

**CRITERIOS TÉCNICOS PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE REDES WIFI  
EN MALLA COMO SOLUCIÓN DE ACCESO BANDA ANCHA**



**ANEXOS**

**RUBEN DARIO NOGUERA PAZ**

**PEDRO ALEXANDER SOLARTE VARNEY**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**  
Departamento de Telecomunicaciones  
Popayán  
2008

## ANEXO A. EL ESTÁNDAR IEEE 802.11s

### A.1 Introducción

Una red WLAN en malla está formada por terminales vecinos conectados inalámbricamente en lugar de hacerlo a través de una estación central o estación base. En este tipo de red, los datos enviados desde un terminal llegan a su destino a través de múltiples terminales inalámbricos resultando así una configuración de red inalámbrica multisalto, lo cual favorece altas velocidades de transmisión debido a la capacidad de expandir la red a través del rehuso de frecuencia espacial, configuración automática de la red y grandes mejoras debido a mecanismos de descubrimiento de ruta.

Sin embargo, este tipo de redes presentan algunos inconvenientes, por ejemplo, su funcionamiento puede ser afectado por el problema del nodo expuesto<sup>1</sup> o del nodo oculto<sup>2</sup> que están relacionados con la degradación del *throughput* y la alta congestión de la red. Gran parte de estos problemas radica en los protocolos de enrutamiento usados al momento de determinar las rutas, en los esquemas de control de acceso y en el esquema de gestión de recursos de radio implementados en la capa de control de acceso al medio o nivel MAC. Para resolver estos problemas y obtener la mayor ventaja de la red mallada WLAN es necesario que la mayor parte de las funciones implementadas en el nivel MAC operen coordinadamente con el protocolo de enrutamiento en tiempo real.

Es por ello que en julio de 2004 el grupo de estudio para la gestión de redes en malla ESS perteneciente al IEEE 802.11 tomó el nombre de grupo de trabajo "s" (*Task Group "s" TGs*). Este grupo de trabajo define la arquitectura de red y el protocolo necesarios a partir de las especificaciones del IEEE 802.11, con el objetivo de crear una topología de red auto-configurable que soporte la transmisión *broadcast/multicast* y *unicast* pero manteniendo la latencia y la degradación del *throughput* dentro de unos márgenes tolerables para la transmisión de voz con requerimientos de tiempo real, y datos con requerimiento de anchos de banda elevados [1]. A pesar de que fueron quince las propuestas recibidas en junio de 2005, para septiembre del mismo año ya se habían reducido a cuatro.

En la reunión de enero de 2006, la selección de propuestas fue suspendida y las dos principales, "SEEmesh" y "WiMesh" fueron unidas. La propuesta fusionada se presentó y fue aprobada en marzo de 2006, constituyendo así la base del borrador IEEE 802.11s D1.0 producido en noviembre de 2006 [2].

La especificación propuesta proporciona la arquitectura para mallas WLAN escalables, adaptativas y seguras. Ofrece además, flexibilidad para ser desplegada en diferentes entornos, definiendo la subcapa MAC, el enrutamiento, la seguridad y la interacción con los niveles altos.

El TGs se reunió en Londres en enero de 2007 con los siguientes resultados:

---

<sup>1</sup> Terminales vecinos cuya comunicación mutua impide la comunicación de otros terminales

<sup>2</sup> Terminase vecinos cuya comunicación mutua genera interferencia con otros terminales sobre el mismo canal

- Decidió continuar con el borrador D1.0.
- Adicionalmente, una presentación recibida por el TGs durante la reunión de enero que contenía 10 comentarios fue suscrita para la aprobación.
- Al finalizar la reunión de enero de 2007, la resolución de estos comentarios procedió tal como lo muestra la Tabla A-1[3]:

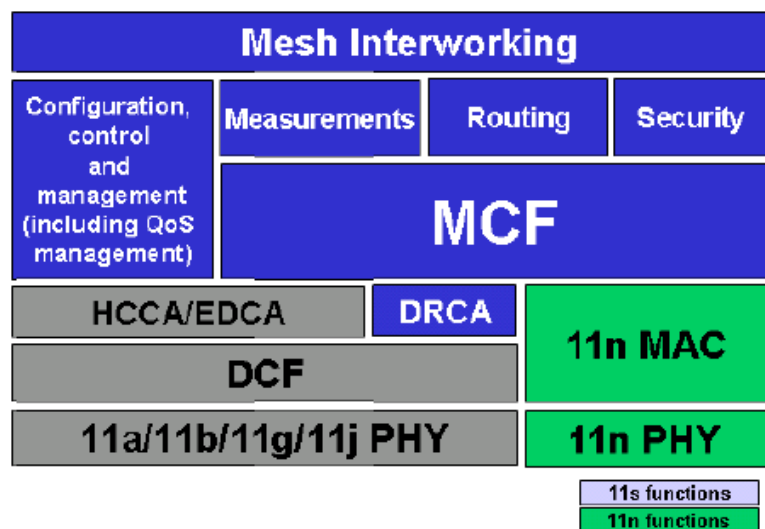
**Tabla A-1. Resolución de los comentarios de Mesh Networking Task Group**

	Total	Abiertos	Cerrados	% Cerrados
<b>Total comentarios</b>	5.713	2.712	3.001	52,53 %
<b>Comentarios Editoriales</b>	2.841	646	2.195	77,26 %
<b>Comentarios Técnicos</b>	2.872	2.066	806	28,06 %

Durante febrero y marzo de 2007 el objetivo del TGs ha sido continuar con la resolución de comentarios y la mejora del documento borrador D1.0, con esto se espera que la versión final del IEEE 802.11s esté lista para la primera mitad de 2008 [4].

## A.2 Propuesta WI-Mesh.

La "Wi-Mesh Alliance" (WIMA), cuyos miembros son Nortel, Philips, ComNets, InterDigital, NextHop, Extreme Networks, Laboratorio de Investigación de la Marina Estadounidense, Swisscom Innovations y Thomson, ofreció un propuesta que permitía a usuarios de tecnología inalámbrica comunicaciones *seamless*, esto es, independencia de las aplicaciones de los procesos de cobertura de radio. La arquitectura de esta propuesta se muestra en la figura A-1[3].



**Figura A- 1. Arquitectura de capas original de la propuesta Wi-Mesh**

Sus principales características son:

- **Soporte de configuraciones de un solo radio y múltiples radios.**

Ambas configuraciones deben proveer un uso eficiente de los canales, especialmente en dominios regulatorios limitados. Así se optimiza en todo momento la ocupación de los recursos RF.

- **Auto-configurable y fácil de operar.**

Para desplegarse como solución *stand-alone* o en combinación con una red de infraestructura, mitigando la interferencia y gestionando la RF de maneras robustas.

- **Ha de ser flexible y segura.**

Mediante el uso de conceptos propios de IEEE 802.11i como la autenticación y la gestión de claves, debe distribuir estas y la información de enrutamiento de manera segura, soportando modelos centralizados o distribuidos.

- **Soporte de enrutamiento dinámico.**

El enrutamiento ha de ser consciente de las distintas prioridades en términos de QoS, radio y eficiencia de consumo, con configuración automática de rutas en la capa MAC para la transmisión de información *unicast*, *multicast* y *broadcast*, así como distribución y transporte de datos *unicast* en BSS y WLAN en malla.

- **Soporte de múltiples algoritmos de enrutamiento**

Se debe permitir la existencia de diferentes algoritmos de reenvío basados en direcciones MAC, con sencillos mensajes de asociación y descubrimiento.

### **A.3 PROPUESTA SEEmesh.**

Otro consorcio, "SEEmesh" (*Simple, Efficient and Extensible mesh*), estuvo compuesto por operadores y fabricantes tales como Firetide Networks, Nokia, Motorola, NTT DoCoMo y Texas Instruments. Su propuesta introdujo el concepto de Portales en malla (Mesh Portals), dispositivos que mejoran la interoperabilidad de las redes en malla permitiendo que equipos inalámbricos anteriores al IEEE 802.11s puedan ser reconocidos e incorporados a una red en malla [5].

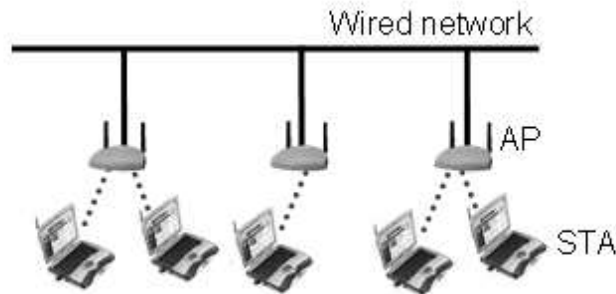
### **A.4 PROPUESTA CONJUNTA DE SEE-MESH Y WI-MESH PARA EL 802.11 TGs.**

#### **A.4.1 Arquitectura de una red WLAN en malla**

En muchas de las redes inalámbricas de área local (WLAN) que funcionan actualmente, existe una clara diferencia entre los dispositivos que conforman la infraestructura de la red y los dispositivos que son clientes los cuales simplemente usan la infraestructura de red para acceder a los recursos de la misma. Los dispositivos más comunes de una infraestructura de red WLAN son los APs, estos proporcionan un número de servicios tales como: soportan dispositivos de ahorro de potencia, servicios de autenticación y acceso a la red.

Los APs están directamente conectados a red cableada y simplemente brindan conectividad a los dispositivos cliente antes que conectarse entre ellos mismos. Los

dispositivos cliente, por otra parte, son implementados generalmente como simples estaciones 802.11 (STAs) las cuales deben estar asociadas a un AP tal que puedan acceder a la red. Los STAs dependen del AP con el cual ellos se asocian para comunicarse. Las antiguas WLAN funcionaban bajo el modelo mostrado en la Figura A-2 [6].



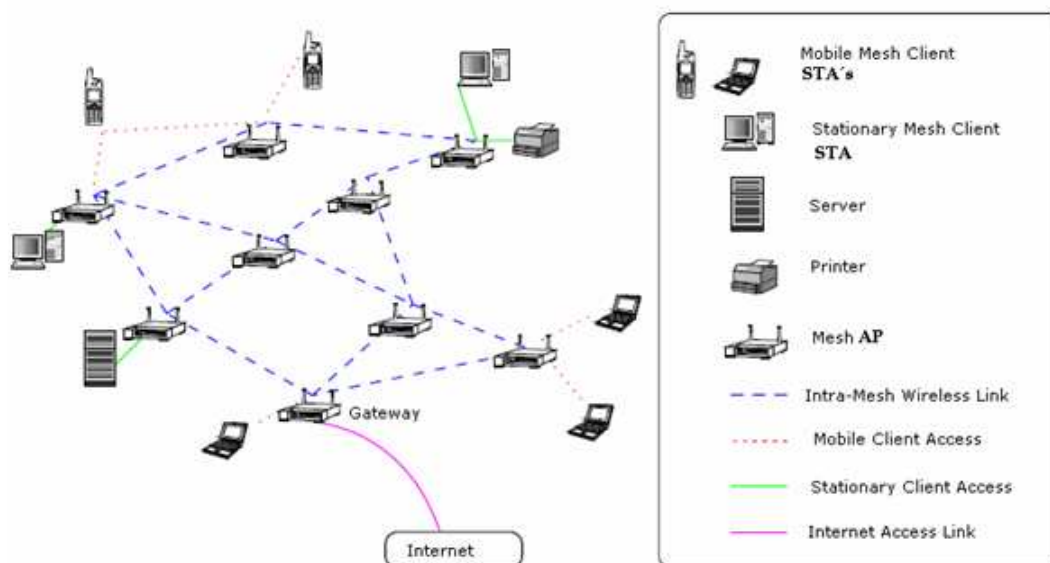
**Figura A-2. Modelo inicial para el despliegue de redes bajo el IEEE 802.11**

Esto no es razón para que muchos de los dispositivos empleados en las WLAN no puedan utilizar una conexión inalámbrica más flexible. De allí que los dispositivos que hacen parte de la infraestructura de una red dedicada deben tener la capacidad de permitir conexiones punto a punto (*peer to peer*) entre enlaces inalámbricos vecinos.

La arquitectura propuesta divide los nodos inalámbricos en dos clases principales: los nodos de la malla (MP) que son nodos capaces de soportar servicios de la malla y los nodos cliente (STA). Los nodos de la malla también están en capacidad de soportar servicios de AP (MAP) y pueden ser controlados o no controlados.

Los servicios de la malla pueden ser implementados como una interfaz MAC lógica que es independiente de la antigua interfaz MAC IEEE 802.11. De esta forma, un dispositivo puede funcionar como un punto de malla o funcionar como un punto de malla y una STA convencional.

Un ejemplo de una WLAN en malla se muestra en la Figura A-3. Cualquier dispositivo que soporte los servicios de la malla se denomina punto de malla (MP) el cual puede ser un dispositivo de infraestructura dedicado o un dispositivo de usuario que tiene la capacidad de participar en la formación y operación de la red en malla. Un tipo especial de punto de malla es el Punto de Acceso a la Malla (MAP) el cual proporciona servicios de AP además de los servicios de malla. En la Figura A-3 [7] se puede observar como una STA se asocia a un MAP para acceder a la red mallada, sin embargo, esta STA no participa de los servicios de la malla tales como la selección de la ruta y el reenvío de la información.



**Figura A-3. Esquema funcional de una red inalámbrica en malla**

Los puntos de la malla pueden operar en varios niveles de funcionalidad pues no necesitan hacer uso de todos los servicios de la malla. Por tal motivo, servicios como el enrutamiento pueden utilizarse parcialmente o simplemente no utilizarse. A continuación se describen los dos niveles de funcionalidad correspondientes a los MPs.

- **Operación liviana del punto de malla:** Esta es la mínima funcionalidad de un MP en el cual no se utiliza o se proporciona el sistema de distribución (*Distribution System, DS*) y los servicios de control de congestión, pero si se soportan y proporcionan todos los otros servicios de malla obligatorios para un MP que no es un MAP.

Con este tipo de operación los MPs pueden comunicarse únicamente con sus vecinos por lo cual su implementación es extremadamente liviana. Para adoptar esta funcionalidad los MPs pueden fijar sus archivos de enrutamiento en "null" con lo cual informarán a sus vecinos que no están disponibles para proporcionar los servicios de distribución. La opción de no utilizar el servicio de DS no exige alguna modificación en la especificación de los servicios de la malla.

- **Soporte de dispositivos de Conservación de energía en una malla WLAN:** La necesidad de conservación de energía (*Power Save, PS*) en un ambiente de malla depende específicamente del escenario de operación. En ciertos escenarios en donde los MPs son MAPs o solo se lleva el trafico de *backbone*, no puede esperarse que los dispositivos tengan una potencia limitada, por el contrario, se espera que los MAPs estén despiertos todo el tiempo. Sin embargo, en escenarios con MPs que tengan una operación liviana y no retransmitan la información, la conservación de energía puede ser ventajosa.

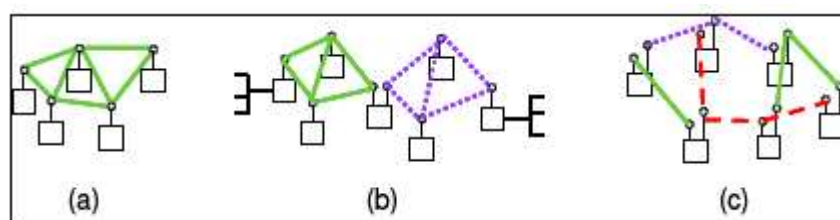
En caso de que un vecino de un MP no soporte la funcionalidad de conservación de energía, el MP que si la soporta puede tomar dos decisiones; puede escoger no comunicarse con el vecino en particular y seguir con su operación de conservación de energía o puede escoger no utilizar el mecanismo y continuar la comunicación con su vecino.

En algunos escenarios los dispositivos también pueden escoger operar en el modo STA y utilizar el servicio de conservación de energía antiguo, que se proporciona a través de otro AP. Tal escenario es particularmente atractivo en el caso en el que el soporte de conservación de energía no está disponible para los puntos de malla pero un MAP está disponible en la vecindad.

- **Operación multicanal de una WLAN en malla**

Una malla WLAN puede operar solo en un canal de una manera sencilla, pero si se desea operar en múltiples canales los dispositivos necesitan tener múltiples radios o capacidades para la conmutación de canales, con lo cual es posible ajustar cada interfaz de radio a un canal diferente o cambiarse dinámicamente a otro canal disponible por un corto periodo de tiempo. A continuación se da una descripción de la operación multicanal de las redes en malla.

- **Interfaces de canales RF y graficas de canales unificados:** La topología de una red en malla WLAN puede incluir puntos de malla con una o más interfaces de radio y puede utilizar uno o más canales para realizar la comunicación entre MPs. Cuando un MP no tiene soporte para la conmutación de canales, cada interfaz de radio del MP opera en un canal al tiempo, pero los canales pueden cambiar durante el periodo de vida de la red en malla de acuerdo a la Selección Dinámica de Frecuencia (*Dynamic Frequency Selection, DFS*). De igual manera, el esquema de selección del canal que se utiliza en una red en malla WLAN también puede variar de acuerdo a las diferentes topologías y requisitos de la aplicación. La Figura A-4 [6] ilustra tres ejemplos de esquemas de asignación de canales en los MP. La Figura A-4a muestra un caso de despliegue simple con MPs de una sola interfaz que utilizan un canal único a lo largo de la red en malla. Las Figuras A-4b y A-4c muestran dos esquemas avanzados de asignación de canales en los cuales uno o más MPs tienen una o más interfaces de radio y se utiliza más de un canal a lo largo de la red en malla. En este sentido, la propuesta define un protocolo que le permite a varios MPs con radio interfaces unirse a un solo canal de comunicación, sin embargo, la propuesta presenta también la flexibilidad suficiente para permitir la implementación de muchos esquemas avanzados de asignación de canales convenientes para aplicaciones mas específicas.



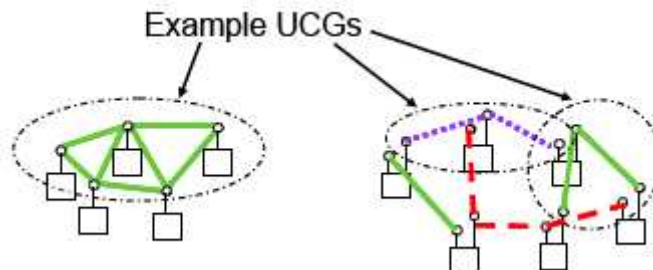
**Figura A- 4. Ejemplo de configuración de canales de una red WLAN en malla**

Puede notarse que en cada una de las topologías mostradas, dos o mas MPs con sus interfaces de radio se conectan a otras interfaces utilizando un canal común, eso se define como una Grafica de Canal Unificado (*Unified Channel Graph, UCG*) y es claro que un mismo dispositivo puede pertenecer a diferentes UCGs.

Como se observa en la Figura A-5 [6], una red en malla con un único canal tiene un solo UCG, mientras topologías mas sofisticadas pueden incluir múltiples UCGs. Por su parte, esta propuesta proporciona un *Framework* para la conmutación coordinada del canal que se utiliza dentro de la UCG, cuando es necesario que el



canal este cambiando en la red en malla, debido por ejemplo, a los requerimientos de las normas de DFS. Cada UCG en la malla WLAN comparte un valor común de precedencia del canal que puede utilizarse para combinar o cambiar el canal en el *cluster*<sup>3</sup>.



**Figura A-5. Ejemplos de graficas de canales unificados en una WLAN en malla**

- **Framework de canal común:** El Framework de canal común (*Common Channel Framework, CCF*) permite la operación multicanal de dispositivos con una o múltiples interfaces de radio. La base de este *Framework*, es el canal común en una UCG. Para dispositivos antiguos (STAs y AP) y MPs que no tienen soporte para CCF, el canal común aparece como cualquier otro canal 802.11 y sus operaciones permanecen sin afectarse de ninguna manera.

Cuando un par de dispositivos o *clusters* utilizan el CCF seleccionan un canal diferente y cambian a este canal por un corto periodo de tiempo, después del cual retornan al canal común. Durante este tiempo, los dispositivos intercambian una o mas tramas de datos. La propia coordinación de canal se lleva a cabo en el canal común intercambiando tramas de control o tramas de gestión que llevan información sobre el canal destino. Gracias a esto, es posible lograr transmisiones simultáneas sobre múltiples canales lo que a su vez resulta en un incremento del desempeño.

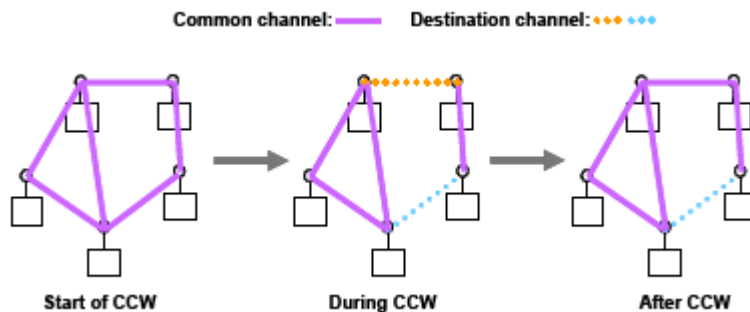
La capacidad de conmutar el canal dentro de un tiempo predefinido permite que un MP con una sola interfaz de radio pueda operar en ambientes multicanal sin necesidad de tener múltiples interfaces de radio. En la primera oportunidad, la conmutación del canal se restringe a aquellos canales que están generalmente inactivos. Los dispositivos que soportan el CCF para la operación multicanal, indican este uso en el campo denominado *multi-channel capability* presente en el Elemento de Información (*Information Element, IE*) de las capacidades de WLAN en malla. De esta manera, dos nodos que tienen soporte para la capacidad de multicanal pueden comunicarse a través del CCF.

Dentro del CCF, la operación multicanal para MPs con radio único se facilita definiendo una Ventana de Coordinación del canal (*Channel Coordination Window, CCW*) que se repite constantemente con un periodo de repetición P. Como se observa en la Figura A-6 [6], los MPs que puedan utilizar el CCF se sintonizaran a un canal común en el inicio de cada CCW, una vez situados en este canal un MP puede iniciar una transmisión enviando una trama de Solicitud de Cambio (*Request To Switch, RTX*) que contiene la información del canal de destino sobre el cual se establecerá la comunicación, el MP de destino por su parte, aceptara esta solicitud enviando una trama de Listo para Cambiar (*Clear To Switch, CTX*) que contiene el

<sup>3</sup> Conjunto de MPs que operan sobre un rango de cobertura común.



mismo canal de destino, y posteriormente se transmitirán las tramas de datos en el canal seleccionado durante la CCW. Después de la transmisión satisfactoria de los datos, los MP retornarán al canal común. Sin embargo, los MP pueden continuar intercambiando tramas RTX y CTX incluso después de la CCW e indicando el canal destino al cual deben saltar.



**Figura A-6. Operación multicanal de dispositivos con un solo radio mediante el CCF**

A partir de este procedimiento, los MPs pueden seleccionar diferentes canales de destino y llevar a cabo transmisiones simultáneas en estos canales durante la CCW y después de ella. Los parámetros P y CCW se distribuyen sobre el canal común utilizando el elemento de información de la capacidad de la malla presente en los *beacons*.

El CCF facilita la canalización entre el tráfico del BSS y el tráfico WDS en el cual un MAP puede cambiar al canal del BBS después de la CCW, permitiendo por consiguiente, que el MAP maneje el tráfico WDS así como el tráfico de la BBS. El *Framework* también facilita la canalización dentro del WDS para permitir, por ejemplo, la formación de *clústeres ad Hooch* que se cambian al canal convenido después del CCW.

- **Selección del canal común:** Cuando se selecciona el canal, hay varios aspectos que deben tenerse en cuenta:
  - Si múltiples dispositivos se activan simultáneamente, seleccionaran aleatoriamente los canales iniciales (mientras no todos ellos puedan verse con los otros al tiempo) lo cual genera una red desarticulada. Por esta razón, se requiere de un proceso que utilice el descubrimiento de los medios existentes para que los nodos puedan cambiar el canal de una manera controlada y la malla vuelva a unirse y quedar completamente conectada.
  - Con el objetivo de cumplir con los requisitos regulatorios impuestos en algunas bandas de frecuencia (por ejemplo, en la banda de 5 GHz) y para realizar la DFS evitando las posibles interferencias, se requiere que la malla se encuentre formada completamente. El proceso de DFS debe controlarse de manera global de tal manera que desde el punto de vista de la STA, su comportamiento este acorde con las especificaciones del estándar 802.11h, es decir, las STAs no deben requerir de un protocolo en particular.
  - En algunos tipos de redes, la elección del canal puede realizarse por un nodo administrador o un algoritmo avanzado de asignación de canal, esto permite utilizar una consola de dirección o una aplicación para especificar los canales o los rangos de canales.

Esta funcionalidad puede llevarse a cabo por medio de indicadores de precedencia del canal. En este proceso, un nodo no controlado selecciona un número aleatorio (su indicador de precedencia local) y lo incluye junto con *beacons* y mensajes de respuesta de prueba, mientras un nodo controlado selecciona un valor al azar o tiene uno especificado; los rangos de valores para los nodos no controlados y controlados no deben superponerse y en efecto, los nodos controlados siempre tienen valores más altos. Cada nodo mantiene el valor del indicador de precedencia más alto que se conoce en la red y todos los nodos identificarán el mismo valor. Este valor es el indicador de precedencia del canal e indica un valor de precedencia para la malla, el cual se emite en *beacons* por todos los puntos de la malla. Cuando dos o más redes desarticuladas (que comparten el mismo identificador de la malla) se descubren entre sí, la que tiene el valor de precedencia más bajo cambia de canal con el fin de unirse a la otra red.

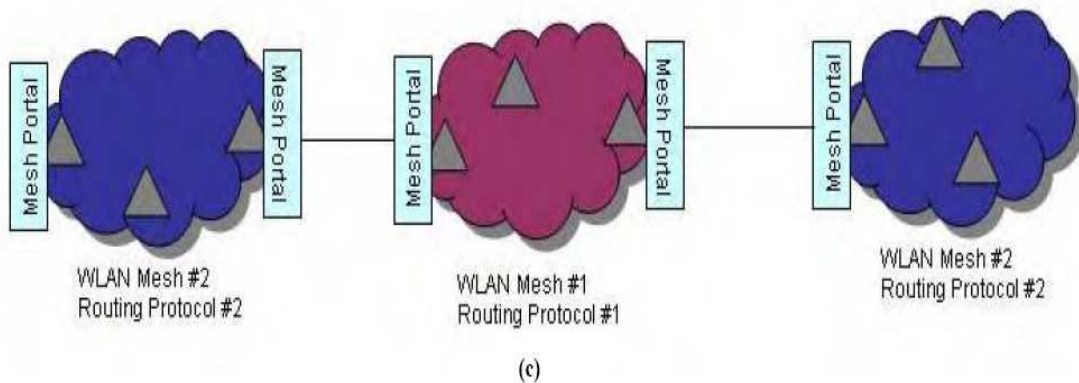
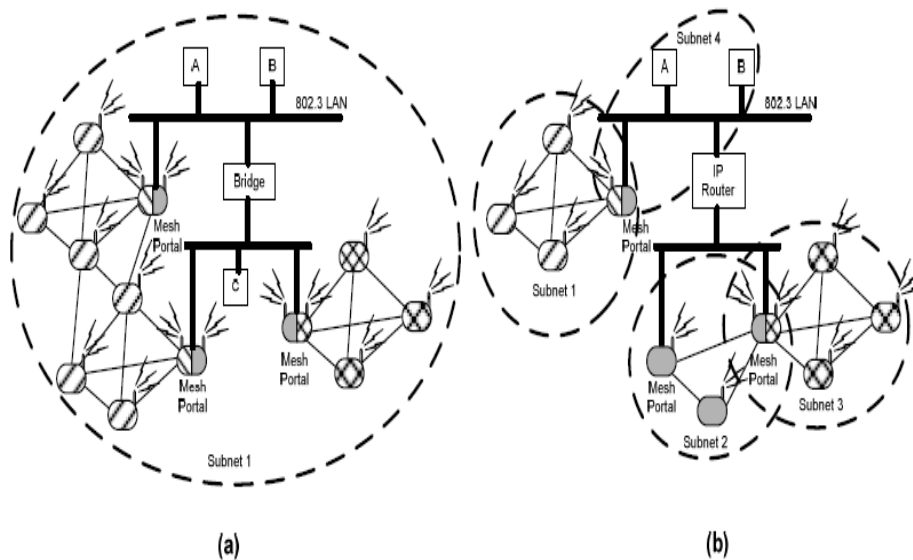
Este mecanismo básico se extiende para justificar el hecho de que es posible para los nodos tener más de una interfaz de radio, lo cual significa que un punto de la malla puede extenderse a más de un canal de comunicación. En este caso, cada interfaz de radio puede tener su propio espacio de indicador de precedencia del canal, es decir, un indicador de precedencia del canal diferente para cada canal. Estos factores se tienen en cuenta en la selección del canal y en la determinación del indicador de precedencia del canal.

#### **A.4.2 Interconexión de WLAN en malla con otros tipos de redes**

Una red WLAN en malla es una red de nivel 2 que funciona como una LAN IEEE 802 convencional, lo cual significa que otras redes y protocolos de alto nivel verán su funcionamiento de manera similar al de una transmisión *Ethernet*. Así, puede parecer como si todos los MPs y MAPs en la malla WLAN se conectaran directamente en el nivel de enlace. Los protocolos descritos en esta propuesta ocultan los detalles de estas funcionalidades a los protocolos de alto nivel para proporcionar de manera transparente la entrega de datos *broadcast* y *unicast* multitránsito en el nivel 2 dentro de la malla.

- **Interconexión general:** Para que una red WLAN en malla pueda comportarse como una LAN 802.11 tradicional debe poder interconectarse con otras redes utilizando el nivel 2 como puente y el nivel 3 para la interconexión. La Figura A-7 (a) [6] muestra un ejemplo de red en el cual dos redes en malla se conectan a través de segmentos LAN 802.3. En este ejemplo, cada punto de malla se coloca junto con un nuevo elemento denominado Punto de Malla con Portal (*Mesh Point Portal*, MPP) que se encarga de interconectar la malla a otra LAN utilizando los protocolos estándar de interconexión como por ejemplo, 802.11D. Esta configuración crea efectivamente una subred LAN lógica de nivel 2 que contiene ambas redes y dos segmentos LAN 802.3. Por su parte, la Figura A-7(b) muestra un ejemplo de red en la cual dos redes en malla se interconectan con dos segmentos LAN 802.3 utilizando enrutamiento a nivel 3 (por ejemplo IP). En este ejemplo, los MPPs realizan la función de puentes enrutadores IP y la red se forma como la interconexión de múltiples subredes LAN. Por lo tanto puede observarse que un MPP puede funcionar en el nivel 2 como un puente de interconexión o en el nivel 3 como un enrutador de frontera.

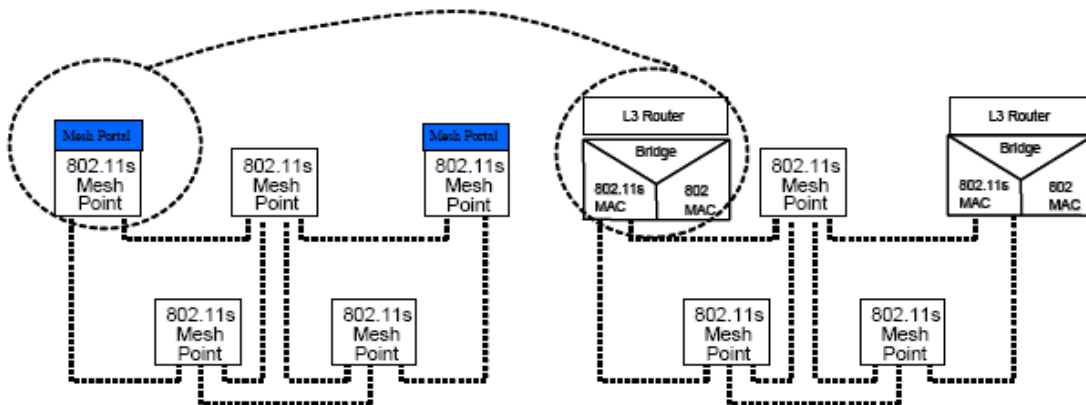
Finalmente, a partir de la Figura A-7(c) se deduce que una o más redes 802.11s pueden interconectarse entre sí a través de estos portales, lo cual puede ser útil cuando diferentes mallas están trabajando con diferentes protocolos de enrutamiento o se configuran de manera diferente.



**Figura A-7. Interconexión de una WLAN en malla con otras LAN. (a) Puente de nivel 2. (b) Interconexión de nivel 3. (c) Interconexión de mallas 802.11s a través de MPPs**

- **Modelo de referencia para la interconexión de WLAN en malla**

Como se muestra en la Figura A-8 [6], la entidad MAC 802.11s aparece como un solo puerto a un repetidor 802.1D o a un enrutador de nivel 3. Los portales de la malla 802.11s exponen el comportamiento de la malla al estilo de un segmento LAN 802 y por lo tanto, la malla se muestra como un solo segmento LAN de emisión para el puente repetidor 802.1D y los niveles más altos.



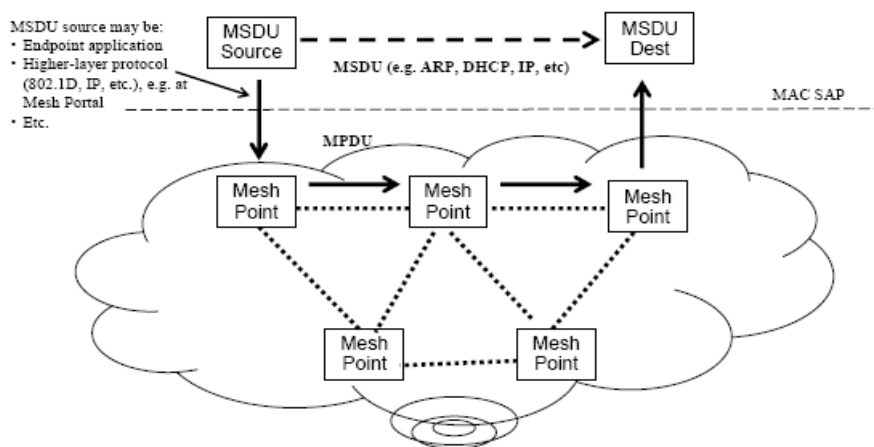
**Figura A-8. Modelo de referencia para la interconexión de una red WLAN en malla**

A partir de este modelo de interconexión un usuario puede construir redes que incluyan tanto mallas WLAN como otras redes de nivel 2, pues cada MPP puede participar en un protocolo de expansión de árbol (*Spanning Tree Protocol, STP*) y mantener una tabla de los nodos para determinar a través de cual puerto de cada nodo en la red lógica puede alcanzarse.

Si se desea transmitir mensajes *unicast* es necesario como primera medida determinar si el nodo de destino esta dentro o fuera de la malla. Si el destino esta dentro de la malla, el nodo de la malla seleccionara una ruta en la malla para su conexión; pero si esta fuera de la malla, el paquete se transmitirá a todos los puntos de la malla con portal (MPP) hasta que se identifique el MPP que contiene el nodo destino, al cual se le entregaran finalmente los paquetes a través de mensajes *unicast*.

- **Transporte de datos MAC sobre la WLAN mallada**

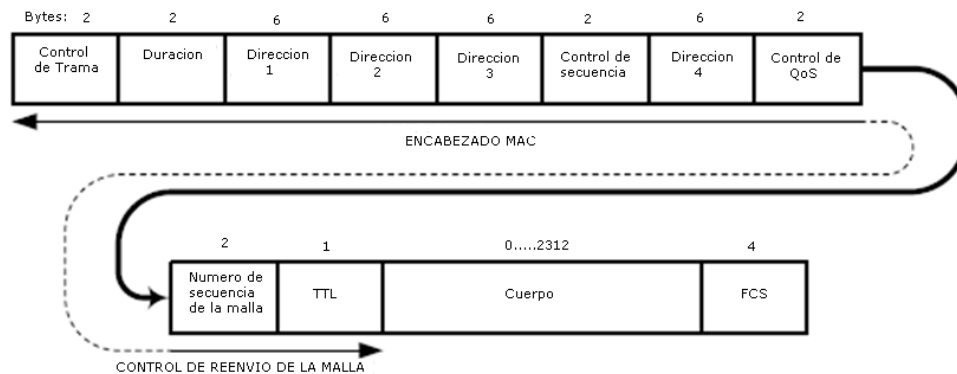
Como se observa en la Figura A-9 [6], la red WLAN en malla es transparente para los protocolos de alto nivel debido a que el comportamiento interno del nivel 2 de la malla se esconde a los protocolos de alto nivel dentro de del Punto de Acceso al Servicio (*Service Access Point, SAP*) del MAC.



**Figura A- 9. Transporte de datos MAC sobre la red WLAN en malla**

### A.4.3 Formato de tramas MAC

**A.4.3.1 Tramas de Datos de la Malla:** Las tramas de datos que se transmiten desde un Punto de la Malla (*Mesh Point, MP*) a otro utilizan como base el formato de tramas de 4 direcciones definido por el estándar 802.11-1999, pero extienden este formato con un campo de Encabezado de QoS que sigue el método de Acceso de Canal Distribuido Mejorado (*Enhanced Distributed Channel Access, EDCA*) definido en el estándar 802.11e y un nuevo campo de Encabezado de Control de reenvío de la malla. Por lo cual, el nuevo formato de trama se compone como lo indica la figura A-10 [7].



**Figura A-10. Formato de trama MAC de la malla**

### A.4.3.2 Campo de control de trama

El estándar IEEE 802.11 – 1999 define dentro de su formato de trama, un campo de control de trama que permite identificar entre otras cosas, la función de la trama por medio de los subcampos tipo y subtipo; en el estándar 802.11 se detalla que hay tres subtipos de tramas: de control, de datos y de gestión, y estas tramas contienen varios subtipos. Por otra parte el estándar 802.11-1999 contiene una tabla con las combinaciones validas de tipos y subtipos y en cuya Tabla A-2 [6] se deben adicionar las siguientes filas definidas para el trabajo de las redes en malla según el estándar 802.11s.

