio de la cual varios APs se conectan entre sí y a su vez, interconectan a los nodos que dependen de cada uno de ellos. Debido a que el enlace lógico es precisamente el de una malla (imagen 1.21), los datos pueden recorrer distintos caminos cuando son transmitidos de un destino a otro. Si por alguna razón uno o más enlaces se ven afectados debido a interferencias o fallas en un AP, los datos pueden viajar por otra vía; haciendo que las redes en malla posean la facultad de ser redundantes.

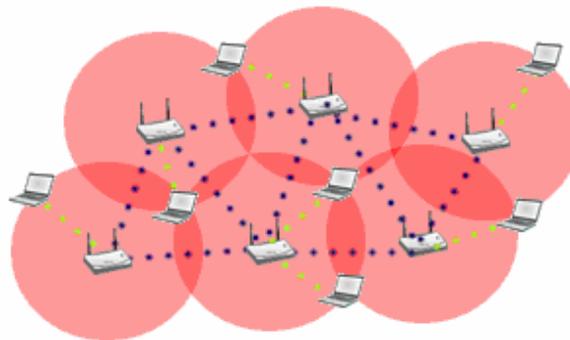


Imagen 1.21 Topología en mesh.

1.3.1.3 Desempeño Y Medio De Transmisión

El desempeño de una red inalámbrica depende de muchos factores los cuales deben ser tomados en cuenta a la hora de diseñarla, sin embargo sólo hablaré de los más relevantes. En primer lugar es importante conocer qué tan saturada se encuentra la banda de frecuencias que se va a utilizar para tener una buena relación entre la potencia de la señal transmitida y la potencia de la señal o señales externas que se encuentren en el medio y

puedan interferir con la transmisión, a ésta relación se le conoce en inglés como *signal to noise ratio* (SNR). Los dispositivos AP más sofisticados tienen la facultad de poder ajustar la potencia de transmisión y así procurar una buena SNR, ésta debe ser mucho mayor a 1:1 y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{SNR [dB]} = 10 \log_{10} \frac{P_{\text{señal}} [\text{W}]}{P_{\text{ruido}} [\text{W}]} = P_{\text{señal}} [\text{dB}] - P_{\text{ruido}} [\text{dB}]$$

. Posteriormente se debe analizar la zona a la que se desea brindar cobertura y buscar posibles obstáculos que podrían afectar el desempeño. Si es en interiores, se debe revisar la estructura del inmueble para ubicar los puntos de acceso en sitios alejados de muros gruesos o que contengan en su interior una cantidad considerable de tuberías y cableado. Para el caso de querer cubrir exteriores es importante verificar que el lugar se encuentre libre de obstrucciones físicas como edificios, árboles, postes, entre otras. Dichos obstáculos representan una pieza importante en cualquier transmisión inalámbrica ya que pueden ayudar o perjudicar (lo cual sucede en la mayoría de los casos) la comunicación. No obstante, el efecto adverso de los obstáculos se puede disminuir utilizando *técnicas de diversidad*, las más utilizadas son la *diversidad espacial* y *diversidad de frecuencia*. En la primera se utiliza más de una antena receptora en otra posición para recibir la misma señal, en la segunda se transmite la misma señal en más de una frecuencia. Ambos métodos pueden contrarrestar las atenuaciones provocadas por reflexión, refracción y difracción de la señal en los distintos medios y obstáculos; brindando así un nivel de redundancia.

Un último factor a considerar es el tipo de antena que se utilizará para cubrir el área deseada, lo cual es un punto muy importante, sin embargo es comúnmente ignorado. La mayoría de las redes WiFi cuentan, en sus access points, con las *antenas omnidireccionales* que vienen instaladas de fábrica (imagen 1.22), éstas se caracterizan por proveer un patrón de iluminación de 360°; ocasionando con frecuencia una invasión innecesaria del espectro electromagnético.

La distancia a la que se puede establecer una comunicación desde un AP hacia un usuario, depende del entorno, las especificaciones de ambos equipos, los niveles de ruido e interferencia que existan en el medio y el tipo de tecnología que se desee utilizar. Sin embargo, en general puede ser de hasta 100 metros en exteriores y 30 metros con equipos y antenas convencionales.



Imagen 1.22 Antenas omnidireccionales.

Dentro del estándar IEEE 802.11 existen varias versiones de las cuales sólo mencionaré las más importantes. La primera en ser desarrollada fue la 802.11a.; logrando velocidades de hasta 54 Mb/s gracias a la técnica OFDM. Dicha versión utiliza la banda *Unlicensed National Information Infrastructure (U-NII)* de 5 Ghz, que como su nombre indica, es de uso libre. En un principio no fue tan popular pues resultó muy costosa, debido a que se necesita mucha potencia para transmitir en esa frecuencia, además de tener alcances reducidos. A pesar de esta circunstancia, se puede afirmar que es la más recomendable de las variantes de dicho estándar, ya que la banda en la que transmite es poco utilizada y por ende no tan congestionada, además, evita una invasión innecesaria del espectro ya que es fácilmente absorbida por barreras físicas.

La segunda en ser desarrollada y primera en ser rápidamente adoptada por el público en general fue la 802.11b. Esta versión utiliza la banda de los 2.4 Ghz denominada *Industrial, Scientific and Medical (ISM)* la cual también es de uso libre y puede transmitir en un radio de hasta 30 metros en interiores o 100 metros en exteriores. Esta versión utiliza la técnica de DSSS (que mencioné anteriormente), la cual es más sencilla y la velocidad

máxima a la que se puede enviar información es de 11 Mb/s. Al transmitir en una frecuencia menor se pueden cubrir áreas mayores, pues las señales son más penetrantes y difícilmente absorbidas.

Al poco tiempo de estar “b” en el mercado, surgió una tercera versión que utiliza la misma banda de 2.4 Ghz pero con la técnica de OFDM basada en la versión “a”, así surgió la 802.11g que es la más utilizada por el público en general actualmente. La versión “g” tiene por un lado, la ventaja de cobertura de la versión “b” en cuanto a la banda de frecuencia que ocupa, por otro lado, alcanza velocidades de transmisión como en la versión “a” gracias a la técnica de multiplexado. Existe una última variante de la 802.11 que alcanza hasta 300 Mb/s y es compatible con las tres anteriores, se trata de la versión “n” de banda dual (ISM y U-NII) pero aún está en proceso de estandarización.

Actualmente las redes WiFi y en particular 802.11b/g han invadido considerablemente el espectro electromagnético en la banda que ocupan. No obstante lo anterior, existen muchos otros equipos como hornos de microondas, teléfonos inalámbricos y dispositivos *Bluetooth* que utilizan la misma banda. Esto ha ocasionado que las redes WiFi se vuelvan más susceptibles de fallar por interferencias y/o que disminuya su desempeño. Una solución muy conveniente a dicha problemática, es el uso de *antenas direccionales* (imagen 1.23) de alta ganancia cuyos patrones de iluminación dirigidos, cubren sólo el área donde se desea dar el servicio (contrario a las omnidireccionales); reduciendo así las interferencias tanto emitidas como recibidas de redes aledañas.



Imagen 1.23 Antenas direccionales de alta ganancia.

1.3.1.4 Costos

Las redes WiFi son relativamente económicas, aunque pueden variar considerablemente de precio, según la aplicación que se quiera implementar y el desempeño que se quiera obtener de la misma. Para instalaciones en pequeñas oficinas y hogares, actualmente es una opción muy económica, fácil y rápida de implementar; brindando un nivel de desempeño regular. La mayoría de los proveedores de servicio de Internet ofrecen a sus clientes la opción de adquirir módems inalámbricos con los que se puede crear una red local en pocos minutos. Adicionalmente, muchas de las computadoras portátiles actuales incluyen una interfase de conexión inalámbrica, y en las máquinas de escritorio es relativamente sencillo y económico instalar una. Más aún, existen ahora interfases muy pequeñas y baratas para conectar vía *Universal Serial Bus (USB)*, las cuales se configuran en unos cuantos segundos.

En situaciones donde se desea instalar una red o segmento de red WiFi con el desempeño de una red Ethernet, se tienen que considerar todos los factores que mencioné en el subtema anterior. Un ejemplo muy bueno sería analizar la necesidad de unir dos redes que se encuentran en edificios separados (probablemente la distancia no sea extensa) digamos cerca de 100 metros; sin embargo, tender un cable por el aire sería muy difícil y correría el riesgo de romperse con el viento o lluvia, así como susceptible de recibir descargas atmosféricas, además es probable que estuviese prohibida una instalación de esa naturaleza; dependiendo de las normas de ese lugar. Una instalación inalámbrica para cubrir el requerimiento mencionado podría costar hasta 10 veces más el precio de un enlace alámbrico con 100 metros de cable, pero en casos como éste resulta la mejor alternativa.

1.3.2 WiMax - IEEE 802.16

La tecnología *Wireless Interoperability for Microwave Access (WiMAX)* surgió hace algunos años como un conjunto de tecnologías para telecomunicaciones, que anteriormente ya habían sido probadas en enlaces inalámbricos. Los fabricantes de dichas tecnologías tenían sus propios métodos para modulación de señal, frecuencias y potencia de transmisión, entre otras características, definidas como *propietarias*. Lo anterior significa

que los equipos eran compatibles exclusivamente con aquellos del mismo vendedor, de ahí la necesidad de la estandarización.

1.3.2.1 Descripción

WiMAX es y se utiliza como tecnología de banda ancha inalámbrica, gracias a las altas frecuencias y el amplio rango del espectro en el que puede transmitir información. Además, puede aprovecharse en bandas de frecuencias de uso libre, lo cual brinda ahorros económicos por licenciamiento del espectro. Existen también varias versiones de WiMAX con diferentes ventajas y desventajas; pudiendo satisfacer distintos requerimientos. Las más importantes son las versiones 802.16d y 802.16e. La primera es utilizada para aplicaciones fijas y la segunda para móviles. Sólo hablaré de la primera pues la segunda está fuera del objetivo de ésta tesis.

WiMAX a diferencia de WiFi es una tecnología de protocolos sincrónicos, esto implica que las transmisiones toman turnos; permitiendo a un equipo saber cuándo le toca transmitir y cuándo no. Esto se logra con base en una agenda de tiempo y no con base en intentos de “escuchar” si el canal está ocupado, tal como sucedería con el protocolo CSMA. Protocolos tales como *Contention-less Data Transmissions (CDT)* organizan la transmisiones de dentro de espacios de tiempo y evita que éstas contiendan por el uso del espectro. Existen otros protocolos de distintos fabricantes para calcular rangos, similares a otros también utilizados en tecnologías de banda ancha alámbricas, donde el medio es compartido como sucede con el módem de televisión por cable. Dichos protocolos calculan cuán lejos se encuentra un nodo del otro para poder compensar la propagación de las ondas de radio, pues a pesar que la velocidad de la luz es rápida, en distancias largas se incrementa el tiempo de las transmisiones en el orden algunas decenas de microsegundos.

A nivel de capa física (1) se utilizan técnicas como *Time Division Duplexing (TDD)* y *Frequency Division Duplexing (FDD)*. En la primera se separan por turnos las señales de envío y recepción emulando una comunicación full duplex en un enlace half duplex, pues utiliza una misma frecuencia para ambas. En la segunda, se utilizan frecuencias portadoras distintas para el envío y recepción creando un enlace simétrico en cuanto a ancho de banda.

1.3.2.2 Topologías

En las redes WiMAX existen básicamente 3 topologías:

- Punto-Punto
- Punto-Multipunto
- Mesh (malla)

La topología punto-punto es la más sencilla y se utiliza para crear puentes de red inalámbricos, especialmente entre redes que se encuentran distantes o donde no es posible realizar un cableado. Una aplicación común es la utilizada para extender redes de alta velocidad entre edificios (imagen 1.24).

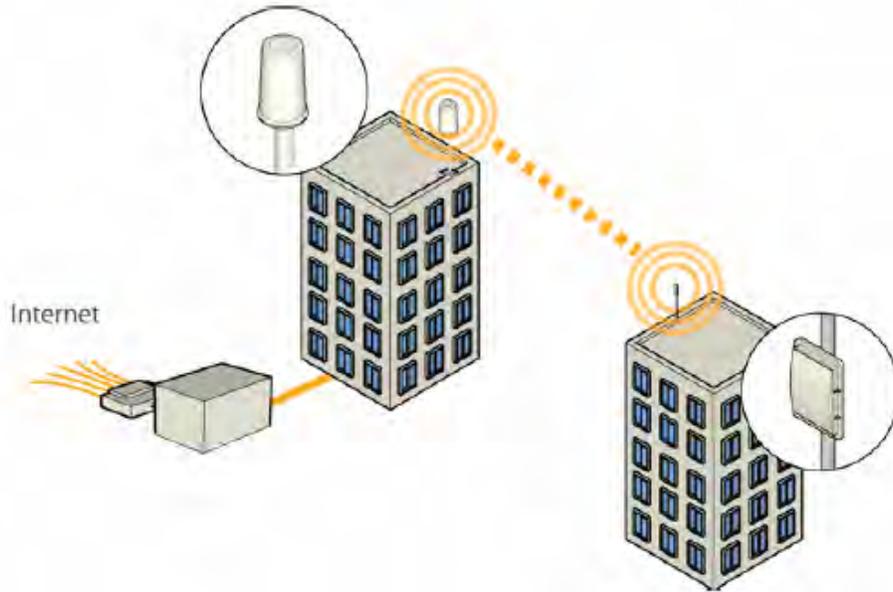


Imagen 1.24 Topología punto-punto.

En la topología punto-multipunto se utiliza un equipo conocido como *gateway* el cual funge como concentrador de una configuración tipo estrella, similar a como lo haría un switch de una red Ethernet o un AP de una red WiFi. Esta topología es ideal para proveer conexión de banda ancha inalámbrica hacia clientes suscriptores tanto comerciales como residenciales (imagen 1.25).

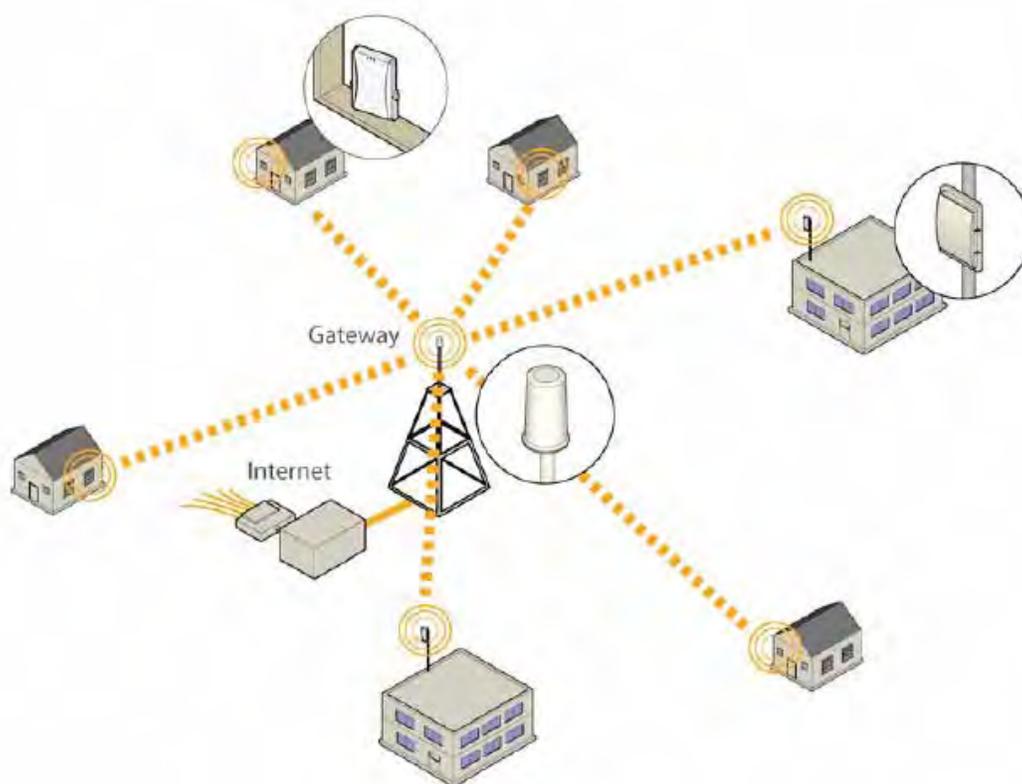


Imagen 1.25 Topología punto-multipunto.

La topología *mesh* similar a la que se vio de WiFi, utiliza unos dispositivos llamados *extenders* que sirven para ampliar o extender el rango y flexibilidad de la red. Los suscriptores pueden conectarse directamente al *gateway* o indirectamente a través de los *extenders*. Estos últimos, además de proporcionar mayor rango, brindan conexión a suscriptores cuya ubicación no permita la conexión directa al *gateway* ya sea por lejanía, o bien, porque ésta se encuentra obstruida. Una malla es fácil de escalar y por ello resulta muy conveniente para ambientes con una alta densidad de suscriptores, para rellenar huecos donde no hay cobertura y para conectar suscriptores que, de manera directa, no se puedan alcanzar (imagen 1.26).

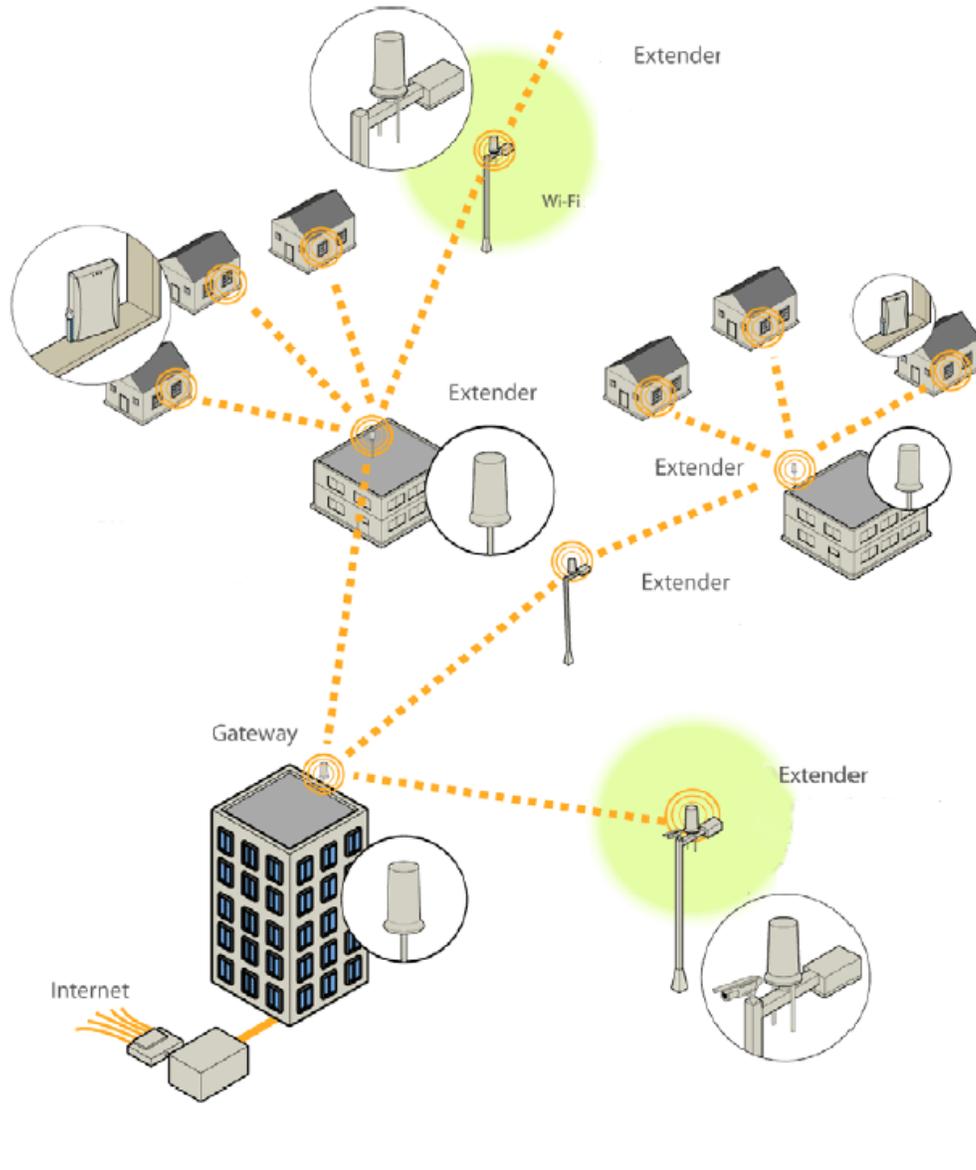


Imagen 1.26 Topología mesh (malla).

1.3.2.3 Desempeño Y Medio De Transmisión

Las técnicas de transmisión utilizadas en WiMAX son similares a las de WiFi, sin embargo tienen diferencias importantes. Gracias a la naturaleza sincrónica de WiMAX, es posible coordinar las transmisiones por tiempo, con lo cual no solo se maximiza la eficiencia del espectro, sino también la *calidad del servicio* (QoS) y el *tipo de servicio* (ToS); siendo así posible, asignar prioridades a tráficos distintos como voz y video.

El protocolo TDD soporta la asignación de ancho de banda, según la demanda de los usuarios en tiempo real. Dicha habilidad de dar acceso múltiple por medio de estadísticas, permite a un operador ofrecer tasas de transmisión mayores a muchos usuarios, al mismo tiempo que se mantienen la calidad y tipo del servicio (QoS y ToS).

Los enlaces WiMAX utilizan antenas direccionales que (como se mencionó en la sección 1.3.1.3) orientan las señales en una dirección particular y reciben aquellas provenientes de cierta dirección también. El uso de antenas direccionales mejora considerablemente el desempeño de una red inalámbrica, pues experimentan tasas de modulación más altas y alcances más largos. También son menos susceptibles a interferencias de fuentes externas y al mismo tiempo provocan menor interferencia a otros sistemas. Tienen mayor potencia de transmisión y sensibilidad de recepción. En un sistema sencillo, se pueden establecer enlaces de 15 a 30 kilómetros con buena *línea de vista*; alcanzando velocidades de transmisión de hasta 54 Mb/s.

1.3.2.4 Costos

Los equipos y accesorios para sistemas WiMAX son considerablemente más caros que un WiFi. El elevado costo se debe a que las transmisiones sincronizadas requieren de dispositivos mucho más complejos y con herramientas de instrumentación mucho más sofisticadas, además de la inclusión de antenas de alta ganancia. Todo lo anterior, aunado al hecho de (en su caso) requerir bandas de frecuencias concesionadas, puede aumentar aún más los costos.

Un sistema WiMAX puede requerir de tiempo y personal especializado en instalación de los dispositivos, ya que muchos de ellos deben colocarse en mástiles, postes o torres altas, lo cual implica ciertos riesgos y equipo de seguridad adicional. Por otro lado, sí resulta mucho más barato, rápido de instalar y de iniciar su operación que un sistema Ethernet, especialmente en aquellos lugares que por su topografía resulte difícil de acceder, cablear y energizar los dispositivos. Es por ello que la tecnología WiMAX es una opción muy conveniente por su relación entre costo bajo y desempeño alto.

1.4 Comparativa Y Reseña De Tecnologías

A continuación se compararan (imagen 1.27) los puntos fuertes y débiles de algunas de las tecnologías descritas en éste documento; omitiendo las redes de anillo que actualmente son obsoletas. Posteriormente se hará énfasis en las tecnologías inalámbricas, debido a que son las que interesa analizar para los objetivos de ésta tesis.

Tecnología	Ventajas	Desventajas	Costos
Ethernet de banda base a nivel local, redes LAN	Fácil de instalar, tasas de transmisión muy altas, tecnología probada.	Requiere cercanía y limitado a distancias no muy largas.	Muy bajos, en enlaces cortos. Muy altos en enlaces largos.
Ethernet de banda ancha a nivel metropolitano, redes MAN y WAN	Tasas de transmisiones razonablemente altas, pueden cubrir distancias largas.	Requiere infraestructura de sistemas de comunicación locales.	Varía por distancia y ubicación, pero generalmente son muy altos.
Inalámbricas 802.11 WiFi	Ideal para distribuir dentro de una pequeña zona con bajos costos, no se requiere infraestructura grande; probada y fácil de expandir. Ofrece velocidades de transmisión muy altas. Utiliza frecuencias libres.	Rangos de cobertura limitados para hardware común. Para alcances mayores se requiere equipo especial de mayor costo. Utiliza frecuencias muy saturadas y protocolos asincrónicos.	Muy bajos.
Inalámbricas 802.16 WiMAX	Enlaces de largo alcance (+30km), requieren poca infraestructura. Protocolos sincronizados. Ideal para transmitir a distancias moderadamente remotas. Puede utilizar frecuencias concesionadas o no.	En ocasiones podrían presentarse desventajas con frecuencias libres. Equipos relativamente más caros. Las tasas de modulación y velocidad de transmisión son relativamente bajas.	Relativamente altos.

Imagen 1.27 Comparativa de tecnologías.⁶

Para entender los beneficios de una tecnología con protocolos sincrónicos como lo es la 802.16, primero se debe dar un vistazo a las desventajas de los protocolos asincrónicos, como aquellos incluidos en el estándar 802.11. Un artículo sobre WiMAX de la compañía estadounidense SkyPilot Networks Inc. explica estos puntos de la siguiente manera:

Cuando un equipo WiFi que usa un protocolo asincrónico como el CSMA quiere transmitir una trama de datos, normalmente lo haría hasta después de “escuchar” que el canal esta libre por un período de tiempo. En caso de haber una colisión de datos por una transmisión que no se detectó, la trama es retransmitida después de esperar cierto tiempo, el cual se incrementa exponencialmente con cada retransmisión. Para que esto no suceda, se agrega el protocolo adicional visto llamado CA que evita dichas colisiones. Lo anterior resulta benéfico en algunas circunstancias, pero cuando se trata de transmisiones en rangos largos y exteriores agrega muchos problemas, entre los cuales se encuentran los que a continuación se describen:

- **Sobre “escuchar”** - Debido al retraso de la señal al propagarse en distancias largas, un equipo puede tener una falsa idea de si el canal esta ocupado o no.
- **Retraso exponencial** – Muchos de los intentos de retransmisión pueden ser fallidos por interferencias de sistemas ajenos.
- **Nodos “ocultos”** – El equipo transmisor puede escuchar que el canal esta libre, sin embargo no puede saber si el receptor esta siendo afectado por una interferencia, ya que en distancias grandes los equipos no pueden “escucharse” mutuamente.
- **Nodos “expuestos”** – A veces el mensaje de “no transmitir” lo llegan a escuchar otros nodos causando que éstos se queden en espera cuando podrían haber transmitido exitosamente a un receptor diferente.
- **Sobre evitar colisiones** – El protocolo CA requiere 4 tiempos de propagación, lo cual disminuye el desempeño en enlaces largos.
- **Fallas de CSMA** – En hogares y oficinas pequeñas la mayoría de los nodos escuchan unos a otros. En redes exteriores muchos nodos no lo pueden hacer.

Muchas personas han experimentado problemas de desempeño en redes WiFi en hogares y oficinas pequeñas, pues por si fuera poco, éstos problemas se engrandecen en redes exteriores. La capa de red MAC en ocasiones se colapsa por completo, perdiendo así la conexión total.⁷

2. Situación De La RIU Y Propuesta De Expansión

La Red Inalámbrica Universitaria (RIU) surgió en el año 2007 como resultado de la creciente demanda de conectividad por parte de la comunidad universitaria. Dicha red fue desarrollada en la Dirección General de Servicios de Cómputo Académico; cubriendo parcialmente las zonas más concurridas de las facultades, escuelas, institutos y algunas dependencias dentro del campus. Su infraestructura podría aprovecharse, no sólo para dar el servicio de conectividad, sino para proporcionar una gran variedad de aplicaciones adicionales e independientes entre sí destacando aquellas de mejoría en materia de seguridad para la comunidad y los bienes universitarios. Ejemplos de lo anterior son el control de activos y video vigilancia, así como la expansión de la propia Red UNAM, entre otros.

Para poder aprovechar la RIU para implementar aplicaciones adicionales, es necesario contar con una red de mayor cobertura inalámbrica, de la cual actualmente se prescinde. Como se mencionó al principio de este trabajo, el objetivo es estudiar y plantear la viabilidad de instalar una red complementaria, a fin de lograr expandir la cobertura WiFi existente; maximizando la relación calidad-cobertura y minimizando el costo de esta. El proyecto de mérito pretende expandir el servicio en las principales áreas del campus tales como: circuitos vehiculares, corredores, ciclistas y varias áreas comunes las cuales a la fecha no han sido cubiertas.

Una vez expandida la cobertura de la red, será posible darle otros usos y hacerla más versátil. Aplicaciones como el control de activos se propondrán posteriormente para monitoreo en tiempo real de las unidades de transporte Pumabús y las patrullas de Vigilancia UNAM. En caso requerido, también se podrá aprovechar para la instalación de cámaras de seguridad tanto en las zonas provistas con la nueva cobertura, como en los vehículos mencionados.

2.1 Infraestructura Actual

A continuación se describirá la infraestructura que actualmente se tiene en Ciudad Universitaria tomando en cuenta su diseño, topología, los equipos que proveen el acceso inalámbrico, el software de control, así como capacidades y limitaciones de ésta.

2.1.1 Tecnología

La RIU se compone de un conjunto de puntos de acceso WiFi de la marca Aruba© (imagen 2.2) pertenecientes todos a una VLAN de la red universitaria (Red UNAM). Todos ellos se registran en un sistema central de la misma marca conocido como Aruba Controller© (imagen 2.1). Éste soporta un número de diversas aplicaciones; incluyendo políticas de *firewall*, *VPN* y prevención de intrusiones, entre otras. Toda la red está configurada en la banda ISM de 2.4 Ghz la cual es compatible con los estándares IEEE 802.11b/g.



Imagen 2.1 Aruba Controller 6000



Imagen 2.2 Aruba AP-70

2.1.2 Consumo De Ancho De Banda

La RIU consume un promedio de 80 Mb/s del ancho total de Red UNAM. Dicho tráfico se distribuye entre cinco dispositivos Aruba Controller 6000. A continuación se presentan las estadísticas⁸ individuales de ellos (imágenes 2.3 a 2.7).

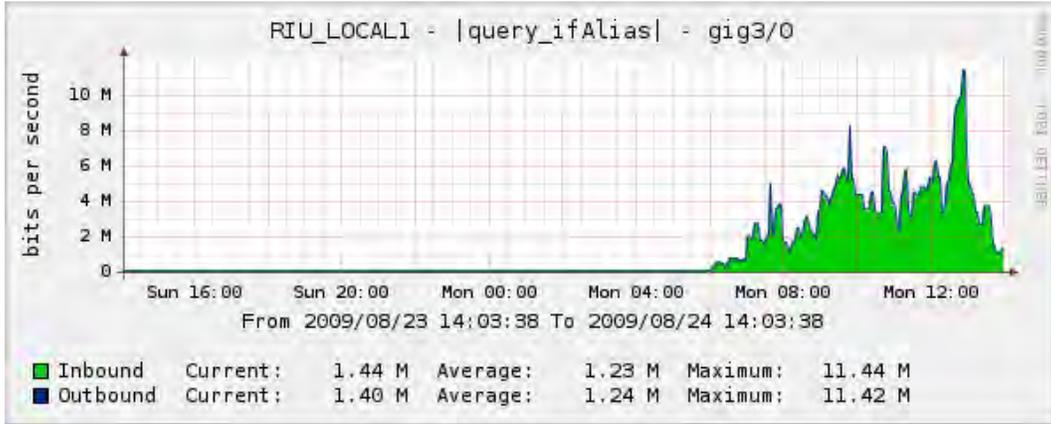


Imagen 2.3 Estadísticas Aruba Controller “RIU Local 1”

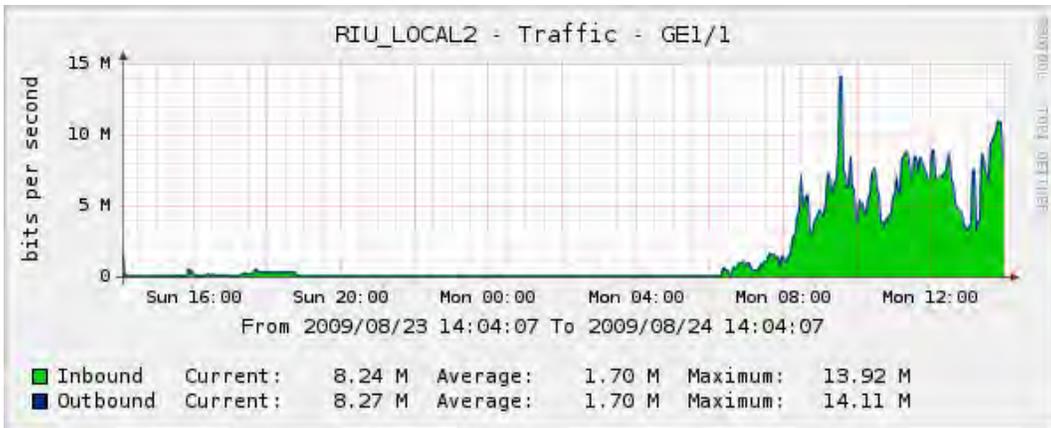


Imagen 2.4 Estadísticas Aruba Controller “RIU Local 2”

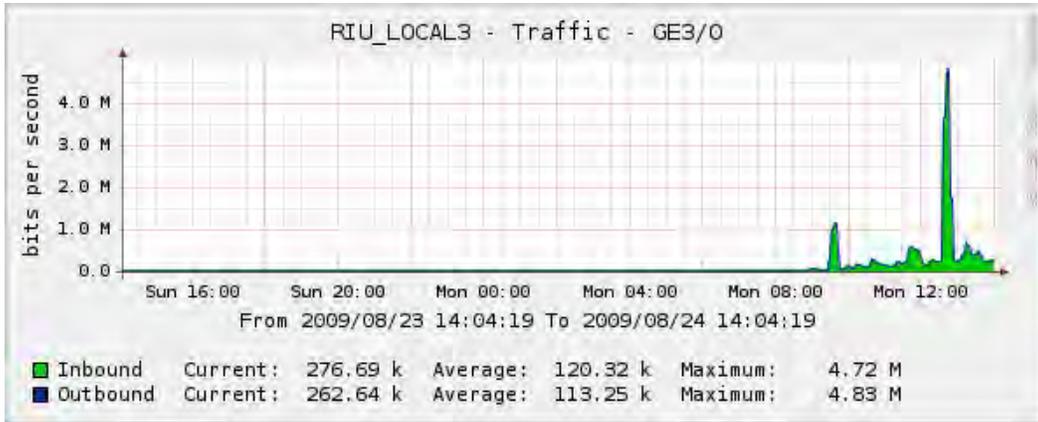


Imagen 2.5 Estadísticas Aruba Controller “RIU Local 3”

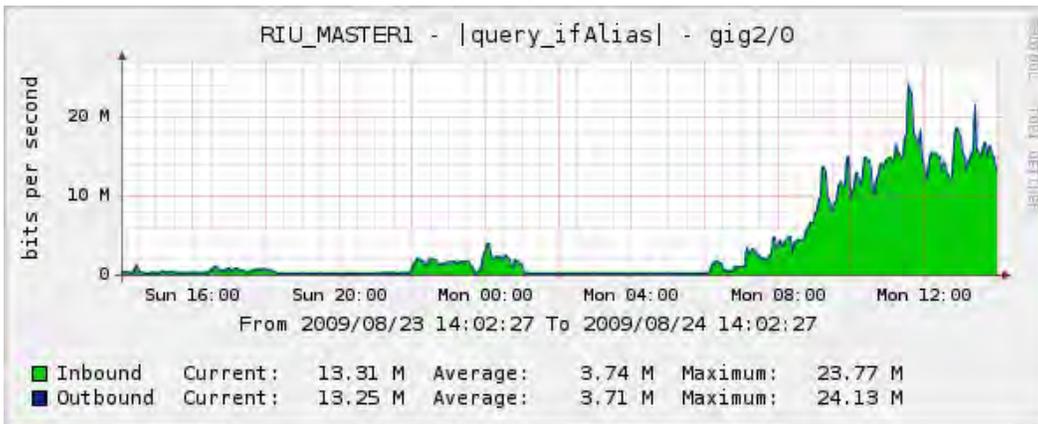


Imagen 2.6 Estadísticas Aruba Controller “RIU Master 1”

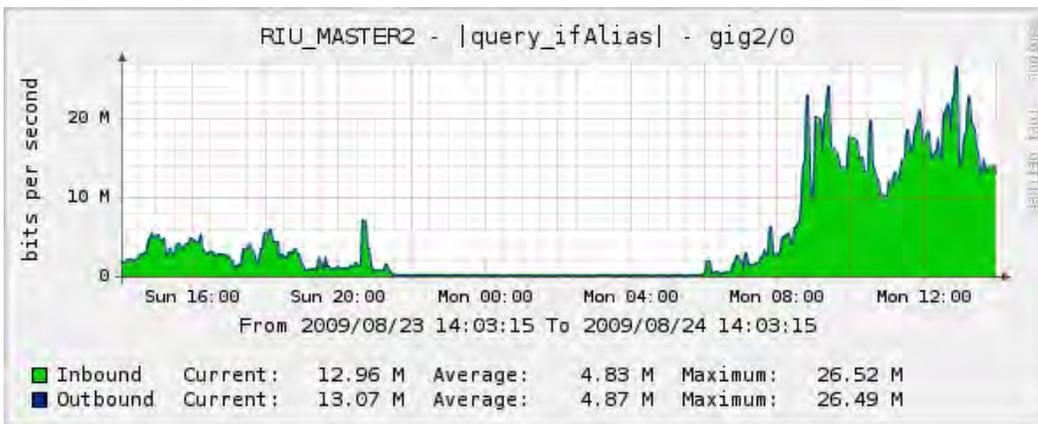


Imagen 2.7 Estadísticas Aruba Controller “RIU Master 2”

2.1.3 Topología

La RIU tiene una topología de árbol⁹ como se puede apreciar en la imagen 2.8.