**Tabla A-2. Combinaciones validas de tipos y subtipos**

Valor del Tipo b3 b2	Descripción del Tipo	Valor del Subtipo b7 b6 b5 b4	Descripción del Subtipo
01	control	0000-0101	Reservado
01	control	0110	RTX
01	control	0111	CTX
11	control	0000	Datos de la malla
11	control	0001	Datos de la malla + CF-Ack
11	control	0010-1111	Reservado

### A.4.3.3 Campo de control de reenvío en la malla

Este campo esta formado por 24 bits el cual incluye un campo de tiempo de vida (*Time To Live, TTL*) utilizado en el reenvío multitrayecto para eliminar la posibilidad de bucles infinitos y un número de secuencia de la malla extremo a extremo utilizado en el control de inundaciones *broadcast* y otros servicios. El campo de control de la malla se muestra en la Figura A-11[6].

23	8 7	0
Numero de secuencia de malla extremo a extremo	Tiempo de vida (TTL)	

**Figura A-11. Campo de control de reenvío en la malla**

- **Subcampo de tiempo de vida de la malla**

El campo TTL de la malla tiene una longitud de 8 bits y se utiliza para eliminar la posibilidad de ciclos infinitos dentro de la WLAN en malla.

- **Subcampo de numero de secuencia de la malla extremo a extremo**

El campo de número de secuencia de la malla extremo a extremo tiene una longitud de 16 bits y se utiliza para el control de inundaciones *broadcast* y la entrega ordenada de mensajes en la red WLAN en malla.

En las tramas de datos *unicast* este número de secuencia se utiliza para identificar la trama desde un punto de malla dado. En este caso, el campo se fija por el punto de malla fuente, se almacena sin ninguna alteración por los MP repetidores intermedios y se utiliza por el MP de destino para eliminar las tramas duplicadas o detectar las tramas que se encuentran fuera de orden.

#### A.4.4 Tramas de Gestión de la Malla

Los MPs vecinos deben soportar el intercambio de tramas de gestión 802.11 entre sí. El encabezado de la trama de gestión soporta dos campos de dirección denominados Dirección de Destino (*Destination Address, DA*) y Dirección Fuente (*Source Address, SA*) cuyos valores en una topología en malla son los siguientes:

- Campo DA: Dirección MAC del MP receptor (con respecto a la transmisión a un salto)
- Campo SA: Dirección MAC del MP transmisor (con respecto a la transmisión a un Salto)
- Campo de Identificador del BSS (*BSS Identifier, BSSID*): Este campo no se utiliza por las tramas de gestión transmitidas entre los MPs.

El formato de la trama de gestión se muestra en la Figura A-12 [6]

Bytes:2	2	6	6	6	2	0-2312	4
Control de Trama	Duración	DA	SA	BSSID	Control de Secuencia	Cuerpo de la Trama	FCS
<b>Encabezado MAC</b>							

**Figura A-12. Formato de la trama de gestión**

#### A.4.4.1 Tipos de trama de gestión específicos

- **Formato de la trama de señalización (*beacon*)**

El campo de cuerpo de trama mostrado en la Figura A-12 [6] puede ser de tipo *beacon* de acuerdo a lo especificado en la tabla de combinaciones validas de tipos y subtipos del estándar IEEE 802.11 – 1999. Si se opera en el modo de malla la información contenida en este campo debe modificarse con respecto a la especificada en la Tabla 5 del estándar con la información presentada en la Tabla A-3 [6]:

**Tabla A-3. Modificación al cuerpo de la trama de tipo *Beacon***

Orden	Información	Notas
4	Identificador del Set de Servicios (SSID)	Cuando la etiqueta <i>dot11WLANMeshService</i> se fija en <i>true</i> pero la interfaz en la cual se envía un <i>beacon</i> no esta configurada como un AP , el SSID se fijara al valor de la tarjeta. [Nota: Generalmente , el SSID es un elemento de información requerido en las tramas <i>beacon</i> . Para prevenir que estaciones ( <i>station</i> ,STA) antiguas envíen solicitudes de asociación a MPs que no sean APs (MAPs), no se debe incluir un SSID valido en los <i>beacons</i> enviados por los MP que no son AP. Para prevenir problemas de compatibilidad con equipos antiguos en lugar de remover el SSID los <i>beacons</i> MP (que nos son MAP) se utiliza en valor de la tarjeta.

Además es necesario agregar a esta misma tabla (Tabla 5 estándar IEEE 802.11 – 1999 [4]) la información de la Tabla A-4 [6]:

**Tabla A-4. Adiciones al cuerpo de la trama de tipo *beacon***

Orden	Información	Notas
Por definir	Conjunto de parámetros OFDM	El conjunto de parámetros OFDM es un elemento de información que esta presente dentro de las tramas <i>beacon</i> generadas por las STAs
Por definir	Identificador de Malla ( <i>Mesh ID</i> )	El identificador de malla esta presente dentro de las tramas <i>beacon</i> solo cuando el parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fija en <i>true</i>
Por definir	Capacidad de la malla WLAN	Este elemento de información esta presente dentro de las tramas <i>beacon</i> solo cuando el parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fija en <i>true</i>
Por definir	Lista de vecinos	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas <i>beacon</i> de Mensajes de Indicación de la Entrega de Tráfico ( <i>Delivery Traffic Indication Message</i> , DTIM) cuando el Parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fije en <i>true</i> y el MP soporte el mecanismo de conservación de energía.
Por definir	DTIM	El elemento de información DTIM estará presente en las tramas <i>beacon</i> generadas cuando el parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fije en <i>true</i> y el MP soporte el mecanismo de conservación de energía.
Por definir	Accesibilidad del Punto de Malla con Portal ( <i>Mesh Point Portal</i> , MPP)	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas <i>beacon</i> sólo cuando el parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fije en <i>true</i> .
Por definir	Medición del tiempo de <i>beacon</i>	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas <i>beacon</i> sólo cuando el



		parámetro <code>dot11WLANMeshService</code> se fije en <i>true</i> .
Por definir	Aviso de MDAOP	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas <i>beacon</i> sólo cuando el parámetro <code>dot11WLANMeshService</code> se fije en <i>true</i> .
Por definir	MDAOP Teardown	Set Este elemento de información estará presente dentro de las tramas <i>beacon</i> sólo cuando el parámetro <code>dot11WLANMeshService</code> se fije en <i>true</i> .

- **Formato trama de solicitud de asociación**

Para el manejo de la red en malla, es necesario adicionar la información consignada en la Tabla A-5 [6], a la sección "7.2.3.4 Asociación Request Frame Format" en la tabla 7 del estándar IEEE 802.11-1999.

**Tabla A-5. Adiciones al cuerpo de la trama de solicitud de asociación.**

Orden	Información	Notas
Por definir	Mesh ID	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de solicitud de asociación sólo cuando el parámetro <code>dot11WLANMeshService</code> se fije en <i>true</i> .
Por definir	Capacidad de la malla WLAN	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de solicitud de asociación sólo cuando el parámetro <code>dot11WLANMeshService</code> se fije en <i>true</i> .
Por definir	Anuncio del perfil activo	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de solicitud de asociación sólo cuando el parámetro <code>dot11WLANMeshService</code> se fije en <i>true</i> .
Por definir	Solicitud de un par de MP	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de solicitud de asociación sólo cuando el parámetro <code>dot11WLANMeshService</code> se fije en <i>true</i> .

- **Formato de trama de respuesta de asociación**

Para el manejo de la red en malla, es necesario adicionar información consignada en la Tabla A-6 [6], a la sección "7.2.3.5 Asociación Response Format" en la tabla 8 del estándar IEEE 802.11-1999.

**Tabla A-6. Adiciones al cuerpo de la trama de respuesta de asociación**

Orden	Información	Notas
Por definir	Mesh ID	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de respuesta de asociación sólo cuando el parámetro <code>dot11WLANMeshService</code> se fije en <i>true</i> .

Por definir	Capacidad de la malla WLAN	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de respuesta de asociación sólo cuando el parámetro <code>dot11WLANMeshService</code> se fije en <i>true</i> .
Por definir	Anuncio del perfil activo	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de respuesta de asociación sólo cuando el parámetro <code>dot11WLANMeshService</code> se fije en <i>true</i> .
Por definir	Respuesta del par de MP	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de respuesta de asociación sólo cuando el parámetro <code>dot11WLANMeshService</code> se fije en <i>true</i> .

- **Formato de trama de solicitud de reasociación**

Para el manejo de la red en malla, es necesario adicionar la información consignada en la Tabla A-7 [6], a la sección "7.2.3.6 *Reassociation Request Format*" en la tabla 9 del estándar IEEE 802.11-1999.

**Tabla A-7. Adiciones al cuerpo de la trama de solicitud de reasociación**

Orden	Información	Notas
Por definir	Mesh ID	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de solicitud de reasociación sólo cuando el parámetro <code>dot11WLANMeshService</code> se fije en <i>true</i> .
Por definir	Capacidad de la malla WLAN	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de solicitud de reasociación sólo cuando el parámetro <code>dot11WLANMeshService</code> se fije en <i>true</i> .
Por definir	Anuncio del perfil activo	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de solicitud de reasociación sólo cuando el parámetro <code>dot11WLANMeshService</code> se fije en <i>true</i> .
Por definir	Solicitud de un par de MP	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de solicitud de reasociación sólo cuando el parámetro <code>dot11WLANMeshService</code> se fije en <i>true</i> .

- **Formato de trama de respuesta de reasociación**

Para el manejo de la red en malla, es necesario adicionar la información consignada en la Tabla A-8 [6], a la sección "7.2.3.7 *Reassociation Response Frame Format*" en la tabla 10 del estándar IEEE 802.11 – 1999.

**Tabla A-8. Adiciones al cuerpo de la trama de respuesta de reasociación**

Orden	Información	Notas
Por definir	Mesh ID	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de respuesta de reasociación sólo cuando el parámetro dot11WLANMeshService se fije en <i>true</i> .
Por definir	Capacidad de la malla WLAN	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de respuesta de reasociación sólo cuando el parámetro dot11WLANMeshService se fije en <i>true</i> .
Por definir	Anuncio del perfil activo	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de respuesta de reasociación sólo cuando el parámetro dot11WLANMeshService se fije en <i>true</i> .
Por definir	Respuesta del par de MP	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de respuesta de reasociación sólo cuando el parámetro dot11WLANMeshService se fije en <i>true</i> .

- **Formato de trama de solicitud de prueba**

Para el manejo de la red en malla, es necesario adicionar la información consignada en la Tabla A-9[6], a la sección "7.2.3.8 Probe Request Frame Format" en la tabla 11 del estándar IEEE 802.11 – 1999.

**Tabla A-9. Adiciones al cuerpo de la trama de solicitud de prueba**

Orden	Información	Notas
Por definir	Mesh ID	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de solicitud de prueba sólo cuando el parámetro dot11WLANMeshService se fije en <i>true</i> .
Por definir	Capacidad de la malla WLAN	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de solicitud de prueba sólo cuando el parámetro dot11WLANMeshService se fije en <i>true</i> .

- **Formato de la trama de respuesta de prueba**

Para el manejo de la red en malla, es necesario adicionar la información consignada en la Tabla A-10[6], a la sección "7.2.3.8 Probe Response Frame Format" en la tabla 12 del estándar IEEE 802.11 – 1999

**Tabla A-10. Adiciones al cuerpo de la trama de respuesta de prueba**

Orden	Información	Notas
Por definir	Conjunto de parámetros OFDM	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de respuesta de prueba generadas por las STAs
Por definir	Identificador de Malla ( <i>Mesh ID</i> )	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de respuesta de prueba sólo cuando el parámetro dot11WLANMeshService se fije en <i>true</i> .
Por definir	Capacidad de la malla WLAN	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de respuesta de prueba sólo cuando el parámetro dot11WLANMeshService se fije en <i>true</i> .
Por definir	Accesibilidad del Punto de Malla con Portal ( <i>Mesh Point Portal, MPP</i> )	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de respuesta de prueba sólo cuando el parámetro dot11WLANMeshService se fije en <i>true</i> .
Por definir	Medición del tiempo de <i>beacon</i>	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de respuesta de prueba sólo cuando el parámetro dot11WLANMeshService se fije en <i>true</i> .
Por definir	DTIM	Este elemento de información sólo estará presente en pruebas generadas cuando el parámetro dot11WLANMeshService se fije en <i>true</i> y el MP soporte el mecanismo de conservación de energía.

#### A.4.4.2 Componentes de cuerpo de la trama de gestión

- **Campo de acción**

Para el manejo de la red en malla, es necesario adicionar el ítem de gestión de la malla en la tabla 12 del estándar IEEE 802.11 – 1999, tal como se muestra en la Tabla A-11[6].

**Tabla A-11. Valores de categoría de la trama de acción**

Nombre	Valor	Sección (Estándar IEEE 802.11-1999)
Gestión del espectro	0	7.4.1
Reservado	1-3	-
Gestión del radio	4	7.4.2
Gestión de la malla	5	-
Reservado	6-127	-
Error	128-255	-

#### A.4.4.2 Elementos de información

El cuerpo de la trama de gestión esta compuesto por elementos de información definidos para cada subtipo de trama de gestión. Para el tratamiento de la malla se han definido los siguientes elementos de información.

- **Elemento de capacidad de WLAN en malla**

Este elemento se utiliza para publicar los servicios de la WLAN en malla. Este se encuentra en los *beacons* transmitidos por los MPs y en los mensajes de respuestas de prueba. Su formato puede observarse en la Figura A-13 [6].

Bytes: 1	1	1	4	4	2	1	1	2	4
ID	Longitud	Versión	ID del protocolo activo	ID de la métrica activa	Capacidad de par	Capacidad de almacenamiento de energía	Capacidad de sincronización	Capacidad MDA	Precedencia del canal

**Figura A-13. Elemento de capacidad de una WLAN en malla.**

**Tabla A-12. Campos del elemento de capacidad de una WLAN en malla**

Campo	Valor/Descripción
ID	Por definir
Longitud	Variable
Ver	1
ID del protocolo activo	Protocolo de selección de ruta en uso
ID de la métrica activa	Métrica de selección de ruta en uso
Capacidad par	Valor de capacidad par
Capacidad de almacenamiento de energía	Soporte para operación de almacenamiento de energía
Capacidad de sincronización	Soporte para sincronización de servicios y estado normal de sincronización
Capacidad MDA	Soporte para servicios MDA y estado normal
Precedencia del canal	Valor de precedencia del canal

Los MPs pueden soportar uno o más protocolos de selección de rutas y métricas de trayectos, sin embargo, solo uno de los protocolos de selección de rutas y una métrica de trayectos pueden estar activos al tiempo en cualquier punto de una red en malla. El elemento de capacidad de la malla WLAN indica cual es el protocolo y métrica utilizados en el momento a través de los subcampos *ID del protocolo activo* e *ID de la métrica activa*, respectivamente. La especificación implementa el protocolo híbrido de la malla inalámbrica y el protocolo OLSR con conciencia de las condiciones del radio (*Radio Aware OLSR*); el primer protocolo se utiliza por defecto en esta especificación mientras que en el segundo es un protocolo opcional. Además permite que el proveedor defina su propio protocolo.

De la misma manera, la especificación implementa una métrica de selección de ruta denominado *Airtime* pero puede utilizar cualquier otra métrica especificada por el proveedor.

El subcampo denominado *capacidad de almacenamiento de energía*, Figura A-14, informa si el MP soporta la capacidad de conservación de energía y si en el momento se encuentra en ese estado esta activo, además informa si un MP con esta capacidad exige que los otros MPs que quieran asociarse a el soporten también la operación de conservación de energía.

7	6	5	4-0
Soporte para conservación de poder	Requires power save support from peer	Current Power save state	reserved

**Figura A-14. Campo de capacidad de almacenamiento de energía**

El subcampo denominado *Capacidad de sincronización*, Figura A-15, se utiliza para determinar si el MP soporta sincronización con los pares de MPs, además determina si un MP necesita que los pares que quieran comunicarse con el sincronicen primero.

Bits:0	1	2	3-7
Soporte de sincronización	Request synchronization from peer	Synchronizing with peer MP	Reservado

**Figura A-15. Campo de capacidad de sincronización**

El subcampo denominado *Capacidad de Acceso Determinístico de la Malla (Mesh Deterministic Access, MDA)*, Figura A-16, indica cuando un MP opera en un método de acceso opcional denominado MDA que permite a los MPs acceder al canal con un periodo de contención mas bajo que el normalmente establecido. Este método de acceso también puede conjugarse con el método de Acceso de Control Distribuido Mejorado (*Enhanced Distributed Control Access, EDCA*) definido por el estándar IEEE 802.11e.

Bits:0	1	2	3	4	5-7
MDA Capable	MDA Active	MDA Active Requested in Mesh	MDA Not Allowed in Mesh	MDA EDCA Mode Enabled	Reservado

**Figura A-16. Campo capacidad MDA**

- **Elemento de anuncio de perfil activo**

El elemento de anuncio de perfil activo es un nuevo elemento que se adiciona para notificar la configuración acerca del protocolo y la métrica utilizados para la selección de ruta. Este elemento se transmite en los mensajes de solicitud de asociación enviados por el MP que solicita la asociación. El formato del elemento de anuncio del perfil activo se muestra en la Figura 17 [6].

Bytes:1	1	1	1	1
ID	Longitud	Versión	ID del protocolo activo	ID de la métrica activa

**Figura A-17. Elemento de anuncio del perfil activo**

- **Elemento identificador de la malla (Mesh ID)**

El identificador de la malla se utiliza para anunciar la identificación de la red WLAN en malla. Cuando es necesario anunciar el *mesh ID* de la tarjeta en las tramas de gestión de solicitud de prueba, puede utilizarse un campo de información de longitud cero. El formato del elemento *mesh ID* se muestra en la Figura A-18 [6].

Bytes:1	1	0-32
ID del elemento	Longitud	ID de la malla

**Figura A-18. Formato del elemento mesh ID**

- **Elemento de anuncio de estado del enlace local**

Un elemento de anuncio de estado del enlace local se transmite por un MP a su MP vecino para indicar el estado del enlace entre ellos. El propósito de este mensaje es asegurarse que la calidad del enlace es simétrica para todos los enlaces de la malla. La Figura A-19 [6] muestra el formato de este elemento, en el cual se transmite la tasa de transmisión de bit ( $r$ ) y la Tasa de error de paquetes (*Packet Error Rate, PER*).

Bytes:1	1	2	2
ID del elemento	Longitud	$r$	<i>PER</i>

**Figura A-19. Elemento de anuncio del estado del enlace local en una WLAN en malla.**

El campo tasa,  $r$ , debe interpretarse como un campo de 16 bits entero, sin signo, con el byte menos significativo transmitido primero, que indica la tasa de bits en el aire actualmente en uso, en unidades de 1 Mbps.

El campo PER, indica una tasa estimada de paquetes erróneos de una trama de datos que contiene una carga útil (*payload*) de 1000 bytes transmitidos a la tasa de bits especificada en el campo  $r$ . Este campo debe interpretarse como una fracción binaria, sin signo, de 16 bits, con el byte menos significativo transmitido primero, tal que el valor de 0xFFFF corresponde a la fracción:

$$1 - \frac{1}{2^{16}}$$



- **Elementos de información del Protocolo Híbrido de Malla Inalámbrica (Hybrid Wireless Mesh Protocol, HWMP)**

- ✓ **Elementos de solicitud de ruta**

La Figura A-20 [6] muestra el formato del elemento de solicitud de ruta, mientras que la Tabla A-13[6] muestra los valores que incluye este elemento.

Bytes: 1	1	1	1	1	1	4	6	4
ID	Longitud	Banderas de modo	TTL	Contador de destino	Contador de saltos	RREQ ID	Dirección de destino	Número de secuencia de la fuente

4	4			6	4	.....	1	6	4	
Métrica	Banderas por destino			Dirección de destino #1	Número de secuencia de destino #1	.....	Banderas por destino		Dirección destino # N	Número de secuencia de destino # N
	DO #1	RF #1	Reservado				DO #N	RF #N		

**Figura A-20. Elemento de solicitud de ruta**

**Tabla A-13. Campos del elemento de solicitud de ruta**

Campo	Valor/Descripción
ID	TBD
Longitud	
Banderas de modo	BIT 0: 0 <i>Unicast</i> , 1 <i>Broadcast</i> Bit 1- 7: Reservados
TTL	Tiempo de vida: El número restante de veces que la solicitud puede enviarse.
Contador de destino	Número de parejas <destino, número de secuencia de destino> en el mensaje
Contador de saltos	Número de saltos desde la dirección MAC de la fuente hasta el nodo que maneja la solicitud
ID de solicitud de Ruta ( <i>Route Request, REQ</i> )	Dirección MAC del MP fuente
Dirección de destino	Número de secuencia actual a utilizarse en la entrada de la ruta que apunta hacia la fuente de la solicitud de ruta
Número de secuencia de la fuente	Enlaces desde la fuente hacia el nodo que maneja la solicitud. Cada uno de ellos corresponde a un valor de métrica infinito o a un valor de métrica que es tan grande como el rango del campo
Métrica	Suma acumulativa de los costos de la métrica de los enlaces desde la fuente hacia el nodo que maneja la solicitud. Cada uno de ellos corresponde a un valor de métrica

	infinito o a un valor de métrica que es tan grande como el rango del campo
Banderas por destino	<p>Bandera de Sólo Destino (<i>Destination Only</i>, DO): Si DO=0, los nodos intermedios con una ruta válida al correspondiente destino responderán al RREQ con un mensaje <i>unicast</i> de Respuesta de Ruta (<i>Route Reply</i>, RREP). Si DO=1, sólo el destino responderá al RREQ con un mensaje <i>unicast</i> RREP. El valor por defecto es 1.</p> <p>Bandera de Respuesta y Reenvío (<i>Reply-and-Forward</i>, RF): Controla el reenvío de RREQ a los nodos intermedios. Cuando DO=0 y el nodo intermedio tiene una ruta válida al destino correspondiente, el RREQ no se reenvía si RF=0 y se reenvía si RF=1. El valor por defecto es 1. Cuando DO=1, la bandera RF no tiene efecto</p>
Dirección de destino	Dirección MAC de destino para la cual se desea una ruta (Todo cero en el caso de que el bit 1 de las banderas de modo sea igual a 1)
Número de secuencia de destino	Último número de destino recibido en el pasado de la fuente de alguna ruta hacia el MP de destino. Un valor de 0 indica que la fuente no conoce el número de secuencia del destino.

✓ **Elemento de respuesta de ruta**

La Figura A-21 [6] ilustra el formato del elemento de respuesta de ruta, mientras que la Tabla A-14 [6] muestra los valores que puede contener este elemento.

Bytes: 1	1	1	1	6	4
ID	Longitud	Banderas de modo	Contador de la fuente	Dirección de destino	Número de secuencia del destino

Bytes: 1	1	1	1	6	4
ID	Longitud	Banderas de modo	Contador de la fuente	Dirección de destino	Número de secuencia del destino

**Figura A-21. Elemento de respuesta de ruta**

**Tabla A-14. Campos del elemento respuesta de ruta**

Campo	Valor/Descripción
ID	Por definir
Longitud	
Banderas de modo	Bit 1- 7: Reservados
Contador de fuente	Número de parejas <fuente, Número de secuencia de fuente> presentes en el mensaje
Dirección de destino	Dirección MAC de destino para la cual se desea una ruta
Número de secuencia de destino	Último número de secuencia recibido en el pasado

	desde la fuente de cualquier ruta hacia el destino. Un valor de 0 indica que la fuente no conoce el número de secuencia del destino
Tiempo de vida	Tiempo en milisegundos en el cual los nodos que reciben la RREP consideran la ruta válida
Métrica	Métrica acumulativa desde la dirección MAC de destino hacia el nodo que maneja la RREP
Dirección de fuente	Dirección MAC del nodo que origina la RREQ para la cual se proporciona la ruta
Número de secuencia de la fuente	Número de secuencia actual a utilizarse en la entrada de la ruta que apunta hacia la fuente de solicitud de la ruta

✓ **Elemento de error de ruta**

La Figura A-22 [6] muestra el formato del elemento de error de ruta, mientras que la Tabla A-15 [6] muestra los valores que puede contener este elemento.

**Tabla A-15. Campos del elemento de error de ruta**

Bytes:	1	1	1 (o' 4)	6	4
ID	Longitud	Banderas de modo	Número de destino	Dirección de destino	Número de secuencia del MP de destino

Campo	Valor/Descripción
ID	Por definir
Longitud	
Banderas de modo	Bit 1- 7: Reservados
Dirección de destino	Dirección MAC del destino que se ha detectado como inalcanzable.
Número de secuencia de destino	Número de secuencia del MP de destino que se ha detectado como inalcanzable

**Figura A-22. Elemento de error de ruta**

✓ **Elemento de respuesta ACK de ruta**

La Figura A-23 [6] muestra el formato del elemento de error de ruta, mientras que la Tabla A-16 [6] muestra los valores que puede contener este elemento.

**Tabla A-16. Campos del elemento ACK de la ruta**

Octetos:1	1	6	14	6	4
ID	Longitud	Dirección de destino	Numero de secuencia del MP de destino	Dirección de la fuente	Numero de secuencia del MP fuente

Campo	Valor/Descripción
ID	Por definir
Longitud	12
Dirección de destino	Dirección MAC del destino para el cual se desea una ruta
Dirección de la fuente	Dirección MAC de nodo que origina la RREQ para la cual se ha proporcionado la ruta

**Figura A-23. Elemento de respuesta ACK de ruta**

- **Elemento de parámetros OFDM**

El parámetro OFDM es un nuevo elemento que se utiliza para anunciar la identificación actual del canal al MP vecino que trabaja con un nivel físico OFDM. Este elemento esta contenido en los *beacons* transmitidos por los MPs y en los mensajes de respuesta de prueba.

El elemento denominado conjunto de parámetros OFDM contiene información que permite identificar el número del canal para los MPs que utilizan un nivel físico OFDM.

- **Elemento de tasa de transmisión asignada**

Este nuevo elemento se utiliza por un MP en la trama de solicitud de control de flujo, para indicar a su vecino ubicado en un nivel superior, la tasa de datos asignada que los dos MPs deben mantener. Este elemento contiene 4 campos de tasa de datos, asignados a las cuatro categorías de acceso EDCA 802.11e y un contador de expiración. La longitud total de esta información es de 20 bytes, como puede observarse en la Figura A-24 [6].

Bytes:	1	4	4	4	4	2
ID	Longitud	Tasa de datos asignada (AC_BK)	Tasa de datos asignada (AC_BE)	Tasa de datos asignada (AC_VI)	Tasa de datos asignada (AC_VO)	Contador de Expiración

**Figura A-24. Formato de elemento de tasa de transmisión asignada**

La tasa de datos asignada para una categoría de acceso dada, indica la tasa de transmisión en bits por segundo desde el MP de nivel superior hasta el MP vecino de nivel inferior. El MP de nivel superior no debe exceder la tasa de datos asignada por que si lo hace puede ocasionar una congestión en el nodo de nivel inferior.

El contador de expiración indica el periodo válido de la información de tasas de datos asignadas en este elemento y se representan en unidades de tiempo.

- **Elemento de carga de tráfico propuesto**

Este nuevo elemento se utiliza por un MP en la trama de respuesta de control de flujo para indicar a sus vecinos ubicados en un nivel inferior la carga de tráfico presente entre ellos. Este elemento contiene cuatro campos

de carga de tráfico propuesto para las cuatro categorías de acceso tal como se muestra en la Figura A-25 [6].

Bytes: 1	1	4	4	4	4
ID	Longitud	Carga de tráfico propuesta (AC_BK)	Carga de tráfico propuesta (AC_BE)	Carga de tráfico propuesta (AC_VI)	Carga de tráfico propuesta (AC_VO)

**Figura A-25. Formato del elemento de carga de tráfico propuesto**

La carga de tráfico propuesto en una categoría dada indica la tasa de tráfico entrante, en bits por segundo, estimada o medida en la interfaz MAC. Esta información puede utilizarse por los nodos vecinos ubicados en el nivel inferior del MP para estimar de mejor manera la tasa de datos asignada.

- **Elemento de congestión del vecindario**

Este elemento se utiliza por el MP para indicar a sus vecinos su nivel de congestión. Como puede observarse en la Figura A-26 [6], cada elemento contiene un campo de nivel de congestión y un campo de contador de expiración.

Bytes: 1	1	1	2
ID	Longitud	Nivel de congestión	Contador de expiración

**Figura A-26. Formato del elemento de congestión del vecindario**

El nivel de congestión es un dato que aun se encuentra pendiente por definir, mientras que el contador de expiración indica el periodo valido de la información de congestión proporcionada en este elemento y se representa en unidades de tiempo.

- **Elemento de solicitud de un enlace con otro MP**

Este elemento se transmite por un MP a un vecino con el fin de solicitar la creación de un enlace entre ellos. Tal elemento tiene el formato que se muestra en la Figura A-27 [6] en el cual existe un campo de direccionalidad que contiene un número aleatorio escogido por la fuente para prevenir que dos MPs establezcan la solicitud de enlace al mismo tiempo.

Bytes: 1	1	2
ID	Longitud	Direccionalidad

**Figura A-27. Formato de elemento de solicitud de enlace con otro MP**

- **Elemento de de respuesta de enlace con otro MP**

Este elemento se transmite por un MP a su vecino en respuesta de su solicitud de enlace. El formato de dicho elemento se indica en la Figura A-28 [6]

Bytes: 1	1	1
ID	Longitud	Estado

**Figura A-28. Formato del elemento de respuesta de enlace con otro MP**

El código de estado tiene un valor que indica si la solicitud fue aceptada o denegada.

- **Elemento de accesibilidad del MPP**

Este elemento se utiliza para anunciar la identificación de uno o más MPPs con los cuales puede comunicarse el MP. Dicho elemento se incluye en los *beacons* y tramas de respuestas de prueba y contiene el formato ilustrado en la Figura A-29 [6] en el cual se detalla el número de MPPs, conectados y la lista de descripciones de los MPPs que son alcanzables por el MP, constituida por la dirección MAC de cada MPP y la métrica utilizada desde el MP hasta el MPP.

Bytes: 1	1	1	10*n
ID del elemento	Longitud	Número de MPPs	Descripción del MPP

**Figura A-29. Formato del elemento de accesibilidad del MPP**

- **Elemento de anuncio del MPP raíz**

Este elemento permite anunciar la presencia de nuevos MPPs en la red, en un determinado intervalo de tiempo. Cada vez que se emiten esos mensajes, los MPs pueden asociarse a un MPP para el reenvío de los paquetes y los portales actualizan sus rutas para asegurar que las tramas con direcciones desconocidas se transmitan sobre todos los enlaces presentes en la red.

- **Elemento de anuncio del cambio del cluster del canal**

Este elemento se utiliza por un MP en una malla WLAN para anunciar cuando se esta cambiando a un nuevo canal, informa de igual manera, el número del canal y el valor de precedencia del nuevo canal. El formato del elemento de anuncio del cambio del *cluster* del canal se muestra en la Figura A-30 [6].

Bytes: 1	1	1	1	4	1	6
ID	Longitud	Modo de Cambio del Canal	Nuevo Número del canal	Nuevo indicador de precedencia del canal	Contador de cambio del canal	Dirección de la fuente

**Figura A-30. Elemento de anuncio del cambio del *cluster* del canal**

En el formato mostrado, el campo de longitud se fijará en 1, mientras que el campo de Modo de cambio del canal indica cualquier restricción en la transmisión hasta que ocurra el cambio del canal, el MP fuente fija este campo en 1 durante la transmisión, si quiere informar al MP destino que no puede y transmitir las tramas futuras en el canal actual hasta que se cambie al canal programado. Si por el contrario, el MP fuente fija este campo en 0, no se impone restricción alguna en la STA receptora.

Los campos Nuevo número del canal y Nuevo indicador de precedencia del canal se fijaran con el número del canal e indicador de precedencia de canal, al cual se moverá el MP, respectivamente.

Por su parte, el campo de Contador de cambio del canal se fijara con el número de unidades de tiempo que transcurren hasta que el MP que esta enviando el anuncio de cambio del *cluster* del canal, cambia al nuevo canal. Un valor 0 indicara que el cambio ocurrirá en cualquier momento después que la trama que contiene el elemento sea transmitida.

Por ultimo el Campo de dirección de la fuente se fijara con la dirección del MP que origina la trama.

Este elemento se incluye en las tramas de anuncio de cambio del *cluster* del canal.

- **Elemento de lista de vecinos**

Este elemento se utiliza por un MP para publicar su lista de vecinos y el estado de conservación de energía de cada uno de ellos. El formato del elemento de la lista de vecinos se muestra en la Figura A-31 [6].

Bytes: 1	1	1	6	6	....	6	k
ID	Longitud	Control del MP	Dirección MAC del terminal 1	Dirección MAC del terminal 1	....	Dirección MAC del terminal N	Estados de conservación de energía ( <i>Power Save</i> , PS)

**Figura A-31. Elemento de lista de vecinos**

El campo de Estados de conservación de energía (*Power Save*, PS) indica el estado actual de cada uno de los vecinos presentes en la lista. Cada bit de este campo indica el estado del correspondiente miembro de la lista. Si un bit se fija en 0 significa que el correspondiente miembro de la lista esta en un estado "despierto", pero si se fija en 1 se encuentra en un estado de "conservación de energía"

- **Elemento DTIM**

El elemento de Mensajes de Indicación de Entrega de Tráfico (*Delivery Traffic Indication Message*, DTIM) se utiliza por un MP que actúa como emisor de *beacons*. Este elemento contiene información acerca del periodo DTIM de la malla y su formato se muestra en la Figura A-32 [6]

Bytes: 1	1	1	1
ID	Longitud	Contador de DTIM	Periodo DTIM

**Figura A-32. Elemento DTIM**

El campo de Contador de DTIM indica cuantos *beacons* (incluyendo la trama actual) aparecen antes del siguiente DTIM. Un valor 0 indica que el actual TIM es DTIM. Por su parte, el campo de periodo DTIM indica el número de



intervalos *beacons* entre los DTIMs sucesivos. Si todos los TIMS son DTIMs, el periodo DTIM tendrá un valor de 1.

Un MAP incluirá elementos TIM y DTIM . El periodo DTIM de estos elementos de información no tiene que ser idéntico ya que uno de ellos se utilizara por el servicio del AP y el otro por el servicio de la malla.

- **Elemento de medición de tiempo del *beacon***

Este elemento se utiliza por un MP que este sincronizándose para publicar un *offset* entre su propia Función de Sincronización de Tiempo (*Timing Synchronization Function, TFS*) y el TFS de la malla y también para publicar la información de la medición de tiempo del *beacon* de cero o más vecinos. El formato del elemento mencionado se muestra en la Figura A-33 [6]

Bytes : 1	1	4	1	1	3	1	3	...
ID	Longitud	Medición del <i>beacon</i> propio	Número de vecinos sincronizados reportados	Ultimo byte de la dirección MAC del terminal sincronizado #1	Medición del <i>beacon</i> del terminal sincronizado #1	Ultimo byte de la dirección MAC del terminal sincronizado #2	Medición del <i>beacon</i> del terminal sincronizado #2	...

1	3	1	5	..	1	5
Ultimo byte de la dirección AC del terminal sincronizado # n	Medición del <i>beacon</i> del terminal sincronizado # n	Ultimo byte de la dirección MAC del terminal no sincronizado # 1	Medición del <i>beacon</i> del terminal no sincronizado # 1	..	Ultimo byte de la dirección MAC del terminal no sincronizado # m	Medición del <i>beacon</i> del terminal sincronizado # m

**Figura A-33. Elemento de medición de tiempo de *beacon*.**

## A.5 Aspectos Generales del Estándar 802.11s

### A.5.1 Descubrimiento de la Topología y Formación de la Malla

Para la formación de la malla es necesario que los miembros de la red tengan la información suficiente acerca de si mismos y de las conexiones disponibles entre ellos. Este proceso requiere de la detección de los miembros por medio de *beacons* o de escaneo activo realizado a través de solicitudes de mensajes de prueba, seguido de un intercambio de información de enrutamiento que puede incluir la información del estado del enlace.

La formación de la malla es un proceso continuo que implica un monitoreo de los nodos vecinos y sus conexiones de manera que se detecte y reaccione a los cambios en el número de vecinos de la malla y en las conexiones entre ellos.

### A.5.2 Selección del Trayecto de la Malla y Reenvío

Este proceso involucra la selección de uno o múltiples trayectos y el reenvío de la trama de datos entre los MPs en el nivel de enlace, para el descubrimiento de los vecinos, la medida y mantenimiento del estado del enlace local y la identificación de

un protocolo de selección de trayecto activo. Aunque un dispositivo puede ser capaz de soportar varios métodos para determinar los trayectos en la malla, cada malla WLAN utiliza solo un método para determinar tales caminos.

### **A.5.3 Framework de Selección de Trayecto Extensible**

Esta propuesta especifica un framework extensible para permitir la implementación efectiva de protocolos y métricas de selección de trayectos dentro del estándar 802.11s. Con el fin de asegurar la interoperabilidad entre todos los proveedores, la propuesta especifica un protocolo y una métrica obligatoria para todas las implementaciones, de protocolos pero solo uno de ellos estará activo al tiempo sobre un enlace en particular. Por otro lado, diferentes mallas WLAN pueden tener diferentes protocolos de selección de trayecto activos pero una malla en particular solo tendrá uno activo al tiempo.

Por su parte un MP utiliza un elemento de información de capacidad de la malla para descubrir la métrica y el protocolo establecidos por una red en malla. Cabe notar que esta propuesta no obliga a una WLAN en malla que esté utilizando un protocolo diferente al especificado por defecto, a cambiar a un protocolo de menor utilización cuando un MP solicite la asociación.

### **A.5.4 Métricas de Selección de Trayecto**

La propuesta define una métrica de selección de trayecto por defecto para asegurar la interoperabilidad entre los fabricantes, pero permite que esta métrica se reemplace por cualquier otra métrica implementada por el fabricante.

La métrica utilizada por defecto, utiliza una función para el establecimiento de los trayectos basada en el costo del tiempo de emisión, el cual refleja la cantidad de recursos del canal consumidos en la transmisión de una trama en particular. Esta medida se aproxima y se diseña para facilidad en la implementación e interoperabilidad.

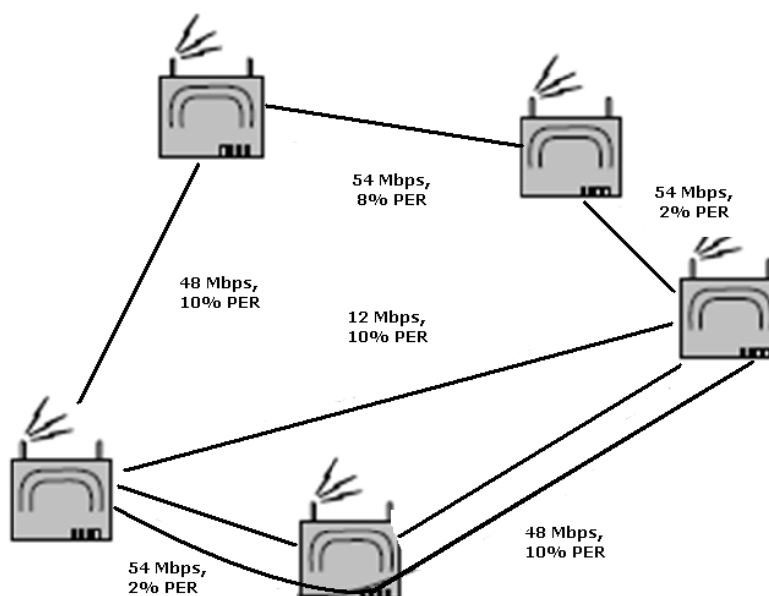
El costo de tiempo de emisión para cada enlace puede calcularse matemáticamente tal como lo muestra la ecuación A.1:

$$Ca = \left[ Oca + Op + \frac{Bt}{r} \right] \frac{1}{1 - \epsilon fr} \quad (A.1)$$

Donde  $Oca$ ,  $Op$  y  $Bt$  son constantes que se definen en la Tabla A-34 y los parámetros de entrada  $r$  y  $\epsilon fr$  es la probabilidad de que una trama con tamaño  $Bt$  que se transmite con la actual tasa de bits este dañada debido a errores en la transmisión. Los paquetes perdidos debido al sobrepaso TTL no se incluyen en esta estimación debido a que no se correlacionan con el comportamiento del enlace. En la Figura A-21 [8] se muestra un ejemplo de este procedimiento.

**Tabla A-18. Constantes del costo del tiempo de emisión**

Parámetro	Valor (802.11a)	Valor (802.11b)	Descripción
$O_{ca}$	75 $\mu$ s	335 $\mu$ s	Sobrecarga del canal de acceso
$O_p$	110 $\mu$ s	364 $\mu$ s	Sobrecarga del protocolo
$B_t$	8224	8224	Número de bits en la trama de prueba



**Figura A-21. Ejemplo de la Métrica de Selección de Enlace**

### A.5.5 Protocolos de Selección del Trayecto

El *framework* 802.11s implementa dos protocolos de selección del trayecto, un protocolo híbrido para malla inalámbrica (*HWMP*), del cual se habló en la sección 1.9.6 del capítulo uno, y un protocolo de selección de trayecto denominado Radio – Aware OLSR.

El protocolo de Enrutamiento del Estado del Enlace Optimizado para Radio-Aware (*Radio Aware Optimized Link State Routing*, RA-OLSR) es un *framework* de enrutamiento para redes inalámbricas en malla proactivo y extensible que está basado en el protocolo OLSR con un protocolo denominado *Fisheye State Routing* (FSR) y la utilización de métricas de radio para el cálculo del trayecto de reenvío. RA-OLSR permite descubrir y mantener la ruta más óptima basándose en una métrica predefinida en cada nodo. La información de la métrica de cada enlace se propaga por todos los nodos a través de un campo de métrica presente en todos los mensajes de control del protocolo RA-OLSR. Para reducir la sobrecarga producida por el control cuando se emite la información de la topología de la red, el protocolo RA-OLSR adopta los siguientes mecanismos:

- En procesos de inundación utiliza solo un subconjunto de nodos en la red, denominados retransmisores multipunto (*multipoint relays*, MPRS).
- Puede controlar y por lo tanto reducir la frecuencia del intercambio de mensajes basado en los alcances del protocolo FSR.

La especificación del actual protocolo RA-OLSR también incluye un protocolo para el descubrimiento de asociaciones que soporta las antiguas estaciones 802.11. De esta manera, los MAPs seleccionan las rutas a lo largo de los MAPs y MPs corriendo el protocolo RA-OLSR y complementan su información de enrutamiento con la información de las estaciones 802.11 asociadas a ellos.

## REFERENCIAS

- [1] IEEE 802.11s Task Group TGs. Disponible en: [http://www.ieee802.org/11/Reports/tgs\\_update.htm](http://www.ieee802.org/11/Reports/tgs_update.htm)
- [2] IEEE 802.11s Task Group TGs. "TGs produced a Draft D0.05 and D0.06 during this meeting. It then voted and the 802.11 working group agreed to renumber D0.06 as D1.0 and conduct a 30 day Working Group Letter Ballot on that D1.0". Disponible en: [http://www.ieee802.org/11/Reports/tgs\\_update.htm](http://www.ieee802.org/11/Reports/tgs_update.htm)
- [3] Alejandro Pascual Abascal, Miguel Angel Pérez Ruiz. "Diseño e implementación de una red Wi-Fi mesh en un entorno rural", Bilbao, Mayo de 2007. Disponible en: [http://www.ctmd.deusto.es/images/ProyectosFC/2007\\_Memoria\\_WiFi\\_Mesh\\_Campus.pdf](http://www.ctmd.deusto.es/images/ProyectosFC/2007_Memoria_WiFi_Mesh_Campus.pdf)
- [4] Victor Bahl, Microsoft Research 2006. "A crash course in mesh Networking". Disponible en: [www.ctmd.deusto.es/images/ProyectosFC/2007\\_Memoria\\_WiFi\\_Mesh\\_Campus.pdf](http://www.ctmd.deusto.es/images/ProyectosFC/2007_Memoria_WiFi_Mesh_Campus.pdf)
- [5] Networking Planet, July 2006. Disponible en: <http://www.enterprisenetworkingplanet.com/netsp/article.php/3522111>
- [6] IEEE TGs. "Joint SEE-Mesh/Wi-Mesh Proposal to 802.11 TGs". IEEE 2006. Disponible en: <http://www.802wirelessworld.com>
- [7] Barhr, Michael, "Proposed Routing for IEEE 802.11s WLAN Mesh Networks", Siemens Corporate Technology, Information & Communications. Disponible en: <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1071646>
- [8] IEEE TGs. "Joint SEE-Mesh/Wi-Mesh Proposal to 802.11 TGs". IEEE 2006. Disponible en: <http://www.802wirelessworld.com>

## **ANEXO B. ANALISIS FISICO, MAC Y PROPAGACION.**

### **B.1 Introducción**

La capa Física y MAC constituyen elementos importantes en el momento de la planeación de una red mallada, los enlaces de larga distancia hacen necesario cierta modificación a la configuración del nivel MAC 802.11 en especial la modificación del periodo *ACKTimeout* y las ranuras de tiempo para las ventanas de contención y de esta manera adaptarlas a las largas distancias. Adicionalmente hacen necesario el uso de técnicas como la concatenación de tramas permitiendo transmitir mas información optimizando el uso del canal. A continuación se hace una breve descripción de estos.

### **B.2 Capa Física**

Desde que el estándar fue establecido hasta hoy se han creado grupos de trabajo para mejorar las deficiencias encontradas en 802.11, algunas de estas son:

- IEEE 802.11 a: Estándar para la transmisión de datos hasta 54 Mbps en la banda de 5 GHz.
- IEEE 802.11 g: Estándar para la transmisión de datos hasta 54 Mbps en la banda de 2.4 GHz.
- IEEE 802.11 b: estándar para la transmisión de datos hasta 11 Mbps en la banda de 2.4 GHz.
- IEEE 802.11 e: Extensión del estándar para proporcionar Calidad de Servicio QoS a 802.11 a/g.
- IEEE 802.11 g: Estándar para la transmisión de datos hasta 54 Mbps en la banda de 2.4 GHz.
- IEEE 802.11 n: Estándar que introduce MIMO y mejoras de la capa física y obtener tasas de transferencia superiores a 100 Mbps.
- IEEE 802.11 s: Estándar que introduce la posibilidad de crear redes en malla.
- IEEE 802.11 T: Estándar que introduce predicciones de desempeño en el canal inalámbrico (WPP, *Wireless Performance Predictions*) para pruebas y métricas.

El nivel Físico es la interfase entre el medio inalámbrico y la capa MAC. Realiza tres funciones principales. Intercambio de tramas con la capa MAC, transmite las tramas en el medio inalámbrico por medio de diferentes esquemas de modulación, DSSS, FHSS, OFDM, etc. Ayuda a la capa MAC a comprobar si el medio esta libre u ocupado.

La capa física se divide en dos capas [13]: PLCP (*Physical Layer Convergente Procedure*) y PMD (*Physical Medium Dependent*). Estas son constantes en todas las capas físicas.

- La capa PMD se encarga de determinar si el canal está libre, ofrecer los medios para la transmisión y recepción de las señales en el medio. Ofrece funciones a la capa superior (PLCP) para la transmisión y recepción de tramas PPDU (PLCP, *Protocol Data Unit*).
- La capa PLCP simplifica la interfaz entre el nivel físico y MAC. Las tramas a nivel MAC se denominan MPDU. PLCP convierte la trama MPDU en una trama PPDU (*PLCP Protocol Data Unit*) y viceversa. En la transmisión la trama MPDU será precedida por un preámbulo y una cabecera PLCP, el deambulo permite la sincronización entre estaciones y delimita la trama, la cabecera especifica la modulación utilizada. En recepción se procesa la información de estos campos para ayudar a la desmodulación y entrega de la trama MPDU a la capa MAC [1].

La capa PLCP es muy importante en el análisis de enlaces Wi-Fi de grandes distancias, pues es el encargado de mapear la información del nivel MAC, definir su tamaño y velocidad. Estas funciones influyen en el tiempo de transmisión.

Como se mencionó anteriormente la capa física especifica tres técnicas de transmisión conocidas en los estándares. Primero surgió el estándar 802.11b y luego los estándares 802.11a/g los cuales añadieron nuevas técnicas de modulación en la capa física logrando mayores velocidades de transmisión. A continuación se realiza un pequeño resumen de las principales características de cada uno de ellos.

El estándar IEEE 802.11b trabaja en la banda de 2.4 GHz utilizando un esquema de transmisión HR/DSSS mediante el esquema de modulación CCK (*Complementary Code Keying*) y da soporte a velocidades de transmisión de 5,5 Mbps y 11 Mbps. Cuenta con catorce canales de 22 MHz y solo pueden usar simultáneamente tres de forma no interferente [2].

El estándar IEEE 802.11a, trabaja en la banda de 5 GHz utilizando la técnica de transmisión OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) mediante esquemas de modulación BPSK, QPSK, 16-QAM y 64-QAM y da soporte a velocidades de transmisión de 6 Mbps, 9 Mbps, 12 Mbps, 18 Mbps, 24 Mbps, 36 Mbps, 48 Mbps, 54 Mbps. Cuenta con ocho canales no interferentes de 20 MHz [3].

El estándar IEEE 802.11g, trabaja en la banda de 2.4 GHz manteniendo los mismos canales y modulación de 802.11b para mantener la compatibilidad con este último. Añade al sistema OFDM al igual que 802.11a el cual soporta velocidades de transmisión de hasta 54 Mbps al igual que 802.11a.

### **B.2.1 HR/DSSS 802.11b**

DSSS es una técnica que permite transmitir una señal sobre una banda de frecuencia mucho más ancha, repartiéndola de forma controlada por una transformación matemática. La modulación se produce aplicando una secuencia de chips en un dígito binario usado por el proceso de ensanchado [2]. No hay diferencia matemática entre el bit y el chip, los chips no contienen datos y solo se usan en el proceso de codificación y transmisión. A los flujos de bits se llaman

códigos pseudo-aleatorios de ruido (códigos PN) y se transportan a velocidades superiores que los flujos de datos, se define una tasa de ensanchamiento (*spreading ratio*) y a mayor tasa de ensanchamiento es más fácil la recuperación de la señal en recepción. Se adopto como código PN una palabra Barker de 11 bits con muy buenas cualidades de autocorrección. Aunque un canal tenga un ancho de banda de 5 MHz, realmente la energía se extiende por toda un banda de 22 MHz. Estos sistemas usan una tasa de 11 Mchips/s (1 millón de palabras Barker por segundo) cada una codificando uno o dos bits, logrando velocidades de 1 o 2 Mbps. Para mejorar estas prestaciones se hace uso de CCK, usando transformaciones matemáticas para codificar 4 ó 8 bits por palabra, logrando velocidades de 5.5 Mbps o 11 Mbps. Para HR/DSSS se definen dos tiempos del preámbulo PLCP dependiendo de la tecnología, el preámbulo largo es de 144  $\mu$ s y el corto de 48  $\mu$ s, la cabecera mantiene un valor constante de 48  $\mu$ s.

### B.2.2 OFDM 802.11a

Definida como Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal, consiste básicamente en dividir el canal en cierto número de sub-canales y en cada uno de los cuales se modula una portadora diferente para transmitir la información a una fracción de la velocidad total. Cada canal contiene 52 su-portadoras de las cuales se extraen 4 para usarlas como portadoras piloto, como se explico en el capítulo 2. 802.11a usa BPSK, QPSK, 16-QAM y 64-QAM. Existen cuatro grupos de velocidades 6 Mbps y 9 Mbps, 24 y 48 Mbps y por ultimo 48 Mbps y 54 Mbps, siendo obligatorias 6, 12 y 18 Mbps [3].

Para OFDM se definen un preámbulo PLCP de 16  $\mu$ s y una cabecera PLCP de 4  $\mu$ s. Para OFDM 802.11g se aplican los tiempos de expuestos anteriormente en 802.11a.

La siguiente Tabla B-1 [2] [3] [4]expone el ancho de banda y el nivel de señal en recepción *RSSI<sub>min</sub>* asociado a cada modulación de los estándares IEEE 802.11 a/b/g, parámetros necesarios para el análisis de los enlaces.

**Tabla B-1. Modulaciones Estándar vs. Modulación Vs. velocidad Vs. RSSI.**

Estándar WLAN	Especificación	Modulación	Velocidad (Mbps)	Nivel de RSSI <sub>min</sub> en (dBm)
802.11 a	OFDM	Modulación de Cambio de Fase binaria (Binary Phase KShift Keying, BPSK).	6	-82 dBm
			9	-81 dBm
		Modulación de cambio de Fase en Cuadratura (Quadrature Phase Shift Keying, QPSK).	12	-79 dBm
			18	-77dBm
		Modulación por Amplitud en cuadratura de 16 pasos (16-Quadrature Amplitude Modulation 16-QAM).	24	-74 dBm
			36	-70 dBm
Modulación por Amplitud en cuadratura de 64 pasos (64-QAM)	48	-66 dBm		
	54	-65 dBm		
802.11 b	HR/DSSS	DBPSK	$\leq 1$	
		DQPSK	$\leq 2$	
		Modulación de Código Complementario (Commplementary Code Keying, CCK)	5.5 y 11	
		BPSK	6	-82 dBm
			9	-81 dBm



802.11 g	OFDM	QPSK	12	- 79 dBm
			18	- 77 dBm
		16-QAM	24	-74 dBm
			36	- 70 dBm
		64-QAM	48	-66 dBm
			54	- 65 dBm

### B.3 Capa MAC

La función principal de la capa MAC es la de asegurar una distribución eficiente y justa de los recursos. En las redes malladas el acceso al medio cumple un rol importante permitiendo la coordinación entre los nodos de la malla.

#### B.3.1 CSMA y CSMA/CA

En CSMA el nodo primero detecta el canal para asegurarse que esta libre para transmitir. CSMA/CA mejora el desempeño de CSMA para evitar las colisiones en una red.

Existen dos protocolos de acceso al medio MAC<sup>4</sup> definidos para los estándar 802.11 [2] y 802.11e [5] que es la mejora para proveer QoS. Como estos protocolos trabajan sobre un solo canal pueden sufrir un desmejoramiento del throughput debido a las colisiones y a la variación de tiempo de transmisión relacionada con la distancia del enlace. Estos protocolos permiten el acceso a múltiples usuarios que buscan ingresar al canal, dividiendo su acceso en el dominio del tiempo. Estos tiempos deben ser tenidos en cuenta y requieren mecanismos adicionales para la operación apropiada del protocolo en largas distancias.

#### B.3.2 Arquitectura MAC

El control de acceso al medio tiene como misión coordinar de la forma más eficiente el acceso al medio de transmisión. Cuando los factores de la red cambian; el nivel de la señal, calidad del enlace, cambios en el nivel de congestión y saturación del canal requieren que los protocolos se adapten rápidamente.

Los protocolos de acceso al medio se pueden dividir en determinísticos o sin contención PCF y aleatorios o con contención DCF como lo muestra la Figura B-1.

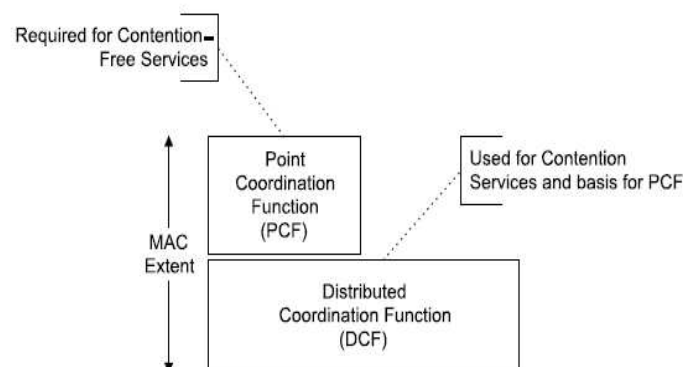


Figura B-1 Arquitectura de la capa MAC 802.11.

<sup>4</sup> Médium Access Cotrol.

### **B.3.2.1 Protocolo DCF**

Es la función de coordinación que mas ha sido implementada (y en cualquier caso la única aplicable a largas distancias). Es el método de acceso al medio aleatorio o por contención. Asume que no hay alguna entidad central para asignar los recursos de los canales en la red y para transmitir cada nodo debe luchar por el medio. Las colisiones resultan cuando más de un nodo trata de transmitir al mismo tiempo. DCF es el acceso fundamental, basado en detección de portadora CSMA/CA [1]; la Función de Coordinación Distribuida (DCF, *Distributed Coordination Function*) provee servicios de *best-effort*, determina un tiempo mínimo entre tramas continuas subsecuentes y todas las estaciones tienen la misma probabilidad de acceder al canal. El acceso aleatorio se usa en redes inalámbricas que opera bajo el control central o descentralizado por diferentes razones. DCF por medio del estándar 802.11e evoluciono en Acceso al Canal Distribuido Mejorado (EDCA, *Enhanced distributed Channel Access*) para proveer QoS y es propuesto por 802.11s, este permite definir 8 niveles o categorías de prioridad para el acceso al canal compartido denominada Categoría de Acceso (AC, *Access Category*); Por lo tanto el QoS es difícil de soportar bajo una fuerte competencia de acceso al medio en el contexto de operación descentralizada. El acceso al medio inicial a la red para asociarse y para establecer una conexión lógica a las redes, siempre se basa en el acceso aleatorio.

### **B.3.2.2 Protocolo PCF**

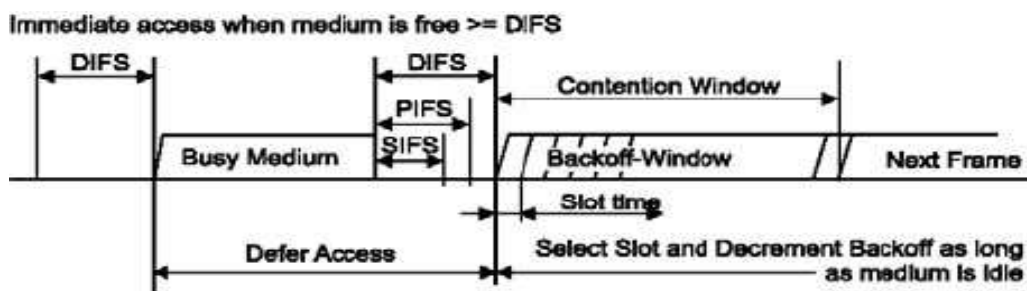
Es el método de acceso al medio determinísticos o sin Contención, este asigna recursos dedicados de canales a cada nodo que desea comunicarse. Los protocolos libres de contención pueden eliminar las colisiones eficazmente a causa de la baja utilización de un canal para el tráfico en ráfagas. Son basados en reservas, con control central y de los cuales encontramos en 802.11, la Función de Coordinación Puntual (PCF, *Point Coordination Function*), esta función es opcional y provee servicios que exigen límites de tiempo, depende de DCF [3]. Comúnmente usada en modo infraestructura por medio de Punto Coordinador (PC, *Point Coordinator*), que opera en el AP. En 802.11e la Función de Coordinación Híbrida (HCF, *Hybrid Coordination Function*), (HCCA, *Hybrid Controler Channel Access*), hace referencia a que puede operar tanto en el periodo de contienda como en el libre de contienda; aquí el control de las reservas puede ser centralizado o descentralizado. Para el control descentralizado los mensajes de reserva y datos de usuario pueden colisionar si el acceso no es controlado apropiadamente. Bajo el control de reserva apropiado la capacidad de pérdida debido a colisiones puede ser pequeña, debido a que solo los paquetes de reserva pueden chocar y no los paquetes de datos. Bajo el control central el soporte de QoS estricto es posible. El soporte de QoS puede limitarse cuando se aplica control de acceso descentralizado.

Idealmente el control y administración de la malla debe ser distribuido por todos los nodos. Anteriormente se describieron los dos modos de funcionamiento aleatorios y determinísticos para tener una idea de las posibilidades que se pueden encontrar en los equipos, pero para entender mejor el funcionamiento de las redes de larga distancia malladas es necesario tener en cuenta aspectos fundamentales a la hora de calcular las prestaciones con respecto a la distancia.

### **B.3.3 Aspectos relacionados con la capa MAC**

En la capa MAC 802.11 se describieron dos modos de funcionamiento (DCF) Distribuido y (PCF) Centralizado, ambos pueden usarse de manera alternativa. PCF es opcional y no es muy implementado en equipos disponibles en el mercado, para

determinar las capacidades de la capa MAC en la distancia es preciso un estudio de los Tiempos en función de la capa física.



**Figura B-2 Distribución de tiempos en la capa MAC [A41]**

Aunque el protocolo de acceso al medio MAC no es totalmente ranurado define una duración de tiempo denominada (*slotTime*), este valor depende del nivel físico (PHY), también se definen otros tiempos en función de la capa física. Definiendo cuatro ranuras para proporcionar niveles de prioridad para el acceso al medio inalámbrico como se muestra en la Figura B-2, en función del tipo de trama y el modo de coordinación (PCF y DCF). Estas ranuras son:

- SIFS (short Inter Frame Space) es el mínimo espacio entre tramas y separa transmisiones del mismo diálogo, como una trama y su ACK o varios fragmentos de la misma MPDU. Para 802.11 b/g SIFS = 10  $\mu$ s y para 802.11a SIFS = 16  $\mu$ s.
- PIFS (Point Coordination IFS) es usado bajo PCF, para que el AP pueda ganar el acceso al medio al principio del tiempo de contienda (Contention Free Period, CFP).
- DIFS (Distributed IFS) se usa bajo DCF, por una estación que busca transmitir tramas de datos y de control. Su valor depende de SIFS+aSlotTime. Accediendo a la transmisión al recibir correctamente una trama una vez transcurrido un tiempo igual a DIFS.
- EIFS (Extended IFS): es el IFS mas largo, lo usa una estación que ha recibido un paquete que no puede entender, este hace uso del mecanismo Virtual Carrier Sense, para evitar que los paquetes colisionen con un paquete futuro perteneciente al dialogo actual.
- SlotTime: Espacios de tiempo menores a una MPDU, usado para definir los intervalos IFS y determinar el tiempo de backoff para una estación. Este valor varia dependiendo de la implementación de la capa física. Para 802.11 a/g = 9  $\mu$ s y para 802.11 b = 20  $\mu$ s.
- ACKTimeout: No esta bien definido en el estándar y representa el tiempo que debe esperar una estación que ha transmitido una trama la llegada del ACK una vez ha terminado la transmisión de un paquete.

En el modo CSMA/CA una estación que espera para transmitir, primero monitorea el medio en el canal usado y espera hasta que este libre de transmisiones. Una vez el medio esta libre espera un tiempo DIFS. Si la estación no detecta otro transmisor antes del final del DIFS, calcula un tiempo aleatorio *backoff time*, entre los valores

$CW_{min}$  y  $CW_{max}$ , e inicia su transmisión si el medio sigue libre después que ha transcurrido este tiempo. El parámetro CW es especificado en términos de múltiplos de un  $slotTime$  que es  $20 \mu s$  para 802.11 b, y  $9 \mu s$  para 802.11a/g [2] [4]. si se detecta que otra estación esta transmitiendo antes del final del DIFS, es debido a que un IFS corto SIFS<sup>5</sup> puede ser usado por una estación que espera para transmitir tramas de control (CTS o ACK), o continua la transmisión de partes de datos que han sido fragmentados para mejorar la calidad de la transmisión.

DCF usa CSMA/CA, cuando detecta que el canal este libre deja pasar un tiempo DIFS y luego un tiempo denominado ventana de contención después de este si el canal esta libre transmite. El receptor recibe el paquete, comprueba su CRC mitras espera un tiempo SIFS y envía un ACK. Cuando existe una trama muy larga hace uso de la fragmentación, enviando ráfagas separadas por SIFS, así se asegura que ninguna otra trama tenga acceso al canal.

En DCF se prevé la posibilidad que se produzca el problema del nodo oculto; dos nodos pueden estar demasiado alejados para verse entre si, pero tener a la vista un nodo intermedio, de forma que no se puede saber si el otro esta transmitiendo solo escuchando el medio físico. Para evitar la colisión de paquetes se define un mecanismo llamado RTS/CTS, asegurándose que otro equipo no interfiera la transmisión, esta condición se debe habilitar en la celda de acceso.

Para mejorar las prestaciones en largas distancias se hace uso del  $ACKTimeout$ , definido como el tiempo que debe esperar un equipo por un ACK<sup>6</sup> de un paquete transmitido previamente, tras ese tiempo el ACK se da por perdido y así llegue es descartado, aumentando la ventana de contención obligando una retransmisión. Para enlaces punto multipunto se hace uso de  $CTSTimeout$  para RTS/CTS.

Aproximadamente cada 6 Kilómetros (3 Kilómetros ida y vuelta) se incrementa en un  $aSlotTime$  el tiempo de propagación. Esto no quiere decir que la red no funcione, pero aumenta el nivel de colisiones que será proporcional al exceso de la distancia por encima de los 6 Km [8], y al numero de estaciones, a la intensidad de trafico que se este usando.

Lo importante es asegurar un valor de  $ACKTimeout$  de tal manera que los ACK puedan llegar a tiempo para la distancia tratada. En todos los casos cuando los equipos no permitan modificar el  $ACKTimeout$  la distancia debe ser menor a 3 Kilómetros como lo muestran en [8], si este es el caso se deberá tener en cuenta el tamaño de las ventanas de contención, logrando que las prestaciones del enlace se mengüen a medida que el trafico se haga mas intenso.

En consecuencia cuando la distancia para un punto a punto es mayor de 5 Km, se debe evitar que el canal llegue a la saturación y tener en cuenta el retardo de propagación. Adicional a lo anterior con modificaciones de la capa MAC y concatenación que se trataran a continuación se han logrado enlaces de hasta 279 KM [9] permitiendo transmitir voz y datos.

Las pruebas realizadas en por el grupo EHAS arrojan resultados de retardo modificando la capa MAC el  $ACKTimeout$  para 3 Kilómetros puede ser mayor a  $83 \mu s$  y el retardo de los paquetes esta entre 2 y 3  $ms$ . Es recomendable que enlaces de larga distancia evitar que la tasa de transmisión se fije automáticamente y

---

<sup>5</sup> Sort IFS.

<sup>6</sup> ACK, Acknowledgement.

disminuir entre 5 % y 10 % la cantidad de datos del ancho de banda real y así evitar saturar el enlace. Más información se puede encontrar en [8].

En las WMNs es de gran importancia tener en cuenta los retardos de comunicación, especialmente cuando se soportan comunicaciones de Voz y datos con prioridad.

Al ser el *ACKTimeout* un parámetro del nivel MAC, no se relaciona cuando llega el primer bit del ACK al nivel físico, sino al nivel MAC, el evento que finaliza la espera del ACK es el paso del nivel Físico al MAC, indicando que la capa física ha terminado de recibir el preámbulo y la cabecera PLCP.

De esta manera para que el sistema de confirmación de tramas funcione el *ACKTimeout* debe contener:

- El tiempo de propagación de ida y vuelta  $2t$  este tiempo depende de la distancia del punto a punto. Este tiempo se puede determinar como muestra la formular B.1

$$T = d/C \quad (B.1)$$

Donde.

T es e tiempo de transmisión

D es la distancia del enlace

C es la velocidad de la luz.

- El tiempo SIFS que separa la recepción del paquete de transmisión de su ACK en el receptor. Como ya vimos su valor es de  $10 \mu s$  para 802.11 b/g y  $16 \mu s$  para 802.11a.
- El tiempo de recepción del preámbulo y cabeceras de nivel físico del ACK. Este tiempo varía según el nivel físico. En la implementación de nivel físico DSSS existen dos posibilidades de preámbulo y cabecera largos que sumados se obtiene una duración de  $192 \mu s$ , y preámbulo y cabecera cortos que sumados se obtiene una duración de  $96 \mu s$ . Las cabeceras cortas son opcionales en 802.11b y obligatorias en 802.11 g, en OFDM este tiempo es de tan solo  $20 \mu s$ .
- SlotTime (duración de la ranura): Este valor varía dependiendo de la implementación de la capa física. Para 802.11 a/g =  $9 \mu s$  y para 802.11 b =  $20 \mu s$ .

Si los equipos empleados permiten ajustar el parámetro *ACKTimeout*, el ajuste según la formula B.2 permitirá mejorar las prestaciones del enlace:

$$ACKtimeout = SIFS + 2t + PLCPPr eamble + PLCPHeader + SlotTime \quad (B.2)$$

Analicemos el valor del parámetro *ACKTimeout* para una distancia de 4 Kilómetros con el uso de 802.11a.

$$ACKTimeout = 16\mu s + 2(13.3\mu s) + 16\mu s + 4\mu s + 9\mu s = 71\mu s$$

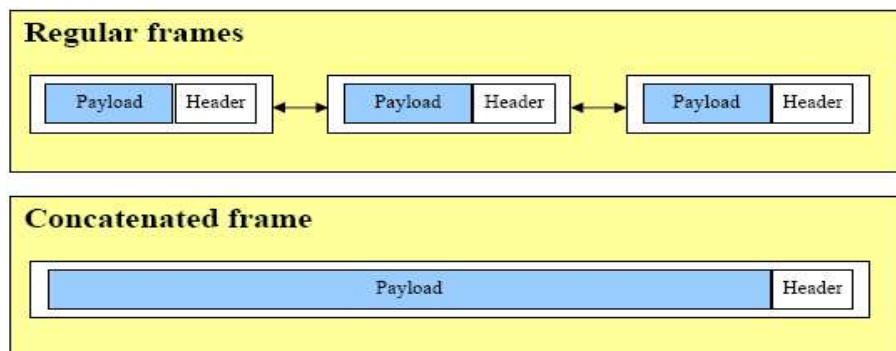
### B.3.4 Concatenación

La concatenación incrementa el throughput efectivo, reduciendo la sobrecarga y maximizando la capacidad de la capa MAC, mejorando la eficiencia de la red inalámbrica. El mejor uso de la red permite mejor experiencia para los usuarios, además de mejorar las características de tecnologías que dependen del QoS como la Voz y el Video.

Haciendo uso de la concatenación de tramas y las extensiones de QoS del estándar 802.11 (conocido como 802.11e), se puede soportar un throughput efectivo de hasta 35 Mbps, casi el doble del máximo de 802.11 a/g. La concatenación "también denominada agregación de paquetes o concatenación de paquetes" combina múltiples tramas al tiempo, incrementando el throughput y reduciendo la sobrecarga de los protocolos.

En más detalle, la concatenación incrementa el tamaño del MPDU MAC (*Datagrama Unit Protocol*), transmitido por el enlace punto a punto, permitiendo enviar paquetes de 4000 bytes de largo, casi tres veces más grande que el tamaño típico de 802.11 "1.500 bytes". La Figura B-3 [10] ilustra una trama concatenada y una trama normal.

La ganancia inmediata de la concatenación de tramas beneficia directamente a la red mallada en cada salto, mejorando la experiencia del usuario puesto que un *throughput* más rápido reduce el tiempo que el canal esta en uso.



**Figura B-3 Ilustración de la Concatenación.**

La concatenación de una trama transmitida en la WLAN consiste en un preámbulo PLCP de (18 bytes), la cabecera PLCP (4 bytes) y la MPDU. La MPDU contiene 24 o 30 bytes de cabeceras MAC de información precedido de la porción de datos de la trama, seguida de 4 bytes de FCS.

La sobrecarga total de bytes que debe ser transmitida por la MPDU está compuesta de preámbulo PLCP, la cabecera PLCP, la cabecera MAC y FCS y es equivalente a 50 o 56 bytes de sobrecarga por trama transmitida. Para tramas de datos del mínimo tamaño (64 bytes el mínimo usado en tramas 802.3 *Ethernet*), esto quiere decir que casi la mitad de los bytes transmitidos por el aire son sobrecargas.

Además después que cada MTU es transmitida, un retardo adicional ocurre debido a las definiciones del protocolo MAC 802.11.

Los MAPs de la WMN deben tener la habilidad de decidir si es necesaria la concatenación de tramas para la transmisión inmediata, si esa trama es la única en cola para un destino específico.

El principio básico del algoritmo de concatenación de tramas es el de enviar múltiples MSDUs destinadas para la misma dirección (DA) en un solo MPDU. La concatenación es aplicada únicamente en el punto a punto de la malla y en tramas de datos únicas, en general algunos dispositivos soportan una MPDU de tamaño máximo para concatenación de 4 kbytes. Si se encuentra un error de la gran trama de paquetes solo se solicitara retransmisión del fragmento corrupto

#### **B.4 Modelo de Propagación**

Dentro de los modelos de propagación es necesario tener conocimiento de los análisis matemáticos asociados a las variables a identificar, es por esto que se hace referencia a los conceptos más importantes.

#### **B.5 LOS (Línea de Vista)**

Hace referencia a un enlace de radio con línea de vista entre las dos estaciones comunicadas, permitiendo viajar la señal directamente sin obstrucciones desde el transmisor al receptor. En este caso se hace necesario liberar el 60% de la primera zona de *fresnel* de cualquier obstrucción. Es importante al realizar un enlace punto a punto, o punto multipunto con LOS, conocer las alturas de los obstáculos así como también la distancia entre los dos puntos extremos. Las ondas de radio se debilitan con la distancia. La Figura B.4 permite observar la representación de la zona de *fresnel*. La atenuación asociada con la distancia en un camino sin obstrucciones es denominado ( $L_{fs}$ , *Free Space Loss*) y es calculado matemáticamente por la formula:

$$L_{FS} = 32.45 + 20 \log(f_{MHz}) + 20 \log(d_{Kms}) \quad (B.3)$$

Donde

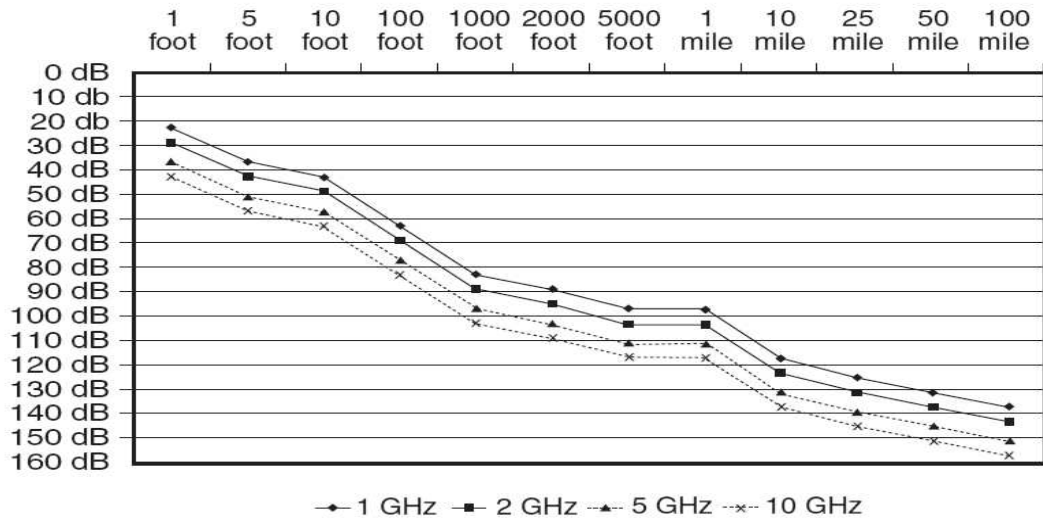
$L_{FS}$  : pérdidas de espacio libre dBs.

$f$  : Frecuencia de operación MHz.

$d$ : Distancia entre los puntos Kms.

Un factor importante que determina el rango de propagación de las ondas electromagnéticas es su potencia. Esta sufre de atenuación y es dependiente de la frecuencia debido a que a mayor frecuencia se presenta mayor atenuación en una distancia dada, como se puede observar en la Figura B-4 [21]; estos cambios en la propagación en el espacio libre sigue una pendiente de 6 dB por octava (al duplicar la frecuencia o distancia) o de 20 dB por década (cambios de 10 en la frecuencia o la distancia). En un ambiente LOS la potencia Varía inversamente con el cuadrado de la distancia entre dos puntos.