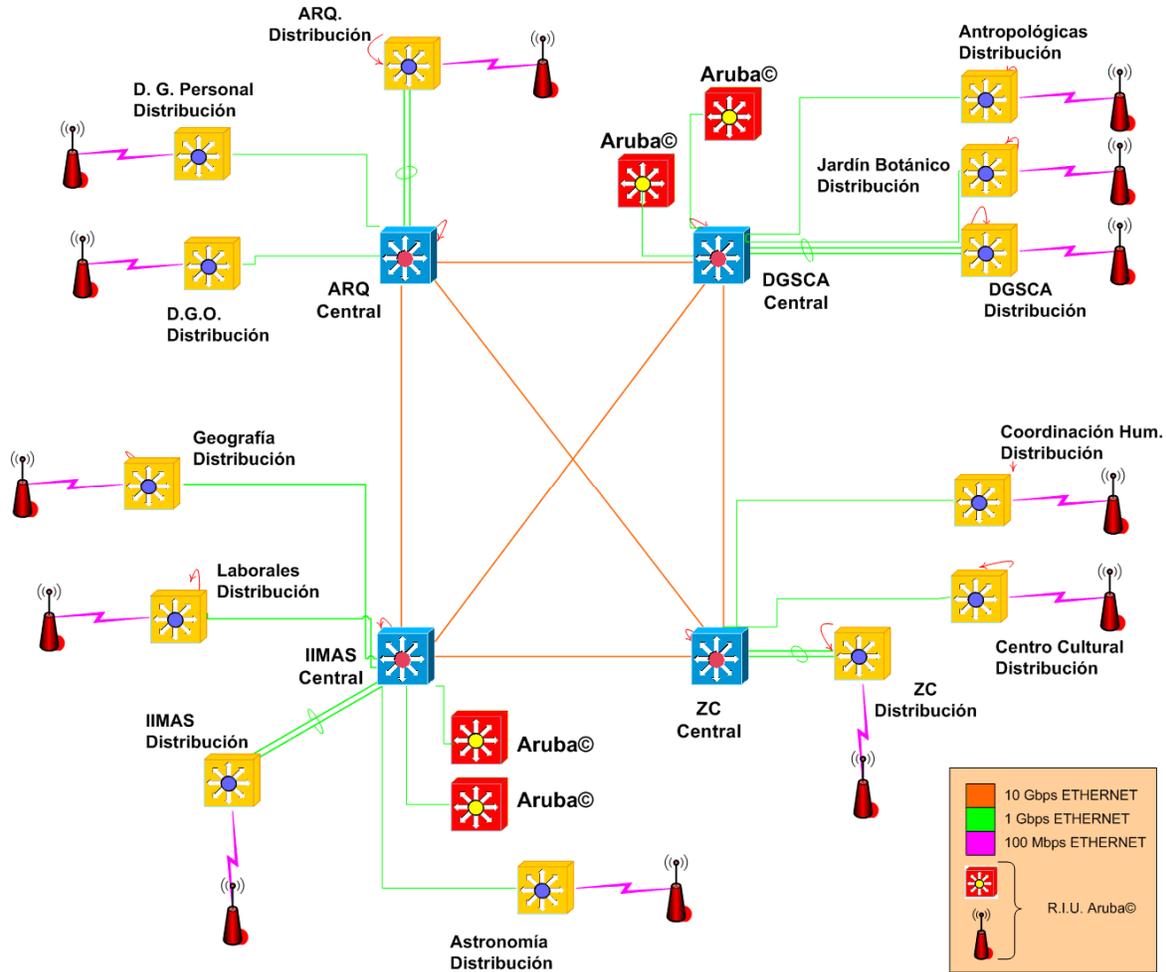


Imagen 2.8 Estructura actual de la RIU.

2.1.4 Cobertura

Como mencioné al inicio de éste capítulo, la RIU se encuentra presente en la mayoría de edificios y áreas comunes de toda Ciudad Universitaria. A continuación se aprecia en la imagen 2.9 un mapa¹⁰ en el cual se indica con elipses amarillas las zonas donde actualmente hay cobertura.



Imagen 2.9 Cobertura actual de la RIU.

En la imagen satelital de Ciudad Universitaria, se puede apreciar que la RIU cubre gran parte de su extensión, más no está presente en la totalidad de ella. Ahora bien, para poder implementar las aplicaciones adicionales que conforman parte de los objetivos de ésta tesis; es necesario expandirla por lo menos en un 250% más de lo que se tiene actualmente.

2.1.5 Limitaciones

Se ha visto que la cobertura de la RIU está presente en las zonas más importantes de las facultades, escuelas, institutos y otras dependencias. No obstante, la banda ISM de 2.4 Ghz que utiliza la red no es exclusiva de ella, existen otros aparatos electrónicos que también utilizan e invaden ésta banda del espectro electromagnético (como se vió en el capítulo anterior) lo cual en ocasiones, puede interferir con la señal WiFi. Los principales causantes son: hornos de microondas, teléfonos inalámbricos convencionales y otros AP de usuarios ajenos a la RIU, que estén instalados en oficinas y laboratorios ubicados dentro de dichas zonas de cobertura.

Actualmente la cobertura es insuficiente para lograr implementar las aplicaciones de seguridad propuestas anteriormente, ya que se requiere presencia en la mayoría de los circuitos vehiculares y peatonales del campus, los cuales precisamente se planean vigilar y por donde circulan los vehículos que se quieren monitorear. Asimismo, la cobertura existente no es del todo redundante, ya que si un usuario es desconectado por alejamiento o por la interferencia de algún otro dispositivo, prescindirá de otros AP en la zona para retomar la conexión.

Por último, debe señalarse que en Ciudad Universitaria existen zonas distanciadas por grandes áreas verdes y/o pedregosas, en las cuales es difícil el acceso para la instalación de cableado estructurado y energizado de los AP y/o repetidores que son necesarios para ampliar la cobertura en cuestión.

2.2 Propuesta De Implementación

A continuación se presentará la propuesta para ampliar la red actual, con su respectivo estudio técnico. Ésta incluirá la utilización de tecnologías como WiMAX y mesh para el alcance de zonas donde el cableado no es una opción costeable. Asimismo, se considera el diseño de topología en “malla” inalámbrica como el de mayor conveniencia en lugar de “árbol”, pues ésta última requiere mayor cantidad de cableado. Además, la primera tiene mucha mayor flexibilidad en cuestión de redundancia. Por último, se recomienda colocar antenas de alta ganancia con patrones de iluminación dirigidos en los AP y en caso de requerirse, deberán instalarse *repetidores pasivos*¹¹ para cambiar o redirigir un patrón de iluminación.

2.2.1 Arquitectura Y Topología De La Red

Se propone la expansión de la RIU colocando nuevas células de cobertura WiFi con su respectivo *backhaul* o retorno de red, hacia el *backbone* de Red UNAM. Para dicho objetivo, se propone el uso de enlaces dedicados punto-multipunto WiMAX en la banda U-NII de 5 Ghz, los cuales ofrecen una conexión de backhaul de mejor calidad que otros estándares de WiFi que también operen en dicha banda. La ventaja de WiMAX radica en el manejo de protocolos sincrónicos a diferencia de WiFi, ya que ésta última no utiliza ningún tipo de sincronización en sus transmisiones y por ende es poco recomendable para un sistema de retorno de red.

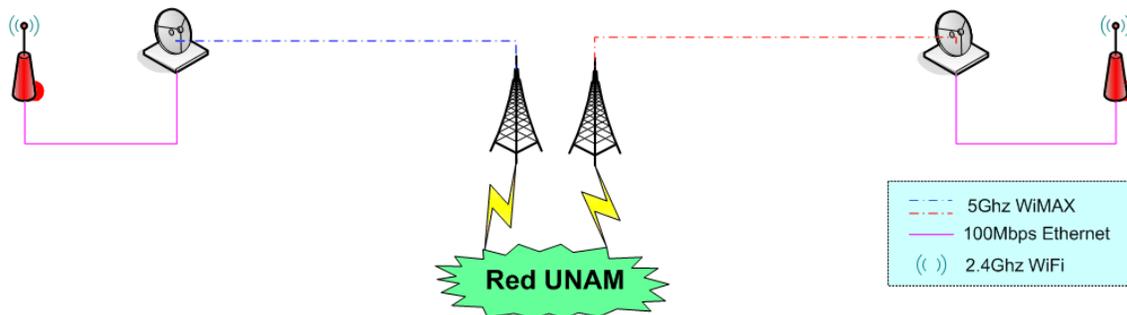


Imagen 2.10 Idea básica de la propuesta de expansión.

Para el planteamiento de la malla inalámbrica se considerarán conceptos de antenas, teoría de microondas, física para telecomunicaciones y óptica. La veracidad de estos conceptos es muy importante para garantizar la calidad de nuestros enlaces con el mínimo de interferencias y atenuaciones. Es así como se puede aprovechar el máximo desempeño que los dispositivos nos puedan brindar; mitigando y previniendo desde un principio los posibles efectos adversos.

2.2.2 Infraestructura Requerida

La idea de la propuesta se basa en la utilización de un conjunto de dispositivos WiMAX de la marca SkyPilot© junto con los equipos Aruba© quienes darán acceso WiFi a los usuarios finales. Para nuestra red WiMAX se propone SkyPilot© debido a que integra, en una única solución, todas las características necesarias para el proyecto en estudio, además de tener muy buenos resultados en su manejo y desempeño con experiencias personales previas. La marca Aruba es la implementada actualmente y por ende es la que se ha considerado, sin embargo, la utilización de ella no es un requerimiento y la red WiFi puede ser implementada en un futuro con dispositivos de otras marcas.

Los dispositivos SkyPilot requeridos para el backhaul son los siguientes:

- SkyGateway©: Es una estación que contiene ocho antenas sectoriales, cuyo alcance es de hasta 16 kilómetros con línea de vista (imagen 2.11). Su disposición cubre ese alcance de manera omnidireccional para proveer retorno de red a los equipos terminales de la misma marca y a otras estaciones de relevo similares. Soporta tasas de transferencia de hasta 54 Mb/s.
- SkyExtender©: Es una estación similar a la anterior, funciona como un repetidor activo, en caso de ser necesaria la expansión a través de varios “brincos” con la topología *mesh* (imagen 2.12). También puede proveer acceso alámbrico al retorno de red mediante un puerto Ethernet contenido en éste.
- SkyConnector©: Éste es un equipo conocido como *client premise equipment (CPE)* el cual proporciona conexión de backhaul al usuario o equipo suscriptor mediante un simple puerto Ethernet incluido en el (imagen 2.13).

- SkyControl©: Es un sistema de gestión y mantenimiento que provee a los administradores las herramientas necesarias para configurar, detectar fallas, contabilizar estadísticas, monitorear el desempeño y mantener la seguridad de la red. El software se ejecuta sobre la plataforma Linux; siendo ésta muy estable y robusta.



Imagen 2.11 Gateway.



Imagen 2.12 Extender.



Imagen 2.13 CPE.

Dentro del enlace de estos equipos, las señales son encriptadas para garantizar la seguridad del sistema. Se utilizan códigos de encriptación de 128 bits lo cual hace la información indescifrable para cualquiera que se encuentre rastreando señales digitales. Además, los enlaces se establecen en base a certificados digitales autenticación que permiten acceder únicamente a los equipos suscriptores.

La solución de SkyPilot es en esencia un sistema Ethernet conmutado, debido a que se comporta de manera similar a un switch Ethernet de capa 2. También provee soporte de redes locales virtuales (VLAN) limitación de tasa de tráfico, funciones como *Quality of Service (QoS)* y *Type of Service (ToS)* para dar prioridad y garantizar el flujo de datos de los diferentes servicios que puedan prestarse a través de la red. En la imagen 2.14 se observa un claro ejemplo de cómo se ajusta la solución dentro de un entorno de red.

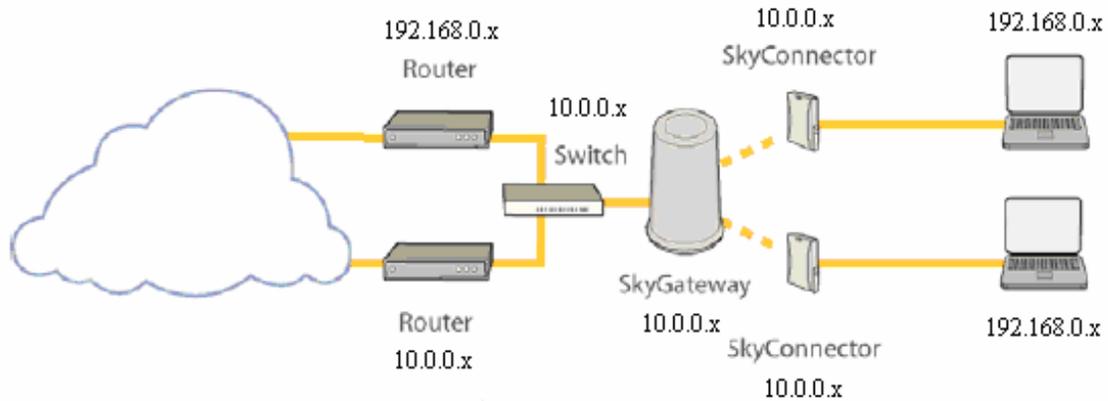


Imagen 2.14 Ejemplo de un sistema SkyPilot en un entorno de red.

Se puede apreciar además, la independencia que tienen las direcciones IP para la administración del sistema SkyPilot (10.0.x.x.) con las direcciones IP de la red local (192.168.x.x). Claramente se ve cómo la solución se aplica de manera transparente entre los equipos de una red local (usuarios RIU) y el retorno de red (equipos WiMAX). Esto permitirá al sistema Aruba Controller (el cual gestiona la RIU) el registro de los usuarios sin mayor problema.

2.2.3 Estudio Técnico

El enlace entre dos terminales es el pilar de cualquier sistema de comunicación inalámbrico. Independientemente si dicho enlace tiene o no línea de vista completa, un diseño exitoso requiere de una evaluación detallada del entorno de propagación donde éste operará. Para decidir la ubicación de los dispositivos SkyPilot, los cuales fungirán como antenas de enlace por microondas, se realizará uno estudio de carácter técnico para el correcto despliegue de la malla.

El desempeño y la disponibilidad del enlace estará determinado principalmente por: el *margen de atenuación*¹² y la diferencia entre la intensidad de la señal promedio en el receptor contra el nivel de señal requerido en éste (cuya especificación la da el fabricante) para así mantener una buena relación entre señal y ruido, *Signal to Noise Ratio (SNR)*. Para enlaces donde se utilicen frecuencias libres (i.e. sin licencia de SCT y COFETEL) será

necesario medir la ocupación del espectro electromagnético en la banda de frecuencias, a fin de escoger el canal que se encuentre menos ocupado y poder garantizar el mínimo de ruidos e interferencias.

La variación de la señal a lo largo de la trayectoria recta del enlace puede ser comúnmente afectado por un efecto conocido como *multipath fading* (atenuación por multi-trayectoria) éste provoca que la señal de radio viaje por diferentes trayectorias antes de llegar al receptor. La atenuación se da cuando la señal pasa por varias capas atmosféricas extremadamente refractivas, cuando se transmite sobre cuerpos grandes de agua (ríos, lagos, etc.) o sobre terrenos muy planos. Al llegar al receptor las diferentes señales refractadas fuera de fase, debilitan la recepción o inclusive pueden cancelarla cuando éstas tengan un desfase de 180° . Para enlaces cortos (como los propuestos) este efecto no es muy significativo como tampoco lo es la atenuación ocasionada por lluvia.¹³ Ambos efectos se presentan considerablemente para rangos de frecuencias entre 8-10Ghz o superiores. Dado que en el diseño aquí propuesto la frecuencia a utilizar será de 5Ghz, la atenuación por lluvia tampoco nos preocupará. A continuación se estudiarán los puntos más importantes para llevar a cabo la propuesta del proyecto.

2.2.3.1 Perfil De Las Trayectorias

Para instalar enlaces urbanos cortos, como será nuestro caso, los principales obstáculos a evadir para obtener una trayectoria libre son principalmente: edificios, árboles y pendientes a lo largo de todo el terreno. Cualquier enlace de microondas (ya sea corto o largo) es recomendable mantenerlo libre de cualquier obstrucción a lo largo de la trayectoria en la primer zona de Fresnel.¹⁴ Para el análisis de dicha trayectoria en enlaces cortos, el factor de curvatura terrestre k será de 1; ya que el haz de microondas no presenta una curvatura significativa por refracción atmosférica.¹⁵ Además, los efectos de atenuación por lluvia y atenuación por multi-trayectoria pueden descartarse.¹⁶

El centro de Ciudad Universitaria está localizado aproximadamente a $19^\circ 19' 19.26''$ de latitud Norte, $99^\circ 11' 9.78''$ de longitud Oeste y 2300m de elevación promedio sobre el nivel medio del mar¹⁷. Es importante conocer la altitud para los cálculos que se harán

posteriormente. Las diferentes elevaciones del terreno las se descartan ya que éste no presenta pendientes considerables.

2.2.3.2 Interferencias

Cualquier enlace inalámbrico puede ser afectado por la presencia de varios tipos de interferencias mientras exista transferencia de datos. El impacto puede diferir, dependiendo del tipo y nivel de potencia de la señal involucrada. Existen dos tipos de interferencias que nos conciernen para nuestro análisis: las ajenas y las propias. Ambas deben ser evitadas o minimizadas para garantizar la mayor calidad del enlace en cuestión. Para el caso de las interferencias ajenas y su respectiva relación señal-ruido (SNR), se debe realizar un estudio mediante el uso de un espectrómetro (imagen 2.15) de preferencia calibrado para WiMAX y localizar aquellos canales cuyas frecuencias sean las menos invadidas en el espectro electromagnético¹⁸.



Imagen 2.15 Analizador de espectro.

En este momento no es posible proponer la frecuencia de un canal en particular, debido a que no se puede saber anticipadamente y con certeza cuáles frecuencias estarán menos ocupadas al momento de hacer el despliegue. Tampoco se sabrá en un futuro si estas frecuencias seguirán teniendo dicha disponibilidad. Para lo anterior, es importante el monitoreo periódico de la ocupación del espectro y así evitar problemas de disponibilidad. En su caso, será necesario cambiar la frecuencia de operación. Una opción adicional o alterna es ajustar la potencia de nuestras transmisiones.

Las interferencias propias se dan cuando en una red inalámbrica las transmisiones de uno o varios dispositivos resultan en señales no deseadas y recibidas en otro u otros equipos.¹⁹ Específicamente, cuando un primer dispositivo está transmitiendo a un segundo y éstas transmisiones son “escuchadas” por un tercer dispositivo que está intentando recibir la señal enviada por un cuarto último, sucede el fenómeno descrito.²⁰

En la imagen 2.16 se aprecia como influye una mala ubicación de los dispositivos, en este caso CPE (C) Extenders (E) y Gateways (G) en el desempeño de éstos; afectando considerablemente la transmisión por interferencia propia. En los esquemas donde las transmisiones representadas por líneas rojas atraviesan o se acercan mucho a otras, éstas interferirán con las negras y viceversa. La relación entre la potencia de la señal transmitida por la frecuencia transportadora, conocida en inglés como *carrier* “C” y la interferencia “I” (C/I), determinará el impacto sobre el desempeño del enlace. Más adelante se verá como evitar y/o disminuir la presencia de éste fenómeno.

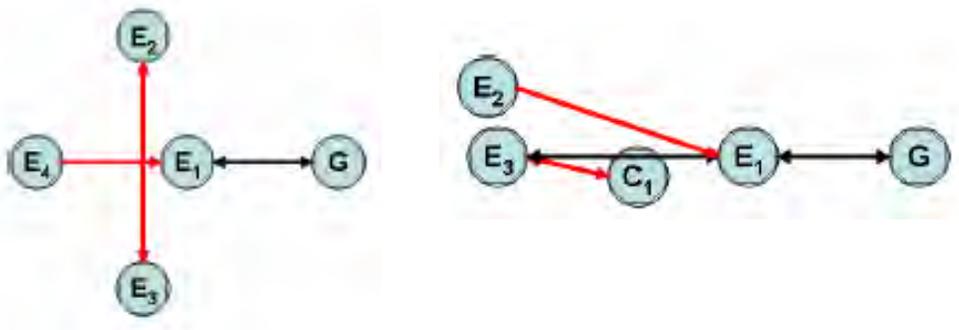


Imagen 2.16 Ejemplos de interferencias propias (líneas rojas).

2.2.3.3 Intensidad De La Señal Recibida

El factor conocido como *Remote Site Signal Intensity (RSSI)* es por sus siglas en inglés, la intensidad de la señal recibida desde el transmisor localizado en un lugar remoto. Este valor se traduce directamente en cuán susceptible será un enlace de ser afectado por interferencias. Niveles bajos de RSSI se traducen en una alta susceptibilidad a dicho efecto. En general, un valor de potencia de señal bueno debe ser mayor o igual a -70dBm, si esto se logra, cuanto mayor sea la potencia, el enlace será menos susceptible de ser interferido.²¹

Todos los dispositivos de SkyPilot cuentan con sensores de niveles RSSI y LSSI; éste último se refiere a la intensidad de señal local transmitida hacia el sitio remoto, (*Local Site Signal Intensity*) por sus siglas en inglés. La fórmula del fabricante para calcular ambos niveles es:

$$\text{Potencia [dBm]} = \text{RSSI} - 95$$

$$\text{Potencia [dBm]} = \text{LSSI} - 95$$

Con base en las relaciones anteriores, se tiene que un buen nivel de RSSI deberá ser mayor o igual a 25. El valor de RSSI no disminuye en presencia de interferencias ya sean propias o ajenas, a menos que dicha interferencia sea un resultado directo de la antena al encontrarse en el número de zona de Fresnel, en la cual predomina la cancelación de la señal o bien, que la antena este posicionada por debajo de la primer zona de Fresnel. En estos casos, el valor de RSSI podría disminuir por el efecto de atenuación por multi-trayectoria.

2.2.3.4 Tasa De Modulaciones

El otro factor de suma importancia a considerar para la calidad de la transmisión a nivel de datos, es la *tasa de modulación*.²² Mientras que los niveles de intensidad de señal indican la potencia de la señal recibida, así como la susceptibilidad a interferencias, las tasas de modulación indican la integridad de la señal recibida. A mayor cantidad de interferencia, menor será la integridad de la señal.

Lo ideal es que los valores de las tasas de modulación sean coherentes con los valores de RSSI y LSSI; sin embargo cuando hay presencia de interferencias propias, esto no sucede. En muchos casos donde predominan las interferencias propias, las tasas de modulación podrán ser bajas (6Mbps, 9Mbps, 12Mbps) a pesar que los valores de intensidad de señal se encuentren altos (usualmente 25 a 30).

Afortunadamente se dispone de herramientas que nos permiten indicar si hay presencia de interferencias propias y así solucionar el problema. Estas herramientas están contenidas dentro de los propios dispositivos de SkyPilot y son fáciles de interpretar; sin embargo, la mejor forma de evitar éste problema, radica en el buen diseño del enlace desde un principio. A continuación se ve la pantalla de interfaz *web* de un SkyConnector (imagen 2.17) donde se aprecian los niveles de intensidad de señal y las tasas de modulación para la transmisión y recepción.

SkyPilot Networks™
CARRIER-CLASS MULTI-SERVICE
WIRELESS NETWORKING

Node Details

Device Type	: SkyConnector Outdoor	Current Software	: 1.4p14
System Mac	: 00:0a:db:02:1d:11	Active Image & State	: SkyConn.1.4p14.bin/Accepted
IP Address	: 192.168.100.14	Inactive Image & State	: SkyConn.1.3p6.bin/Accepted
Subnet Mask	: 255.255.255.0	Uptime	: 0 days 00:08:21
Default Gateway	: 192.168.100.1	Domain	: 1
Provisioning Mode	: Manual	Current Frequency	: 5160
Status	: Online	Allowed Frequencies	5160 5180 5200 5220 5240 5260 5280 5300 5320

Link Info

Show Active links only. Show Inactive links also.

Default SkyGateway : 00:0a:db:03:1b:f0

Address	LType	NType	State	LRSSI	RRSSI	LTxMod	RTxMod	Lant	Rant
00:0a:db:03:1b:f0	data	Gateway	act path	8	15	6	6	0	3

© SkyPilot Networks Inc.

Imagen 2.17 Pantalla de la interfaz gráfica de un CPE SkyConnector.

2.2.3.5 Óptica Del Espacio Libre Y Zonas De Fresnel

Dada la naturaleza del proyecto propuesto, se pueden aplicar las leyes de la óptica del espacio libre en el bosquejo inicial. Al no ser excesivamente largas las longitudes para los enlaces y la energía electromagnética utilizada es luz; se aprecia que de existir una trayectoria visual clara y libre entre los sitios de transmisión y recepción, el enlace se considerará viable.²³ El estudio de las zonas de Fresnel podría ser cuestionable para este caso debido a la alta viabilidad descrita; sin embargo es importante realizar los cálculos pertinentes. Aunque el proyecto se limita a longitudes cortas como las de Ciudad Universitaria, el mismo puede extrapolarse a otros de magnitudes superiores; utilizando los mismos procedimientos aquí expuestos, siendo esta posibilidad un objetivo más de esta tesis.

Las llamadas zonas de Fresnel son un conjunto de elipsoides de revolución concéntricos, cuyos vértices son aquellos puntos donde se encuentran el transmisor y el receptor (imagen 2.18). Cada uno de estos elipsoides tiene un número n y éste corresponde al número de zona. Existe un criterio conocido como el *0.6 de la 1er zona de Fresnel*²⁴ que dice deberá haber un espacio libre sin obstrucción del 60% del radio de la 1ª zona de Fresnel y así poder garantizar un buen enlace.

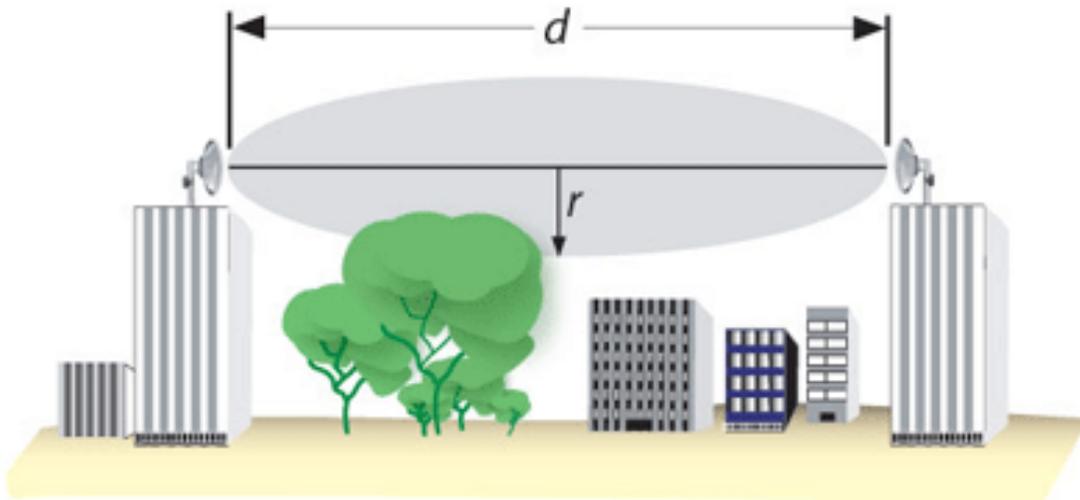


Imagen 2.18 Zonas de Fresnel representadas por un elipsoide.

La ecuación general para calcular las zonas de Fresnel es la siguiente²⁵:

$$R_n \approx \sqrt{n\lambda \left(\frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2} \right)} \quad R_n \approx 17.3 \sqrt{\frac{n}{f} \left(\frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2} \right)}$$

Donde:

- R_n = radio de la enésima zona de Fresnel en [m] ($n=1, 2, 3, \dots$)
- d_1 = distancia desde el transmisor al objeto en [km]
- d_2 = distancia desde el objeto al receptor en [km]
- d = distancia total del enlace en [km] $d = d_1 + d_2$
- f = frecuencia en [GHz]

Se puede apreciar en las ecuaciones anteriores que dependiendo del factor n será el número de zona de Fresnel en cuestión. Existen entonces números de zonas pares e impares de manera concéntrica a la primera zona. Estas zonas determinan el grado de desfase de las señales indirectas (i.e. aquellas reflejadas, refractadas, o difractadas) a lo largo de la ruta entre el transmisor y el receptor.

Las zonas impares provocan un desfase de media longitud de onda (180°) entre el transmisor y el receptor, no obstante, la energía de la señal de radio indirecta llega al receptor en fase con la señal de radio directa. Por lo tanto, las zonas de Fresnel impares amplifican o complementan la señal total que llega al receptor pues éstas llegan en fase con la original. Lo contrario sucede con las zonas de Fresnel pares, éstas también provocan el mismo desfase de media longitud de onda que las impares, sin embargo, la señal de radio indirecta llega al receptor fuera de fase respecto a la señal directa. Lo anterior provoca que las zonas pares atenúen o inclusive puedan eliminar la señal original totalmente.

La clave para diseñar un enlace inalámbrico de microondas robusto, reside en cerciorarse que la única zona de Fresnel presente entre la trayectoria directa de ambos puntos transmisor y receptor, sea la primera zona de Fresnel y ni una otra.

Para calcular la trayectoria de propagación ideal se aprovechará la tecnología actual; utilizando el software “Fresnel Zone Calculator” de AFAR Communications Inc. Se puede apreciar en la imagen 2.19 la pantalla del software mencionado, en el cual se considera un 100% de la primer zona de Fresnel con un factor de refracción atmosférica $k=1$, pues así fue acordado en un principio. También se especifica la frecuencia de operación, altura de las antenas, distancia del enlace, entre otros.

Fresnel Zone Clearance and Antenna Height Calculator	
Units <input checked="" type="radio"/> Km, meters <input type="radio"/> Miles, feet	
Input Frequency: 5160 MHz Atmospheric refraction: "k factor" (typical 1.33) 1.00 Percent of 1st Fresnel Zone (typical 60%) 100% Link distance: 1 Km Antenna Heights: Site 1: 2350 meters Site 2: 2300 meters At arbitrary point P: Distance from site 1: 1 Km Distance from site 2: 0 Km	
Output Equivalent Earth radius: 6370 Km Equal Antenna Height Solution: Radius of 100% 1st Fresnel Zone at mid point: 3.8 meters Height of both antennas for Fresnel Zone clearance: 3.8 meters Minimum Clearance Point: Distance from site 1: 1 Km Clearance between Earth and FZ: 2300 meters Clearance at point P: Radius of 100% 1st Fresnel Zone: 0.0 meters Clearance between Earth and FZ: 2300.0 meters	

Imagen 2.19 Afar Communications Inc.

Existe una técnica conocida como *high-to-low* en la cual las antenas deben instalarse una más arriba que otra, con el fin de disminuir posibles refracciones en superficies

planas.²⁶ Observando la recomendación anterior, la altura de las antenas esta calculada desde el nivel medio del mar considerando que la antena transmisora principal (Gateway) será instalada en una torre de aproximadamente 50m de altura a diferencia del resto (CPE). Finalmente se tiene que la línea de vista debe ser aquella que ocupe un elipsoide cuyo radio en el centro sea de 3.8m para una frecuencia de 5.1Ghz.

2.2.3.6 Energizado

Los dispositivos de SkyPilot consumen entre 7 y 16 Watts de potencia eléctrica, por lo que en cuestión de energizado no sería problema obtener la energía de postes de luz o tomas cercanas; incluso en algunos casos donde el energizado pudiera ser un problema por cuestión de cableado, una alternativa es utilizar paneles solares con batería de respaldo. El equipo sería alimentado por una batería similar a las utilizadas en los automóviles. El panel solar mantendría cargado al acumulador para suministrar la potencia a los dispositivos.

2.2.4 Disposición De La Malla WiMAX

La topología de la red propuesta sería inicialmente en infraestructura (punto-multipunto) WiMAX en 5 Ghz. Estos equipos proveerán los puertos necesarios para dar conectividad a los nuevos AP WiFi en 2.4 Ghz para la RIU. Con esta combinación todo el conjunto quedará como una topología en árbol, al efecto se utilizarán dos dispositivos SkyGateway en diferentes frecuencias (imagen 2.20 y 2.21) para evitar interferencias propias, además de proveer redundancia a los nodos SkyExtenders y SkyConnectors en caso que uno de los dos primeros fallase. Al tener esta versatilidad de conexión y redundancia en la red, es posible anunciar la creación de una topología mesh (malla); la cual se podría componer de los siguientes elementos:

- Enlaces dedicados de 5 Ghz con equipo SkyPilot© hacia el backbone de Red UNAM para la creación de nuevos nodos de acceso para las células de WiFi.
- Puntos de acceso Aruba para brindar la nueva cobertura de la RIU en 2.4 Ghz.
- Repetición y/o redirección de los enlaces anteriores de 5 Ghz, en caso de ser necesario con la utilización de repetidores activos y/o pasivos.