**Figura B-4 Perdidas con relación a la distancia y a la frecuencia**

Se puede decir que  $L_{FS}$  se puede describir como 20 dB de pérdida por década, esto significa que la señal a una distancia de 1.6 Km del transmisor es de -104 dBm, y esta será de -124 dBm a 16 Kilómetros de distancia. Otra manera de calcularla en una aplicación es decir que un cambio de 6 dB en la potencia doblará o dividirá a la mitad la distancia. El camino sin obstrucciones necesario para  $L_{fs}$  requiere que el camino en los dos sentidos sea óptimamente claro y tenga liberada la zona de *fresnel*, este es calculado matemáticamente por la siguiente ecuación [14].

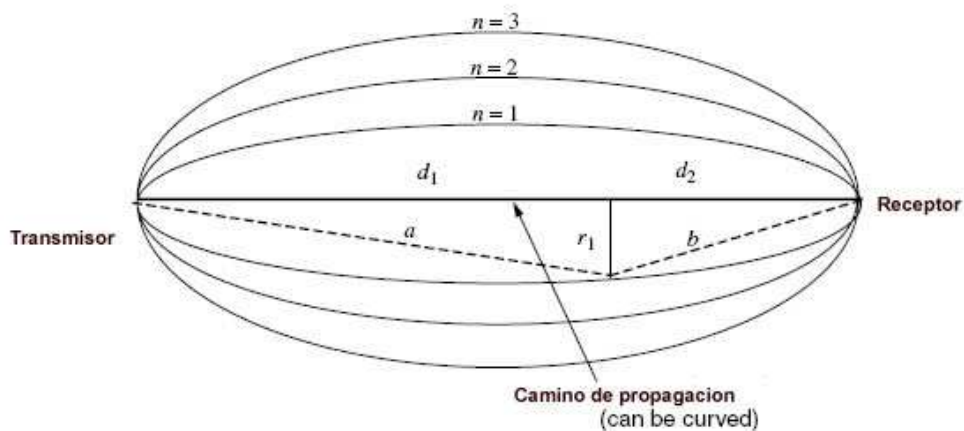
$$Rf = \sqrt{\frac{n\lambda.d1.d2}{d1+d2}} \quad (B.4)$$

Donde:

$n$  = radios de fresnel, 1, 2, 3, .etc.

$d1$  = la distancia desde el transmisor hasta la obstrucción.

$d2$  = la distancia desde la obstrucción hasta el receptor.



**Figura B.5 zonas de *fresnel* en el camino de propagación**



## B-6 Pérdidas del trayecto y cobertura del sistema

Permite determinar como afectan las variables en la cobertura ofrecida en el sistema de radio, la ecuación B.5 [11]. Contiene los factores más importantes que afectan el desempeño de un radio enlace.

$$L(dB) = P_{tx}(dBm) + G_{tx}(dBi) - L_{ltx} + P_{rx}(dBm) + G_{rx}(dBi) - L_{lrx} - M(dB) \quad (B.5)$$

Donde L (dB) representa el presupuesto del enlace "las pérdidas que el enlace puede soportar",  $P_{tx}$  es la potencia de transmisión,  $P_{rx}$  es la sensibilidad del receptor, M es el margen mínimo sobre la sensibilidad necesario para asegurar la estabilidad del enlace,  $G_{tx}$  y  $G_{rx}$  son las ganancias del transmisor y el receptor en el sistema, y  $L_{ltx}$  y  $L_{lrx}$  son las pérdidas en las líneas de transmisión y recepción.

También se hace necesario tener en cuenta el valor del (SOM, System Operative Margin), este es el umbral de sensibilidad mínima permitida para realizar una transmisión, y de este modo garantizar una tasa de transmisión, este se expresa en niveles negativos (-dB), denotando el nivel más bajo que una señal puede aceptar para una modulación específica asociada a la velocidad. Con este cálculo nos aseguramos que el enlace tiene un margen de potencia suficiente para alcanzar dicha velocidad, es recomendable tomar valores de SOM positivos superiores a los 10 dB. El SOM se calcula matemáticamente mediante la ecuación:

$$SOM = P_{rx} - S_{rx} \quad (B.6)$$

Donde:

$S_{rx}$ : Sensibilidad del receptor en dBm.

$P_{rx}$ : Potencia de recepción en dBm.

La fórmula de pérdidas en el espacio libre (ecuación B.3), balance de carga (ecuación B.5) y SOM (ecuación B.6), son usadas para determinar el rango de cobertura de la señal relacionado con la distancia.

## B-7 Modelo ITS Longley Rice

El propósito del modelo es el de estimar algunas características de la señal recibida del enlace de radio, cuyo rango de operación de frecuencia va desde los 20 MHz hasta 20 GHz permitiendo ser aplicado a gran variedad de simulación de enlaces. El modelo se basa en la teoría electromagnética, en análisis estadísticos de las características del terreno y mediciones del canal de radio. Entrega resultados como el valor medio de la atenuación de la señal de RF en función de la distancia y la variabilidad de la señal en el tiempo y el espacio, permitiendo estimar las características en recepción de la señal en una comunicación inalámbrica sobre un terreno irregular.

Este modelo es descrito en forma de algoritmo de tal manera que permita facilitar la programación de software. La versión en uso es 1.2.2 y el software original es del ITM del instituto para las ciencias de las comunicaciones.

El modelo permite operar en dos modalidades de trabajo: el modo de área de predicción y el modo punto a punto, ideales para los requerimientos de nuestro trabajo.

El modo punto a punto permite predecir estadísticamente las pérdidas de propagación sobre un trayecto de propagación determinista a partir de los datos característicos de RF y del entorno.

El modo de predicción de área opera de manera similar, pero no trabaja sobre un trayecto de propagación determinista, puesto que genera una proyección del área de cobertura de un Terminal dado en función de las características de cada Terminal y las irregularidades del terreno.

Para la evaluación de los enlaces propuestos se utilizó la herramienta Radio Mobile, esta se basa en la utilización del algoritmo ITS Irregular Terrain Model. Radio Mobile permite usar bases de datos de elevación de terreno SRMT (Shuttle Radar Topography Mission), DTED (Digital Terrain Elevation Data), GTOPO30 (Global Topography Data) y ya se puede integrar con Google earth.

Las variables de entrada del modelo Longley-ricc, indican los valores permitidos o los límites para los cuales el modelo ha sido diseñado, estos parámetros están asociados al conjunto de equipos de radio involucrados y son independientes de las condiciones ambientales.

- frecuencia: frecuencia de la señal portadora transmitida, varía entre 20 MHz y 20 GHz.
- Distancia: la distancia entre dos terminales varía entre 1 Km y 2000 Km.
- Altura de la Antena: corresponde a la altura del centro de radiación por sobre la elevación del terreno, se define en cada Terminal esta varía entre 0.5 m a 3000 m.
- Polarización: la polarización de las antenas puede ser vertical u horizontal.

Los parámetros del entorno describen estadísticamente las características del lugar en donde se operara el sistema. Estos son independientes del sistema de comunicaciones.

- Rugosidad promedio. El modelo ITM utiliza un único valor de  $\Delta h$  para representar de manera simple la altura promedio de las irregularidades en la zona.
- constantes eléctricas del terreno: la permitividad relativa (constante eléctrica) y la conductividad de la tierra, son valores sugeridos.
- Refractividad de la superficie  $N_s$ : En la mayoría de los casos esta función aleatoria puede ser caracterizada por un valor único  $N_s$  que representa el valor normal de la refractividad cercana al nivel de la tierra o superficie. Usualmente se mide en N unidades (partes por millón), 250 a 400 N-Unidades.
- Clima: se describe ofrece un listado de 7 climas. Algunos valores para el clima se pueden tomar, Ecuatorial  $N_s$  (N-unidades) 360, continente subtropical 320, marítimo subtropical 370, Desierto 280, continental temperado 301, marítimo templado sobre la tierra 320, marítimo templado, sobre el mar 350.
- La manera que se instala un enlace en un entorno específico, genera diferentes resultados entre ellos.

- Criterio de posicionamiento: describe específicamente el cuidado tenido en cuenta en la instalación de cada Terminal. Permite determinar las etiquetas como random, careful o very carefull.

El sistema permite modelar las condiciones de propagación en RF óptimas para cada emplazamiento. Radio Mobile puede ser descargado en [12].

Los resultados del este modelo en los emplazamientos establecidos se muestran en el anexo D.

## REFERENCIAS

[1] Alexander "Optimizing and Testing Wlans, proven Techniques form maximun performance". Ed. Newnes: Elsevier, 2007. ISBN 978-0-7506-7986-2.

[2] Estándar IEEE 802.11b, "Supplement to IEEE Standard for Information technology- Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 Ghz Band", 2003. Documento PDF disponible en:

<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11b-1999.pdf>

[3] Estándar IEEE 802.11a, "Supplement to IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Higher-speed Physical Layer Extension in the 5 Ghz Band", 2003. Documento PDF disponible en:

<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11a-1999.pdf>

[4] Estándar IEEE 802.11g, "Supplement to IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 Ghz Band. Amendment 4: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band", 2003. Documento PDF disponible en:

<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11g-2003.pdf>

[5] Estándar IEEE 802.11e, "IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications. Amendment 8: Medium Access Control (MAC) - Quality of Service Enhancements", 2005. Documento PDF disponible en: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11e-2005.pdf>

[6] Intel White Paper, "Providing QoS in WLANs: How the IEEE 802.11e Standard QoS Enhancements Will Affect the Performance of WLANs", 2004. Documento PDF disponible en:

[http://www.intel.com/network/connectivity/resources/doc\\_library/white\\_papers/303762.htm](http://www.intel.com/network/connectivity/resources/doc_library/white_papers/303762.htm)

- [7] IEEE Std. 802.11-1999, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications". IEEE, 1999. Disponible en: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-1999.pdf>
- [8] Simo. J, Martinex. A, Dulcey. F, Rendon. A, "Implementacion de IEEE 802.11 en enlaces largos para zonas rurales". Documento PDF disponible en: <http://indico.rnp.br/getFile.py/access?contribId=18&resId=0&materialId=paper&confId=12>
- [9] Enlace de 279 kilómetros distancia de con equipos básicos Wi-Fi disponible en: <http://www.wilac.net/>
- [10] TEXAS INSTRUMENT TIG-plus (802.11g+) performance enhancing technology. PDF, disponible en: <http://focus.tij.co.jp/jp/lit/wp/sply009/sply009.pdf>
- [11] R. Olexa, "Implementing 802.11, 802.16, and 802.20 Wireless Networks Planning, troubleshooting and operations", Ed. Newnes: Elsevier, 2005. ISBN: 0-7506-7808-9.
- [12] Software Radio Mobile puede ser descargado en: <http://www.cplus.org/rmw/download.html>
- [13] Alexander "Optimizing and Testing Wlans, proven Techniques form maximun performance". Ed. Newnes: Elsevier, 2007. ISBN 978-0-7506-7986-2.
- [14] Romo, Harold "Fundamentos de Radio Propagación por onda terrestre y Línea de Vista", 2000.

## **ANEXO C.**

### **LA BANDA ANCHA, SUS TECNOLOGIAS DE ACCESO Y LA SITUACION ACTUAL DE LA BANDA ANCHA EN EL ENTORNO COLOMBIANO.**

Este anexo trata el concepto de banda ancha y la situación actual de la banda ancha en Colombia, además de describir brevemente las principales tecnologías de acceso y algunas consideraciones a tener en cuenta sobre los parámetros del la VoIP en zonas de cubrimiento bajo la tecnología Wi-Fi.

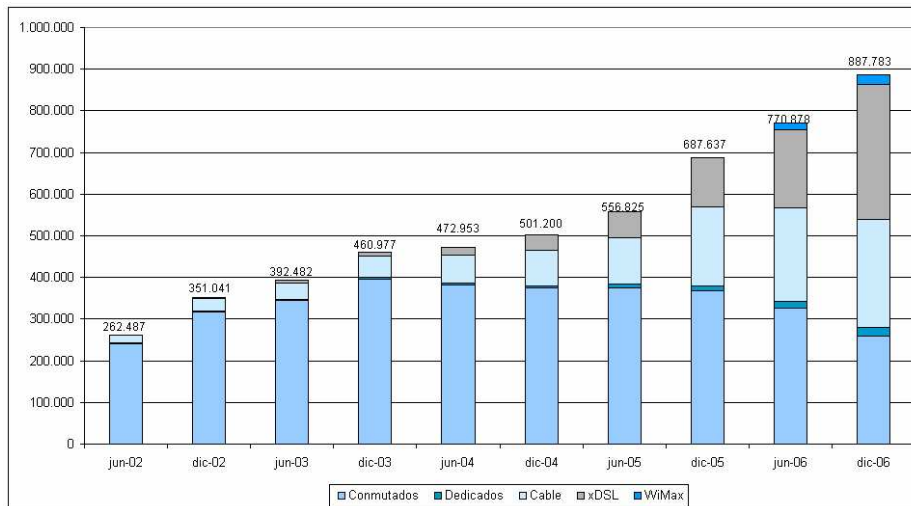
#### **C-1 DEFINICION DE BANDA ANCHA.**

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (*International Telecommunications Unit*, ITU) de acuerdo con la recomendación ITU-T I.113 define la Banda Ancha como "un servicio o sistema que requiere canales de transmisión capaces de soportar velocidades mayores que la velocidad primaria"[1], esto quiere decir que se debe garantizar velocidades de por lo menos 1.5 Mbps o 2 Mbps. Otros organismos como la FCC (*Federal Communications Commission*) definen la Banda Ancha como la transmisión de datos a velocidades de mínimo 200 Kbps en los dos sentidos de la comunicación, ascendente (*upstream*-del usuario al proveedor) y descendente (*downstream*-del proveedor al usuario).

El Ministerio de Comunicaciones de Colombia en su resolución numero 001661 expedida el 18 de julio de 2006 define la Banda Ancha como una "Técnica de transmisión que mediante el uso de tecnologías digitales permite la telecomunicación simultanea de voz, sonidos, datos, imágenes, video y otras, por un mismo canal y en doble vía, con velocidades que garantizan la integridad de los datos enviados y recibidos, y que proporcionan la integración de facilidades de telecomunicación y el acceso a la información"[2]. Con respecto a lo mencionado anteriormente, la Comisión Regional de Telecomunicaciones (CRT) mediante resolución expedida el 3 de octubre de 2007 afirma que una conexión podrá considerarse como Banda Ancha solo si su velocidad supera los 512 Kbps [3] contrario a lo expuesto en el documento "Promoción y Masificación de la Banda Ancha en Colombia Versión II" del año 2005 el cual consideraba como Banda Ancha cualquier conexión igual o mayor a 128 Kbps

#### **C-2 LA BANDA ANCHA EN COLOMBIA**

El informe semestral publicado por la Comisión de Regulación de Telecomunicaciones (CRT) en el mes de mayo de 2007 [4] nos muestra que actualmente existen más de 880 mil suscriptores de Internet en Colombia y su número continua aumentando si se tiene en cuenta las estadísticas de años anteriores, tal y como lo muestra la figura C-1 [4], esta tendencia se ve reflejada en el actual aumento de centros colectivos apoyados por programas gubernamentales como son Compartel y el crecimiento de establecimientos privados como los cafés Internet, salas de Internet , etc.



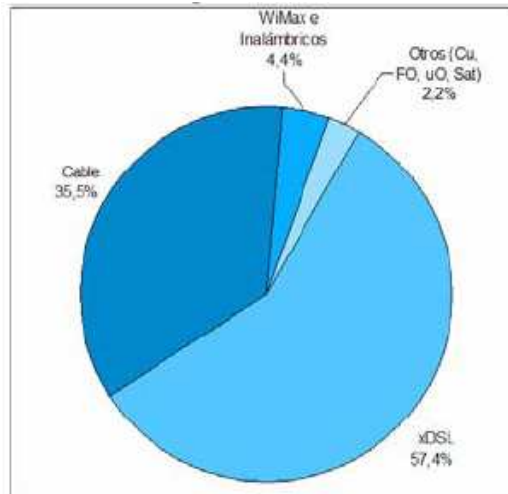
**Figura C-1. Evolución de suscriptores de Internet usando diferente tipo de acceso.**

La Tabla C-1 indica claramente que hubo un incremento por parte de los suscriptores dedicados con respecto a los suscriptores, esto se debe principalmente a que los operadores de xDSL finalmente están haciendo un mejor uso de sus redes de telefonía fija para prestar el servicio de banda ancha mediante xDSL.

**Tabla C-1. Distribución de suscriptores de Internet en Colombia en el periodo 2006-2007.**

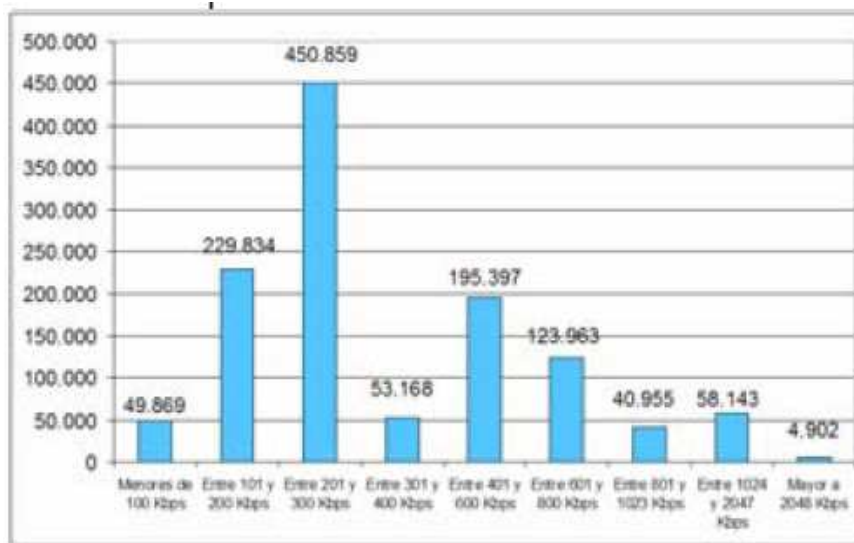
Medio de acceso	Dic. 06	Dic. 07	Variación %
Acceso conmutado	259.707	174.383	-32,9%
<b>Dedicados</b>			
xDSL	324.478	693.133	113,6%
Cable	260.138	428.587	64,8%
WiMAX e inalámbricos	23.179	53.088	129%
Otros (Co.FO.uO.Sat)	20.282	32.282	59,2%
Subtotal dedicado	<b>628.077</b>	<b>1.207.090</b>	<b>92,2%</b>
Total suscriptores	<b>887.784</b>	<b>1.381.473</b>	<b>55,6%</b>

Con respecto a la distribución de tecnologías de banda ancha, la Figura C-2 [4] muestra que xDSL posee más de la mitad de suscriptores, 57.4 %, superando así a la tecnología cableada, la cual abarca el 35.5% de los suscriptores, además se nota la presencia de las tecnologías inalámbricas con una participación 4.4% mientras que los accesos dedicados (Fibra Óptica, Cobre, micro-ondas, Satélite) lograron una participación de solo el 2.2% debido al aumento que tuvo la tecnología xDSL.



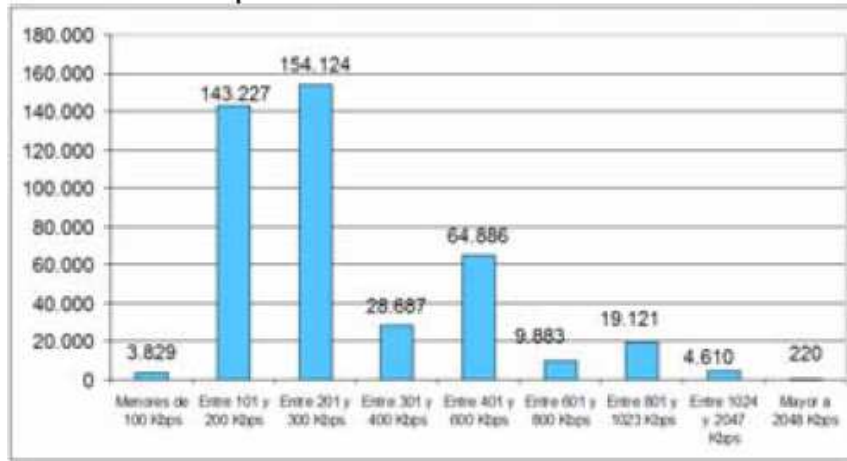
**Figura C-2. Distribución de suscriptores dedicados por tecnología en Colombia para el año 2007.**

Con respecto a la velocidad de acceso, la Figura C-3 [4] nos muestra que los accesos dedicados con velocidades entre 100 y 200 Kbps tuvieron un aumento importante al igual que las velocidades entre 200 y 300 Kbps, sin embargo, las velocidades menores a 100 Kbps disminuyeron, mostrando así la tendencia de los suscriptores por adquirir mayores velocidades.



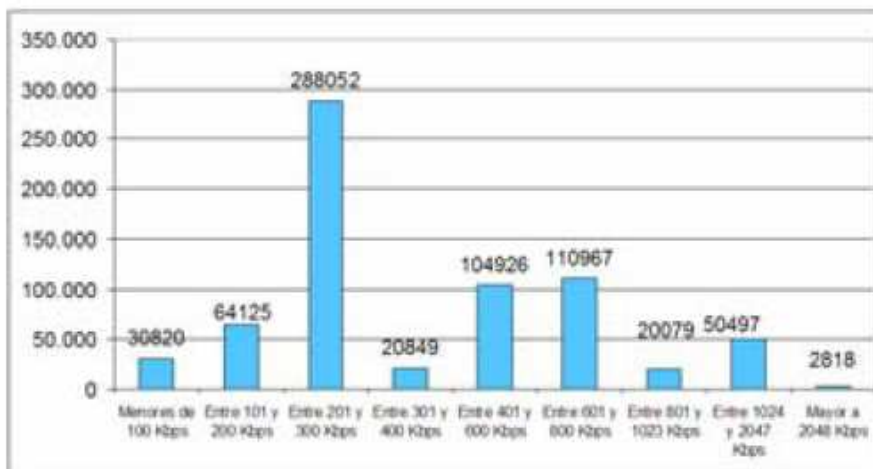
**Figura C-3. Distribución de canales dedicados para acceso a Internet por ancho de banda en el año 2007**

Por otro lado la figura C-4 [4] indica que la velocidad más solicitada por parte de los suscriptores de Internet por medio de cable está entre los 100 y 300 Kbps mientras que las velocidades menores a 100 Kbps y mayores que 600 Kbps presentan baja demanda.



**Figura C-4. Distribución de suscriptores de Internet que acceden vía cable por ancho de banda en el año 2007.**

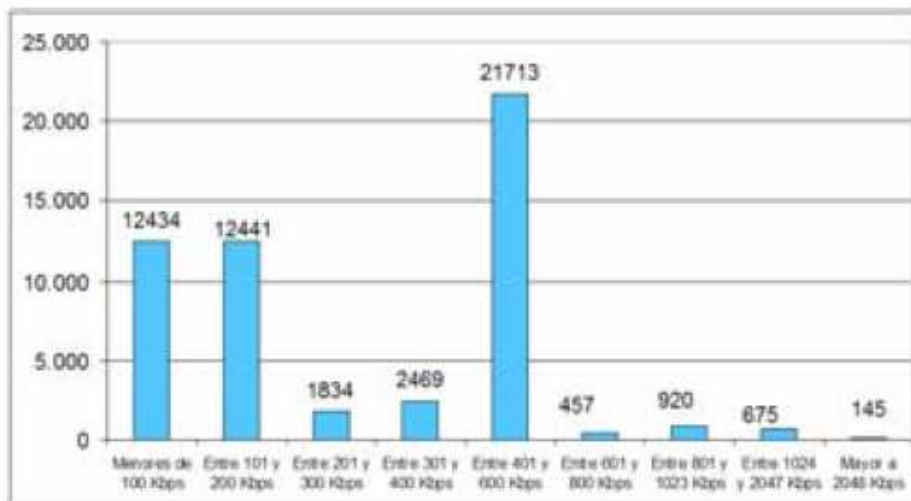
Algo importante es el enorme incremento de suscriptores xDSL los cuales muestran una marcada tendencia a tener anchos de banda que oscilan entre los 100 y 200 Kbps y los 300 y 400 Kbps además de un importante crecimiento de suscriptores que optan por velocidades entre 800 y 1024 Kbps y 1024 y 2048 Kbps con respecto a las tecnologías mencionadas. Esto evidencia el comportamiento de los suscriptores que emplean aplicaciones que requieren mayor uso de ancho de banda como lo muestra la figura C-5 [4].



**Figura C-5. Distribución de suscriptores de Internet que acceden vía xDSL por ancho de banda en el año 2007.**

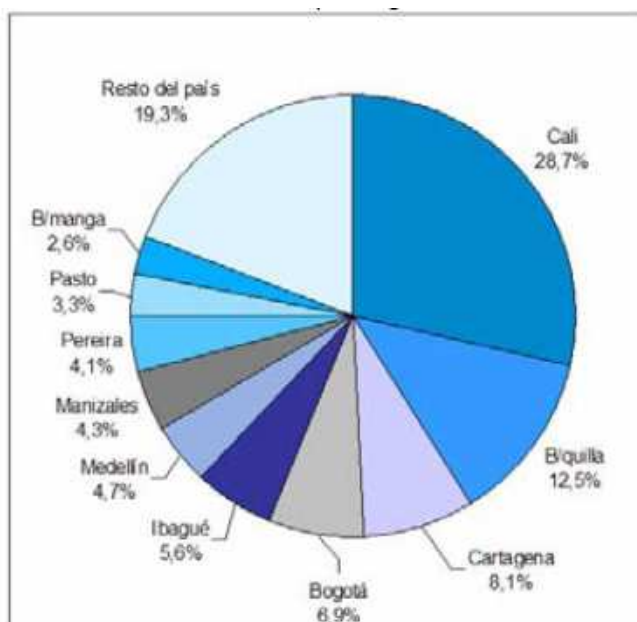
Finalmente, la figura C-6 [4] muestra como las tecnologías inalámbricas están logrando atraer una buena cantidad de suscriptores, pese a ser una tecnología nueva, de los cuales la mayor parte tienen velocidades menores a los 100 Kbps y el resto posee velocidades que oscilan entre los 200 y 400 Kbps.





**Figura C-6. Distribución de suscriptores de Internet que acceden vía inalámbrica por ancho de banda en el año 2007.**

Con respecto a esta tecnología la figura C-7[4] muestra que Cali domina este mercado con un 34.27 % de los suscriptores, le siguen Barranquilla con el 16.92 % y Cartagena con el 7.21 %. Se espera que el número de suscriptores aumente a medida que se difunda esta tecnología favoreciendo así la masificación de la banda ancha en el territorio colombiano.



**Figura C-7. Distribución de suscriptores de Internet que acceden vía inalámbrica por región en el año 2007.**

De acuerdo con los datos presentados se puede notar que el potencial de crecimiento es alto, y es por eso que el desarrollo de nuevos servicios y expansión de los mismos no solo se deben concentrar en zonas urbanas, se debe también fomentar el crecimiento en las zonas rurales a través de los modelos de negocio que viabilicen la inversión, democratizando de esta forma el acceso a la información y la educación, requisito fundamental para la sociedad del conocimiento, tal y como

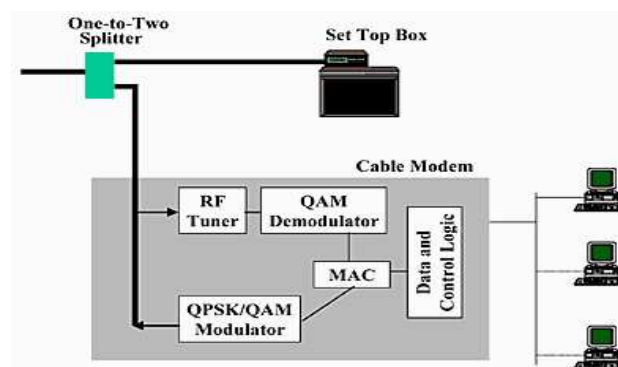
se hace hoy a través del programa Compartel, el cual durante el año 2002 puso en funcionamiento 940 centros comunitarios en los 32 departamentos de Colombia que brindan acceso a Internet y que gracias al desarrollo y a la incursión de las tecnologías inalámbricas de bajo costo como las redes Wi-Fi en malla se puede extender el área de conectividad favoreciendo la creación de telecentros en zonas rurales y apartadas.

### C-3 PRINCIPALES TECNOLOGÍAS DE ACCESO BANDA ANCHA

Las condiciones particulares de las regiones rurales suelen condicionar enormemente las tecnologías de comunicación que se pueden usar; la falta de recursos hace inapropiadas las redes de operador tales como la telefonía móvil, las infraestructuras cableadas y las redes satelitales; la inaccesibilidad de muchos lugares y la dispersión de la población sugiere el uso de tecnologías inalámbricas de largo alcance, y la falta de energía eléctrica y de técnicos calificados también incide en qué tipo de tecnologías se pueden usar de forma sostenible. Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación se describen brevemente algunas de las tecnologías con el propósito de elegir la más adecuada al momento de ofrecer acceso banda ancha en zonas rurales.

- **CABLE MODEM.**

Esta tecnología de acceso ofrece en Colombia anchos de banda que van desde los 64 Kbps hasta los 1.5 Mbps con tiempo ilimitado para navegar a alta velocidad siempre y cuando el número de clientes conectados no sea muy alto, tales velocidades son ofrecidas con reuso a través de un medio de conexión compartido lo cual significa que la velocidad a la que navega el usuario es realmente menor a la velocidad ofrecida, aunque al principio se pueden obtener picos de alta velocidad, el desempeño de la red disminuye a medida que aumenta el número de conexiones cliente. En la Figura C-8 [5] muestra un esquema alusivo a la tecnología cable modem.



**Figura C-8. Tecnología Cable Modem.**

Las principales características de esta tecnología son:

- No utiliza TPBC, por lo tanto no ocupa el teléfono dando así la posibilidad de navegar y hablar por teléfono simultáneamente.
- Ofrece un tiempo de conexión ilimitado por el mismo valor.

- Esta solución no es aplicable para áreas rurales, solamente podría ser factible su utilización por parte de un operador que ya tiene una red de distribución de televisión por cable en áreas rurales y que está dispuesto a modernizar su red para agregar servicios interactivos como telefonía e Internet banda ancha. Dado que la distribución de TV por cable en zonas rurales no es una práctica común, se descarta esta opción.

- **XDSL**

Las tecnologías "Digital Subscriber Line" (DSL) aparecieron como resultado de los desarrollos hechos para lograr transmisión digital por pares de cables de cobre existentes en el servicio de telefonía fija. Tiene la ventaja de permitir aprovechar las redes externas ya instaladas para la transmisión de señales digitales, en distancias no mayores a 5 Km en forma independiente de la transmisión de las conversaciones telefónicas que siguen ocupando el mismo par de cobre. Por estas razones es cada vez más utilizada para proporcionar acceso Internet banda ancha por las compañías que disponen de redes de cables de cobre. Las tecnologías xDSL están aún en desarrollo, lo que permite esperar la transmisión de velocidades mayores a distancias más largas que las ya logradas.

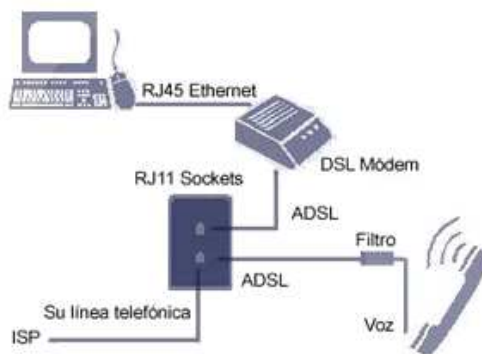
Como se dijo anteriormente, el mismo par telefónico que antes solo se utilizaba para la voz (telefonía), ahora también sirve como medio de transmisión para las señales digitales propias de la conexión Internet banda ancha, sin interferirse unas señales con otras. Para lograrlo, se instala un modem en la casa del usuario y en la planta telefónica, a la salida del repartidor principal de cables, se instala un elemento llamado splitter para desviar las señales de voz hacia la central telefónica y las señales digitales hacia otro modem llamado DSLAM.

En cuanto a los diferentes tipos de xDSL, mencionaremos en primer lugar ADSL, en que la letra A indica Asymmetric, refiriéndose a que las capacidades de bajada y subida de la información a Internet no son simétricas. Su uso principal es para usuarios residenciales. Estos usuarios requieren capacidad mayor para bajar información que para subirla. Usando pares de cobre debidamente seleccionados, se puede lograr capacidades cercanas a 8 Mbps para distancias hasta 3 Km.

Como variante de ADSL existe el Lite DSL, más lento, pero con la importante característica de que puede adaptar las velocidad de funcionamiento a las condiciones de la línea. Para líneas más largas o con condiciones más desfavorables en cuanto a atenuación y ruido se desarrolló el Rate Adaptive ADSL (RADSL) que baja automáticamente la velocidad de transmisión de datos cuando las condiciones de la línea son malas, pudiéndose usar en líneas de hasta 7 Km de longitud con velocidades de bajada del orden de los 500 Mbps o algo superiores y de subida de 128 Kbps.

En cuanto a sistemas xDSL simétricos se encuentran HDSL (High Speed DSL) y VDSL (Very High Speed DSL) el cual puede alcanzar 10 Mbps en ambos sentidos para distancias hasta 1 Km. VDSL también puede trabajar en forma asimétrica.

La característica más importante de ADSL es la asimetría, debido a que se tiene diferente velocidad de conexión para recibir información (*downstream*) y transmitir información (*upstream*) de internet lo cual la convierte en una tecnología apropiada para la prestación de servicios residenciales. La Figura C-9 [5] muestra un esquema de conexión para un sistema ADSL.



**Figura C-9. Tecnología ADSL.**

Aunque actualmente los diferentes operadores ofrecen planes que incluyen velocidades de 64 Kbps a 128 Kbps en "upstream" y 128 Kbps a 256 Kbps en "downstream" debe tenerse en cuenta que la velocidad que se puede conseguir con una conexión ADSL depende de factores como: las características de la línea telefónica, distancia del punto de conexión a la central telefónica, calidad de la red telefónica domiciliaria y los servidores o paginas a las cuales el cliente desee acceder.

En base a lo expuesto anteriormente se puede concluir que esta tecnología es muy recomendable para implementar servicios de internet banda ancha en localidades, residenciales y metropolitanas, en las cuales existen redes de cables de cobre y centrales de conmutación. Desafortunadamente la mayoría de las zonas rurales carecen de la infraestructura necesaria e implementarla resultaría una solución muy costosa y poco viable si se tiene en cuenta el número de usuarios potenciales, razón por la cual se descarta esta posibilidad

- **FIBRA OPTICA.**

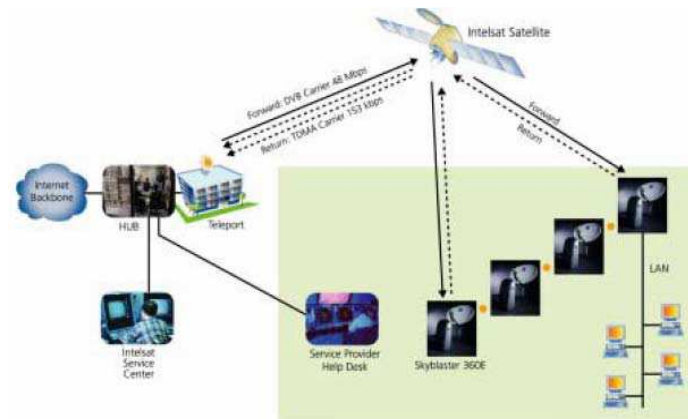
Por sus características, las redes de fibra óptica permiten la interconexión y el acceso a las redes con alta calidad, velocidad y confiabilidad, ya sea a través de enlaces punto a punto o hacia diversos puntos ubicados en diferentes sectores geográficos. Por lo anterior estas redes permiten desarrollar aplicaciones que no son posibles realizar con la utilización de métodos convencionales de transmisión como el cobre o los enlaces microondas, al disponer de enlaces de alta velocidad de transmisión desde 64 Kbps hasta 2.5 Gbps o superiores.

Para lograr estas velocidades de transmisión, se utiliza el esquema de modulación WDM, que consiste en la Multiplexación de diferentes señales ópticas portadoras con diferentes longitudes de onda. Desarrollos posteriores han permitido la creación de esquemas nuevos como DWDM, que se aplica para sistemas con mas 8 portadoras permitiendo potencializar el uso de las fibras para redes de alta capacidad aprovechando características importantes de la fibra óptica como es la inmunidad a las interferencias permitiendo así que la calidad de la transmisión no dependa de la distancia entre el usuario y el "backbone" de la red.

Muchos operadores ofrecen servicios de transmisión de datos a través de sus redes de fibra óptica que en su mayoría son topologías en anillo SDH.

- **ENLACES SATELITALES.**

Esta tecnología incluye la puesta en órbita de un satélite artificial, que sirve de puente visual entre una estación transmisora y una estación receptora. Las señales satelitales o (*broadcasting*) utilizan señales de microondas para transmitir los datos hasta el satélite y desde este nuevo hasta la tierra. Los elementos básicos de la estación terrestre son la antena y el alimentador como lo muestra la Figura C-10 [5].



**Figura C-10. Esquema de comunicación satelital de Banda Ancha**

Las características más importantes del enlace satelital son:

- Los sistemas satelitales son de fácil y rápida instalación, por lo que son ampliamente utilizados para establecer comunicaciones de voz y datos con lugares aislados
- Tiene alta cobertura, lo cual lo hace ideal para zonas aisladas o de difícil acceso, haciendo que las condiciones topográficas no sean un inconveniente.
- Es posible proveer velocidades de conexión que van desde los 4.8 Kbps hasta velocidades del orden de los Mbps aunque esto implica un aumento en el costo del ancho de banda.
- Es el medio que mas retardo de propagación introduce en el envío de datos, en promedio 660 milisegundos, lo cual restringe su utilización en aplicaciones sensibles al retardo y que en el caso de aplicaciones IP introduce latencia que puede perjudicar la calidad del servicio.
- Por la modularidad del equipo y por lo tanto de las inversiones, una solución satelital es económicamente factible solamente cuando se requiere atender una gran cantidad de estaciones remotas, razón por la cual esta tecnología no es una solución viable en zonas rurales donde la densidad de población es baja y con bajo poder adquisitivo.