- Repetición activa entre dos o más células actuales donde existan “brechas” menores o iguales a 150m entre ellas; se usará repetición activa de la misma señal en 2.4 Ghz; aprovechando la topología *mesh* de Aruba.
- Repetición y/o redirección pasiva de la señal en 2.4Ghz ya sea para sobrepasar un obstáculo o cambiar el patrón de iluminación; así como, la implementación de antenas de alta ganancia.

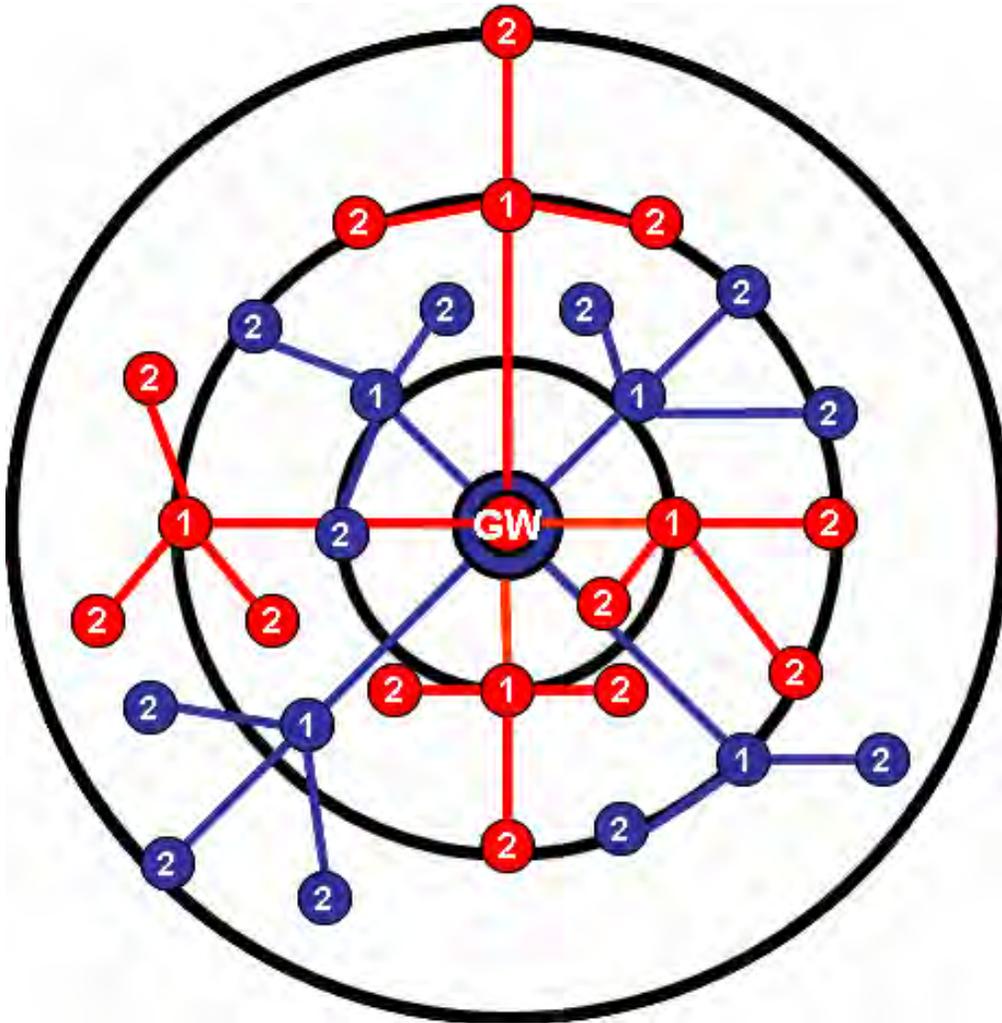


Imagen 2.20 Modelo de malla WiMAX con frecuencias distintas (roja y azul).

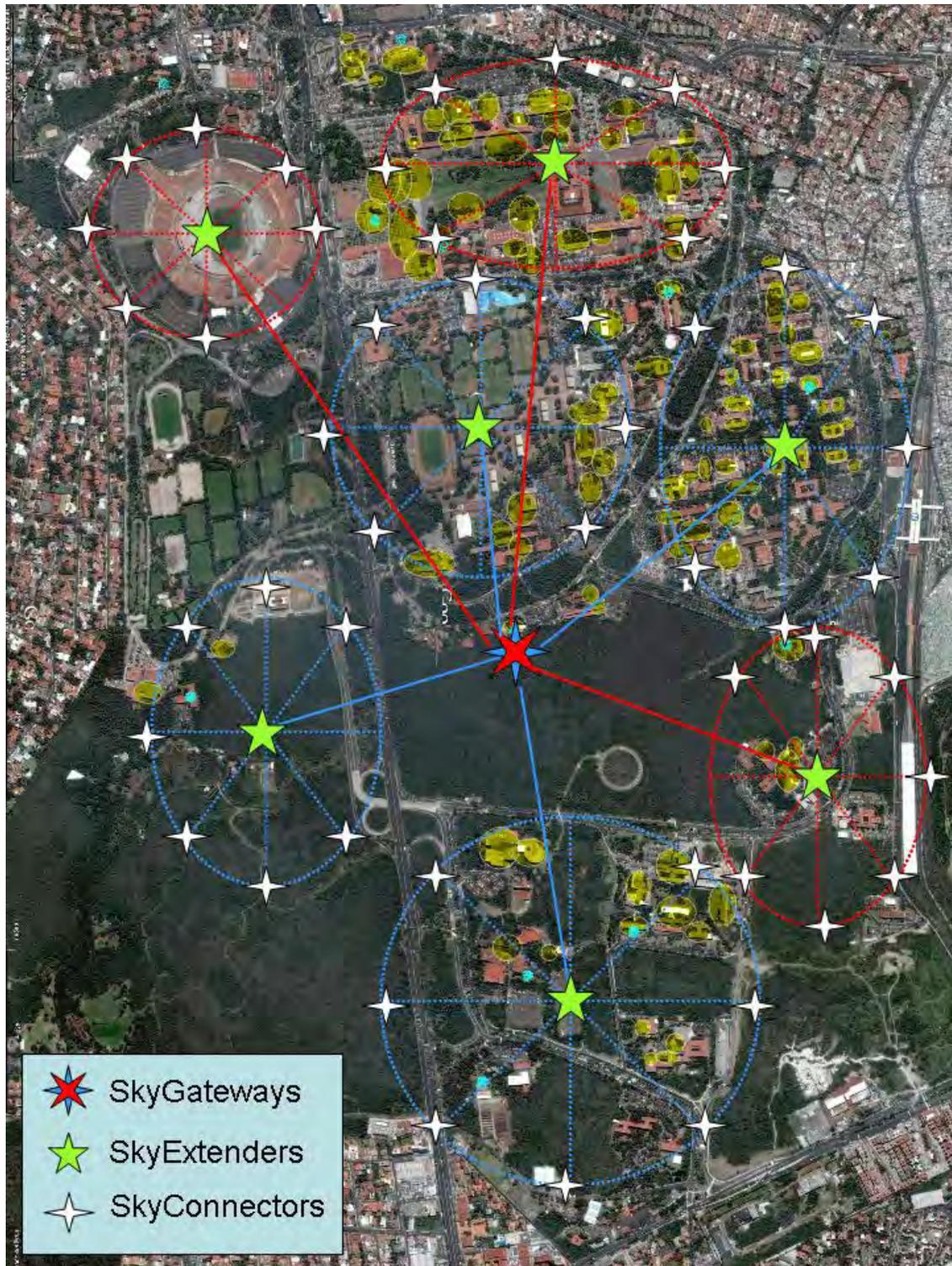


Imagen 2.21 Modelo de malla WiMAX bosquejado sobre Ciudad Universitaria.

En la imagen anterior se muestra con elipses azules y rojas un bosquejo para ubicar las nuevas zonas de cobertura que podrían verse beneficiadas al implementar este proyecto. El enlace se lograría mediante la utilización de ambos equipos SkyGateway instalados en una de las torres ubicadas en la zona de la Dirección General de Cómputo Académico (DGSCA). La separación física entre ellos debe ser de mínimo 3.66m según los manuales del fabricante y deberán operar en frecuencias diferentes (líneas azules y rojas) con la finalidad de evitar interferencias propias y ajenas. Estos equipos le proporcionarán conectividad a los SkyExtenders y/o SkyConnectors, los cuales brindarán finalmente el puerto de conexión para los nuevos AP de la RIU. Con la configuración descrita anteriormente se proporciona a la red la redundancia necesaria en caso que alguno de los SkyGateway fallase. Si lo anterior llegara a suceder, los SkyExtender y/o SkyConnectors que dependían del equipo que falló, se pueden conectar al otro y brindar una conexión temporal para mantener el enlace. Es importante aclarar que en estos casos podría disminuir el desempeño de la red, especialmente en horas pico, debido a que toda la carga de datos tendría solamente una vía de backhaul (retorno de red).

Los equipos SkyConnector deben ser instalados en un máximo de siete puntos sobre la circunferencia de las elipses trazadas en la imagen anterior. Los AP Aruba se conectarán a ellos mediante un cable Ethernet. Es posible también conectar un AP en el centro de dichas elipses, ya que los equipos SkyExtender contienen un puerto Ethernet adicional.

2.2.5 Disposición De La Red WiFi

En el inciso anterior se realizó un bosquejo de la red WiMAX con los posibles puntos de ubicación de los equipos que proveerán backhaul a la nueva infraestructura de la RIU. No obstante lo anterior, la ubicación final de dichos puntos dependerá de la ubicación de los AP Aruba.

Para definir la ubicación final de los equipos WiFi, es importante conocer la cobertura que se requiere, por medio de los posibles puntos dónde se decida instalarlos. Además, será necesario realizar el análisis de *presupuesto de enlace*, el cual se refiere a los cálculos de potencia de transmisión, sensibilidad de recepción y pérdidas de señal, entre

otros factores que afectan a los enlaces inalámbricos y de dichos cálculos dependerá el desempeño de la RIU para el usuario final.

2.2.5.1 Presupuesto De Enlace

Se ha señalado con antelación, que cualquier enlace inalámbrico es susceptible de pérdidas por transmisión e interferencias. Para calcular nuestra área de cobertura óptima, será necesario conocer los tres elementos básicos que conforman el desempeño de un enlace inalámbrico bidireccional²⁷:

- EIRP [dBm] (*Equivalent Isotropically Radiated Power*) Potencia Radiada Equivalente desde el Isotrópico.
- RSL [dBm] (*Receive Signal Level*) Sensibilidad de Recepción Efectiva.
- FSPL [dB] (*Free Space Propagation Loss*) Pérdidas por Propagación en el Espacio Libre, por sus siglas en inglés.

$$\text{EIRP [dBm]} - \text{FSPL [dB]} + \text{RSL [dBm]} \gg 0$$

La ecuación anterior representa el *margen de atenuación total* cuya suma de sus tres elementos, debe ser considerablemente mayor a cero para que exista el enlace. En caso contrario, no habrá comunicación de una o ambas partes. A continuación se listan las variables que componen a los elementos anteriores para posteriormente calcular la ecuación de mérito²⁸:

- T_P [dBm] potencia de transmisión.
- C_L [dB] pérdidas en el cable.
- R_P [dBm] sensibilidad de recepción.
- G_{aTx} [dBi] ganancia de la antena transmisora respecto al isotrópico.
- G_{aRx} [dBi] ganancia de la antena receptora respecto al isotrópico.

Los elementos anteriores generalmente son datos proporcionados por el fabricante de los equipos, antenas y cables, con los cuales se procederá a calcular los elementos iniciales:

$$\text{EIRP [dBm]} = T_P \text{ [dBm]} - C_L \text{ [dB]} + G_{aTx} \text{ [dBi]}$$

$$\text{RSL [dBm]} = R_P \text{ [dBm]} - C_L \text{ [dB]} + G_{aRx} \text{ [dBi]}$$

Las pérdidas por efecto de la propagación en el espacio libre *Free Space Loss* (FSL) están dadas por la siguiente ecuación:

$$\text{FSPL [W]} = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 = \left(\frac{4\pi d f}{c} \right)^2$$

Donde:

- λ [m] es la longitud de onda
- f [Hz] es la frecuencia de la señal
- d [m] es la distancia entre transmisor y receptor
- c es la constante de velocidad de la luz en el vacío 2.99792458×10^8 [m/s]

En el campo de la ingeniería resulta conveniente manejar potencias y relaciones de transmisión y recepción de señales en decibeles [dB] así como, las unidades respectivas asociadas a potencia, ganancia respecto al *isotrópico* y pérdidas por atenuación. Se tiene entonces que:

$$\text{FSPL [dB]} = 10 \log_{10} \left(\left(\frac{4\pi d f}{c} \right)^2 \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi d f}{c} \right)$$

$$\begin{aligned}\text{FSPL [dB]} &= 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) + 20\log_{10}\left(\frac{4\pi}{c}\right) \\ &= 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) - 147.56\end{aligned}$$

En la mayoría de nuestros cálculos f será en [Mhz] y d en [km] por lo que la ecuación anterior queda de la siguiente forma:

$$\text{FSPL [dB]} = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) - 32.44$$

El margen de atenuación total se calcula tomando en cuenta las ecuaciones anteriores, junto con los datos conocidos proporcionados por los fabricantes de los equipos. En todas las células WiFi que serán instaladas, se tomará en cuenta al AP como el primer punto del enlace y al usuario de la RIU como el segundo punto. A continuación se muestran las especificaciones de ambos puntos:

Aruba© AP-70

- Potencia de transmisión → 14 a 20 [dBm] (ajustable)
- Sensibilidad de recepción → -80 [dBm]
- Ganancia de la antena → 4.46 [dBi] (antena integrada)
- Ganancia de la antena → 12 a 15 [dBi] (antena exterior, dependiendo del tipo)
- Pérdidas en cable → -1.5 [dB]

PC portátil de usuario R.I.U. promedio

- Potencia de transmisión → 13 a 17 [dBm]
- Sensibilidad de recepción → -80 [dBm]
- Ganancia de la antena integrada → 1 [dBi]

Con base en las referencias consultadas, un buen margen de atenuación para un enlace inalámbrico en la banda ISM debe situarse entre 6-10 [dB]. Si el margen anterior fuese menor, el desempeño se verá afectado por una transmisión pobre, y en el caso que el mismo rebasara considerablemente el límite, el enlace podría ser afectado por fenómenos como ecos causantes de interferencias propias. Además, el margen tampoco debe rebasar los *límites legales* establecidos.

Tomando en cuenta los datos y especificaciones recopilados se utilizará nuevamente la tecnología de Afar Communications para calcular el presupuesto de enlace. A continuación se presentan los márgenes de atenuación calculados para ambas transmisiones desde el AP hacia el usuario RIU y viceversa (imágenes 2.22 y 2.23). Las antenas contempladas en nuestros cálculos serán direccionales del tipo Yagui y Sectorial de 90°, ambas con ganancias de alrededor de 14[dBi] (imágenes 2.24 y 2.25).

RF Link Budget Calculator	
Input	
Frequency:	2440 MHz
Tx Power:	14 dBm
Tx Cable Loss:	1.5 dB
Tx Antenna Gain:	12 dBi
Distance:	0.5 km
Rcv Antenna Gain:	1 dBi
Rcv Cable Loss:	0.5 dB
Rcv Sensitivity:	-80 dBm
Fade Margin:	11 dB
Compute:	
<input checked="" type="radio"/> Fade Margin	Units: <input type="radio"/> miles <input checked="" type="radio"/> km
<input type="radio"/> Distance	
<input type="radio"/> Tx Power	
Output	
Fade Margin:	10.8 dB
Free Space Loss:	94.2 dB
Rcv Signal Strength:	-69.2 dBm

Imagen 2.22 Margen de atenuación desde el AP hacia el usuario RIU.

RF Link Budget Calculator

Input

Frequency: MHz

Tx Power: dBm

Tx Cable Loss: dB

Tx Antenna Gain: dBi

Distance: km

Rcv Antenna Gain: dBi

Rcv Cable Loss: dB

Rcv Sensitivity: dBm

Fade Margin: dB



Compute:

Fade Margin

Distance

Tx Power

Units:

miles

km

Output

Fade Margin: 9.8 dB

Free Space Loss: 94.2 dB

Rcv Signal Strength: -70.2 dBm

Imagen 2.23 Margen de atenuación desde el usuario RIU hacia el AP.



Imagen 2.24 Antena Yagui de 14 dBi



Imagen 2.25 Antena Sectorial 90° de 14 dBi.

Como resultado de los cálculos realizados, se constata que el margen de atenuación para la transmisión en ambas direcciones se sitúa cerca los 10 [dB] por lo cual se considera que el equipo propuesto cumple con las características que permiten brindar cobertura exterior en un radio no mayor a los 500 metros.

2.2.5.2 Ubicación De Las Células WiFi

Después de considerar los cálculos técnicos en el inciso anterior, es posible continuar con la ubicación final de los AP especificados en la propuesta, los cuales se deberán instalar junto con su respectivo backhaul vía la red WiMAX ya descrita (imagen 2.26). Al efecto se ubicará cada AP procurando lograr la máxima cobertura posible; a fin de minimizar la cantidad de AP requeridos.

En caso que algunas de las zonas de cobertura pensadas no tenga el suficiente margen de atenuación estimado, se podrán adicionar más AP con su respectivo retorno de red vía WiMAX o inclusive se puede aprovechar la propia tecnología *mesh* de Aruba; permitiendo a un AP fungir como repetidor de otro. La opción de Aruba se recomienda como última alternativa, debido a que se requiere comprar una licencia especial para activar esa función.

Si se compara la cobertura original de Ciudad Universitaria con la que se verá propuesta en la imagen 2.27, se podrá apreciar un incremento aproximado de más de un 250% respecto a la original. Dicha ganancia se puede lograr con una fracción de la cantidad de dispositivos AP utilizados en la cobertura actual. Lo anterior implica que de utilizarse antenas de alta ganancia y ajustarse los niveles de potencia de transmisión de los AP actuales, podría expandirse y/o hacer más robusta la red en las zonas donde actualmente se tiene el servicio. También se podría minimizar la cantidad de equipos AP actuales en donde estos sobran y utilizarlos donde hiciera falta. La idea descrita en este párrafo no se encuentra dentro de los objetivos de ésta tesis, sin embargo, se deja al criterio de quien le corresponda.

A continuación se muestra la topología real de la nueva red WiFi y su retorno de red:

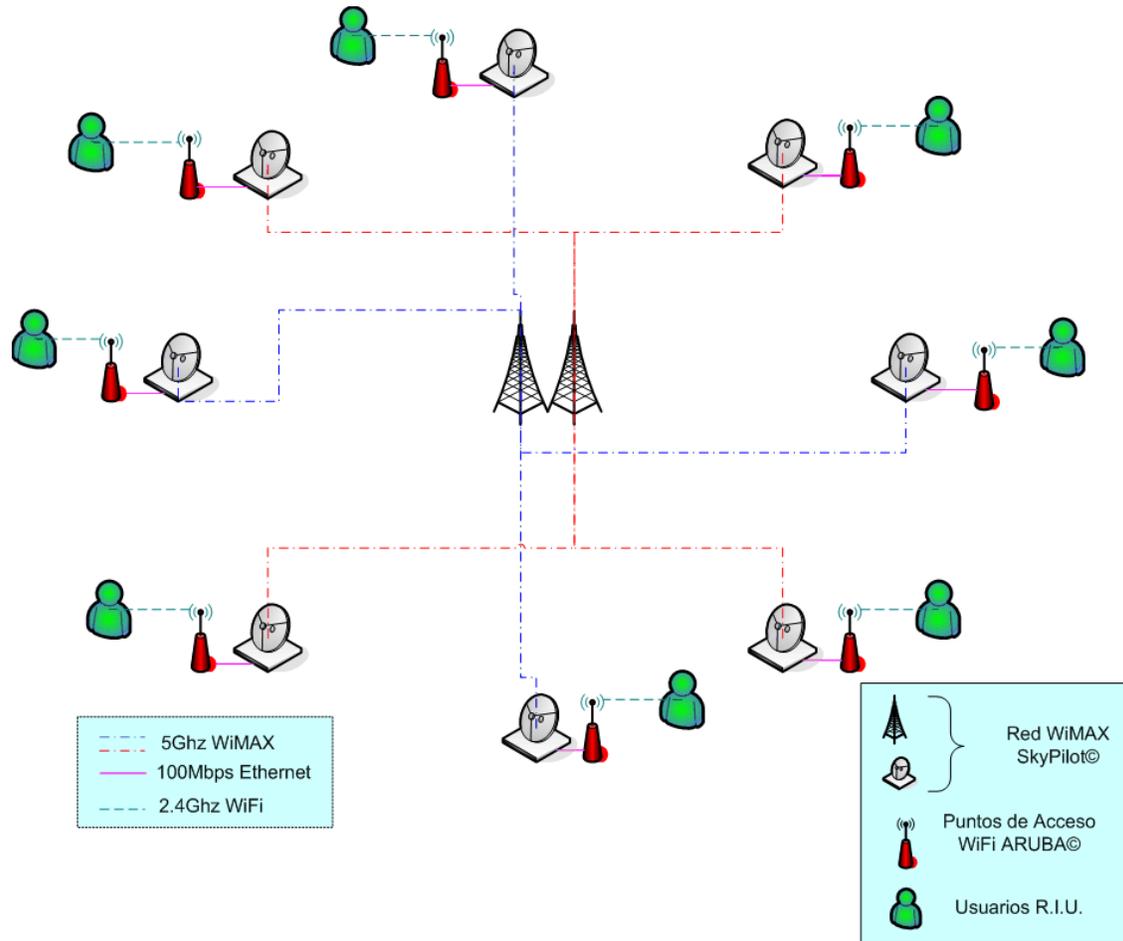


Imagen 2.26 Modelo de la red WiFi con backhaul WiMAX.

Los equipos SkyConnector (versión Mini) son ligeros y pueden instalarse en mástiles cortos sobre postes de luz, pesan 400 gramos cada uno. La altura donde deberán colocarse dependerá de la intensidad de señal RSSI y tasas de modulación (Tx, Rx) como se expuso anteriormente. Los AP WiFi podrán colocarse en el mismo poste (modelos diseñados para exteriores) o dentro de una caja de protección para intemperie (modelos diseñados para interiores) por la cual únicamente podrán entrar y salir los cables de alimentación, Ethernet y coaxiales para las antenas de alta ganancia que también deberán anclarse al mástil. Dichas antenas se deberán orientar hacia las zonas de cobertura para los usuarios y/o aplicaciones de la RIU (imagen 2.27).

A continuación se tiene el diseño real planteado para la nueva cobertura WiFi:

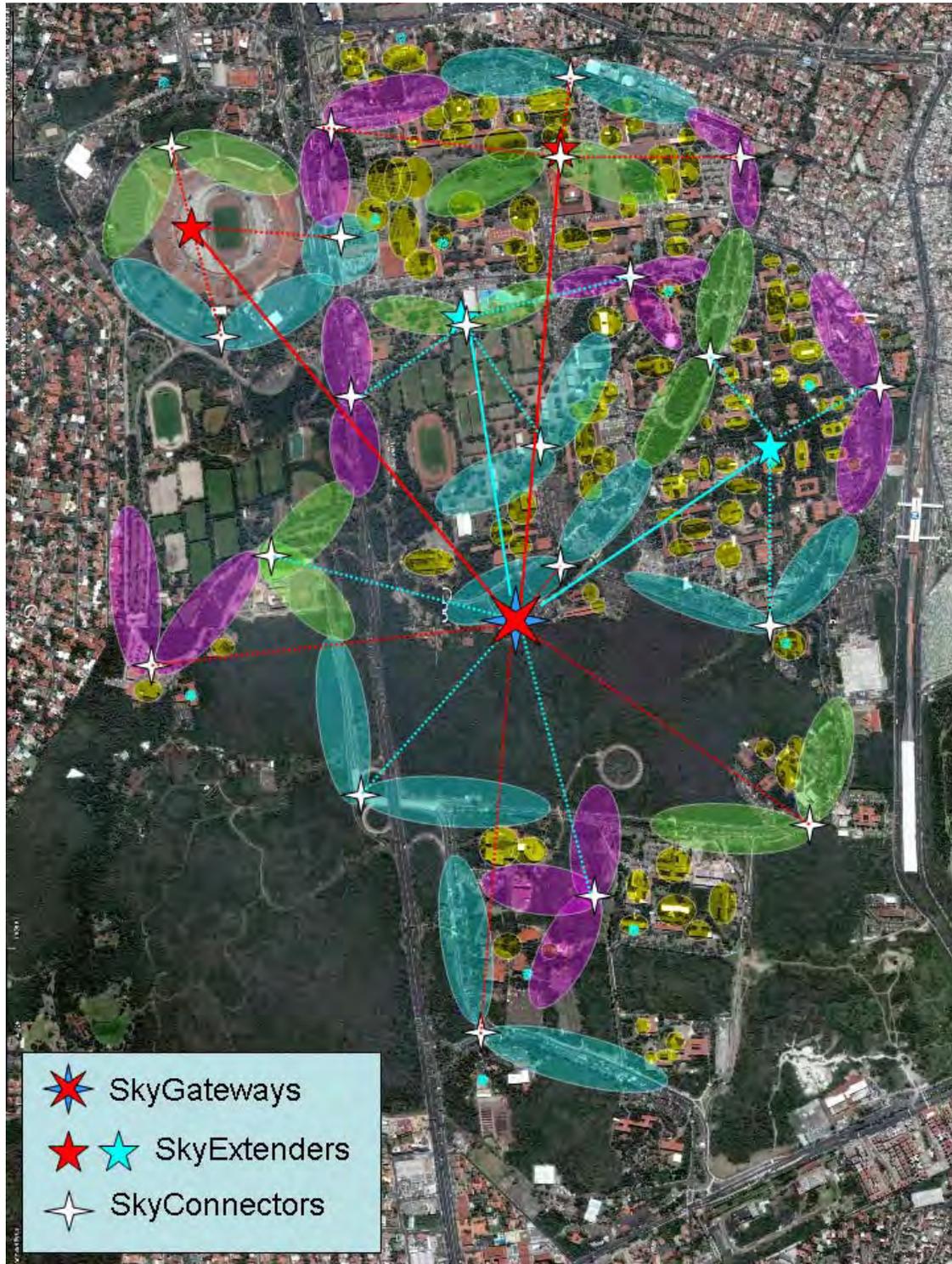


Imagen 2.27 Propuesta real de la nueva cobertura WiFi.

2.3 Interconexión Con Red UNAM

Asumiendo una exitosa instalación, configuración y funcionamiento de los enlaces en el proyecto anterior, se procede a plantear el acoplamiento de dicha red con el backbone de Red UNAM. La propuesta inicial incluye la utilización de dos equipos SkyGateway para balanceo de carga y redundancia, junto con algunos posibles SkyExtender para la distribución en zonas que requieran mayor densidad de cobertura. En el futuro se podrán agregar un mayor número de dispositivos; dependiendo del crecimiento y necesidades de cobertura requeridos en su momento.

2.3.1 Conectividad Y Redundancia

Ambos equipos SkyGateway de los cuales depende toda la malla WiMAX, pueden estar conectados en nodos diferentes de Red UNAM aunque se encuentren físicamente en el mismo punto (torre en la Dirección General de Sistemas y Cómputo Académico - DGSCA). El primero de ellos tomaría su conexión IP directamente del nodo perteneciente a DGSCA mientras que el segundo la tomaría desde alguno de los otros tres nodos (ver imagen 2.28) mediante un enlace de fibra óptica. Esto con la finalidad de brindar conectividad IP redundante a la red WiMAX, en el supuesto que alguno de los dos nodos quedara fuera por alguna falla. En caso que ocurra un problema como el anterior, se deberá apagar por completo el SkyGateway del nodo afectado, para que el resto de la malla detecte su ausencia y esta última se conecte al segundo de forma automática. La propuesta toma el riesgo que toda la red se pierda en caso de haber una falla en el suministro de energía eléctrica en DGSCA; sin embargo, esto es muy improbable, ya que todos los equipos cuentan con sus propios sistemas de respaldo de energía *Uninterrupted Power Supply (UPS)* y con una planta de emergencia en toda la dependencia.

Como se ha mencionado anteriormente, todo el sistema WiMAX propuesto es en esencia un switch Ethernet de capa 2 el cual permite utilizar direcciones independientes locales u *homologadas* para su administración. Además, soporta la creación de VLAN y políticas como QoS y ToS en caso de requerirse.

2.3.2 Administración

La configuración y control de todos los equipos SkyPilot se puede hacer directamente de forma manual, o de forma automática y centralizada a través de un servidor. Inicialmente todos los equipos nuevos se deberán configurar manualmente vía *Telnet* con la dirección IP y contraseña de fábrica; posteriormente se pueden configurar los equipos para ser controlados y administrados automáticamente desde un servidor central, con el software propietario llamado SkyControl. Este software funciona sobre una plataforma Linux cuya dirección IP deberá situarse en el mismo segmento de red que el resto de los equipos de la misma marca.

El servidor SkyControl se utiliza únicamente para la administración de la red SkyPilot y el funcionamiento de ésta no dependerá de él, siempre y cuando la función de DHCP esté desactivada en toda la red. El DHCP (Protocolo de Control de Host Dinámico) por sus siglas en inglés, es un protocolo de capa 3 el cual asigna las direcciones IP de forma automática a los equipos; sin embargo, para nuestros requerimientos será recomendable la asignación de direcciones IP de forma estática a cada uno de los equipos. El resto de las funciones administrativas que manejará el servidor SkyControl incluyen: actualizaciones de *firmware*, estadísticas de uso de ancho de banda, límites de tráfico por equipo, selección de frecuencia utilizada, entre otras funciones.

En el diagrama siguiente (imagen 2.28) se indica la forma en la que se brindaría conectividad redundante a la red propuesta, así como la implementación del servidor para administración SkyControl. En éste ejemplo, ambos SkyGateways se encuentran físicamente en el mismo lugar, pero su conexión proviene de 2 distintos nodos de Red UNAM.

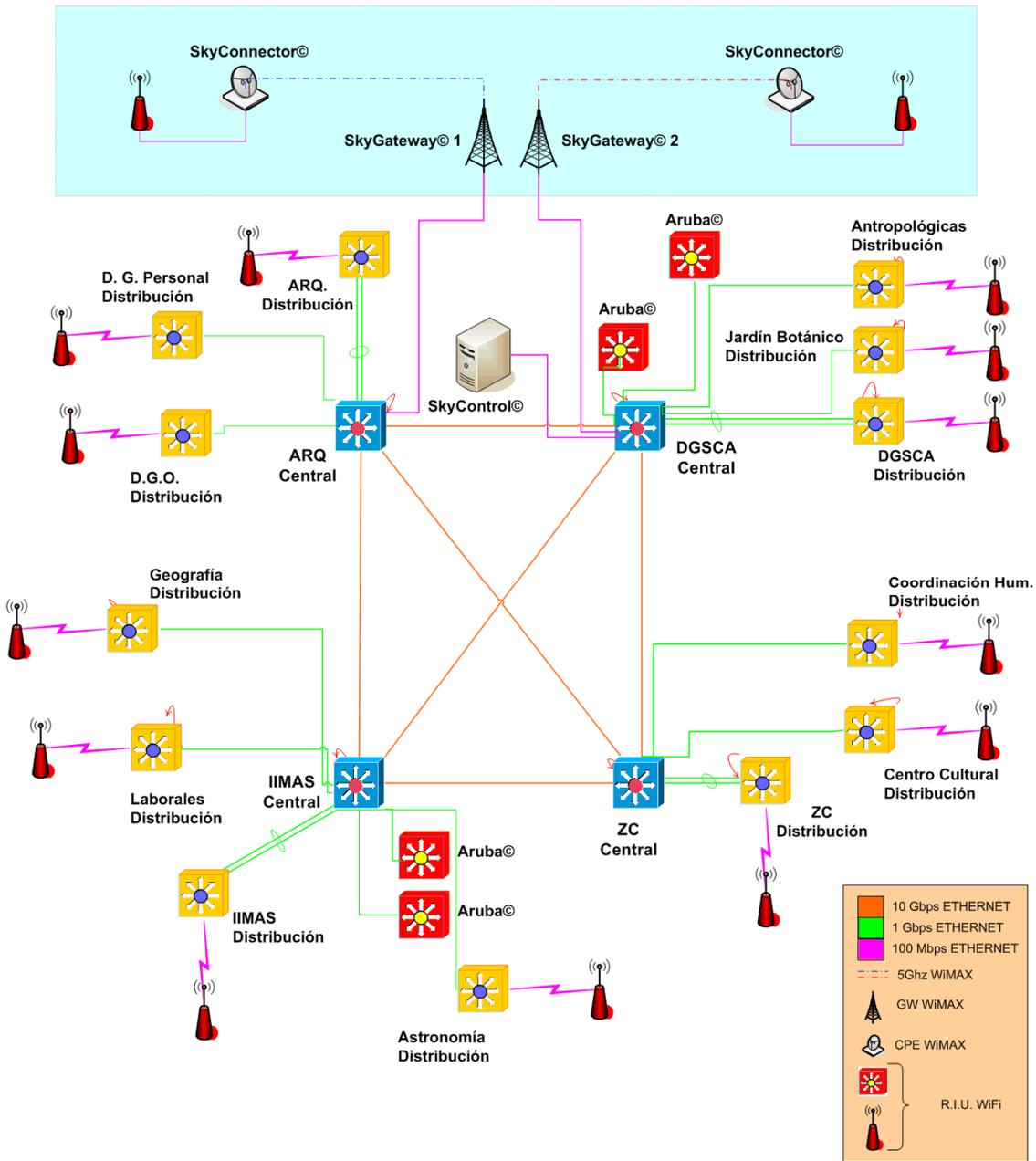


Imagen 2.28 Interconexión de la infraestructura WiMAX-WiFi con Red UNAM.

3. Evaluación Del Proyecto Y Aplicaciones

Los últimos puntos importantes en el análisis de viabilidad del proyecto son: el de carácter económico y los valores agregados que podrán aprovecharse una vez concluido el proyecto.

3.1 Evaluación

La facilidad y rapidez de implementación representa un ahorro sustancial en tiempo y dinero al utilizar el estándar IEEE 802.16. En los siguientes incisos se verá el por qué de sus ventajas.

3.1.1 Tiempo

El tiempo que se requiere para implementar un proyecto como éste se dividirá en dos partes:

1. El tiempo para la instalación de los equipos WiMAX, las pruebas de comunicación inalámbrica entre ellos y la interconexión con la Red UNAM.
2. El tiempo necesario para instalar los AP WiFi, realizar las pruebas de cobertura y configurarlos para finalmente brindar a los usuarios el acceso a la RIU.

El tiempo (1) es el que se requiere para el objetivo de esta tesis y es considerablemente menor al requerido en caso de utilizar otra tecnología especialmente si se escoge una alámbrica como Ethernet, ya sea en cobre o fibra óptica. Utilizar una tecnología como la última tomaría mucho tiempo, tanto en el diseño previo del cableado estructurado, como en su instalación. Por el contrario, WiMAX representa una magnífica alternativa, debido a que el tiempo requerido en esta etapa inicial es mínimo, comparado con otras tecnologías.