- **WIMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*).**

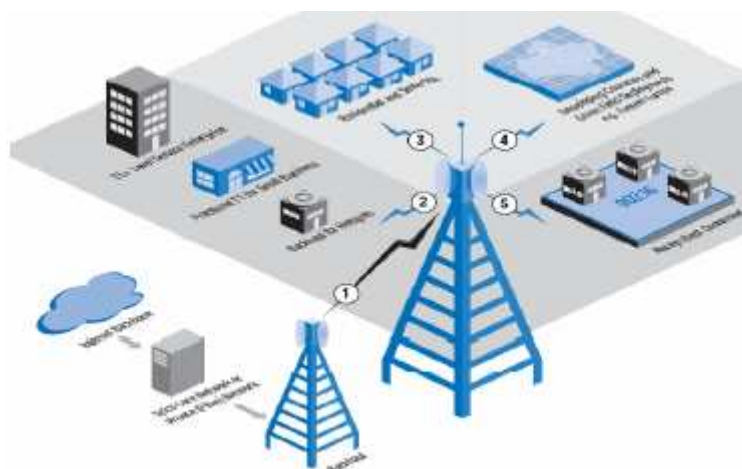
El denominado *Worldwide Interoperability for Microwave Access Forum* (WIMAX) es la organización promotora de esta tecnología, cuya base se fundamenta en el estándar 802.16, el cual se asocia a las características de la interfaz de aire para sistemas fijos de acceso inalámbrico de banda ancha. Aunque esta tecnología se

utiliza para proveer accesos en redes metropolitanas (MAN), la ventaja principal de WIMAX se centra en su rápida instalación, así como en la velocidad de transmisión de hasta 75 Mbps. Adicionalmente, el estándar contempla características de seguridad y calidad de servicio, que le permiten soportar servicios de voz y vídeo a través de esquemas de Multiplexación TDM o sobre el protocolo IP.

Es así como en enero de 2003 fue aprobado el estándar 802.16a, el cual opera en las frecuencias de 2 a 11 GHz, permitiendo el establecimiento de conexiones sin necesidad de tener línea de vista permitiéndole así operar a través de obstáculos como árboles y edificaciones. Un esquema básico de esta tecnología de acceso lo muestra la Figura C-11 [6] y consta de una estación base central ubicada en una torre o edificio que se comunica a través de un esquema punto-multipunto con los diferentes suscriptores residenciales o de negocios.

Teniendo en cuenta lo anterior, la utilización de este tipo de tecnología la hace propicia para:

- Enlaces de ultima milla para radio bases de telefonía móvil.
- Prestación de servicios sobre accesos de Banda Ancha por demanda.
- Acceso de Banda ancha en áreas urbanas sin infraestructura de cobre.
- Acceso de Banda Ancha en zonas rurales o apartadas, aunque esta solución resulte actualmente muy costosa.



**Figura C-11. Esquema típico de una red WIMAX.**

#### **C-4. Parámetros de Calidad del Servicio de VoIP en Zonas de Cubrimiento Wi-Fi**

Para establecer en forma detallada los aspectos relevantes a la calidad del servicio, asociado a aplicaciones de voz, se debe tener en cuenta que estos sean medibles y por tanto, permitan valorar los niveles recibidos por los terminales en cualquier instante. Es por esto, que se crea la necesidad de disponer claramente, de parámetros de QoS que sean fácilmente advertidos tanto por parte de los usuarios, como por parte del esquema de funcionamiento de la red de soporte.

**Tabla C-2. Parámetros de Calidad en Telefonía IP**

Latencia	La latencia es el ritmo de la conversación (se refiere al retardo entre el tiempo en que una de las partes habla y el tiempo en que la otra parte escucha lo hablado), y constituye el resultado de retardos en la pasarela o en la red. Una latencia que excede 250 ms. se vuelve molesta para la conversación normal.
Perdida de paquetes	Este tema tiene relación con la telefonía de Internet que se da el Internet público más que aquella que se produce en las redes privadas. La pérdida de paquetes ocurre cuando los routers que encaminan los paquetes sobre la red IP se sobrecargan. La respuesta de un router es la de desechar intermitentemente algunos paquetes. Es poco probable que en una conversación de voz aceptable se noten pérdida de paquetes menores al cinco por ciento. Cualquier pérdida de paquetes que excedan este porcentaje tiene probabilidades de resultar en conversaciones entrecortadas.
Interpolación	Se refiere a que tan bien (con que grado de fidelidad) armoniza la voz transmitida con a voz natural de la persona que habla.
Inestabilidad (jitter)	La inestabilidad resulta cuando una conversación telefónica es descompuesta en paquetes que viajan luego a través de las redes IP posiblemente a velocidades diferentes. Cuando los paquetes llegan a diferentes velocidades, el usuario escucha un poco de conversación seguida de silencio hasta que arriba el siguiente paquete
Compresión	Hay una interacción entre la compresión y la calidad. Mientras más se comprime la señal de voz en el códec, menor es la calidad.

Cabe anotar que la implementación de protocolos inalámbricos implica variaciones en la calidad de las transmisiones debido a los errores propios de la interfaz de radio.

Entre los problemas técnicos que se presentan a la hora de la implementación de este tipo de aplicaciones, se encuentra la baja capacidad de VoIP en las WLAN y el hecho de que su funcionamiento muestra niveles inaceptables al coexistir con tráfico de otro tipo de aplicaciones. El retardo y las pérdidas por desempeño son algunos de los atributos que se ven comprometidos seriamente en la presencia de tráfico TCP.

Así mismo, mediante la implementación de técnicas avanzadas de compresión de voz (algoritmos de compresión), se alcanzan mejoras en los niveles de utilización del ancho de banda disponible, haciendo posible la utilización del protocolo IP de nivel 3 del modelo de referencia OSI, con respuestas aceptables.

Un códec (coder-decoder: codificador-descodificador) convierte la señal vocal analógica en un tren de bits digitalizado en un extremo de la llamada y la devuelve a su estado analógico en el otro extremo (los codecs también se usan para convertir de una forma digital a otra, un proceso conocido como "transcodificación").

La transmisión por paquetes ofrece la flexibilidad para usar diferentes codecs según sea necesario. Cuando se elige un códec para una llamada o aplicación



determinada, deben tenerse en cuenta varios factores: la tasa de compresión necesaria, la calidad de voz deseada, el retardo que el códec añade a la conexión, en qué medida permite el códec la compensación de paquetes faltantes y si un algoritmo de ocultación de pérdida de paquetes debe añadirse externamente o ya está integrado en el códec.

El retardo de codificación del códec es una componente integral del retardo de extremo a extremo. Como los codecs de compresión añaden un retardo considerable, es posible que sea necesario ajustar el cálculo del retardo que define la distribución del retardo permisible entre los diversos elementos de la red para tener en cuenta un retardo de codificación prolongado<sup>7</sup>.

Para aplicaciones de VoIP la codificación PCM, definida en la Rec G.711 de la ITU-T<sup>8</sup>, se encarga de codificar y comprimir las señales de voz en flujos de paquetes con tasas de transmisión bastante bajas, mediante la utilización de codecs; de hecho, G.711 es un códec de forma de onda que trabaja a 64kbps tal como lo muestra la Tabla C-3.

**Tabla C-3. Atributos Asociados a Los Codecs De Uso Más Frecuente<sup>9</sup>**

Códec	GSM 6.10	G.711	G723.1	G.726-32	G.729
Tasa Bit [Kbps]	13.2	64	5.3/6.3	32	8
Intervalo del Frame [ms]	20	20	30	20	10
Carga Útil [Bytes]	33	160	20/24	80	10
Paquetes/Seg	50	50	33	50	50*
Nº Máximo Sesiones que Soporta	11,2	10,2	17,2	10,8	11,4

El estándar 802.11e se enfoca en el desarrollo de métodos que garanticen niveles de QoS a las aplicaciones de voz y multimedia que sean implementados sobre redes inalámbricas. Según la recomendación E.800 del CCITT, se realizarán las evaluaciones, a partir del nivel de satisfacción de los usuarios respecto del cumplimiento del servicio, teniendo en cuenta parámetros como el retardo (delay) y la disponibilidad de ancho de banda (throughput).

Para cubrir las necesidades específicas que las aplicaciones de voz requieren, se debe garantizar que los retrasos en la entrega de paquetes permanezcan en tiempos cercanos a los 100 ms, pues la congestión genera rápidamente la degradación de la voz, haciéndola ininteligible.

Ante la presencia de parámetros como el retardo en el envío de paquetes, el jitter<sup>10</sup>, la pérdida de paquetes, o de algunos parámetros técnicos asociados a la

<sup>7</sup> Estudio sobre Características de la Voz Basadas en Redes que Usan IP. Comité Consultivo Permanente I: Normalización de Telecomunicaciones. Organización de los Estados Americanos. Comisión Interamericana de Telecomunicaciones.

<sup>8</sup>International Telecommunications Unión -Telecommunications (Unión Internacional de Telecomunicaciones- Telecomunicaciones)

<sup>9</sup> Solutions to Performance Problems in VoIP 802.11 Wireless LAN. Wei Wang, Soung Chang Liew, Victor O.K. Li.

<sup>10</sup> Variación del retardo (Desviación Estándar)



red de soporte, tales como el BER<sup>11</sup> y la probabilidad de congestión, las aplicaciones no entran solo a depender de la capacidad de transferencia o el ancho de banda asociado al enlace.

Ahora, si bien es cierto que la calidad del servicio asociada a aplicaciones de VoIP implementadas en áreas de cubrimiento de una red local inalámbrica, aún no puede equipararse a la relacionada a los servicios de voz en redes fijas o móviles, debido a la alta dependencia del grado de congestión de la celda o hot spot utilizado, si puede realizar el análisis correspondiente, basado en el modelo conceptual ya definido para los servicios de telecomunicaciones.

Entre los parámetros de calidad que son percibidos por parte de los usuarios, y de los cuales depende según su nivel de eficiencia el grado de satisfacción correspondiente, esta la fiabilidad o disponibilidad asociada al servicio, así como el nivel de certeza con el cual el sistema define la probabilidad de establecer exitosamente una conexión.

Algunas de las prestaciones funcionales de la red, a las cuales ya se hizo alusión previamente, tales como el retardo extremo a extremo o la pérdida de paquetes, hacen parte de los parámetros que deben ser comprobados por parte de los operadores de la red.

Así mismo, los parámetros que deben ser advertidos por parte de la red técnica de soporte, pues determinan el comportamiento de las prestaciones funcionales y por tanto especifican la calidad del transporte (BER) o el enrutamiento (probabilidad de congestión), terminan por ser de responsabilidad exclusiva del operador de esta.

Ahora, existen algunas prestaciones que no pueden relacionarse como funcionales, pero que pueden representar para los usuarios, niveles de satisfacción importantes en la relación que existe con su proveedor de servicio. El tiempo de demora en el aprovisionamiento del servicio, el definido para la atención de quejas, y el nivel de precisión en la facturación, son algunos de los parámetros que permiten definir los aspectos de gestión, provisión y mantenimiento del mismo.

Teniendo en cuenta lo relacionado anteriormente, es claro que la calidad del servicio termina por asociarse más a los mecanismos a nivel de red que permiten gestionar los efectos de la congestión del tráfico, y que por consiguiente dan la posibilidad de optimizar los diferentes recursos de la red que se encuentren disponibles, que a las prestaciones que le permiten a los usuarios percibir los niveles de calidad resultantes. Las redes que basan su funcionamiento en tecnologías de conmutación de paquetes, suponen niveles de prioridad iguales para todos los paquetes, independiente del tipo de aplicación, correo electrónico o voz.

Ahora, debido a las características generales asociadas al tráfico isócrono<sup>12</sup>, el cual da muestras de mayor sensibilidad ante la diferencia entre los retardos de las diversas fuentes respecto al retardo total que sufren las mismas por efecto de la red, hace que la transmisión de la voz digital basada en paquetes pueda experimentar un retardo total importante, debido a la alta sensibilidad de este tipo de aplicaciones a las congestiones y al hecho de que las transmisiones son realizadas aleatoriamente.

---

<sup>11</sup> Bit Error Rate (Tasa de Error de Bit)

<sup>12</sup> Tráfico que genera muestras o paquetes de las mismas a intervalos igualmente espaciados en el tiempo.

La latencia<sup>13</sup> por lo tanto, es el tiempo entre la generación de un sonido en el extremo de una llamada y su recepción en el otro extremo, en este se incluye el tiempo que toma codificar la señal análoga de voz en una digital, el tiempo que se toma la señal a través de la red, y la decodificación correspondiente en el extremo receptor.

Entre los retardos asociados a diversas fuentes, y que contribuyen al retardo presente entre los extremos de la conexión, tenemos:

- **Retardo de Procesamiento:** El retardo de procesamiento incluye el tiempo necesario para codificar y decodificar las señales de voz, procediendo a realizar el proceso en el cual la voz es paquetizada , junto a otras características del DSP, tales como la compensación del eco y la reducción de los niveles de ruido.
- **Retardo de Propagación:** Relacionado con la transmisión de la señal, las limitantes físicas asociadas a las estructuras propias de la red colaboran en los niveles de retardo de propagación de extremo a extremo. La disposición adecuada de la topología de la red, permite que determinados paquetes puedan manejar rutas más directas, con lo cual se restringen los niveles del retardo de propagación al mínimo.
- **Retardo de Memoria Intermedia:** la velocidad de reproducción de la voz debe ser constante, para ello se hace necesaria una memoria intermedia de fluctuaciones para quitar las variaciones (fluctuación) del flujo de paquetes al decodificador. La demora impuesta por la memoria intermedia de fluctuaciones depende de la variación en el retardo por la red. Cuando se usa el control de congestión, basta con una memoria Intermedia, de fluctuaciones muy corta. Las fluctuaciones no controladas causan pérdida de paquetes.

La UIT-T recomienda algunos valores en lo que refiere al retardo, que permitan evitar los deterioros en la conversación, pues estos pueden llegar a destruir la simultaneidad, al perturbar los turnos naturales de paquetes de conversación.

**Tabla C-4. Tiempo de Retardo Extremo a Extremo [en un sentido] <sup>14</sup>**

Retardo total en una dirección	Recomendación para el uso
0 - 150 ms	Aceptable.
50 – 400 ms	Aceptable para ciertas aplicaciones, se requiere cuidado para garantizar la satisfacción del usuario.
+ 400 ms	Inaceptable para la planificación de redes generales.

Las redes de paquetes dividen las transmisiones de voz en pequeños paquetes de información. Cada uno de estos paquetes, tiene en su encabezado la información necesaria para determinar el lugar hacia dónde se dirige, y además el orden en el cual debe ser rearmado en cuanto llegue a su destino. Los paquetes se desplazan de forma independiente mientras simultáneamente se mezclan con paquetes de tráfico de otras aplicaciones.

Siempre existirá la posibilidad de que un número no determinado de paquetes no llegue a su destino, pues la única forma de evitar que este tipo de situaciones se

<sup>13</sup> Retardo de extremo a extremo.

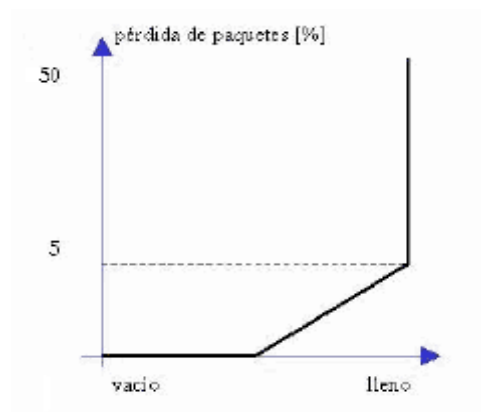
<sup>14</sup> Rec G.114 de la ITU-T

dé, sería sobredimensionando la red para que soporte en cualquier instante, condiciones de tráfico excepcionalmente altas. Producto de esta situación, se ha definido este parámetro como el porcentaje de paquetes perdidos en una transmisión.

Existen alternativas para intentar disminuir la tasa de pérdida de paquetes, una de ellas implica la implementación en los buffers, de variaciones en el retardo, para paquetes de gran tamaño; esto con el fin de que los paquetes sean reacomodados y reproducidos con la cadencia original.

Lamentablemente, tal acción tiene efectos colaterales en los retardos asociados a las colas, generando tiempos tan elevados que terminan por afectar los niveles de calidad asociados a aplicaciones de voz.

Existen dos formas por medio de las cuales se presenta este problema, la primera tiene relación con la presencia dentro del esquema de la red, de routers que ante el evento de no procesar la transmisión de un número no determinado de paquetes con la suficiente rapidez, o de verse restringidos por la velocidad de los circuitos de salida, causan congestión en los buffers<sup>15</sup>, lo cual intenta ser solucionado, descartando los paquetes que no pueden ser almacenados en estos. La segunda, tiene que ver con equipos que hacen parte del esquema de red que se encuentren fuera de servicio.



**Figura C-12. Pérdida de Paquetes Vs. Estado del Buffer<sup>16</sup>**

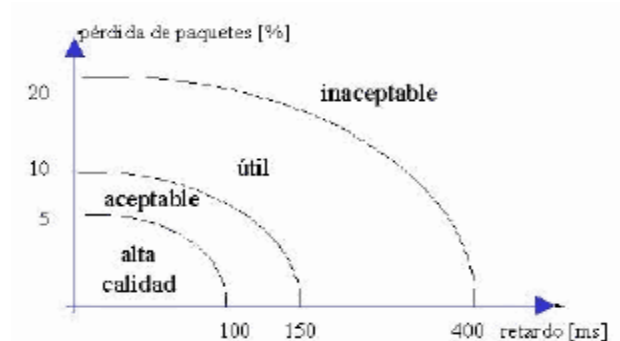
Las características técnicas asociadas al protocolo TCP/IP, dan lugar a retransmisiones de paquetes que hayan sido descartados o que se hayan perdido en las transmisiones; esta acción termina teniendo una fuerte influencia en el desempeño de la red, pues a mayores niveles de congestión, se presentan disminuciones en las tasas de transmisión.

Ahora, si la pérdida de paquetes es originada por la congestión de la red, el flujo resultante de paquetes retransmitidos, terminará por aumentar aún más los niveles de congestión en la misma.

<sup>15</sup> Espacios temporales, utilizados para almacenar los paquetes hasta que puedan ser reenviados a su destino.

<sup>16</sup> Las Tesinas de Belgrano. Facultad de Ingeniería y Tecnología Informática. Ingeniería en Telecomunicaciones. Voz sobre IP. N° 33 Gabriel Fernández Crocco. Departamento de Investigación. Agosto 2002.

Por lo tanto, la pérdida de paquetes afecta de manera significativa la habilidad de la red para transportar datos. De esta manera, una red que ofrezca un retardo pequeño y una disponibilidad alta, pero que presente una alta pérdida de paquetes, proporcionara un bajo desempeño.



**Figura C-13. Pérdida de Paquetes Vs. Retardo<sup>17</sup>**

La pérdida de información es un grave problema, pues la voz al ser comprimida, puede generar en el momento del rearmado del paquete, la pérdida de varios fonemas, cuya resultante sería la degradación de la calidad de la voz.

Adicionalmente, una fuente isócrona típica genera tráfico con tiempos fijos entre muestras, si dichas muestras son enviadas a través de una red de conmutación de paquetes, los elementos de enrutamiento (que en el caso las de redes basadas en el protocolo Internet, son los routers) terminan por introducir variaciones en el retardo, que terminarán por hacer que las muestras lleguen a su destino a un ritmo diferente al que fueron emitidas. Esta variación del retardo, comúnmente denominada jitter, adquiere especial importancia al momento de dimensionar el tamaño asociado al buffer de recepción, el cual debe aplicarse en el extremo receptor para poder recomponer la señal correctamente.

### **C.5 CONSIDERACIONES REGULATORIAS PARA LA PRESTACION DE SERVICIOS BANDA ANCHA EN COLOMBIA**

Teniendo en cuenta que en Colombia se regulan servicios y no redes se hace necesario considerar algunos aspectos importantes comenzando por describir brevemente las clases de servicios establecidos por la legislación colombiana los cuales se mencionan en la tabla C-5 [7].

**Tabla C-5. Clasificación de los servicios según la regulación colombiana**

SERVICIO	REGULACION	CARACTERISTICAS
Servicios básicos (portadores y tele servicios)	-Decreto 930 de 1992 -Decreto 2103 de 2003 -Decreto 2458 de 1997 -Decreto 1366 de 2000 -Decreto 2343 de 1996 -Ley 37 de 1993 -Ley 555 de 2000	Son servicios suministrados a través de una red de telecomunicaciones. Constituyen la base sobre la cual pueden prestarse servicios suplementarios, cuyo principal objetivo es la transmisión de señales a través de la red de telecomunicaciones del Estado. Este servicio se divide en Servicios Portadores y Servicios Telemáticos.

<sup>17</sup> Las Tesinas de Belgrano. Facultad de Ingeniería y Tecnología Informática. Ingeniería en Telecomunicaciones. Voz sobre IP. N° 33 Gabriel Fernández Crocco. Departamento de Investigación. Agosto 2002

		<p>-Sistemas mono canales de Voz y/o Datos.</p> <p>-Sistemas de Radiomensajes.</p> <p>-Sistemas de Acceso Troncalizado – Trunking.</p> <p>-Telefonía Móvil Celular (TMC).</p> <p>-Sistemas de Comunicación Personalizada (PCS).</p>
Servicios de Difusión	<p>-Decreto 1445 de 1995</p> <p>-Decreto 1446 de 1995</p> <p>-Decreto 1447 de 1995</p> <p>-Decreto 1981 de 2003</p> <p>-Decreto 1972 de 2003</p> <p>-Ley 74 de 1966</p>	<p>Son aquellos servicios de telecomunicaciones cuyas transmisiones están destinadas a la recepción libre y directa por el público en general. Estos servicios comprenden emisiones sonoras de televisión, radio u otro género.</p> <p>-Radiodifusión Comercial.</p> <p>-Radiodifusión de Interés Público.</p> <p>-Radiodifusión Comunitaria.</p>
Servicios de valor agregado	<p>-Decreto 600 de 2003</p>	<p>Son los servicios que utilizan como soporte servicios básicos, telemáticos, de difusión o cualquier combinación de estos, y con ellos proporcionan la capacidad completa para el envío o intercambio de información, agregando otras facilidades al servicio, soporte o satisfaciendo nuevas necesidades específicas de telecomunicaciones.</p>
Servicios telemáticos	<p>-Decreto 3055 de 2003</p>	<p>Los que utilizando como soporte servicios básicos, permiten el intercambio de información entre terminales con protocolos establecidos para sistemas de interconexión abiertos. Forman parte de ellos los de Telefax, Publifax, Teletex, Videotex y Datafax.</p>
Servicios auxiliares de ayuda	<p>-Decreto 1212 de 2004</p> <p>-Resolución 1201 de 2004</p> <p>-Ley 730 del 2001</p> <p>-Decreto 2061 de 1996</p> <p>-Decreto 1900 de 1990</p> <p>-Resolución 1946 de 1998</p>	<p>Son los servicios vinculados a otros servicios públicos y cuyo objetivo es la seguridad de la vida humana, la seguridad del Estado o razones de interés humanitario. El Estado, a través de las entidades públicas autorizadas para el efecto, o los organismos de socorro debidamente reconocidos, autorizados mediante licencia, podrán prestar los servicios auxiliares de ayuda.</p> <p>Radioeléctricos de socorro y seguridad de la vida humana.</p>

Servicios especiales	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Ley 72 de 1989</li> <li>-Decreto 1900 de 1990</li> <li>-Ley 94 de 1993</li> <li>-Decreto 2058 de 1995</li> <li>-Decreto 2765 de 1997</li> <li>-Resolución 1704 de 2002</li> </ul>	<p>Son aquellos que se destinan a satisfacer, sin ánimo de lucro ni comercialización en cualquier forma, necesidades de carácter cultural o científico (Decreto 1900 de 1990, artículo 33º).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Servicios especiales de Radioaficionados.</li> <li>-Banda Ciudadana.</li> </ul>
----------------------	---	--

Sin embargo, antes de promocionar cualquier servicio banda ancha se debe tener en cuenta el número de usuarios potenciales y ancho de banda por usuario requerido para la prestación del mismo tal como lo muestra la tabla C-6 [8]

**Tabla C-6. Características de los principales servicios Banda Ancha**

SERVICIO	ANCHO DE BANDA/USUARIO	CARACTERISTICAS
MENSAJERIA DE TEXTO / IM	<1 Kbps	Debido a que el tráfico es poco frecuente y asincrónico, IM va a tolerar mucha latencia.
CORREO ELECTRÓNICO	1 Kbps – 100 Kbps	Debido a que el correo electrónico es asincrónico e intermitente va a tolerar mucha latencia. Los archivos adjuntos grandes, los virus y el correo no deseado aumentan significativamente la utilización del ancho de banda. Los servicios de correo web (Yahoo, Gmail, Hotmail) son considerados navegadores web y no correo electrónico.
NAVEGADORES WEB	50 Kbps – 100+ Kbps	Los navegadores web solo utilizan la red cuando hay petición de dato. Debido a la comunicación asincrónica toleran una alta latencia. Cuando los navegadores web, buscan datos voluminosos (imágenes pesadas, descargas largas, etc) el uso del ancho de banda aumenta significativamente.
FLUJO DE AUDIO (STREAMING)	96 Kbps – 160 Kbps	Cada usuario de un servicio <i>streaming</i> va a utilizar una cantidad constante de una relativamente gran cantidad de ancho de banda, durante el tiempo que está activo. Puede tolerar algo de latencia pasajera mediante la utilización de mucha memoria de almacenamiento temporal en el cliente ( <i>buffer</i> ).
VOZ SOBRE IP (VoIP)	24 Kbps – 100+ Kbps	Así como el flujo de audio, VoIP dedica una cantidad constante de ancho de banda de cada usuario mientras dura la llamada. Pero con VoIP, el ancho de banda utilizado es aproximadamente igual en ambas direcciones. La latencia en una conexión VoIP molesta inmediatamente a los usuarios. Para VoIP una demora mayor a unas pocas decenas de milisegundos es inaceptable.
FLUJO DE VIDEO (STREAMING)	64 Kbps – 200+ Kbps	Así como el flujo de audio, un poco de latencia intermitente es superada mediante la utilización de la memoria de almacenamiento temporal del cliente. El flujo de video requiere de alto rendimiento y baja latencia para trabajar correctamente.

<p style="text-align: center;">APLICACIONES <i>PEER TO PEER</i></p>	<p style="text-align: center;">0 Kbps – infinitos Mbps</p>	<p>Pese a que este tipo de servicios toleran cualquier tipo de latencia, tienden a utilizar todo el rendimiento disponible para transmitir datos a la mayor cantidad de clientes y lo más rápido como sea posible. El uso de estas aplicaciones causa latencia y problemas de rendimiento para los demás usuarios de la red, a menos que se utilice un conformador de ancho de banda adecuado.</p>
---	--	--

Teniendo en cuenta lo anterior es recomendable comenzar por el servicio más básico como es el de internet para posteriormente promocionar la VoIP<sup>18</sup> (Voice Over Internet Protocol). Sin embargo, su implementación no es tan flexible dado que ya existe un fuerte mercado de telefonía tanto para llamadas locales como para larga distancia por parte de operadores que utilizan la RTPC y que además cuentan con una licencia de operación. Dado que la VoIP actualmente es uno de los servicios de mayor aceptación y con alta proyección en zonas rurales se hace necesario plantear una matriz DOFA referente a la VoIP como se muestra en la tabla C-7.

**Tabla C-7. Matriz DOFA de la VoIP**

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Bajo costo de tarifas.</li> <li>❖ Ubicuidad.</li> <li>❖ Convergencia.</li> <li>❖ Portabilidad.</li> <li>❖ Control del cliente.</li> <li>❖ Facilidad de comunicación a nivel mundial.</li> <li>❖ Economías de escala.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Generación de nichos de mercado.</li> <li>❖ Convergencia de redes y servicio.</li> <li>❖ Reducción de precios para LDI.</li> <li>❖ Economías de escala.</li> <li>❖ Reducir la brecha digital.</li> </ul>
DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Calidad del servicio.</li> <li>❖ Vulnerabilidad a virus.</li> <li>❖ Seguridad pública y privada.</li> <li>❖ Ancho de banda.</li> <li>❖ Fiabilidad de equipos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Costo de terminales.</li> <li>❖ Retorno de la inversión.</li> <li>❖ Agotamiento de nombres de dominio.</li> <li>❖ Interoperabilidad entre las redes.</li> <li>❖ Costos de gestión.</li> <li>❖ Preparación del personal.</li> </ul>

Además de considerar aspectos normativos para la prestación del mismo como son:

- **Permisos:** La manera más fácil de obtener una licencia para prestar el servicio de VoIP es estableciendo un convenio con una empresa prestadora de servicios de valor agregado (*Value Added Services – VAS*) la cual se encargue no solo de la provisión de minutos sino también de establecer los convenios con otros operadores para así poder encaminar las llamadas desde la red IP interna hasta el destino.
- **Interconexión con las PSTN:** Se refiere a si se interconecta con la red pública telefónica y/o con otros servicios VoIP. Esta cualidad constituye un elemento central en la definición del servicio por cuanto establece su naturaleza de servicio público o restringido. En este ítem hay que tener en cuenta al usuario, es decir, los gobiernos deben obligar a la interconexión y poner normas respecto a los cobros por ella. La interconexión se hace por medio de la *Gateway* y se debe buscar los mejores sitios de la red PSTN para realizar la conexión. Es necesaria una regulación clara con el fin de propiciar la competencia sana con la entrada de nuevos operadores.

<sup>18</sup> Transporte de voz y servicios relacionados empleando la conmutación de paquetes en redes IP



- Interconexión con otros operadores de VoIP: Los problemas que se pueden presentar son en las diferentes tecnologías que se desarrollan para el empleo o aplicación de la VoIP, ya que algunos equipos pueden llegar a no ser compatibles, llegando a impedir ciertas clases de tráfico. La interconexión en este caso deberá ser libre, sin cobro alguno para que el usuario sea beneficiado de este servicio, el cual desde su origen busca la economía.
- Numeración: La numeración a asignar dependerá de si el operador se interconecta o no con la red pública telefónica. La Subsecretaría de Telecomunicaciones asignará la numeración correspondiente, según lo disponen los artículos 3º y 6º del Plan Técnico Fundamental de Numeración Telefónica, ENUM<sup>19</sup>, para asegurar que los usuarios de las concesionarias del SPTVBA y los de las concesionarias del servicio público telefónico puedan comunicarse entre ellos dentro y fuera del territorio nacional. Hasta el momento cada operador prestador de los servicios ha empleado una numeración acorde a la establecida por los entes reguladores (ITU-T E.164) de los países.
- Seguridad: La información en la red internet se encuentra disponible a todo público, por lo que hay que indicar las formas de garantizar la protección a los usuarios. Internet sin duda es inseguro, lo que lleva a que los servicios que soporta se vean en cierto sentido amenazados: virus, pérdida y robos de información, entre otros; comparado con las PSTN es un margen muy grande, ya que estas han tenido pocos problemas en lo que a la seguridad se refiere. Una buena regulación debe proponer reglas claras con el fin de proteger la información de los usuarios.

Vale la pena recordar que la VoIP es utilizada en Colombia por diferentes operadores de Telecomunicaciones, como son las empresas debidamente habilitadas que prestan el servicio de Larga Distancia (Telecom, ETB y Orbitel) y algunos operadores de Valor Agregado para servicios de Voz corporativa, con base en las definiciones que sobre esta materia han sido reglamentadas por el Ministerio de Comunicaciones mediante los Decretos 600 y 3055 de 2003, relacionados con servicios de Valor Agregado y Telemáticos.

## **C.6 FUNDAMENTOS ECONOMICOS PARA LA INTERCONEXION Y LA REGULACION DE LOS CARGOS DE ACCESO PARA LA PRESTACION DE SERVICIOS BANDA ANCHA**

Fijar un cargo de acceso no es una tarea fácil y eso conlleva al establecimiento de un ente regulador que permita fijar las condiciones de interconexión y los cargos de acceso de acuerdo con criterios y objetivos que garanticen la promoción de la competencia y la masificación de la banda ancha en Colombia, teniendo en cuenta la situación actual de la banda ancha y de la cual trata en la sección C-2 del presente anexo.

Por un lado, un precio de interconexión bajo facilita la entrada de nuevos operadores ineficientes y dificulta la recuperación de la inversión en infraestructura de red realizada por el establecido. Por el otro, un precio de interconexión alto desincentiva la entrada de nuevos operadores perjudicando la competencia.

Es por eso que las consecuencias que surgen a partir de la asignación de precios de interconexión y la existencia de diferentes métodos para fijarlos sean hechos que justifique aun más la indispensable existencia de un ente regulador neutral que

---

<sup>19</sup> Proyecto iniciado por la IETF con el fin de estandarizar la numeración



decida de manera objetiva el valor de tales cargos. Una política regulatoria de interconexión acertada es esencial para el pleno desarrollo de la competencia en la industria de las telecomunicaciones.

Teniendo en cuenta lo anterior, el numeral 2 del artículo 37 del Decreto 1130 de 1999 [9], confiere a la CRT la responsabilidad de regular los aspectos técnicos y económicos relacionados con las diferentes clases de servicios de telecomunicaciones, como también hace referencia a la normatividad correspondiente a la interconexión y establecimiento de los cargos de acceso, respecto de todos los servicios de telecomunicaciones a excepción de los de radiodifusión y televisión.

Aunque no es tema central de este trabajo de grado entrar a discutir en forma detallada este aspecto si creemos necesario describir brevemente las teorías y modelos existentes dirigidos a establecer precios de interconexión y destacar la importancia de regular estos cargos de acceso en el ámbito de prestación de servicios de telecomunicaciones, además de ampliar el modelo tecno-económico.

### **C.6.1 Concepto de Interconexión**

La interconexión entre redes se entiende económicamente como un bien intermedio el cual tiene un precio asociado conocido como cargo de acceso. Este es el precio que un operador cobra por permitir que otro operador se conecte a su red, dando lugar a la comunicación entre abonados de ambas redes. Existen diversos métodos para hallar estos cargos de acceso dependiendo del tipo o modalidad de interconexión existente entre operadores. En términos generales existen dos tipos de interconexión: en una dirección y en dos direcciones. La interconexión en una dirección surge cuando los entrantes necesitan conectarse con el establecido y no viceversa, mientras que en una interconexión de dos direcciones, tanto el entrante como establecido necesitan conectarse.

### **C.6.2 Precios de Interconexión en una dirección**

En este modelo de interconexión, para el operador establecido no es necesaria la interconexión con el entrante. Adicionalmente, se puede dar el caso en el cual el establecido también compite en el mercado del entrante ejerciendo un poder de monopolio y creando una barrera a la entrada por medio de unos precios de interconexión altos. Los entrantes, por el contrario, pueden estar en competencia entre ellos y adicionalmente necesitan la infraestructura física del establecido para poder prestar el servicio. Por lo tanto los precios que se pueden fijar en este tipo de interconexión son:

- Precios de primer orden: Estos son iguales a los costos marginales, lo cual hace que el operador establecido solo pueda recuperar sus costos variables. Debido a esto, para que el operador siga operando en el mercado es necesario otorgarle un subsidio que cubra los costos fijos de la infraestructura física de la red.
- Precios de Ramsey (de segundo orden): Estos son los precios que teóricamente maximizan el bienestar social. Sin embargo, esta maximización depende de la regulación dada tanto al precio final de los servicios como al precio de interconexión [10].

Cargos de acceso por componentes eficientes (ECPR)<sup>20</sup>: Esta forma de establecer cargos de acceso sugiere que el precio de interconexión debe ser igual al costo directo de la interconexión más el costo de oportunidad que le representa al operador regulado ofrecer esta interconexión. En torno a este método han existido controversias en cuanto a sus ventajas y desventajas. Sin embargo, Laffont y Tirole [11] sugieren que para garantizar la eficiencia de este método es necesario cumplir cuatro condiciones a saber: la sustituibilidad de los servicios del operador establecido y del entrante, que el operador entrante no tenga poder en el mercado, que el ente regulador conozca el costo marginal del monopolio y finalmente que las tecnologías muestren rendimientos constantes de escala.

### **C.6.3 Precios de Interconexión en Dos Direcciones**

En este modelo de interconexión, cada operador tiene un elemento esencial para los otros operadores, de tal modo que todos tienen cierto poder de mercado para negociar un acuerdo además de beneficiarse mutuamente de este último. Debido a esto, es práctica común no regular directamente los precios e interconexión aunque si se establecen mecanismos para que los operadores lleguen a acuerdos mutuos. Los precios que se pueden fijar en este tipo de interconexión son:

- Precios recíprocos y asimétricos: Se presentan cuando los precios de interconexión son recíprocos e iguales al costo marginal, estos precios dejan de ser relevantes y los operadores actúan como una empresa convencional buscando obtener un mayor mercado. En el caso de precios asimétricos, se estima que el bienestar social es menor al obtenido con los precios recíprocos.
- Precio final colusivo: Investigaciones recientes muestran que aunque es deseable establecer precios de terminación recíprocos cuando las empresas son simétricas, esta medida no garantiza el buen funcionamiento del mercado. Pueden existir comportamientos colusivos, en los cuales cada operador establece un precio de terminación elevado para obtener rentas de monopolio y perjudicar a sus rivales. Los operadores en esta situación, se ven desincentivados tanto a reducir el precio final como reducir el precio de interconexión [12].
- Sender Keeps All: Este método es bastante atractivo debido a su simplicidad ya que evita procesos de conciliación y cruce de cuentas entre operadores. La desventaja que presenta este sistema es el incentivo que tienen los operadores para reducir la utilización de la red, ya sea reduciendo la calidad del servicio o delegando el servicio a otras redes. [13].

### **C.6.4 Precios de Interconexión Orientados a Costos**

En la práctica, este es el método más comúnmente usado para regular los precios de interconexión. Estos precios no distinguen entre los tipos de redes, tampoco establecen precios diferentes de acuerdo con la estructura tarifaria de los operadores, al nivel de participación en el mercado. Este método es más sencillo de aplicar, no requiere estimar la elasticidad precio de la demanda como ocurre en los precios de Ramsey, además tiene un bajo costo político y fomenta la competencia.

Existen varios métodos para obtener estos costos, entre ellos, el más aceptado es el del Costo Incremental a Largo Plazo (*Long Run Incremental Costs*, LRIC).

---

<sup>20</sup> Conocida como regla Baumol-Willig o principio de paridad de precios.

Algunas metodologías de fijación de precios, según este método, son las siguientes:  
[14]

- Metodología LRAIC (Long Run Average Costs): Este calcula el costo incremental total debido a los costos generados por la prestación de cada servicio más sus costos fijos específicos.
- Metodología TSLRIC: (Total Service Long Run Incremental Costs): Este calcula el costo incremental de largo plazo según los servicios provistos por el operador, esto lo hace obteniendo la diferencia entre producir y no producir el servicio. A este valor generalmente se le debe agregar un diferencial de costo (mark-up).
- Metodología TELRIC (Total Element Run Incremental Costs): Este calcula el costo incremental de una actividad en función de los elementos utilizados en la provisión de esta actividad. Por ejemplo, elementos que participan en una comunicación: conmutación, transmisión y señalización.

De acuerdo a lo anterior, se hace necesario prever esquemas de tarificación posibles de acuerdo a los convenios con operadores establecidos, nuevas ofertas de servicios, integradores y agentes de servicio, acuerdos con las realidades socio-económicas del entorno colombiano, especialmente en las zonas rurales. A continuación y como punto final de este capítulo se mencionan algunas consideraciones las cuales creemos importantes para ampliar no solo el marco regulatorio, el cual podría ser tema de estudio en futuros trabajos de grado, sino también el modelo tecno-económico que permita determinar la viabilidad del proyecto.

## REFERENCIAS

[1] CRT estudio de las alternativas regulatorias para el desarrollo de la Banda Ancha en Colombia. Disponible en:

<http://www.crt.gov.co/Documentos/ActividadRegulatoria/MasificacionBandaAncha/EstudioAlternativasRegulatorias.pdf>

[2] CRT Promoción y Masificación de la Banda Ancha en Colombia Versión II. Disponible en:

<http://www.crt.gov.co/Documentos/ActividadRegulatoria/MasificacionBandaAncha/LineamientosPoliticaBandaAnchaII.pdf>

[3] Servicios menores a 512 Kbps de velocidad no son considerados como banda ancha. Revista ENTER. Disponible en:

[http://enter.com.co/enter2/ente2\\_actu/ente2\\_actu/ARTICULO-WEB-NOTA\\_INTERIOR\\_2-3661171.html](http://enter.com.co/enter2/ente2_actu/ente2_actu/ARTICULO-WEB-NOTA_INTERIOR_2-3661171.html)

[4] Informe semestral Internet Numero 9, Comisión de Regulación de Telecomunicaciones, Bogotá D.C., mayo de 2007. Disponible en:

[http://www.crt.gov.co/Documentos/BibliotecaVirtual/InformeInternet/InformeInternet\\_mayo\\_2007.pdf](http://www.crt.gov.co/Documentos/BibliotecaVirtual/InformeInternet/InformeInternet_mayo_2007.pdf)

[5] Pyramid Research – CINTEL, "Análisis del Mercado de Servicios de Banda Ancha en Colombia", 2003. Disponible en:

<http://www.crt.gov.co/documentos/biblioteca/ResumenEjecutivoBandaAncha.pdf>

- [6] Figura 6. Esquema típico de una red WIMAX, "De que manera entender WIFI como solución de acceso". Disponible en:  
[http://www.intel.com/espanol/netcomms/wp03\\_espanhol.pdf](http://www.intel.com/espanol/netcomms/wp03_espanhol.pdf)
- [7] Las telecomunicaciones al servicio de los colombianos.  
[http://www.mincomunicaciones.gov.co/mincom/src/user\\_docs/social/CARTILLATELECOMUNICACIONESOCIALES.pdf](http://www.mincomunicaciones.gov.co/mincom/src/user_docs/social/CARTILLATELECOMUNICACIONESOCIALES.pdf)
- [8] Redes inalámbricas en los países en desarrollo.  
<http://www.telebajar.com/2007/03/25/libro-redes-inalambricas-en-los-paises-en-desarrollo-puede-descargarse-como-pdf/>
- [9] Decreto 1130 de 1999.  
[www.superservicios.gov.co/basedoc/docs/decretos/d1130\\_99.html](http://www.superservicios.gov.co/basedoc/docs/decretos/d1130_99.html)
- [10] Lasheras, "La regulación económica de los servicios públicos", Barcelona: Ariel, 1999.
- [11] Laffont y Tirole "Access Pricing and Competition". European Economic Review, 38: 1673-1710, 1994.  
<http://ideas.repec.org/p/fer/dpaper/283.html>
- [12] Armstrong. "Network Interconnection in Telecommunications". Economic Journal, 108: 545 – 564. 1998.
- [13] DeGrava. "Efficient Inter-carrier Compensation for Competing Networks: When Consumers Share the Value of a Call". Journal of Economics & Management Strategy. 12: 207 – 231. 2003.
- [14] World Bank, 2000. "Telecommunications Regulation Handbook". Washington D.C. 2000.

## ANEXO D. ANALISIS DE PROPAGACION, COBERTURA Y CALCULOS DE CAPACIDAD

En este anexo se presentan los resultados obtenidos por el software *Radiomobile* en los escenarios propuestos. Los escenarios son el municipio de Piendamó en el Cauca y el corregimiento del Carmelo en el Valle del Cauca, estos se caracterizan por tener diferentes niveles socioeconómicos, extensión geográfica y densidad demográfica, permitiendo así analizar y comprender mejor el diseño de la WMN multiradio en entornos rurales, teniendo como prioridad la mezcla entre capacidad y cobertura para un adecuado funcionamiento de la WMN.

Para cada una de las zonas se analizaron los pasos necesarios en el diseño de la red teniendo en cuenta factores como la altura y la ubicación de los MAP repetidores y CPEs basados en el estándar Wi-Fi para entornos rurales ofreciendo servicios de Acceso a Internet banda ancha.

Además, se tuvo en cuenta MAP<sup>21</sup> multiradio, el número de caminos, distancias, retardos, la capacidad de las gateways, así como la capacidad de cada enlace con mejoras específicas de la tecnología como son la concatenación y el *ACKTimeout*, derivando así el dominio de colisiones a las gateways de acuerdo al *throughput* y capacidad de usuarios de la WMN multiradio.

Teniendo en cuenta que el Municipio de Piendamó es el más extenso y donde mejor se aprecian los beneficios de este sistema, se analizaron el índice de penetración de suscriptores para el servicio de VoIP y se realiza el cálculo a manera de ejemplo; permitiendo tener una idea del impacto que esta tecnología puede aportar en las zonas rurales.

### D-1 Caracterización de los Equipos.

Teniendo en cuenta que en el mercado se encuentra una gran variedad de equipos con múltiples configuraciones, se toman como referencia características específicas presentes en la mayoría de equipos del mercado. Estas se muestran en la Tabla D-1.

**Tabla D-1. Características de equipos usados como referencia para los cálculos.**

Dispositivos del sistema	
Parámetros	
Estándar	802.11 A o G
Duplexación	TDD
Frecuencias	5800 GHz y 2400 GHz
Capa Mallada 5.8 GHz [meshDynamics]	
Potencia de Transmisión (dBm)	26
Ganancia de la Antena de Transmisión y Recepción en (dBi)	23
Perdidas de conectores	2
Perdidas del cable de transmisión (dB/m)	0.2
Altura de la estación repetidora (m)	26

<sup>21</sup> Mesh Access Point.

EIRP (dBm)	46.8
SOM (dB)	10
<b>Capa de Acceso 2.4 GHz [Meshdynamics]</b>	
Potencia de Transmisión (dBm)	20
Ganancia de la antena de transmisión (dBi)	15
Perdidas de conectores	1
Perdidas del cable de transmisión (dB/m)	0.2
Altura de la estación repetidora (m)	26
EIRP	34
<b>Equipo Cliente CPE outdoor</b>	<b>CPE/AP/Bridge/Router integrado en antena.</b>
Potencia de Transmisión (dBm)	17
Ganancia de la antena de transmisión (dBi)	10
Perdidas de conectores	1
Perdidas del cable de transmisión (dB/m)	0.2
Altura de la estación receptora (m)	7
EIRP (dBm)	26

El análisis se basa en las frecuencias que traen los equipos por defecto en su mayoría, 2.4 GHz y 5.8 GHz (acceso y malla respectivamente). Para Piendamó, en inyección se asume conexión por fibra óptica de alguno de los operadores que tienen conexiones de FO<sup>22</sup> en la vía panamericana. Para el corregimiento del Carmelo se asumen conexiones de fibra óptica de empresas de la región.

El porcentaje de penetración se asume del 20% en Piendamó y 100 % en el corregimiento el Carmelo; así mismo la sensibilidad de los equipos es obtenida de los valores por defecto de acuerdo a la modulación.

La Tabla D-2 del anexo B muestra el mínimo nivel de señal en recepción RSSmin para la modulación y codificación de IEEE 802.11 a/g.

**Tabla D-2 Requerimientos de la capa física (802.11 A/G) Wi-Fi**

Esquemas de Modulación y Codificación	Tasa de la capa Física	Nivel mínimo de RSSImin. en (dBm) para el estándar 802.11	Throughput Aproximado del enlace
BPSK 1/2	6 Mbps	-82 dBm	2 Mbps
BPSK 3/4	9 Mbps	-81 dBm	4 Mbps
QPSK 1/2	12 Mbps	-79 dBm	6 Mbps
QPSK 3/4	18 Mbps	-77dBm	9 Mbps
16-QAM 1/2	24 Mbps	-74 dBm	12 Mbps
16- QAM 3/4	36 Mbps	-70 dBm	18 Mbps
64-QAM 2/3	48 Mbps	-66 dBm	20 Mbps
64- QAM 3/4	54 Mbps	-65 dBm	23 Mbps

Para la elección del equipo cliente CPE se tuvieron en cuenta las características mostradas en la Tabla D-3.

<sup>22</sup> Fibra Óptica.

**Tabla D-3. Requerimientos básicos de un Cliente WI-Fi en 2.4 GHz**

Descripción	Requerimientos
Conexión Ethernet	802.3 100 Base T (Rj-45)
Standard	IEEE 802.11 B G (wireless lan)
Funciones de Operación	Alto nivel de seguridad 64/128 Bit Web, encriptación WPA (TKIP/AES) y 802.1X Control de Fragmentación RTS/CTS Soporte para modificar el ACK Time Out Wireless Site Survey Sistema de administración Web Actualización de Firmware de manera remota NAT, DHCP. POE
Modos de Operación	AP Cliente
Montaje	Postes o montaje por medio de abrazaderas o tornillos
Peso	0.5 Libras
Ganancia	10 dBi
Rango de Frecuencias	2400 – 2500 MHz
Polarización	Vertical y Horizontal
Angulo Vertical y horizontal	60 grados
Potencia de transmisor máxima	79.5 mW

Este incluye una antena Flat Panel de 2.4GHz la cual tiene en su interior el equipo cliente CPE/AP/Bridge/Router [25] integrado en la antena, con ganancia de 10 dBm en un discreto y delgado paquete.

Las antenas están hechas a base de un plástico resistente a las radiaciones UV de color gris con una placa posterior de aluminio. Además se pueden usar en Polarización Vertical u Horizontal. Los brackets de aluminio proporcionan ángulos de inclinación de +/- 45° y su hardware de acero inoxidable asegura una larga vida útil, adicional a lo anterior permite modificar el ACKTimeOut. La antena puede ser montada sobre superficies planas o sobre mástiles y viene con un conector POE<sup>23</sup> que evita el uso de cable coaxial hasta las premisas del cliente, economizando gastos y mejorando las prestaciones debido a su fácil instalación, con restricciones de distancia en su cable de red (menor a 100 ATS).

Como ya se menciona en el capítulo 5, para realizar los cálculos de capacidad de la WMN multiradio se deben tener en cuenta el número de interfases y el *throughput* en cada una de ellas, de esta manera se asume que el *throughput* con tres radios mallados dedicados es igual a 57 Mbps (3 radios \* 18 Mbps = 54 Mbps) ver tabla D-4. Es necesario conocer la distancia entre MAPs recomendando saltos de 6 Km, con celdas de hasta 3 Km de radio. Para efectos del diseño se usaran celdas de 2 Km de radio y saltos de 4 Km para el municipio de Piendamó. Mientras que en el corregimiento del Carmelo se tiene celdas de hasta 1.8 Kms y saltos de 3.8 Kms en promedio.

Para los cálculos de cobertura y mejor ubicación de los MAP y clientes como se menciona en el Anexo B, se hace uso de la herramienta *Radiomobile*, teniendo en cuenta una línea de vista directa entre las estaciones comunicantes y la modulación asociada al nivel mínimo en recepción de cada una de ellas.

<sup>23</sup> Power Over Ethernet.

## **D-2 MUNICIPIO DE PIENDAMO**

El municipio de Piendamó es un buen ejemplo de una zona rural en Colombia, es una de las razones por la cual fue escogida como uno de los puntos de referencia en una WMN para un WISP Rural, gobierno o alcaldía que quiere ver la viabilidad del servicio en la zona rural y el diseño para ofrecer servicios de Internet banda ancha y VoIP.

Este análisis no solo es tomado como un modelo de viabilidad de un WISP sino que también se puede adaptar a un modelo de desarrollo para cualquier alcalde deseoso de ayudar a la masificación de la banda ancha y al progreso (educación y comercio) que el acceso a Internet genera en las zonas donde se adopta.

Teniendo en cuenta que el municipio de Piendamó es un claro ejemplo para una empresa con deseos de desplegar un WISP debido a su tamaño promedio y al esparcimiento de los pobladores en la región, se recomienda analizar en primer lugar las zonas de mayor población donde se puede encontrar mayor necesidad de los servicios que se desplegaran. Además, con el análisis demográfico se puede afirmar que los distritos 2, 5 y 1 presentan mayor cantidad de hogares los cuales en su mayoría ofrecen zonas de producción agrícola comercial cultivados con café tecnificado y flores. La producción permite a estos habitantes acceder económicamente a los servicios evitando el desplazamiento hacia las cercanías de la vía panamericana para acceder a la telefonía e Internet. Las escuelas y casas de salud se encuentran parcialmente distribuidas por todas las zonas, las Figuras 3-2 y 3-4 del capítulo 3 nos permiten obtener una visión mas clara de la división política de las zonas, también la Tabla 3-3 del mismo capítulo permite obtener una perspectiva de la cantidad de habitantes por kilómetro cuadrado y el número de hogares en cada una de las zonas. Los principales clientes a tener en cuenta son los colegios, escuelas, iglesias, casas de salud, casas comunales, cabildos, permitiendo una reducción de costos en el sistema de acceso satelital que usa Compartel y que deben pagar las alcaldías de cada municipio. Determinar el tipo de población y nivel económico no es fácil de estimar puesto que ni siquiera el POT del municipio lo tiene claro, es por ello que se hace necesario diseñar la red para dar cobertura a la mayoría de las zonas. Este estudio permite determinar que para un efectivo ingreso de la tecnología se deberá satisfacer a la mayor cantidad posible de la población. Para el análisis de la población y su distribución se tuvo en cuenta la información recolectada en el POT (Plane de Ordenamiento Territorial) de este municipio, esta información se incluye en el CD del presente trabajo de grado.

Para determinar un plan inicial de ingreso a la zona y lograr las metas de negocio iniciales que les permitirá generar ingreso para seguir el crecimiento de la red se recomienda iniciar en las zonas 2, 5 y 1 respectivamente como se expreso anteriormente, pero también se debe tener en cuenta los posibles puntos de Inyección para ubicar las Gateways y el punto donde funcionara el NOC y la oficina de atención al cliente, de esta manera se debe iniciar el despliegue desde la cabecera del municipio de Piendamó en este caso.

Como se menciona en los capítulos 1 y 5 la tecnología Wi-Fi en malla basada en múltiples radios con soporte de concatenación y QoS, puede soportar conexiones full duplex dividiendo cada radio de backhaul en dos o más radios físicos, uno en cada dirección. Esto habilita las conexiones simultáneas (Full Duplex) desde y hasta el transmisor. Adicionalmente el ancho de banda de la malla en backhaul se duplica y la latencia por salto se mantiene predecible (debido a la reducción de contención en cada enlace) con múltiples caminos para llevar la información hasta la gateway.



Para el nivel de acceso los usuarios comparten el mismo medio y debido al tipo de acceso al medio comparten el ancho de banda entre ellos, además del uso de modulación adaptativa que varía de acuerdo a las distancias y condiciones del terreno, por lo cual el área de cobertura de un MAP en acceso tendrá varios niveles de modulación y throughput, recordando que un cliente que se conecte a la menor velocidad posible 2 Mbps, baja el ancho de banda de la totalidad de la red de acceso. La manera más fácil de evitar esto es la modificación del *ACKtimeout*, permitiendo tener más usuarios en distancias más largas sin la disminución apreciable del ancho de banda. Para este fin es necesario definir la cantidad de usuarios en el área de cobertura.

Para el diseño de la malla se debe determinar las exigencias de los usuarios del sistema, en este sentido es necesario definir el porcentaje de usuarios que espera soportar la WMN, estos porcentajes varían de acuerdo a las necesidades de los clientes, por ejemplo al escoger que 100 % de los usuarios trabajen con la máxima capacidad el canal con su correspondiente modulación hace necesario derivar esa capacidad a la Gateway, teniendo en cuenta el número de radios y el throughput asociado a estas y así evitar los indeseables cuellos de botella.

Primero se deben determinar los parámetros de los niveles de servicio que se ofrecerán a los usuarios:

- Usuarios corporativos: VBR, 1 Mbps CIR (OSR 10), 2 Mbps MST (OSR 15) correspondientes al 8.3 % de la totalidad de la población.
- Usuarios Residenciales plus: VBR, 512 CIR (OSR 10), 762 Kbps MST (OSR 20), correspondientes al 16 % de la totalidad de la población.
- Usuarios residenciales: VBR 500 Kbps, MST (OSR 30) correspondientes al 75.70 % de la población. Dado el caso de la cantidad e suscriptores básicos tan elevados se puede asumir un nivel de OSR más alto.
- Usuarios con VoIP: CBR, tráfico de 500 mErlan/linea, 1% GoS, correspondiente al 60% del total de la población y se hace uso del codec G.729 a 8 kbps.

Con los parámetros de servicio definidos pasamos a calcular la velocidad promedio por usuario que la WMN multiradio debe soportar, este dato debe tener en cuenta las velocidades de cada nivel de servicio así como el factor de OSR de cada servicio y el porcentaje de usuarios de cada uno.

$$BW_{\text{Promedio-un-solo-sentido}} = 8.3\%[(1000/10) + (2000 - 1000)/15] + 16\%[(512/10) + (762 - 512)/20] + 75.70[500/30]$$

De esta manera el  $BW_{\text{Promedio}} = 37 \text{ Kbps}$ , en la gateway se debe asegurar un tráfico Full dúplex de 50 Kbps por Usuario.

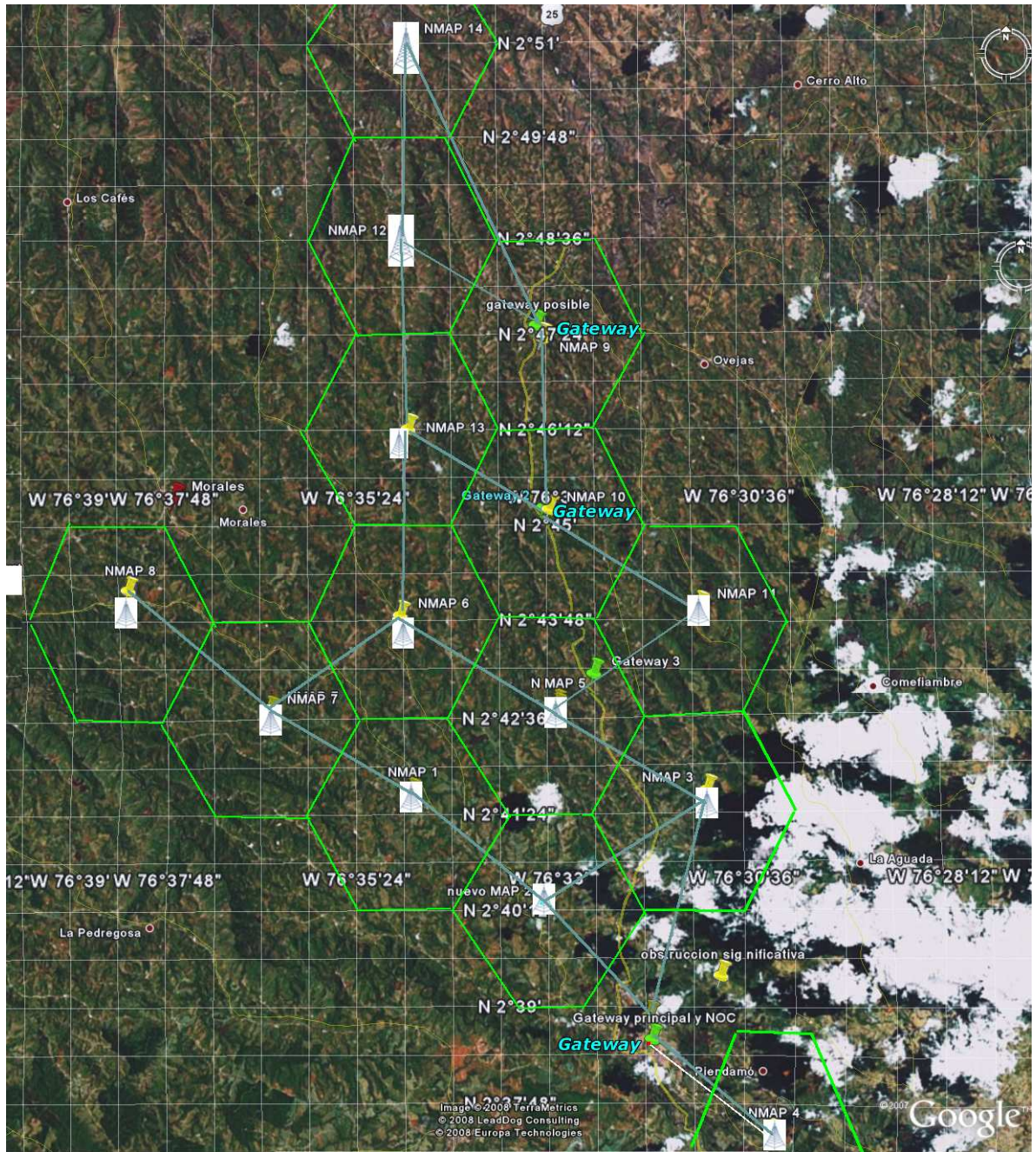
Con estos cálculos y las formulas presentadas en el capítulo 5 se elabora la Tabla D-4 la cual contiene un resumen con los resultados para el diseño de la WMN en el municipio de Piendamó en el Cauca.

**Tabla D-4 Resultados en la planeación de la totalidad de la WMN para 1200 usuarios.**

Requerimientos del sistema	Resultados
Cantidad de Hogares en el área.	6.000
Área total de cobertura.	66.5 Km <sup>2</sup>
Área estimada por celda.	2 Km <sup>2</sup>
% de penetración del servicio.	20 %
Clientes totales.	1.200
Usuarios promedio por celda.	85
Numero de Gateways.	3
Celdas necesarias.	14
Throughput promedio usuario bidireccional en gateway.	37 kbps
Throughput total soportado en la Totalidad de las gateways.	43.970 Kbps
Throughput total soportado en cada una de las gateways.	15.000 Kbps
Capacidad de la WMN multi-radio (3 Radios).	54 Mbps
Throughput punto a punto en la malla sin saturación.	18 Mbps
Usuarios por Gateway	409
Modelo de propagación.	ITRM Radio Mobile

Para satisfacer las necesidades de tráfico de Internet en el municipio de Piendamó y la población estimada se hacen necesarias tres gateways (de estas, dos ofrecen soporte a clientes en acceso), distribuidas de acuerdo a los requerimientos de retardo de la WMN, protección frente a fallas si alguna gateway queda fuera de servicio y para cubrir la totalidad de la zona sin la necesidad de hacer modificaciones significativas en los equipos de acceso, pero si modificando el *ACKTimeout* de la malla. Por lo tanto se hace necesario un total de 14 MAP y un NOC con su gateway, de tal manera que se tienen 14 celdas (muchos equipos soportan hasta 200 usuarios por celda en la capa de acceso) y una Gateway en la cabecera municipal. De acuerdo al modelo de propagación y los resultados obtenidos con los datos de clientes y MAPs, cada celda y repetidor son suficientes teniendo en cuenta cobertura y capacidad. Los cálculos se realizaron teniendo en cuenta un radio de celda que no superara los 3 kilómetros, el cual es el recomendado para mantener comunicaciones eficientes, también se tiene en cuenta la máxima capacidad de throughput (22 Mbps y 18 Mbps) en los niveles de acceso y malla respectivamente.

La Figura D-1 muestra la distribución y el número de MAPs de tres radios requeridos de acuerdo a la capacidad, cobertura, retardo, tolerancia a fallos del sistema y el modelo de interconexión generado para mantener el *throughput* constante. Para la realización de este diagrama se hace uso de la herramienta *Google earth* dando una verdadera idea de el alcance del sistema.



**Figura D-1 MAP necesarios para el desarrollo de un WISP WMN multiradio en el municipio de Piendamó.**

En este diseño se hace necesario tener en cuenta la ubicación de las gateways, estas deben ir en la cabecera municipal y próximas a la autopista pues en ellas existen conexiones de fibra óptica de operadores como Telmex, Cable unión y Telecom. Adicional a lo anterior se selecciono la ubicación de los repetidores en los puntos más altos próximos a la distancia promedio de repetidores para conservar una simetría en la malla.

Para analizar el desempeño de los diferentes clientes se tomo como referencia las características del cliente *Reliawave* que se encuentra disponible en [2] siendo un equipo de fácil instalación con POE que evita el uso de cables de energía hasta los



equipos y esta integrado en una antena *patch*. Es de aclarar que en todos los análisis se considera línea de vista total entre los dispositivos.

- **WMN con Servicios de Datos y VoIP**

Las tecnologías inalámbricas y la VoIP están transformando radicalmente el sector de las telecomunicaciones. Las WMN permiten un despliegue rápido, robusto y de bajo costo en comparación a otras tecnologías de acceso orientadas a zonas Rurales, favoreciendo así la prestación de servicios banda ancha (Internet y VoIP). El tráfico de VoIP debido a la naturaleza sensitiva se comporta de manera diferente por lo cual se hace necesario tener en cuenta requisitos como los que se enumeraron en los capítulos 5 y anexo C, tales como retardos, jitter y los inevitables cuellos de botella, adicionalmente tiene exigencias diferentes en cuanto *throughput* disponible en la malla.

En el contexto de la VoIP nos interesa determinar la cantidad de ancho de banda dedicado que debe reservarse para soportar un número de conversaciones VoIP simultáneas. En este punto se analiza el modelo de diseño para el soporte de la VoIP. Este tiene que ver con el *throughput* total de la red y el ancho de banda disponible en la gateway, adicionalmente se debe tener en cuenta el *throughput* agregado por cada una de las celdas de acuerdo a su capacidad.

De acuerdo a lo anteriormente expresado se asume que el 60 % de los clientes del WISP WMN tendrán el servicio de VoIP, cada uno de estos usuarios durante la hora pico ocupara 30 minutos correspondiente a un tráfico de 0.5 Erlang (500 mE) por suscriptor, asumiendo un porcentaje de bloqueo de 1 % que equivale al grado de servicio GoS (*Grade of Service*) y el uso del codec G.729. La Tabla D-5 muestra las características de los codes de Voz mas usados [4].

**Tabla D-5 Características de los codecs más representativos de la VoIP.**

Codec	Ancho de banda Kbps.	Muestreo (ms).	Throughput IP Típico en un solo sentido Kbps.
G.711	64	0.125	80
G.723.1	5.6	30	16.3
G.723.1	6.4	30	17.1
G.726	32	0.125	48
G.728	16	0.625	32
G.729(A)	8	10	24

Para determinar el ancho de banda reservado desde la gateway y soportar la cantidad de llamadas simultáneas se debe saber el número de clientes o líneas que se usaran simultáneamente en este caso son 720 líneas. Para esto debemos encontrar el tráfico generado por estas 720 llamadas o si se desea para efectos de adaptación para cada gateway se puede dividir el tráfico en las 3 gateways, de tal manera cada una tendrá que soportar 240 líneas.

$$T = 240 \times 500mE / Linea = 120Erlang$$

Teniendo el tráfico por gateway en Erlangs nos dirigimos a la tabla de ErlangB [3] y asumiendo un valor para GoS de 1 % podemos determinar el número de llamadas simultáneas por Gateway. A partir de esto se determina que el número de llamadas VoIP simultáneas soportadas es de 139 en cada gateway, teniendo estos datos y los de la tabla anterior para el codec G.729(A) nos damos cuenta que el *throughput*

para este codec es de 24 Kbps, así el ancho de banda para soportar tráfico de VoIP en la Gateway es de:

$$BW_{VoIP} = 120 \times 24 \text{Kbps} = 2.448 \text{Kbps}$$

Para el total de la malla se debe reservar 7.344 Kbps para el tráfico de VoIP y 2.448 kbps en cada Gateway, ahora al ancho de banda total por suscriptor se le debe restar el tráfico de VoIP, esto para determinar el número de usuarios de datos y VoIP que pueden ser soportados en las Gateways. Como se puede observar la WMN soporta muchos más usuarios y queda limitada al ancho de banda que se obtiene en las Gateways.

$$N_{usuarios}_{Gateway} = \frac{15.000 - 2.448}{37} = 339$$

Nuevamente se debe resaltar que el *throughput* promedio de la malla que es de 54 Mbps por el uso de tres interfases cada una trabajando a un promedio 18 Mbps, esto para no saturar los enlaces y evitar degradar el desempeño de la WMN, así mismo el ancho de banda en las gateways (puntos de inyección) debe ser *Full-Duplex*. La Tabla D-6 muestra los resultados obtenidos de la planeación de capacidad.

**Tabla D-6 Resultaos de planeación en Capacidad de la WMN con datos y VoIP**

Requerimientos del sistema	Resultados
Cantidad de Hogares en el área	6.000
Área total de cobertura	292.4 Km2
Área estimada por celda	2 Km2
% de penetración del servicio clientes de datos	20 %
Cientes totales Datos	1.200
% de penetración del servicio clientes de VoIP	60 %
Cientes totales VoIP de la WMN	720
Usuarios promedio por celda	85
Numero de Gateways	3
Celdas necesarias	14
Throughput promedio usuario bidireccional en gateway	37 kbps
Throughput requerido por usuario VoIP	24 Kbps
Throughput total Requerido en las gateways	45.000 Kbps
Throughput total Requerido en las gateways para VoIP	7.344 Kbps
Capacidad de la WMN multi-radio (3 Radios)	54 Mbps
Throughput punto a punto en la malla sin saturación	18 Mbps
Modelo de propagación	ITRM Radio Mobile

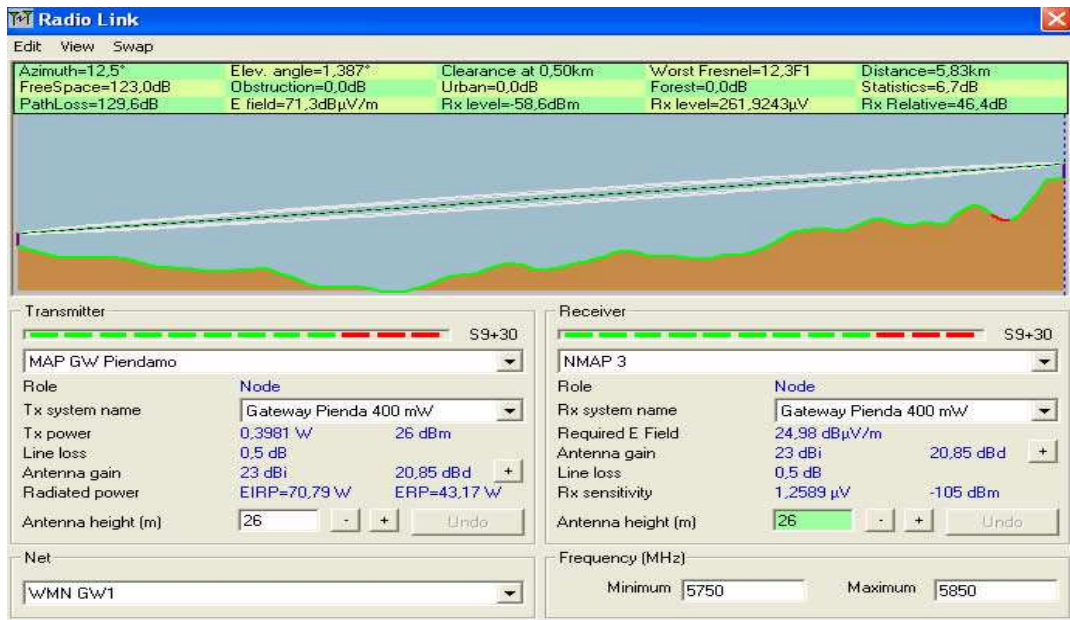
### **D.3 Análisis de los trayectos de propagación propuestos para el WISP WMN en el municipio de Piendamó.**

En las siguientes secciones se muestran el trazado de los perfiles para cada uno de los enlaces que como requisito deben tener línea de vista LOS entre los MAPs establecidos en el diseño del WISP WMN del Municipio de Piendamó.

En cada uno de los enlaces se pueden observar los valores de potencia de transmisión, pérdidas de espacio libre, pérdidas líneas de transmisión, Ganancia de las antenas, frecuencia de operación, potencia en recepción y altura de las antenas asociados al trayecto de propagación. Puesto que las distancias no son un inconveniente en este desarrollo, estas se eligieron entre los repetidores encontrando una relación entre cobertura y capacidad que permitiera tener un flujo simétrico por la red, adicionalmente el terreno ondulado de esta zona no permitía tener celdas de mayor tamaño puesto que se encuentran gran cantidad de depresiones y pequeñas montañas a lo largo de los trayectos como se vera a continuación.

**Análisis del nivel mallado.** Este análisis es de vital importancia pues determina la línea de vista y las condiciones de comunicación de los MAP para soportar el tráfico desde y hacia la gateway.

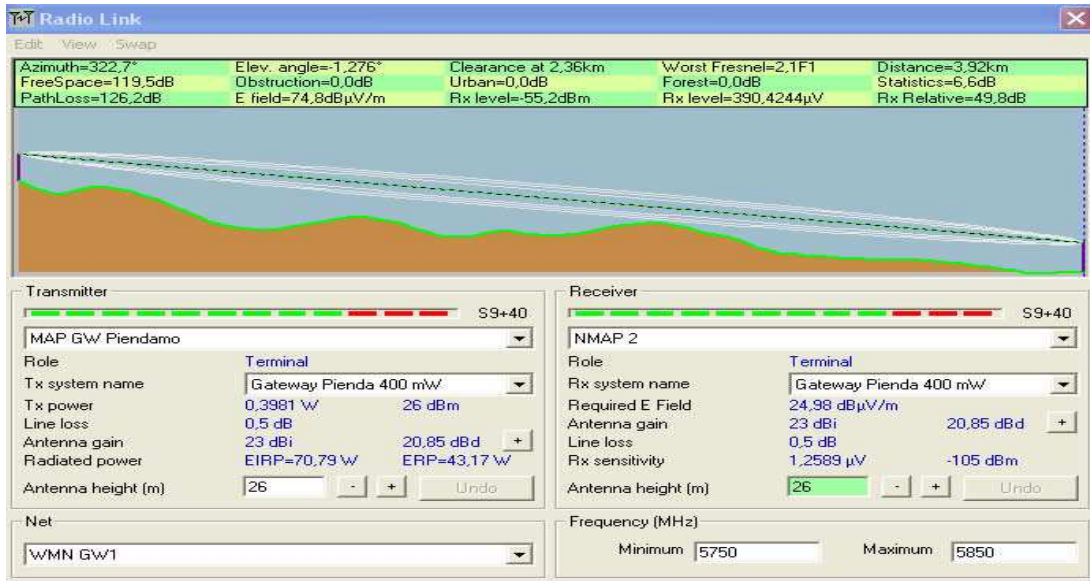
- **Enlaces generados desde la Gateway Central.** Dentro de los puntos de radiación desde la Gateway que se tiene en la oficina central se apuntan las antenas directivas hasta los MAP más cercanos siendo estos el MAP 2, MAP 4 y MAP3. Los resultados se muestran en las siguientes graficas.
- **MAP GW – NMAP3.** El MAP GW Piendamó, se encuentra ubicado en las coordenadas 2°38'26.01 de latitud Norte (N) y 76°31'48.12 Longitud Oeste (O), con una altitud de 1.863 m; el NMAP 3 se encuentra ubicado en las coordenadas 2°41'30.42" de latitud Norte (N) y 76°31'07" Longitud Oeste (O), con una altitud de 2.008 m. Se puede observar claramente que existe línea de vista directa entre las dos estaciones y el nivel de recepción del enlace es superior a 60 dBm, esto asegura que el enlace funcione a su máxima capacidad.