En la siguiente gráfica (imagen 3.1) se hace una comparativa de tiempos de instalación estimados entre una tecnología alámbrica y una inalámbrica:

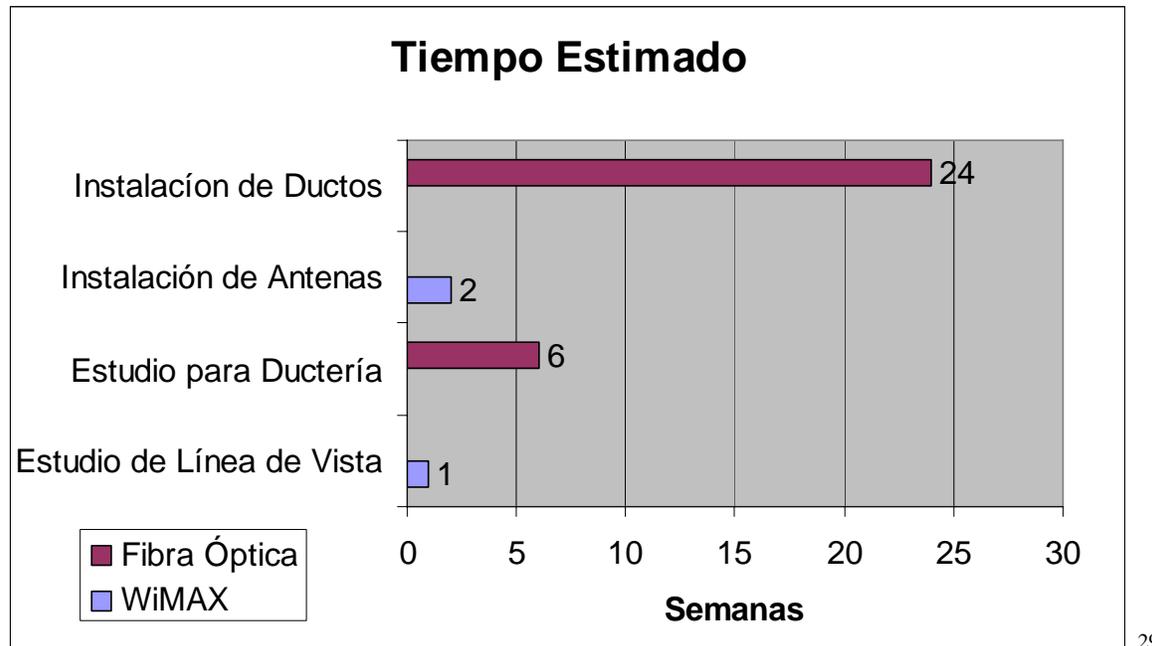


Imagen 3.1 Tabla comparativa entre tiempos de instalación.

El tiempo (2) no se analizará para la evaluación, en razón que éste debería ser, en teoría, del mismo orden de magnitud a transcurrir en algún proyecto similar. Dicho tiempo se refiere a la implementación de alguna otra tecnología, sea alámbrica o inalámbrica para la expansión de la RIU.

El estudio realizado para la red WiFi incluye un análisis de cobertura con el cual se intenta minimizar la cantidad de dispositivos AP requeridos; utilizando antenas de alta ganancia y ajustando los niveles de potencia de transmisión. Dicho análisis tiene por objetivo reducir costos y el tiempo global de implementación.

3.1.2 Costos

Los costos se dividirán en tres tipos:

1. El costo de los equipos WiMAX, y herramientas necesarias para el diseño y administración de ésta.
2. El costo de los puntos de acceso Aruba para brindar cobertura WiFi.
3. Gastos por concepto de mano de obra en la instalación de los equipos.

La principal inversión y objeto de análisis es el costo del material, en este caso son los dispositivos WiMAX y WiFi. En las tablas de las imágenes 3.2 y 3.3 se tiene una relación de los costos³⁰ por concepto de equipo:

Cantidad	Concepto	\$USD/unidad	Total
2	SkyGateway	\$4,799	\$9,598
5	SkyExtender	\$2,799	\$13,995
25	SkyConnector Mini	\$199	\$4,975
1	EMS SkyControl	\$199	\$199
25	Aruba AP-85TX	\$1,995	\$49,875
43	Antenas de alta ganancia	\$80	\$3,440
TOTAL			\$82,082

Imagen 3.2 Tabla de costos con tecnología mesh de SkyPilot.

Cantidad	Concepto	\$USD/unidad	Total
2	SkyGateway	\$4,799	\$9,598
13	SkyConnector Mini	\$199	\$2,587
1	EMS SkyControl	\$199	\$199
25	Aruba AP-85TX	\$1,995	\$49,875
16	Licencias Mesh Aruba	\$690	\$11,040
43	Antenas de alta ganancia	\$80	\$3,440
TOTAL			\$76,739

Imagen 3.3 Tabla de costos con tecnología mesh de Aruba.

Las tablas anteriores muestran dos opciones en cuanto a la configuración de la red a petición de la DGSCA. La primera (imagen 3.2) contempla el uso de Extenders para utilizar la tecnología mesh de SkyPilot en la red WiMAX; tal como fue originalmente propuesto en

el capítulo anterior (imagen 2.27). En la segunda opción (imagen 3.3) se sustituye el uso de los equipos antes mencionados y en su lugar se aprovecharía la propia tecnología mesh de Aruba; haciendo el backhaul en 5 Ghz con el estándar 802.11a.

A pesar del ligero ahorro económico que brinda la segunda alternativa, se considera más conveniente mantener la propuesta original debido a las ventajas en cuanto a desempeño y flexibilidad de expansión. Si por ejemplo, se optara por la segunda alternativa, será necesario comprar licencias individuales para cada uno los AP Aruba involucrados en los arreglos mesh. Si se diera el caso de requerirse agregar otro AP de la anterior forma, se deberá adquirir su respectiva licencia, cuyo precio es aproximadamente \$500 USD más caro que el valor total de un SkyConnector Mini.

3.1.3 Soporte Técnico

El funcionamiento y configuración de los equipos WiMAX está determinado en los manuales de SkyPilot, los cuales son de fácil comprensión. Al estudiar detalladamente dichos documentos, examinar y realizar pruebas con los equipos, resulta muy fácil la comprensión de ellos. En experiencias propias anteriores, no es muy común que surjan problemas cuando hay una buena configuración de la red y mucho menos tratándose de despliegues relativamente pequeños.

Los equipos WiMAX tienen una garantía de fábrica de 1 año y se puede extender a 3 años directamente con el fabricante, sin embargo, existe un distribuidor³¹ aquí en México el cual ofrece la posibilidad de arrendar los equipos teniendo la garantía total y soporte técnico por el tiempo del contrato. También ofrece la opción contemplada en un principio de comprar los equipos, junto con una póliza de soporte y servicio técnico.

3.2 Aplicaciones

Al tener una mayor cobertura de la RIU, se puede aprovechar su infraestructura para posteriores aplicaciones que requieren una cobertura mayor a la que actualmente se tenía. Básicamente destacan aquellas aplicaciones de seguridad (como se mencionó en la introducción) las cuales son: control de activos y video vigilancia. Adicionalmente se

podría aprovechar la infraestructura WiMAX para brindar acceso a Red UNAM en donde ésta no tenga del todo presencia. Dicha propuesta brindará una capacidad de 54 Mb/s por cada Gateway para un total de 108 Mb/s, lo cual representa un 135% adicional que el ancho de banda demandado por los usuarios de la RIU. Se considera que dicha capacidad excede los requerimientos de conectividad para los usuarios RIU y aplicaciones adicionales.

3.2.1 Control De Activos Mediante RFID

Existen ciertos dispositivos conocidos como *Radio Frequency Identification (RFID) tags* (etiquetas), que se utilizan para administrar, inventariar y monitorear, entre otros, recursos y activos de: empresas, instituciones, escuelas, etc. Dichos dispositivos se han utilizado desde hace varias décadas, en un principio se desarrollaron en la Segunda Guerra Mundial para identificar a distancia si aquellos vehículos y aeronaves que se aproximaban, provenían de aliados o enemigos. Posteriormente evolucionaron y actualmente se utilizan en una gran variedad de aplicaciones. Existen básicamente dos tipos de etiquetas RFID:

- **Pasivas** – Estas etiquetas son muy pequeñas y delgadas, algunas del tamaño y espesor de una estampilla o timbre postal. Tienen una antena plana y enrollada en la cual se induce una corriente eléctrica al situarse frente a un campo magnético (generalmente creado por los sensores de lectura). Cuando lo anterior sucede, el circuito se polariza y emite una señal de radiofrecuencia con la información del artículo etiquetado (imagen 3.4).
- **Activas** – A diferencia de las anteriores, este tipo de etiquetas incluye todo un circuito de alimentación con batería para emitir constantemente la misma señal de radiofrecuencia con los datos del artículo o recurso en cuestión; dependiendo de la aplicación y distancia a la que se desea transmitir, será el tamaño de la etiqueta. En general estas etiquetas son todo un sistema miniaturizado que puede ir desde el tamaño de un llavero, credencial, teléfono celular, o inclusive más grandes (imagen 3.5).

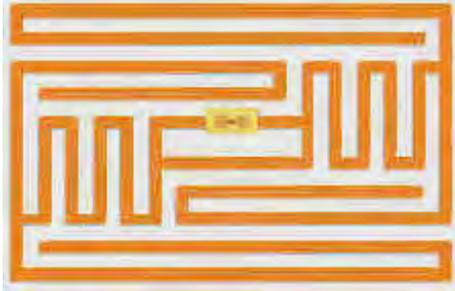


Imagen 3.4 Etiqueta RFID pasiva.



Imagen 3.5 Etiqueta RFID activa.

Ambas etiquetas tienen sus ventajas y desventajas en cuanto a aplicaciones y costos y son ampliamente utilizadas hoy en día en tiendas de autoservicio y rastreo de vehículos, entre otros. Las etiquetas pasivas por ejemplo, se utilizan mucho en supermercados y tiendas departamentales, debido a su reducido costo y la facilidad de ocultar la etiqueta en los empaques de los productos. La aplicación de estos dispositivos es conocer el estado o condición del objeto de interés; por ejemplo, si un artículo aún se encuentra en una tienda, o si éste ha salido y se pagó por él. Tiene una doble función, de inventario y de seguridad.

Las etiquetas activas son mucho más versátiles que las pasivas, en el siguiente inciso se mencionará el uso que se les podría dar en la Universidad.

3.2.1.1 Monitoreo De Vehículos

Uno de los objetivos de ésta tesis es poder utilizar la RIU con su nueva cobertura para la aplicación antes mencionada. Para lograrlo se propone el uso de etiquetas RFID activas de la marca Aeroscout©. El tipo de etiquetas de este fabricante es exclusivamente del tipo activo, pues están diseñadas para funcionar con redes WiFi y enviar la información de la etiqueta por ésta vía.

Para dicho caso, la información acerca de los vehículos que se requieren catalogar y monitorear sería enviada a través de los nodos WiFi de la red. Debe precisarse que existe

un tipo de etiqueta Aeroscout denominada T6 la cual registra su ubicación exacta mediante satélites de la red *Global Positioning System (GPS)*. La información de la etiqueta con la posición del activo (en este caso los vehículos) se enviaría a través de la RIU a un servidor central con software propietario del fabricante (imagen 3.6) mediante el cual se puede monitorear en tiempo real la ubicación de la unidad.

La finalidad de la aplicación Aeroscout propuesta, es poder controlar la eficiencia del transporte interno de Ciudad Universitaria; así como verificar que las unidades cumplan en tiempo y forma con las rutas especificadas. Para el caso de las patrullas de vigilancia UNAM, el objetivo es similar al anterior, ya que el mismo permitirá verificar que el personal cumpla con sus rutas y horario de trabajo en las zonas designadas.

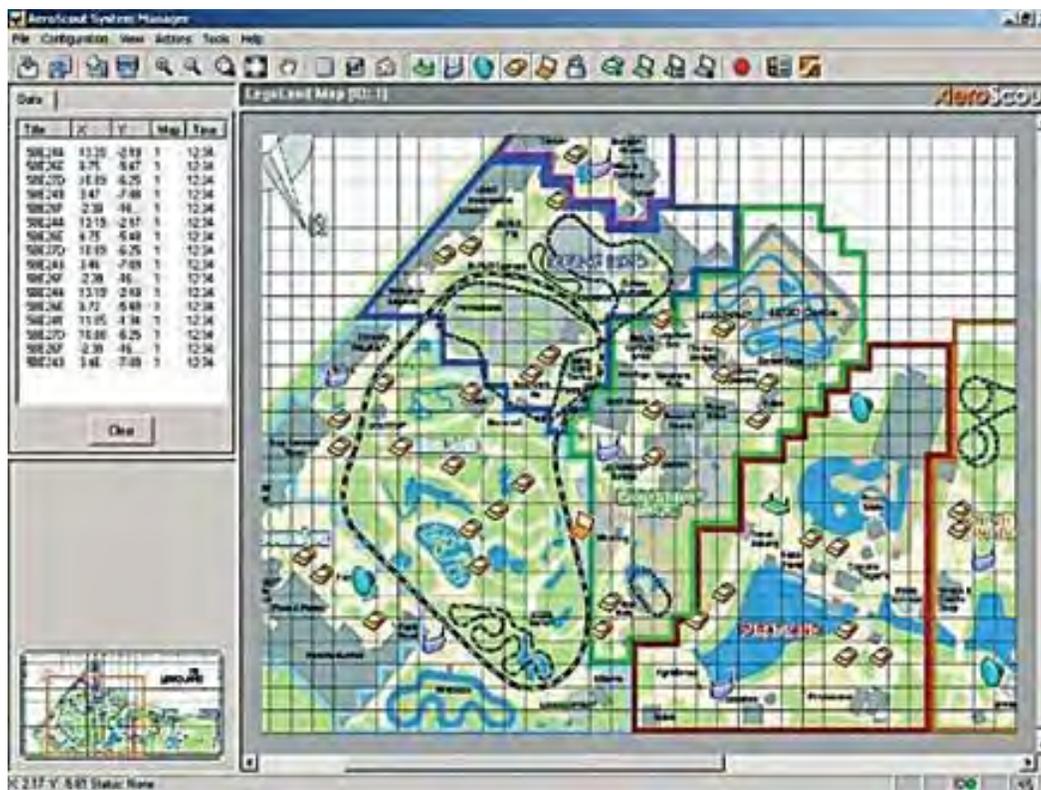


Imagen 3.6 Aeroscout Engine©.

3.2.2 Seguridad

Actualmente existen cámaras de vigilancia instaladas en algunas zonas de los circuitos universitarios. La infraestructura WiMAX/WiFi propuesta se podría aprovechar para colocar un mayor número de cámaras de *circuito cerrado de televisión (CCTV)* con tecnología de *video sobre IP* y se implementen también sobre y/o dentro de los vehículos de transporte universitario y patrullas de vigilancia.

Es probable que se necesite considerar una VLAN dentro de la red WiMAX o un gateway adicional (imagen 3.8) con el fin de asegurar la calidad de dicho servicio. El ancho de banda necesario se puede calcular con herramientas como “AXIS Design Tool” de AXIS Communications (imagen 3.7) y se determina con base en los siguientes factores:

- El número de cámaras de video que se deseen colocar.
- La cantidad de cuadros por segundo [*fps*] muestreados.
- La *resolución* del video transmitido.
- El tipo relación de compresión utilizada para los paquetes de video.

The screenshot displays the AXIS Design Tool interface. At the top, there are navigation links: Home, User's guide, Clear project, Save project, and Print project. Below this is a table with the following data:

Name	Model	No. of cams	Bandwidth (View, Rec, Event)	Storage (7 days)
1 Default camera	AXIS 210	1	184 Kbit/s, 0 bit/s, 0 bit/s	0 byte

Below the table is a 'Project summary' row showing a total bandwidth of 184 Kbit/s, 0 bit/s, 0 bit/s and 0 byte of storage.

The main configuration area is titled 'Camera' and 'Storage'. Under 'Camera', there are several sections:

- Camera configuration:** Name (Default camera), Image scenario (Intersection), Audio (unchecked), Model (AXIS 210), No. of channels (1).
- Viewing:** Frame rate (6 fps), Resolution (320x240), Compression type (MPEG-4), Compression (10), Bandwidth (184 Kbit/s).
- Continuous recording:** Record for (24 h), Frame rate (1 fps), Resolution (640x480), Compression type (MotionJPEG), Compression (90), Bandwidth (111 Kbit/s).
- Event recording:** Alarm (20 %), Frame rate (30 fps), Resolution (640x480), Compression type (MotionJPEG), Compression (50), Bandwidth (5047 Kbit/s).

At the bottom of the configuration area, there are buttons for 'Remove this camera' and 'Add new camera'.

Imagen 3.7 AXIS Design Tool© AXIS Communications.³²

Una buena alternativa en lugar de VLAN, es la implementación de una tercera malla en otra frecuencia dedicada exclusivamente a la red de video vigilancia. Con esto se obtiene, en caso necesario, todo el ancho de banda de un solo Gateway y la certeza que el tráfico de la RIU no afectará el desempeño de la aplicación de video vigilancia ni viceversa.

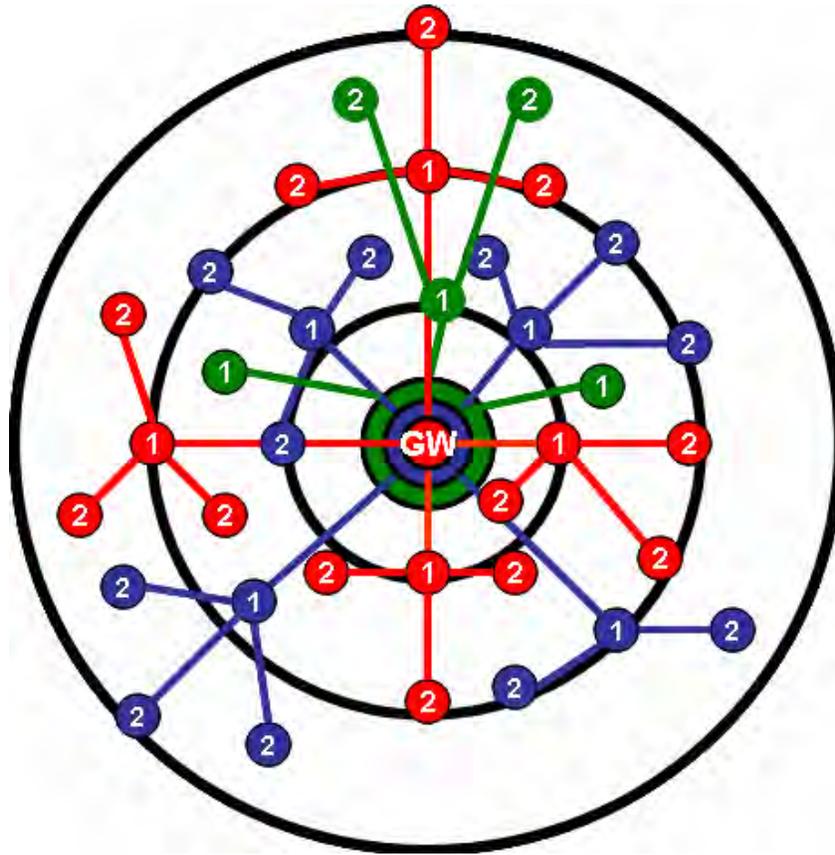


Imagen 3.8 Mallas independientes en 3 frecuencias distintas.

Conclusiones

PRIMERA.- Con la información reunida, la experiencia propia, y los estudios realizados en esta tesis, se reunió la documentación necesaria para plantear el proyecto requerido por la Dirección General de Servicios de Cómputo Académico (DGSCA) de la UNAM con lo cual se concluye que éste es viable en cuanto a implementación, desempeño, y costos se refiere; cumpliéndose así el principal objetivo de esta tesis.

SEGUNDA.- Ambas tecnologías de comunicación alámbrica e inalámbrica son buenas. La decisión de escoger entre una u otra dependerá de la aplicación requerida, distancias, y el presupuesto económico.

TERCERA.- Un sistema con protocolos sincrónicos como lo es WiMAX, permite coordinar las comunicaciones en áreas de cobertura largas con base en turnos de tiempo, cualidad que evita la colisión de señales, contienda por el uso del espectro, y transmisiones retrasadas debido a la espera de estar “escuchando” si el medio esta libre.

CUARTA.- En cuanto a la topología propuesta se concluye que el arreglo en mesh (malla) brinda la flexibilidad y escalabilidad necesaria que la red requiere. También provee redundancia en caso de presentarse fallas.

QUINTA.- Con el análisis realizado para los enlaces WiFi, se presume que la RIU podría expandirse un tanto más de lo que actualmente se tiene; esto sería factible si se utilizaran antenas direccionales de alta ganancia en las zonas donde se ubican los respectivos AP.

SEXTA.- Por último, se concluye que los métodos utilizados en esta tesis, basados en teorías probadas y experiencias personales; se pueden extrapolar a proyectos de índoles similares u otras dimensiones. Para ello se sugiere consultar las referencias mencionadas en este documento y tomar en cuenta las consideraciones que éstas hagan para diferentes tipos y magnitudes de enlaces inalámbricos.

Glosario

Access point (AP) – Dispositivo que funge como punto de acceso para una red inalámbrica.

Anillo – Topología característica de las redes Token Ring.

American National Standards Institute (ANSI) – Instituto Nacional de Estándares Americanos.

Árbol – Topología que incluye varios arreglos en estrella y/o malla.

American Wire Gauge (AWG) – medida americana para el calibre de alambres y cables.

Backbone – Centro o núcleo de una red.

Backhaul – Retorno de red, se refiere a la conexión hacia el centro o núcleo de una red.

Banda ancha – Tecnología que transmite mediante modulación en varias frecuencias.

Banda base – Tecnología que transmite con voltajes y niveles de potencia sin modular.

Base – Nomenclatura que define la velocidad de Ethernet con base en distancia y medio.

Bits – Dígito binario (0 ó 1) para la transmisión de señales digitales.

Bluetooth – Tecnología inalámbrica para la conexión de periféricos, IEEE 802.15.

Bus – Topología característica de las redes Ethernet que utilizaban cable coaxial.

Byte – Conjunto de 8 *bits*.

Carrier – Se refiere a la frecuencia portadora sobre la que se modula una señal.

CAT – Se refiere a la categoría de cable de cobre trenzado en pares (UTP).

Categoría 5 – Cable UTP que permite transmisiones en Ethernet de hasta 100 Mb/s.

Categoría 6 – Cable UTP que permite transmisiones en Ethernet de hasta 1000 Mb/s.

Copper Distributed Data Interface (CDDI) – Interfaz de datos distribuida en cobre, por sus siglas en inglés.

Contentionless Data Transmissions (CDT) – Protocolo de transmisión de datos que no contiene por el espectro.

Célula – Se refiere a la zona donde un AP brinda el servicio de conectividad.

Coaxial – Tipo de cable que contiene un alambre de cobre a lo largo de su eje, y una malla de aluminio coaxial separada del primero por un material dieléctrico.

COFETEL – Comisión Federal de Telecomunicaciones.

CPE – Equipo para el cliente suscriptor el cual recibe la señal de una red inalámbrica.

Crosstalk – Ver *diafonía*.

Carrier Sense Multiple Access (CSMA) – Acceso Múltiple mediante Escucha de Portadora, por sus siglas en inglés.

Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (CSMA/CA) – Protocolo adicional al CSMA que evita las colisiones en un dominio.

Carrier Sense Multiple Access/ Collision Detection (CSMA/CD) – Protocolo adicional al CSMA que detecta si hay colisiones en un dominio.

Desmodular – Transformar una señal de banda ancha a una de banda base.

DGSCA – Dirección General de Servicios de Cómputo Académico (DGSCA) UNAM.

Diafonía – Fenómeno en el cual se induce la señal de un cable en uno adyacente.

Diversidad de frecuencia – Técnica en la cual se transmite en varias frecuencias portadoras para brindar redundancia y evitar la atenuaciones de la señal.

Diversidad espacial – Técnica en la cual se transmite con varias antenas emisoras y/o receptoras para brindar redundancia y evitar atenuaciones de la señal.

Dominio de colisión – Conjunto de nodos conectados en una red local *half-duplex*.

Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) – Espectro Amplio de Secuencia Directa, por sus siglas en inglés.

Effective Isotropically Radiated Power (EIRP) – Es la potencia efectiva irradiada por el dispositivo transmisor, respecto al isotrópico.

Espectro amplio – Tipo de tecnología que transmite usando banda ancha.

Estándares – Conjunto de normas y especificaciones que permiten la compatibilidad de equipos y dispositivos de diferentes marcas.

Estrella – Topología característica de las redes locales Ethernet.

Fiber Distributed Data Interface (FDDI) – Interfaz de datos distribuida en fibra óptica, por sus siglas en inglés.

Firewall – Cortafuegos, se refiere al hardware o software que controla el flujo hacia dentro o fuera de una red con fines de seguridad.

Foiled Twisted Pair (FTP) – Cable de cobre trenzado en pares forrado con papel aluminio.

Free Space Propagation Loss (FSPL) – Representa las pérdidas por atenuación de la señal cuando ésta se transmite a través del aire o del espacio libre.

Full duplex – Se refiere a la comunicación bidireccional de una transmisión.

Ghz – Gigahertz, unidad de frecuencia que equivale a 1×10^9 ciclos/segundo.

Global Positioning System (GPS) – Sistema de Posicionamiento Global.

Half duplex – Se refiere a la comunicación unidireccional de una transmisión.

Hardware – Es el equipo físico de un nodo, dispositivo, red, etc.

Hub – Equipo concentrador en una red Ethernet.

Industrial Business Machines (IBM) – compañía que inventó la tecnología Token Ring.

Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) – Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.

Intranet – Se refiere a los equipos de una red de área local que pertenecen a un mismo dominio de colisión.

Internet – Protocolo que permite la comunicación entre distintas redes.

Industrial Scientific & Medical (ISM) –Banda de frecuencias libre usada principalmente con fines médicos, científicos e industriales.

Internacional Standards Organization (ISO) – Organización Internacional de Estándares.

Isotrópico – Modelo teórico de antena consistente en un único punto del espacio que emite homogéneamente en todas las direcciones.

Local Area Network (LAN) – Red de Área Local.

Línea de vista – Trayectoria libre de obstáculos físicos en comunicaciones inalámbricas.

Media Access Control (MAC) – Control de Acceso al Medio.

Malla – Topología en la cual existen diversas vías de comunicación tanto en redes alámbricas como en inalámbricas.

Metropolitan Area Network (MAN) – Red de Área Metropolitana

Margen de atenuación – Energía en el medio necesaria para establecer una comunicación inalámbrica.

Multiple Access Unit (MAU) – Unidad de Acceso Múltiple, concentrador utilizado en las redes Token Ring de IBM.

Mb/s – Unidad de tasa de transferencia de datos equivalente a 1×10^6 bytes/segundo.

Modem – Dispositivo que permite modular y desmodular señales.

Modular – Se refiera a la conversión de una señal de banda base a una de banda ancha.

Multiplexado – Técnica en la que se modula utilizando varias frecuencias portadoras.

Nodos – Se refiere al equipo o estación terminal en una red.

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) – Multiplexado por División de Frecuencias Ortogonales.

Ortogonales – Frecuencias portadoras con un mínimo de separación.

Open Systems Interconnection (OSI) model – Modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos.

Paquetes – Unidad fundamental de transporte de información en todas las redes de computadoras modernas.

Peer to peer – Se refiere a la comunicación entre dos equipos: punto a punto.

Puente – Equipo que permite unir dos redes separadas físicamente.

Quality of Service (QoS) – Calidad del Servicio, función que restringe cierto ancho de banda a un tipo específico de transmisiones de datos.

Receiver Sensitivity Level (RSL) – Es la capacidad de sensibilidad del dispositivo receptor a utilizar una señal electromagnética presente en el medio.

Redundancia – Capacidad de una red de brindar alternativas de conectividad en caso que alguna de ellas fallase.

Repetidores activos – Dispositivo que permite retransmitir y/o redirigir una señal electromagnética utilizando una fuente de energía externa.

Repetidores pasivos – Dispositivo que permite reflejar o redirigir una señal electromagnética sin necesidad de ser energizado.

Radio Frequency Identification (ID) – Identificación mediante Radiofrecuencia.

Ring – Anillo.

Ring in – Puerto de entrada en un concentrador MAU.

Ring out – Puerto de salida en un concentrador MAU.

SCT – Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Signal to Noise Ratio (SNR) – Relación entre señal y ruido.

Software – Conjunto de instrucciones lógicas que controlan la operación de hardware.

Shielded Twisted Pair (STP) – Cable de cobre trenzado en pares blindado con una malla de aluminio.

- Switch** – Concentrador característico de redes Ethernet que segmenta el dominio de colisión por puerto.
- Tasa de modulación** – Se refiere a la cantidad de información (bits) que se puede enviar en un ciclo de transmisión.
- Transport Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP)** – Protocolo de Transporte de Control / Protocolo de Internet.
- Testigo** – Paquete de datos que permite a un equipo transmitir información en una red.
- Token** – Ver *testigo*.
- Type of Service (ToS)** – Tipo de Servicio, función que permite dar prioridad de transmisión a cierto tipo de paquetes de datos.
- Tramas** - Unidad de envío de datos que generalmente se aplica a nivel de capa 2 (enlace de datos).
- Universal Data Connector (UDC)** – Conector de Datos Universal, es el conector hermafrodita de IBM usado en redes Token Ring.
- Unlicensed National Information Infrastructure (U-NII)** – Infraestructura de Información Nacional sin Licencia, se refiere a la banda de frecuencias entre los 5 y 6 Ghz de uso libre.
- Unshielded Twisted Pair (UTP)** – Cable de cobre trenzado en pares carente de algún tipo de forro o blindaje.
- Video sobre IP** – Se refiere al conjunto de protocolos que permiten transmitir video digital.
- Virtual Local Area Network (VLAN)** – Red de Área Local Virtual, método para crear redes lógicamente independientes dentro de una misma red física.
- VoIP** - Se refiere al conjunto de protocolos que permiten transmitir voz y audio digital.
- Virtual Private Network (VPN)** – Red Privada Virtual, es una tecnología que permite la extensión de una red local a través de una red pública, Internet por ejemplo.
- Walkie Talkie** – Comunicación unidireccional utilizada principalmente en radios de banda civil.
- Wide Area Network (WAN)** – Red de Área Extensa.
- Web** – Se refiere a la red mundial de Internet o a la interfaz gráfica de un equipo accesible mediante un software navegador de Internet.

Referencias

Notas

- ¹ <http://www.alegsa.com.ar/Dic/modelo%2520osi.php> (Definición de Modelo OSI)
- ² BICSI. *Network Design Basics for Cabling Professionals*. McGraw Hill 2002.
- ³ <http://orop200412855.wordpress.com/2008/08/13/modelo-tcpip-protocolo-de-transmision-de-controlprotocolo-de-internet/> (Modelo TCP/IP)
- ⁴ Stallings, William. *Data & Computer Communications : Sixth Edition*. Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall, 2000. pp. 54-56
- ⁵ WIKIPEDIA - <http://es.wikipedia.org/wiki/Ethernet>
- ⁶ Pareek, Deepak. *WiMAX – Taking Wireless to the MAX*. Boca Raton, FL. Auerbach 2006. pág. 72
- ⁷ Cfr. SkyPilot Networks Whitepaper. *Why Synchronous for Wireless*, Santa Clara, CA. 2008.
- ⁸ Datos proporcionados por el Centro de Operación de Red (NOC) UNAM en DGSCA.
- ⁹ Datos proporcionados por el Centro de Asistencia Técnica (TAC) UNAM en DGSCA.
- ¹⁰ Datos proporcionados por el Centro de Información de la Red (NIC) UNAM en DGSCA.
- ¹¹ Lehpamer, Harvey. *Microwave Transmisión Networks – Planning, Design and Deployment*. New York, NY. McGraw Hill, 2004, pág. 93
- ¹² *Ibidem* pág. 143
- ¹³ *Ibidem* pág. 65
- ¹⁴ Freeman, Roger. *Radio System Design for Telecommunications (1-100 Ghz)*, New York, NY, 1987, John Wiley & Sons, pág. 17
- ¹⁵ Anderson, Harry R. *Fixed Broadband Wireless System Design*. Chichester, U.K. 2003, John Wiley & Sons, pág. 380
- ¹⁶ *Ibidem* pág. 382
- ¹⁷ Datos obtenidos del software Google Earth©.
- ¹⁸ SkyPilot Networks Techguide. *Deployment Best Practices for Municipal Wireless Networks*, pág. 30
- ¹⁹ SkyPilot Networks Whitepaper. *Self-Interference – Identification, Avoidance, Mitigation*, pág. 4
- ²⁰ *Idem*
- ²¹ *Ibidem* pág. 6
- ²² *Op. Cit.* Nota [18] pág. 6

²³ *Op.cit.* Nota [15], pág. 386

²⁴ *Idem*

²⁵ Freeman, Roger. *Radio System Design for Telecommunications (1-100 Ghz)*, New York, NY, 1987, John Wiley & Sons, pág. 17.

²⁶ *Op.cit.* Nota [11], pág. 62

²⁷ *Ibidem* pág. 143

²⁸ *Idem*

²⁹ Datos tomados con base en experiencias propias (WiMAX) y experiencias en DGSCA (Fibra Óptica).

³⁰ Precios de lista de los fabricantes y distribuidores.

³¹ TI América S.A. de C.V. - <http://www.ti-america.com>

³² AXIS Communications - http://www.axis.com/products/video/design_tool/calculator.htm

Bibliografía

ANDERSON, Harry R. *Fixed Broadband Wireless System Design*. Chichester, UK : John Wiley & Sons, 2003.

BICSI. *Network Design Basics for Cabling Professionals*. New York : McGraw Hill, 2002.

BING, Benny. *Wireless Local Area Networks : The New Wireless Revolution*. New York : John Wiley & Sons, 2002.

DAVIE, Bruce S. y Larry L. Peterson. *Computer Networks : A Systems Approach : Second Edition*. San Francisco : Morgan Kaufmann Publishers, 2000.

DOOLEY, Kevin. *Designing Large Scale LANs*. Sebastopol, CA : O'Reilly & Associates Inc., 2002.

FOROUZAN, Behrouz A. *Data Communications And Networking : Fourth Edition*. Singapore : McGraw Hill Education (Asia), 2007.

FREEMAN, Roger L. *Fundamentals Of Telecommuunications*. New York : John Wiley & Sons, 1999.

FREEMAN, Roger L. *Radio System Design For Telecommunications (1-100Ghz)* New York : John Wiley & Sons, 1987.

GOLDSMITH, Andrea. *Wireless Communications*. New York : Cambridge University Press, 2005:

HELD, Gilbert. *Wireless Mesh Networks*. Boca Raton, FL : Auerbach Publications, 2005.

HRISTOV, Hristo D. *Fresnel Zones In Wireless Links : Zone Plate Lense And Antenas*. Norwood, MA : Artech House, 2000.

ILYAS, Mohammad y Syed Ahson. *Handbook of Wireless Local Area Networks : Applications, Technology, Security, and Standards*. Boca Raton, FL : Taylor & Francis Group, 2005.

LEHPAMER, Harvey. *Microwave Transmission Networks : Planning, Design And Deployment*. New York : McGraw Hill, 2004.

PAREEK, Deepak. *WiMAX : Taking Wireless To The MAX*. Boca Raton, FL : Auerbach Publications, 2006.

SPURGEON, Charles E. *Ethernet: The Definitive Guide*. Sebastopol, CA : O'Reilly Media Inc., 2000.

SAUNDERS, Simon R. *Antennas And Propagation For Wireless Communication Systems*. Chichester, UK : John Wiley & Sons, 1999.

STALLINGS, William *Data & Computer Communications : Sixth Edition*. Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall, 2000.

SkyPilot Networks Whitepaper. *Why Synchronous for Wireless*, Santa Clara, CA. 2008.

SkyPilot Networks Techguide. *Deployment Best Practices for Municipal Wireless Networks*. Santa Clara, CA. 2008.

SkyPilot Networks Whitepaper. *Self-Interference : Identification, Avoidance, Mitigation*. Santa Clara, CA. 2008.