**Figura D-2. Enlace desde la Gateway en la cabecera municipal hasta el MAP 1.**

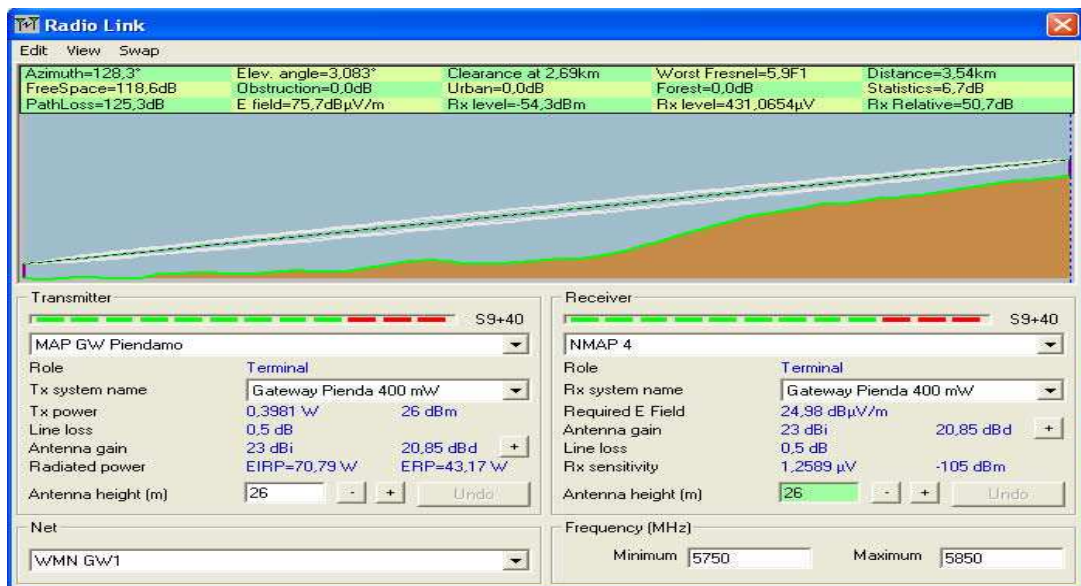
- **MAP GW – NMAP 2.** El MAP GW Piendamó, se encuentra ubicado en las coordenadas 2°38'26" de latitud Norte (N) y 76°31'48" Longitud Oeste (O), con una altitud de 1.863 m.s.n.m; el NMAP 2 se encuentra ubicado en las coordenadas 2°40'07" de latitud Norte (N) y 76°33'05" Longitud Oeste (O), con

una altitud de 1.777 m.s.n.m. Se puede observar claramente que existe línea de vista directa entre las dos estaciones y el nivel de recepción del enlace es superior a 60 dBm, esto asegura que el enlace funcione a su máxima capacidad.



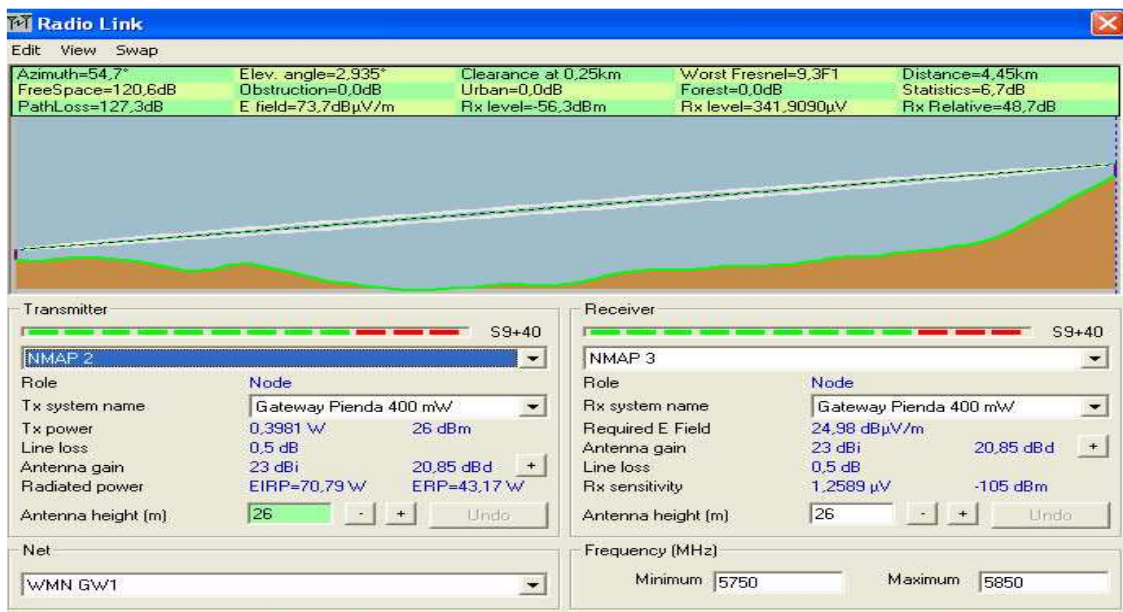
**Figura D-3. Enlace desde la Gateway en la cabecera municipal hasta el MAP 2.**

- **MAP GW – NMAP 4.** El MAP GW Piendamó, se encuentra ubicado en las coordenadas 2°38'26" de latitud Norte (N) y 76°31'48" Longitud Oeste (O), con una altitud de 1.863 m.s.n.m; el NMAP 4 se encuentra ubicado en las coordenadas 2°38'17" de latitud Norte (N) y 76°30'18" Longitud Oeste (O), con una altitud de 2.034 m.s.n.m. Se puede observar claramente que existe línea de vista directa entre las dos estaciones y el nivel de recepción del enlace es superior a 60 dBm, esto asegura que el enlace funcione a su máxima capacidad.



**Figura D-4. enlace desde la Gateway en la cabecera municipal hasta el MAP 4.**

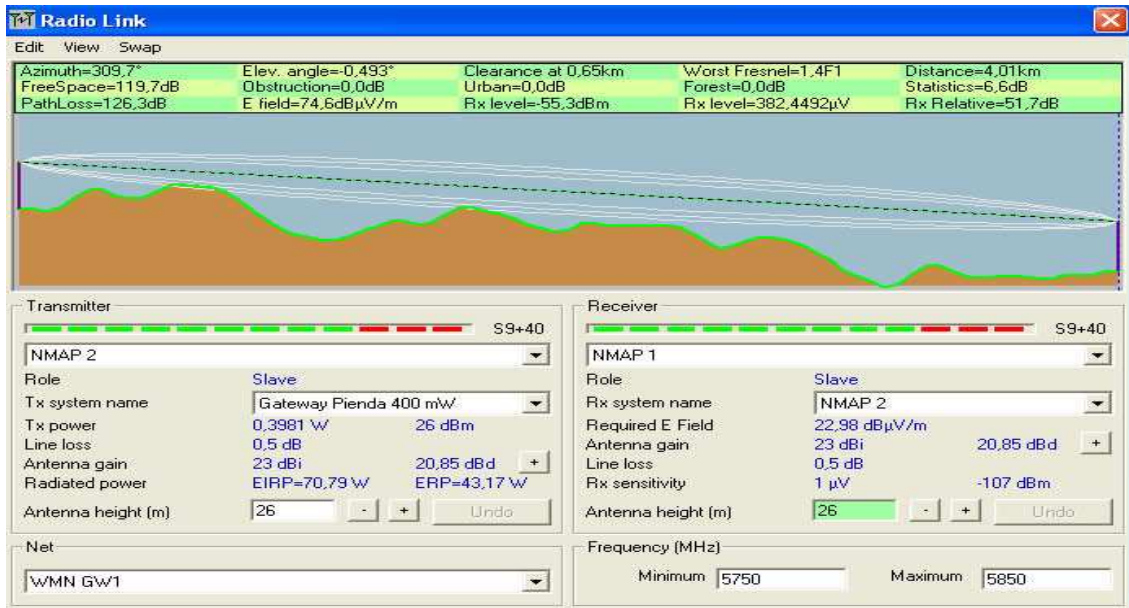
- **NMAP 2 – NMAP 3.** El MAP 2, se encuentra ubicado en las coordenadas 2°40'07" de latitud Norte (N) y 76°33'05" Longitud Oeste (O), con una altitud de 1.777 m.s.n.m; el NMAP 3 se encuentra ubicado en las coordenadas 2°41'30" de latitud Norte (N) y 76°31'07" Longitud Oeste (O), con una altitud de 2.008 m.s.n.m. Se puede observar claramente que existe línea de vista directa entre las dos estaciones y el nivel de recepción del enlace es superior a 60 dBm, esto asegura que el enlace funcione a su máxima capacidad.



**Figura D-5. Enlace desde el NMAP 3 hasta el NMAP 3.**

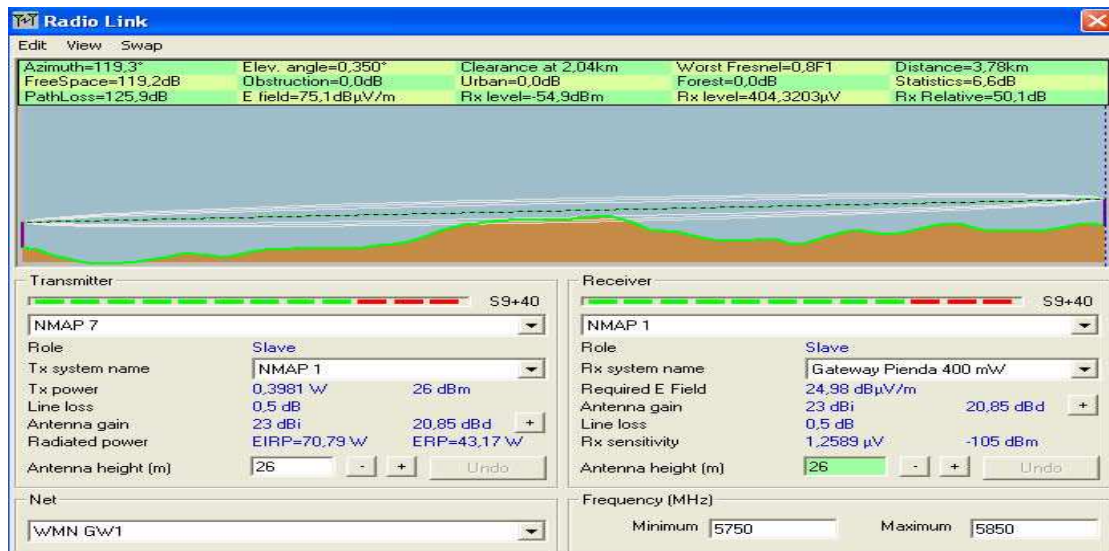
- **NMAP 2 - NMAP 1.** El MAP 2, se encuentra ubicado en las coordenadas 2°40'07" de latitud Norte (N) y 76°33'05" Longitud Oeste (O), con una altitud de 1.777 m.s.n.m; el NMAP 1 se encuentra ubicado en las coordenadas 2°41'30" de latitud Norte (N) y 76°34'45" Longitud Oeste (O), con una altitud de 1.745 m.s.n.m. Se puede observar clara mente que existe línea de vista directa entre las dos estaciones y el nivel de recepción del enlace es superior a 60 dBm, esto asegura que el enlace funcione a su máxima capacidad.





**Figura D-6. Enlace desde desde el NMAP 2 hasta el NMAP 1.**

- **NAMP 7- NMAP 1.** El MAP 7, se encuentra ubicado en las coordenadas 2°43'30" de latitud Norte (N) y 76°36'32" Longitud Oeste (O), con una altitud de 1.721 m.s.n.m; el NMAP 1 se encuentra ubicado en las coordenadas 2°41'30" de latitud Norte (N) y 76°34'45" Longitud Oeste (O), con una altitud de 1.745 m.s.n.m. se puede observar claramente que existe línea de vista directa entre las dos estaciones y el nivel de recepción del enlace es superior a 60 dBm, esto asegura que el enlace funcione a su máxima capacidad.



**Figura D-7. Enlace desde desde el NMAP 7 hasta el NMAP 1.**

- **NMAP 7 - NMAP 8.** El MAP 7, se encuentra ubicado en las coordenadas 2°43'30" de latitud Norte (N) y 76°36'32" Longitud Oeste (O), con una altitud de 1.721 m.s.n.m; el NMAP 8 se encuentra ubicado en las coordenadas 2°44'01" de latitud Norte (N) y 76°38'18" Longitud Oeste (O), con una altitud de 1.676 m.s.n.m. Se puede observar claramente que existe línea de vista

directa entre las dos estaciones y el nivel de recepción del enlace es superior a 60 dBm, esto asegura que el enlace funcione a su máxima capacidad.

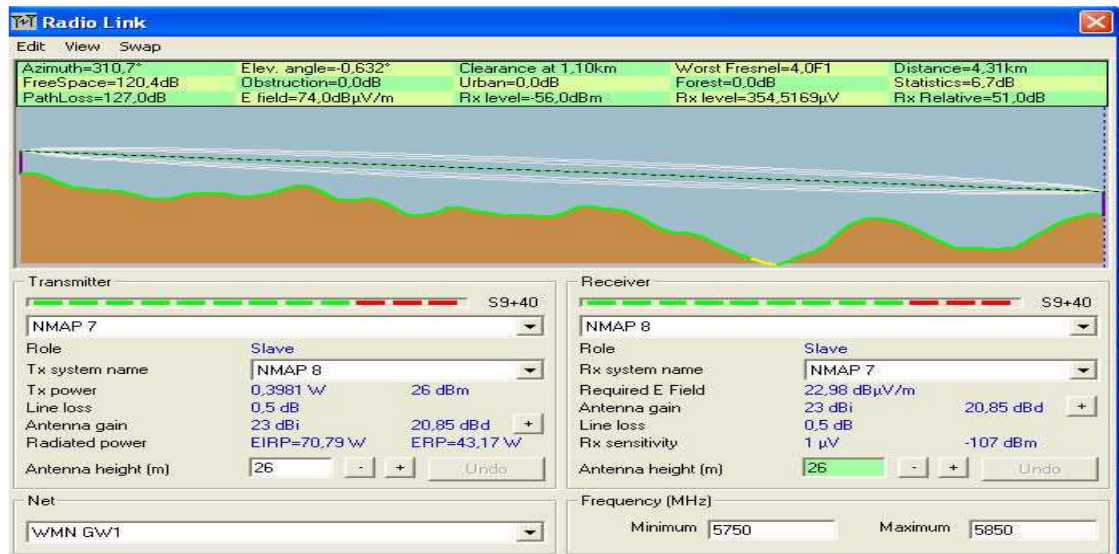


Figura D-8. Enlace desde desde el NMAP 7 hasta el NMAP 8.

- **NMAP 7- NMAP 6.** El MAP 7, se encuentra ubicado en las coordenadas 2°43'30" de latitud Norte (N) y 76°36'32" Longitud Oeste (O), con una altitud de 1.721 m.s.n.m; el NMAP 6 se encuentra ubicado en las coordenadas 2°43'42" de latitud Norte (N) y 76°34'53" Longitud Oeste (O), con una altitud de 1.703 m.s.n.m. Se puede observar claramente que existe linea de vista directa entre las dos estaciones y el nivel de recepción del enlace es superior a 60 dBm, esto asegura que el enlace funcione a su máxima capacidad.

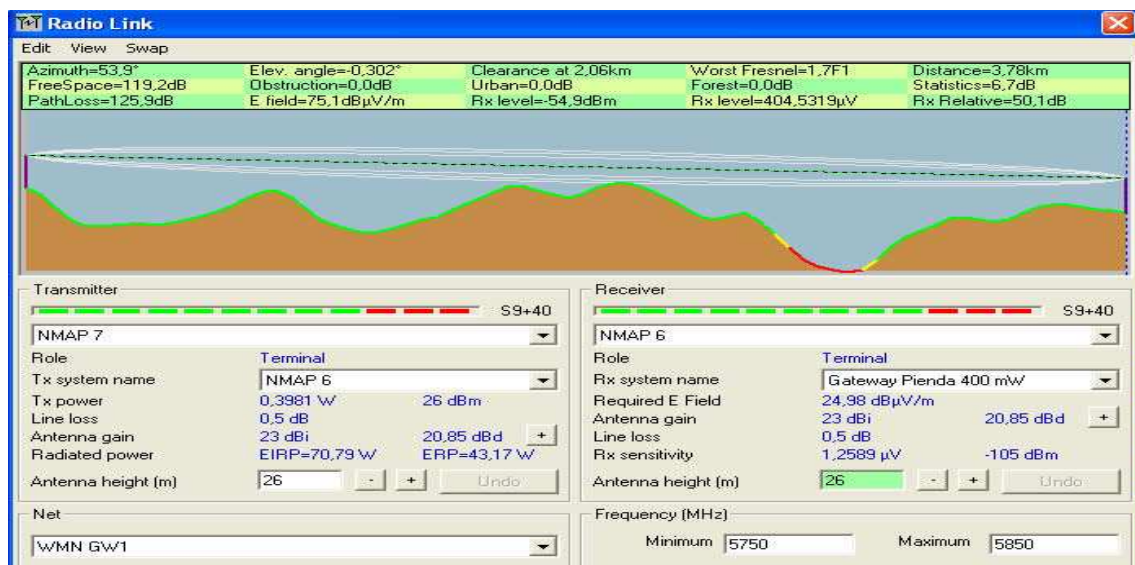


Figura D-9. Enlace desde desde el NMAP 7 hasta el NMAP 6.

- **NMAP 6- NMAP 5.** El MAP 6, se encuentra ubicado en las coordenadas 2°43'42" de latitud Norte (N) y 76°34'53" Longitud Oeste (O), con una altitud de 1.703 m.s.n.m; el NMAP 5 se encuentra ubicado en las coordenadas

2°42'34" de latitud Norte (N) y 76°32'56" Longitud Oeste (O), con una altitud de 1.678 m.s.n.m. Se puede observar claramente que existe línea de vista directa entre las dos estaciones y el nivel de recepción del enlace es superior a 60 dBm, esto asegura que el enlace funcione a su máxima capacidad.

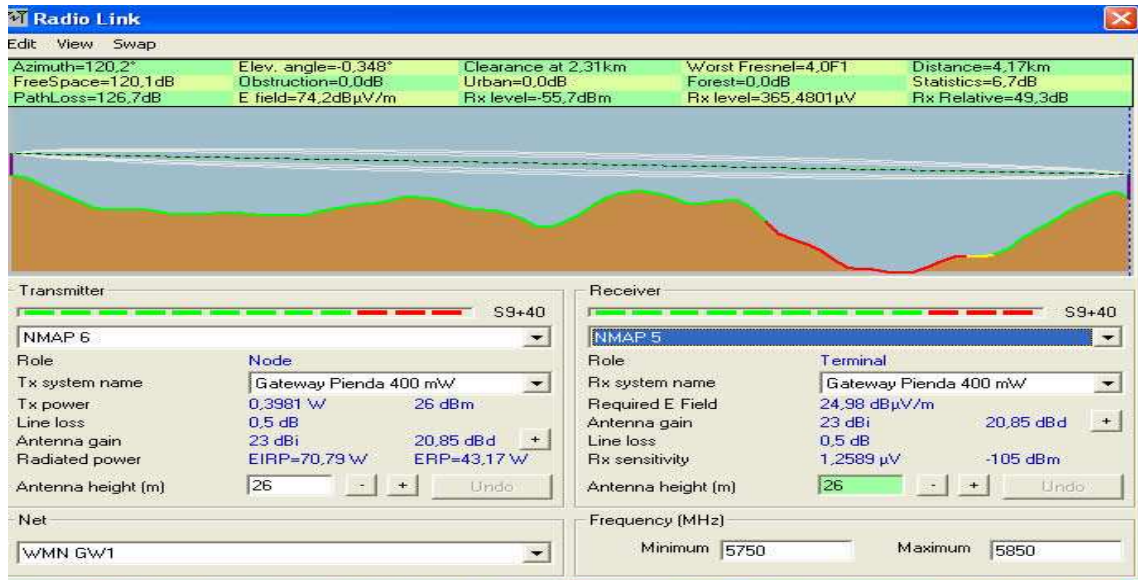


Figura D-10. Enlace desde el NMAP 6 hasta el NMAP 5.

- **NMAP 5 – NMAP 3.** El NMAP 5, se encuentra ubicado en las coordenadas 2°42'34" de latitud Norte (N) y 76°32'56" Longitud Oeste (O), con una altitud de 1.678 m.s.n.m; el NMAP 3 se encuentra ubicado en las coordenadas 2°41'30" de latitud Norte (N) y 76°31'07" Longitud Oeste (O), con una altitud de 2.008 m.s.n.m. Se puede observar claramente que existe línea de vista directa entre las dos estaciones y el nivel de recepción del enlace es superior a 60 dBm, esto asegura que el enlace funcione a su máxima capacidad.

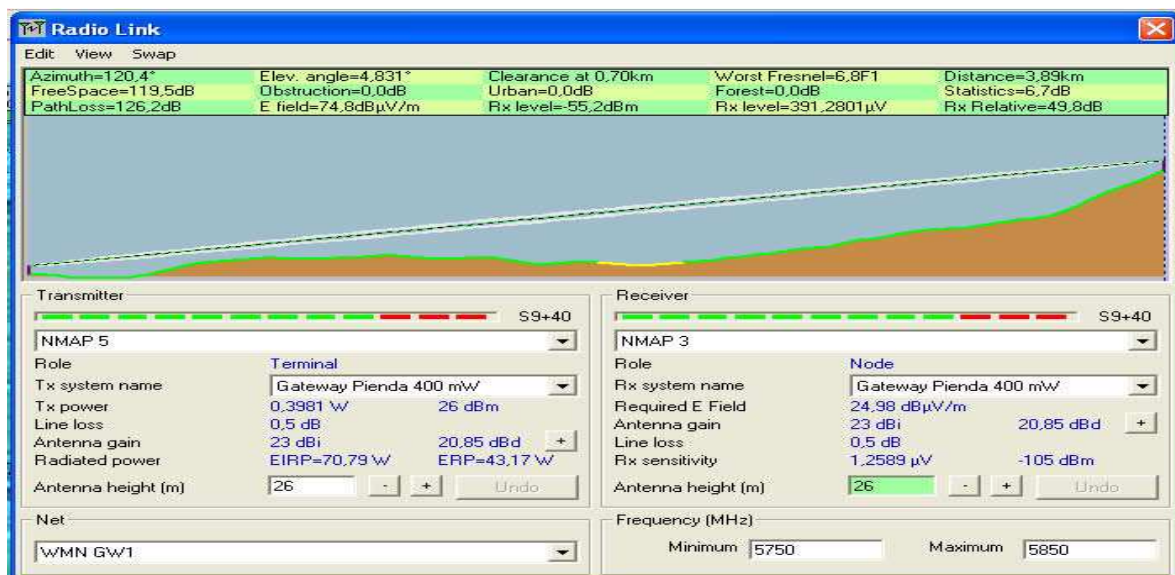
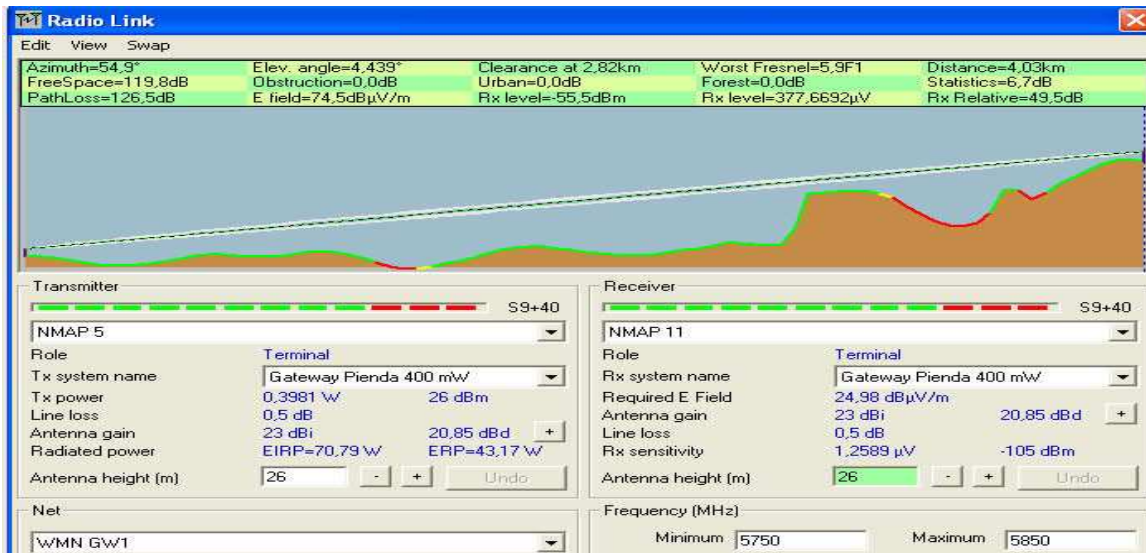


Figura D-11 Enlace desde el NMAP 5 hasta el NMAP 3.

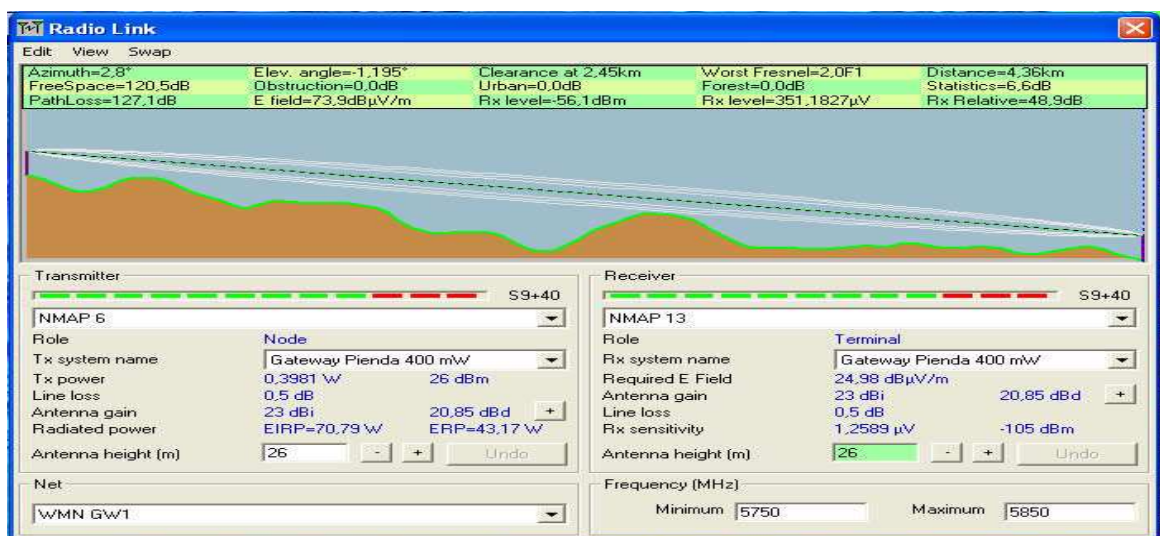


- **NMAP 5 – NMAP 11.** El MAP 5, se encuentra ubicado en las 2°42'34" de latitud Norte (N) y 76°32'56" Longitud Oeste (O), con una altitud de 1.678 m.s.n.m; el NMAP 11 se encuentra ubicado en las coordenadas 2°43'49" de latitud Norte (N) y 76°31'09" Longitud Oeste (O), con una altitud de 1.994 m.s.n.m. se puede observar claramente que existe línea de vista directa entre las dos estaciones y el nivel de recepción del enlace es superior a 60 dBm, esto asegura que el enlace funcione a su máxima capacidad.



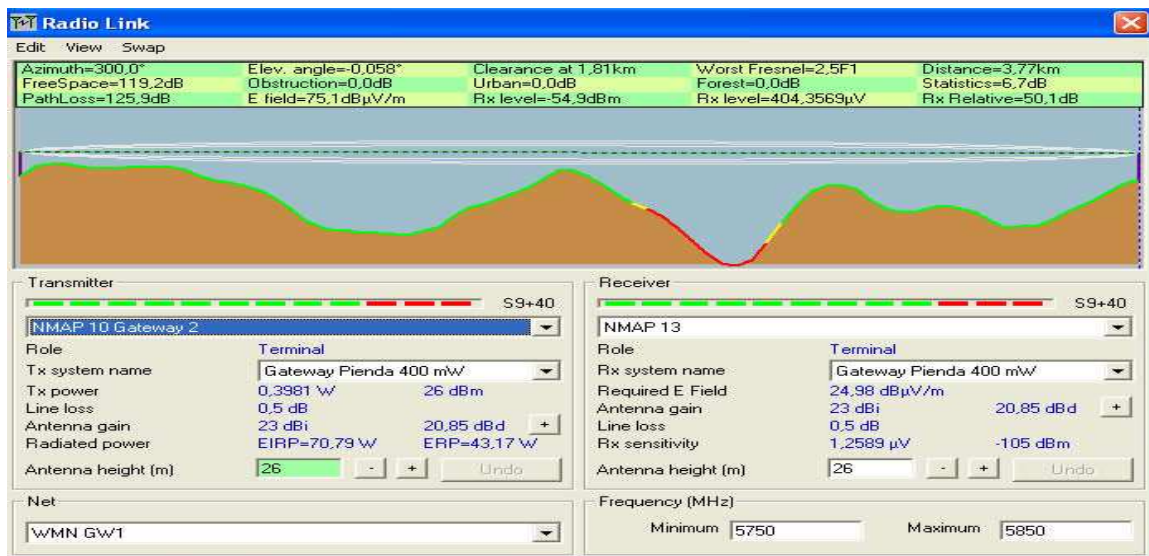
**Figura D-12. Enlace desde el NMAP 5 hasta el NMAP 11.**

- **NMAP 6 – NMAP 13.** El MAP 6, se encuentra ubicado en las 2°43'42" de latitud Norte (N) y 76°34'53" Longitud Oeste (O), con una altitud de 1.703 m.s.n.m; el NMAP 13 se encuentra ubicado en las coordenadas 2°46'03" de latitud Norte (N) y 76°34'46" Longitud Oeste (O), con una altitud de 1.615 m.s.n.m. se puede observar claramente que existe línea de vista directa entre las dos estaciones y el nivel de recepción del enlace es superior a 60 dBm, esto asegura que el enlace funcione a su máxima capacidad.



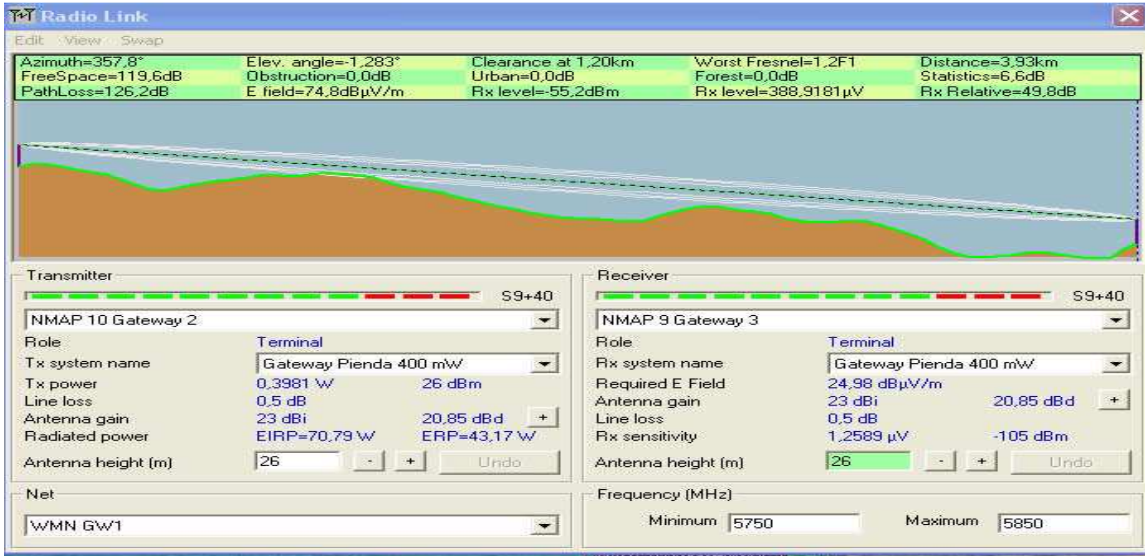
**Figura D-13. Enlace desde el NMAP 6 hasta el NMAP 13.**

- **NAMP 13 – NMAP 10 Gateway 2.** El NMAP 13 se encuentra ubicado en las coordenadas 2°46'03" de latitud Norte (N) y 76°34'46" Longitud Oeste (O), con una altitud de 1.615 m.s.n.m; el NMAP 10 correspondiente a la Gateway 2 se encuentra ubicado en las coordenadas 2°45'02" de latitud Norte (N) y 76°33'00" Longitud Oeste (O), con una altitud de 1.617 m.s.n.m. Se puede observar claramente que existe línea de vista directa entre las dos estaciones y el nivel de recepción del enlace es superior a 60 dBm, esto asegura que el enlace funcione a su máxima capacidad.



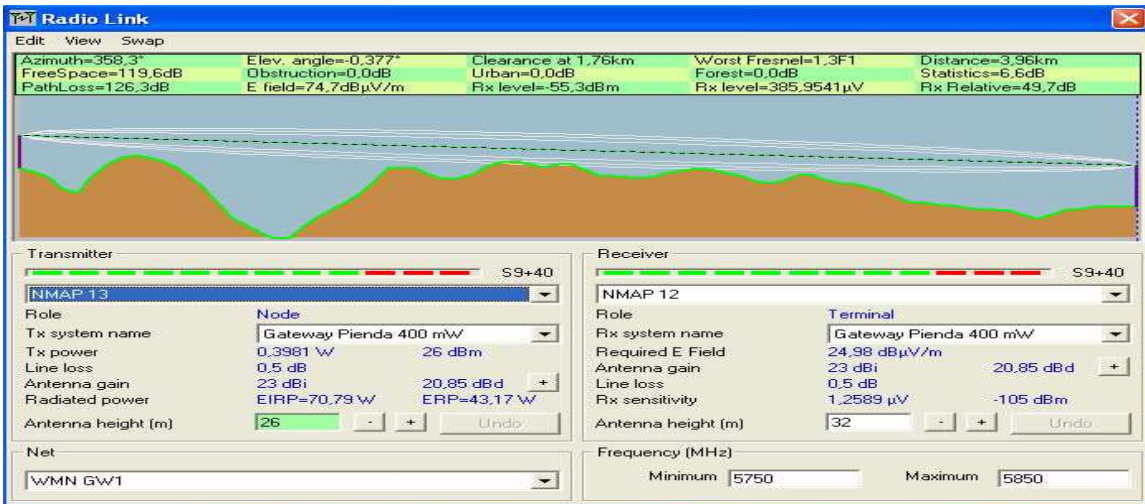
**Figura D-14. Enlace desde el NMAP 13 hasta el NMAP 10 Gateway 2**

- **NAMP 10 Gateway 2 – MAP 9 Gateway 9.** El NMAP 10 correspondiente a la Gateway 2 se encuentra ubicado en las coordenadas 2°45'02" de latitud Norte (N) y 76°33'00" Longitud Oeste (O), con una altitud de 1.617 m.s.n.m; el NMAP 9 correspondiente a la Gateway 3 se encuentra ubicado en las coordenadas 2°47'09" de latitud Norte (N) y 76°33'05" Longitud Oeste (O), con una altitud de 1.531 m.s.n.m. Se puede observar claramente que existe línea de vista directa entre las dos estaciones y el nivel de recepción del enlace es superior a 60 dBm, esto asegura que el enlace funcione a su máxima capacidad.



**Figura D-15. Enlace desde el NMAP 10 Gateway 2 hasta el NMAP 9 Gateway 3.**

- **NAMP 13 – NAMP 12.** El MAP 13, se encuentra ubicado en las coordenadas 2°46'03" de latitud Norte (N) y 76°34'46" Longitud Oeste (O), con una altitud de 1.615 m.s.n.m; el NMAP 12 se encuentra ubicado en las coordenadas 2°48'22" de latitud Norte (N) y 76°34'50" Longitud Oeste (O), con una altitud de 1.571 m.s.n.m. Se puede observar claramente que existe línea de vista directa entre las dos estaciones y el nivel de recepción del enlace es superior a 60 dBm, esto asegura que el enlace funcione a su máxima capacidad.

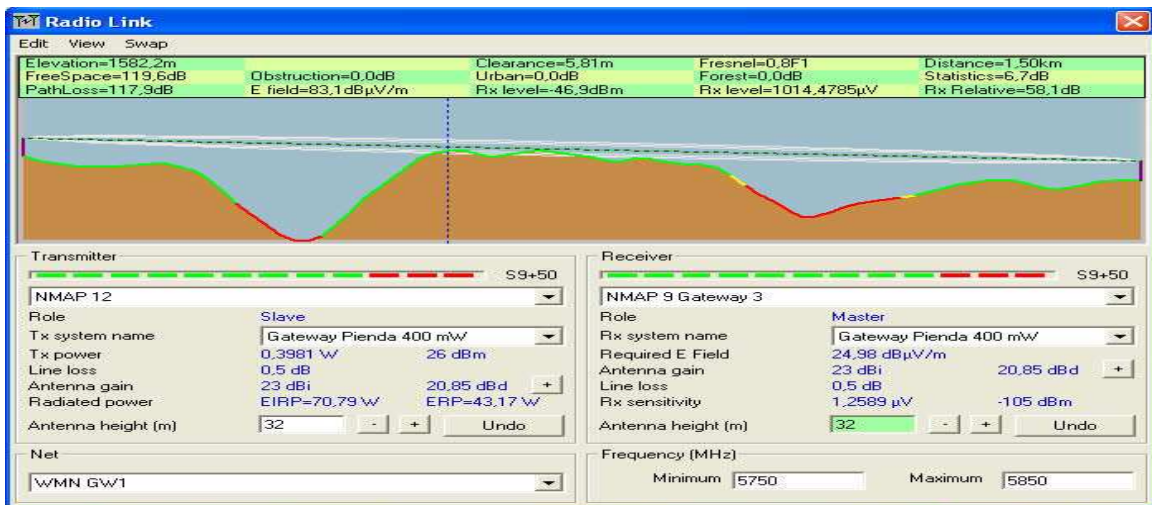


**Figura D-16. Enlace desde el NMAP 10 Gateway 2 hasta el NMAP 9 Gateway 3.**

- **NAMP 12 MAP 9 GW 3.** El NMAP 12 se encuentra ubicado en las coordenadas 2°48'22" de latitud Norte (N) y 76°34'50" Longitud Oeste (O), con una altitud de 1.571 m.s.n.m; el NMAP 9 correspondiente a la Gateway 3 se encuentra ubicado en las coordenadas 2°47'09" de latitud Norte (N) y 76°33'05" Longitud Oeste (O), con una altitud de 1.531 m.s.n.m. se puede observar clara mente que el existe la posibilidad de degradación del enlace entre los dos MAP, aquí se

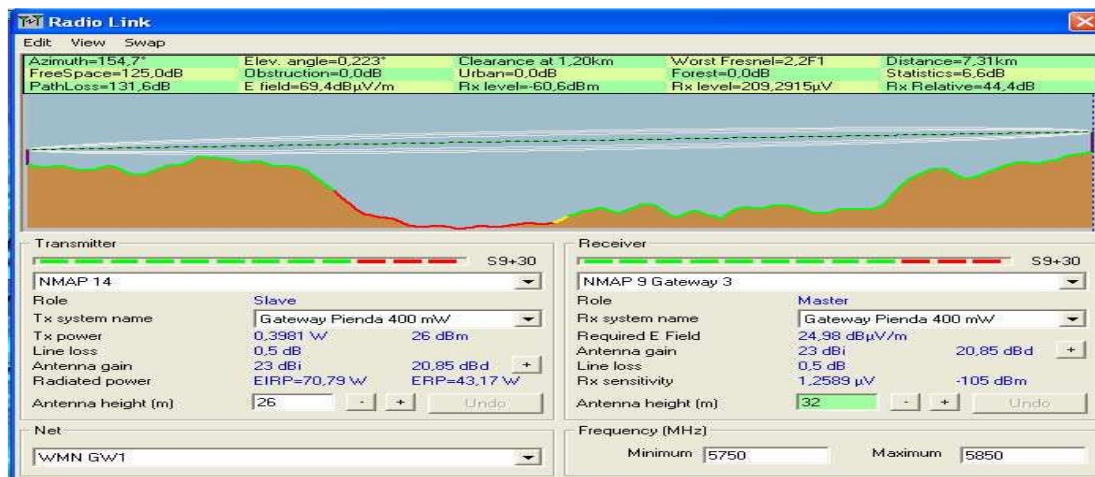


hace necesario aumentar la altura de las torres en ambos puntos puesto que el análisis realizado trato de ubicar siempre los puntos de los MAP en la zonas mas altas encontradas en los alrededores buscando una red simétrica.



**Figura D- 17 Enlace desde el NMAP 12 hasta el NMAP 9 Gateway 3.**

- **NMAP 9 Gateway 3 NMAP 14.** El NMAP 9 correspondiente a la Gateway 3 se encuentra ubicado en las coordenadas 2°47'09" de latitud Norte (N) y 76°33'05" Longitud Oeste (O), con una altitud de 1.531 m.s.n.m; el NMAP 14 se encuentra ubicado en las coordenadas 2°50'44" de latitud Norte (N) y 76°34'46" Longitud Oeste (O), con una altitud de 1.507 m.s.n.m. se puede observar claramente que existe línea de vista directa entre las dos estaciones y el nivel de recepción del enlace es equivalente a 60 dBm, esto asegura que el enlace funcione a su máxima capacidad y nos permite analizar que cada Punto a punto de la malla en 5 GHz puede tener saltos de 8 Kilómetros cada uno aproximadamente, para lograr hacer uso de su máxima velocidad.



**Figura D-18. Enlace desde el NMAP 9 Gateway 3 hasta el NMAP 14.**

- **NMAP 12 NMAP 14.** El NMAP 14 se encuentra ubicado en las coordenadas 2°50'44" de latitud Norte (N) y 76°34'46" Longitud Oeste (O), con una altitud de 1.507 m.s.n.m; el NMAP 12 se encuentra ubicado en las coordenadas

2°48'22" de latitud Norte (N) y 76°34'50" Longitud Oeste (O), con una altitud de 1.571 m.s.n.m. se puede observar claramente que existe línea de vista directa entre las dos estaciones y el nivel de recepción del enlace es superior a 60 dBm, esto asegura que el enlace funcione a su máxima capacidad.

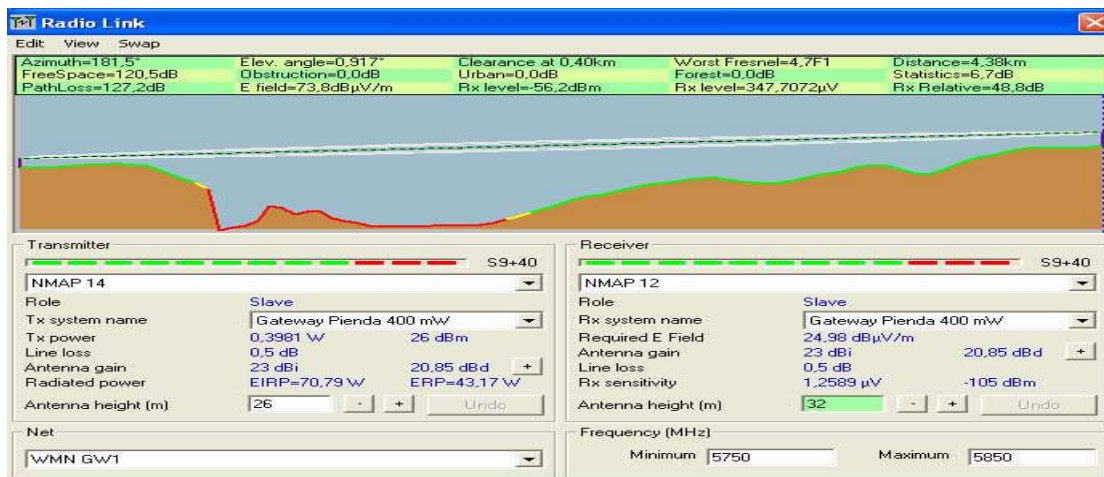


Figura D-19. Enlace desde el NMAP 12 hasta el NMAP 14.

Del análisis anterior expuesto y del comportamiento de los enlaces ente los MAPs se obtiene un diagrama de red multiradio mallada para el WISP rural del municipio de Piendamó en el departamento del Cauca, este se despliega en la siguiente figura.

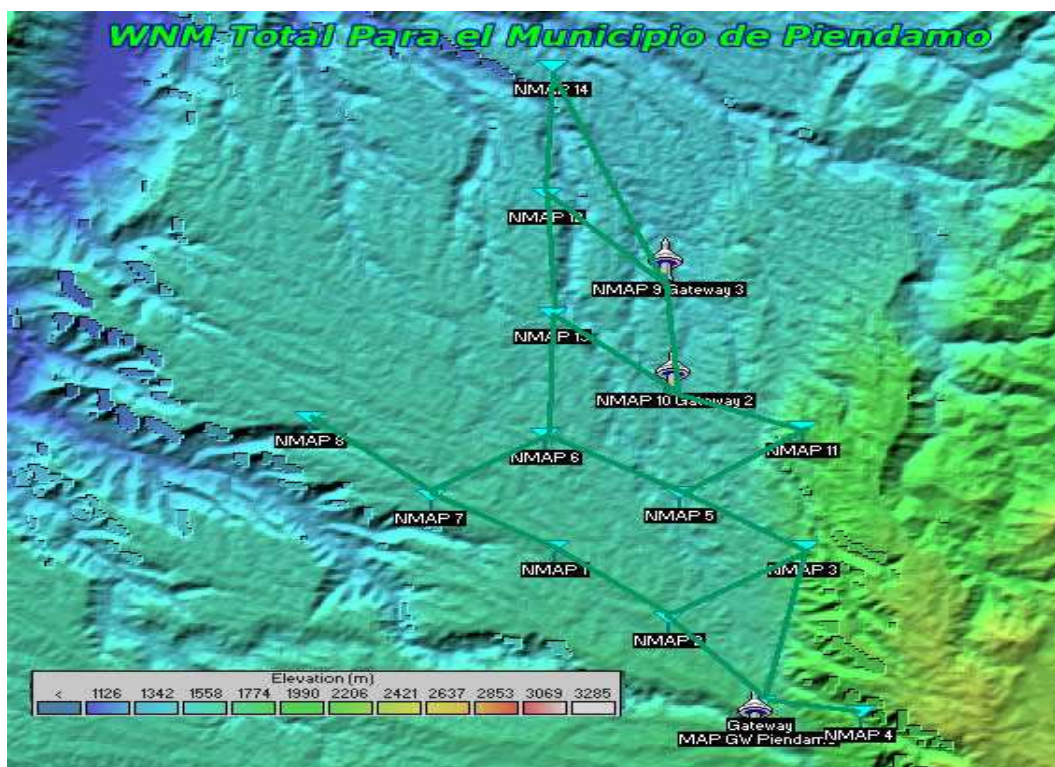
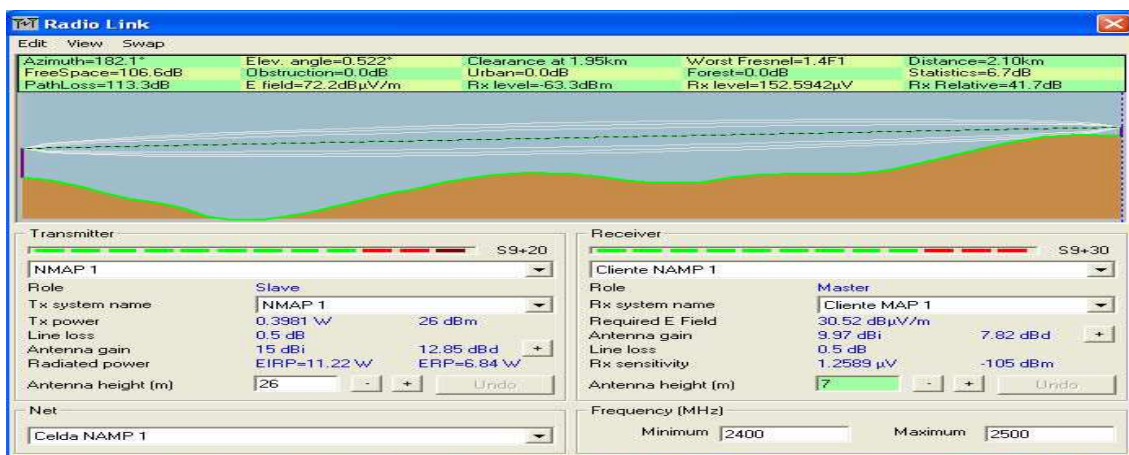


Figura D-20. Diseño del Nivel Mallado en la WNM multiradio para un WISP que permite cubrir el Municipio de Piendamó.



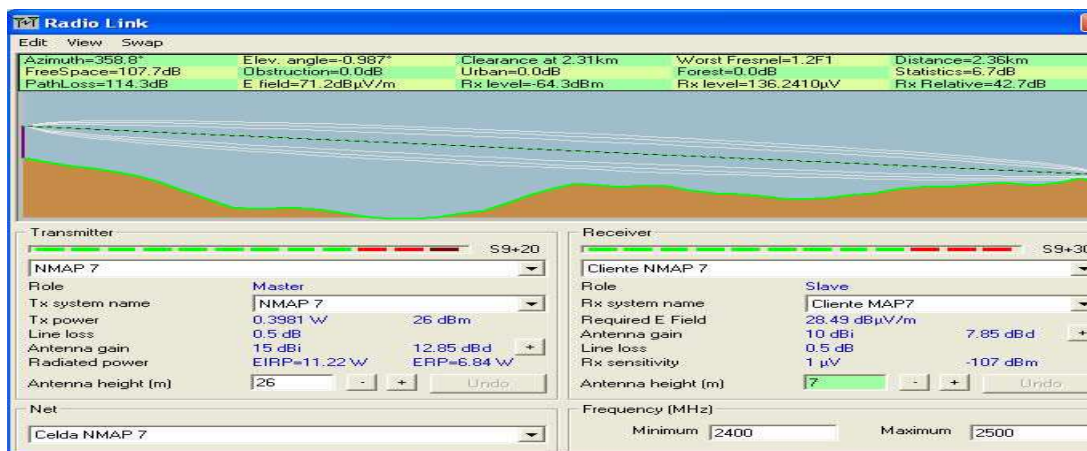
**Análisis Nivel de Acceso.** Se busca analizar algunos puntos de la WMN en Piendamó, para determinar la viabilidad de las distancias y requerimientos de potencias en transmisión y recepción entre el cliente y el MAP. Este análisis se realiza en las Celdas NMAP 1, NMAP 7, NMAP 9, NMAP 13 y NMAP14.

- **Celda NMAP 1.** El cliente del NAMP1 se encuentra a una distancia de 2.10 Kms, ubicado en las coordenadas 2°40'06" de latitud Norte (N) y 76°34'48" Longitud Oeste (O), con una altitud de 1.778 m.s.n.m. Es claro según la Figura D-21 que el existe línea de vista directa entre las dos estaciones y el nivel de recepción del enlace es superior a 70 dBm a la distancia anterior mencionada, esto asegura que el enlace funcione a su máxima capacidad y sin la necesidad de modificar el *ACKTimeout*.



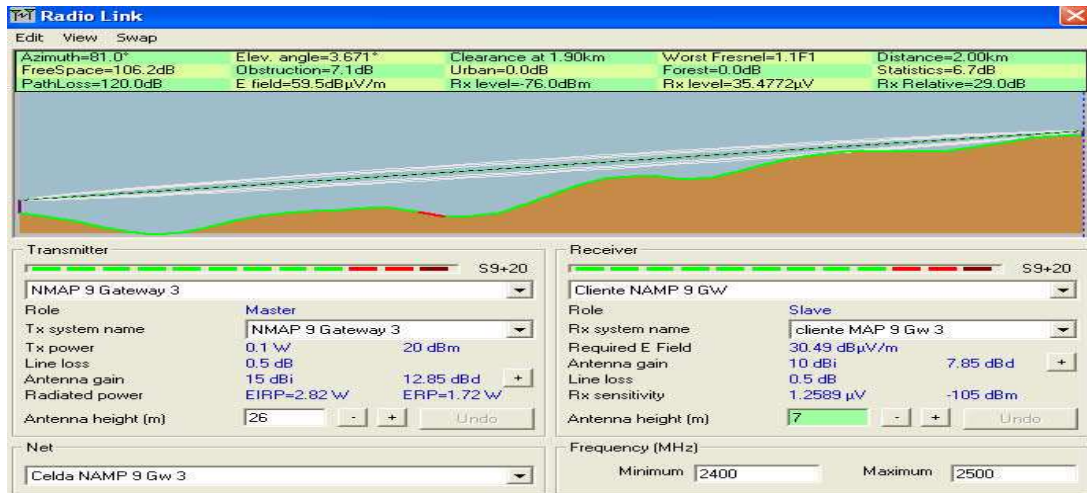
**Figura D-21. Análisis equipo cliente NMAP1.**

- **Celda NMAP 7.** El cliente del NAMP 7 se encuentra a una distancia de 2.36 Kms, ubicado en las coordenadas 2°43'47" de latitud Norte (N) y 76°36'34" Longitud Oeste (O), con una altitud de 1.701 m.s.n.m. Es claro según la Figura D-22 que el existe línea de vista directa entre las dos estaciones y el nivel de recepción del enlace es superior a 70 dBm a la distancia anterior mencionada, esto asegura que el enlace funcione a su máxima capacidad y sin la necesidad de modificar el *ACKTimeout*.



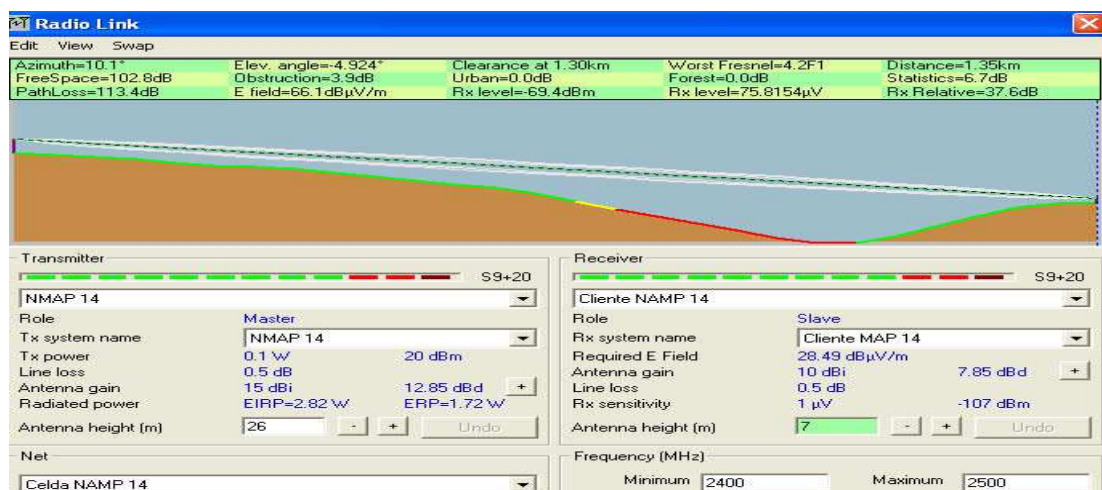
**Figura D-22. Análisis equipo cliente NMAP 7.**

- **Celda NMAP 9.** El cliente del NAMP 9 se encuentra a una distancia de 2 Kms, ubicado en las coordenadas 2°47'19" de latitud Norte (N) y 76°32'01" Longitud Oeste (O), con una altitud de 1.678 m.s.n.m. Es claro según la Figura E-23 que el existe linea de vista directa entre las dos estaciones y el nivel de recepción del enlace es superior a 80 dBm a la distancia anterior mencionada, esto asegura que el enlace funcione a su máxima capacidad y sin la necesidad de modificar el *ACKTimeout*. También es de anotar que no siempre la altura para los CPEs clientes podrá ser de 7 mts, en muchos casos tendrá que ser superior.



**Figura D-23. Análisis equipo cliente NMAP 9.**

- **Celda NMAP 14.** El cliente del NAMP 14 se encuentra a una distancia de 1.35 Kms, ubicado en las coordenadas 2°51'27" de latitud Norte (N) y 76°34'39" Longitud Oeste (O), con una altitud de 1.410 m.s.n.m. En la Figura D-23 se aprecia que existe linea de vista directa entre las dos estaciones y el nivel de recepción del enlace es superior a 80 dBm a la distancia anterior mencionada, esto asegura que el enlace funcione a su máxima capacidad y sin la necesidad de modificar el *ACKTimeout*, pero no a su máxima velocidad. También es de anotar que no siempre la altura para los CPEs clientes podrá ser de 7 mts, en muchos casos tendrá que ser superior.

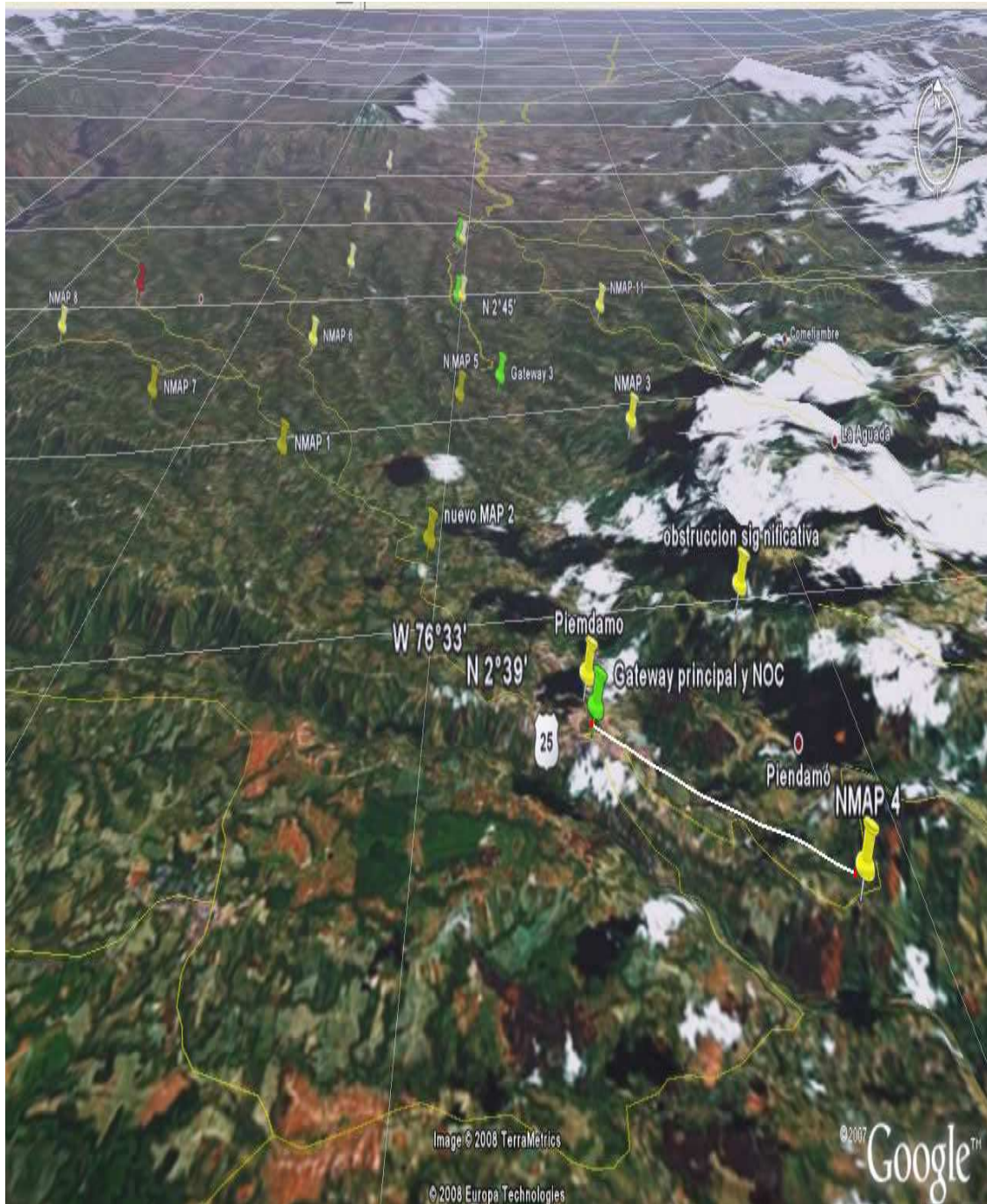


**Figura D-24. Análisis equipo cliente NMAP 14.**



#### D-4 Conclusiones

Uno de los puntos clave de este diseño es que se logro la ubicación óptima de los MAPs de tal manera que se lograra una sinergia entre cobertura, ancho de banda y fácil acceso. En la Figura D-25 se muestra la distribución de las Gateways en la vía Panamericana, así como la distribución de los MAP cercanos a las vías de comunicación.



**Figura D-25. Diseño del Nivel Mallado en la WMN multiradio para un WISP que permite cubrir el Municipio de Piendamó**

## D-5 Corregimiento del Carmelo

Este corregimiento se caracteriza por su rápido crecimiento poblacional y por presentar un paisaje totalmente plano con presencia de cultivos dedicados a la siembra de caña de azúcar.

En la Figura D-26 se puede apreciar que la geografía del terreno permite obtener una óptima línea de vista en cualquier sentido. La Figura D- 27 muestra le crecimiento poblacional de estas áreas tomando como referencia los mapas presentados en el capítulo 3 obtenidos a partir del POT del municipio de candelaria y la vista aérea obtenida con *Google earth*, esta ultima es una herramienta de gran ayuda especialmente en las zonas rurales para identificar sectores de población y ubicación de equipos.



**Figura D-26. Vistazo de la mallada por medio de la herramienta *radiomobile***



**Figura D-27. vista aérea de la red malla obtenida con la herramienta Google earth.**

Para el diseño de la red mallada en el corregimiento del Carmelo se debieron tener en cuenta las exigencias de los usuarios del sistema, en este sentido es necesario definir nuevamente el porcentaje de usuarios que espera soportar la WMN, estos se determinan nuevamente puesto que esta zona posee mas cantidad de usuarios comerciales que se pueden asociar al WISP.

Primero se deben determinar los parámetros de los niveles de servicio que se ofrecerán a los usuarios:

- Usuarios corporativos: VBR, 1 Mbps CIR (OSR 10), 2 Mbps MST (OSR 15) correspondientes al 40 % de la totalidad de la población.
- Usuarios Residenciales plus: VBR, 512 CIR (OSR 10), 762 Kbps MST (OSR 20), correspondientes al 10 % de la totalidad de la población.
- Usuarios residenciales: VBR 500 Kbps, MST (OSR 15) correspondiente al 50 % de la población. Dado el caso de la cantidad de suscriptores básicos tan elevados se puede asumir un nivel de OSR más alto.
- Usuarios con VoIP: CBR, trafico de 500 mErlan/linea, 1% GoS, 60% del total de la población, codec G.729 a 8 kbps.

Con los parámetros de servicio definidos pasamos a calcular el ancho de banda promedio por usuario que la WMN multiradio debe soportar, este dato debe tener en cuenta las velocidades, el factor de OSR<sup>24</sup> de cada servicio y el porcentaje de usuarios de cada uno.

<sup>24</sup> Sobre Suscripción.



$$BW_{promedio} = 40\% \left[ (1000 / 10) + (2000 - 1000) / 15 \right] + 10\% \left[ (512 / 10) + (762 - 512) / 20 \right] + 50 \left[ 500 / 15 \right]$$

De esta manera el  $BW_{promedio} = 82Kbps$  en la Gateway, es decir que en la Gateway se debe asegurar un trafico Full dúplex de 82 Kbps por Usuario.

Con estos cálculos y las formulas presentadas en el capitulo 5 se elabora la tabla D-7 la cual contiene un resumen de los resultados obtenidos para el calculo de capacidad de la red mallada en el corregimiento del Carmelo.

**Tabla D-7. Resultaos de planeación en Capacidad de la WMN con datos y VoIP**

Requerimientos del sistema	Resultados
Cantidad de Hogares en el área	158
Área total de cobertura	19.2 Km2
Área estimada por celda	1.2 Km2
% de penetración del servicio Datos	100 %
Cientes totales	158
% de Penetración de Servicio VoIP	100%
Cientes totales VoIP por Gateway	150
Usuarios promedio por celda	51
Throughput requerido por usuario VoIP	24 Kbps
Throughput total Requerido en las gateways	13.000 kbps
Throughput total Requerido en las gateways para VoIP	2.160 Kbps
Numero de Gateways	1
Celdas necesarias	3
Throughput promedio usuario bidireccional en Gateway	82 kbps
Throughput total soportado en las gateways	12.256 Kbps
Capacidad de la WMN multi-radio (2 Radios) con posibilidad e expansión	36 Mbps
Throughput punto a punto en la malla sin saturación	18 Mbps
Modelo de propagación	ITRM Radio Mobile

**Análisis de los trayectos de propagación propuestos para el WISP en el Corregimiento del Carmelo.**

El análisis de las siguientes secciones muestran los trayectos de propagación de cada uno de los enlaces como requisito se debe contar con linea de vista LOS entre los equipos MAP establecidos. A continuación se enumeran los parámetros tenidos en cuenta para el análisis de la WMN para un WISP en Corregimiento del Carmelo.

**Tabla D-8. Parámetros Tenidos en Cuenta para Cada una de las Capas**

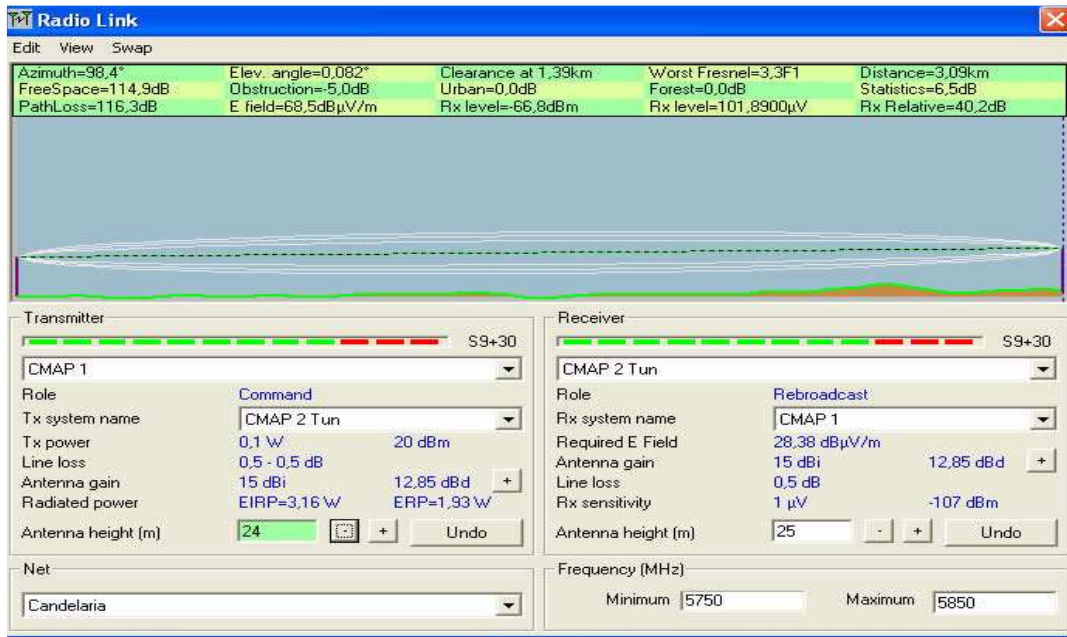
Dispositivos del sistema	
Parámetros	
Estándar	802.11 A o G
Duplexación	TDD
Frecuencias	5800 GHz y 2400 GHz
Capa Mallada	
Potencia de Transmisión (dBm)	20
Ganancia de la Antena de Transmisión y Recepción en (dBi)	15

Perdidas de conectores	1
Perdidas del cable de transmisión (dB/m)	0.2
Altura de la estación repetidora (m)	26
EIRP	35.2
SOM (dB)	10
<b>Capa de Acceso</b>	
Potencia de Transmisión (dBm)	24
Ganancia de la antena de transmisión (dBi)	15
Perdidas de conectores	1
Perdidas del cable de transmisión (dB/m)	0.2
Altura de la estación repetidora (m)	26
EIRP	35.2
<b>Equipo Cliente CPE outdoor</b>	<b>CPE/AP/Bridge/Router integrado en antena.</b>
Potencia de Transmisión (dBm)	14
Ganancia de la antena de transmisión (dBi)	10
Perdidas de conectores	1
Perdidas del cable de transmisión (dB/m)	0.2
Altura de la estación recepeora (m)	7
EIRP	23

Se debe tener especial cuidado en el momento de ubicar las torres pues el monocultivo de la caña de azúcar requiere de quemas constantes que pueden poner en riesgo la infraestructura de comunicaciones, es por esta razón que se busca ubicar las torres repetidoras en las proximidades de los grupos poblacionales dispersos como lo son el Tunal, Cantalamota y samaritana, permitiendo distribuir efectivamente las celdas entre los diferentes pobladores de la región. Si no se puede encontrar un lugar como el descrito anteriormente se debe explorar la región hasta encontrar una zona que permita contar con un radio mínimo de 10 metros alejado de las plantaciones de caña, esto debido a las constantes quemas que podrían dañar los dispositivos de comunicaciones. Es de resaltar nuevamente que los grandes operadores o proveedores de acceso no ven en las zonas rurales fuentes económicas aceptables, esto es debido a al poco conocimiento de las posibilidades con las que se cuenta mediante el uso de las tecnologías inalámbricas, y si la conocen solo se rigen por la tendencia del mercado y las tecnologías como WiMAX de altos costos de implementación. Con los datos definidos anteriormente a continuación se realiza un análisis de ubicación y de radiación de las zonas a cubrir seleccionadas por su número de hogares.

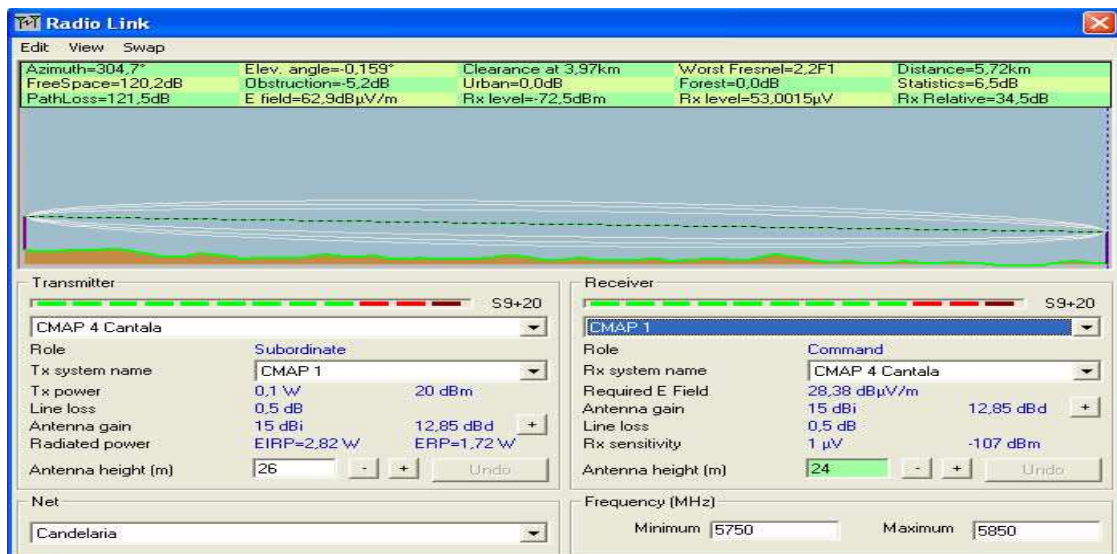
#### **Análisis Nivel Mallado.**

- **CMA1 1 Poblado – CMA12 Tunal.** El CMA1 1 se encuentra ubicado en las coordenadas 3°24'39" de latitud Norte (N) y 76°27'20" Longitud Oeste (O), con una altitud de 951 m.s.n.m; el CMA1 2 se encuentra ubicado en las coordenadas 3°24'24" de latitud Norte (N) y 76°25'41" Longitud Oeste (O), con una altitud de 955 m.s.n.m. se puede observar claramente que existe línea de vista directa entre las dos estaciones y el nivel de recepción del enlace es menor a 60 dBm, esto asegura que el enlace funcione a su máxima capacidad.



**Figura D-28. Enlace desde el CMAP 1 Poblado Gateway hasta el CMAP 2 Tunal.**

- **CMAP 4 Cantalamota – CMAP 1 Poblado.** El CMAP 4 se encuentra ubicado en las coordenadas 3°22'53" de latitud Norte (N) y 76°24'47" Longitud Oeste (O), con una altitud de 961 m.s.n.m; el CMAP 1 se encuentra ubicado en las coordenadas 3°24'39" de latitud Norte (N) y 76°27'20" Longitud Oeste (O), con una altitud de 951 m.s.n.m. se puede observar clara mente que existe linea de vista directa entre las dos estaciones y el nivel de recepción del enlace es mayor a - 60 dBm, esto asegura que el enlace funcione a su máxima capacidad.



**Figura D-29. Enlace desde el CMAP 4 Cantalamota hasta el CMAP 1 Poblado Gateway.**



- **CMAP 2 Tunal – CMAP 5 Samaritana.** El CMAP 2 se encuentra ubicado en las coordenadas 3°24'24" de latitud Norte (N) y 76°25'41" Longitud Oeste (O), con una altitud de 955 m.s.n.m; el CMAP 5 se encuentra ubicado en las coordenadas 3°24'01" de latitud Norte (N) y 76°24'08" Longitud Oeste (O), con una altitud de 965 m.s.n.m. se puede observar clara mente que existe línea de vista directa entre las dos estaciones y el nivel de recepción del enlace es mayor a -60 dBm, esto asegura que el enlace funcione a su máxima capacidad.

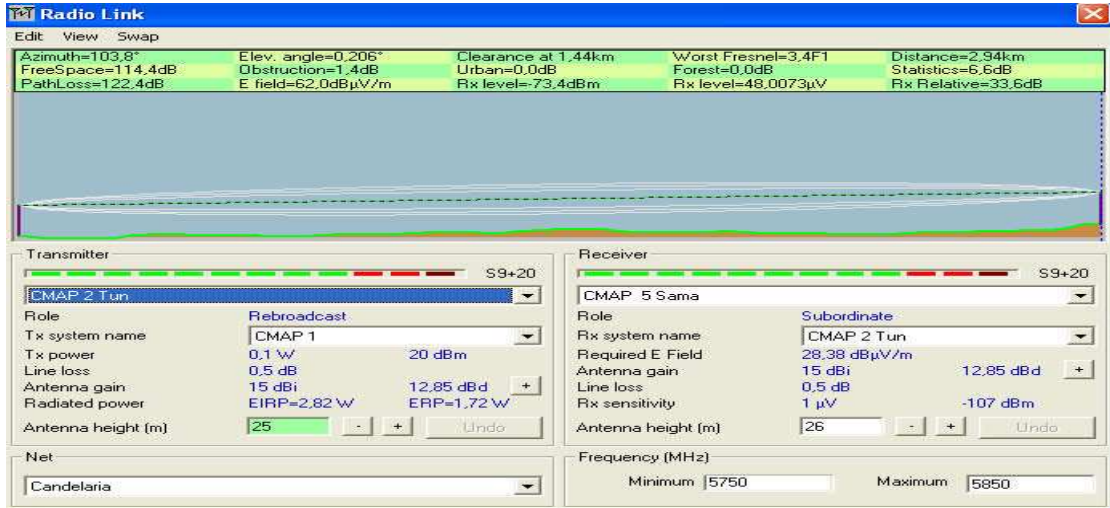


Figura D-30. Enlace desde el CMAP 2 Tunal hasta el CMAP 5 Samaritana.

- **CMAP 4 Cantalamota – CMAP 5 Samaritano.** El CMAP 4 se encuentra ubicado en las coordenadas 3°22'53" de latitud Norte (N) y 76°24'47" Longitud Oeste (O), con una altitud de 961 m.s.n.m; el CMAP 5 se encuentra ubicado en las coordenadas 3°24'01" de latitud Norte (N) y 76°24'08" Longitud Oeste (O), con una altitud de 965 m.s.n.m.. se puede observar clara mente que existe línea de vista directa entre las dos estaciones y el nivel de recepción del enlace es mayor de -60 dBm, esto asegura que el enlace funcione a su máxima capacidad.

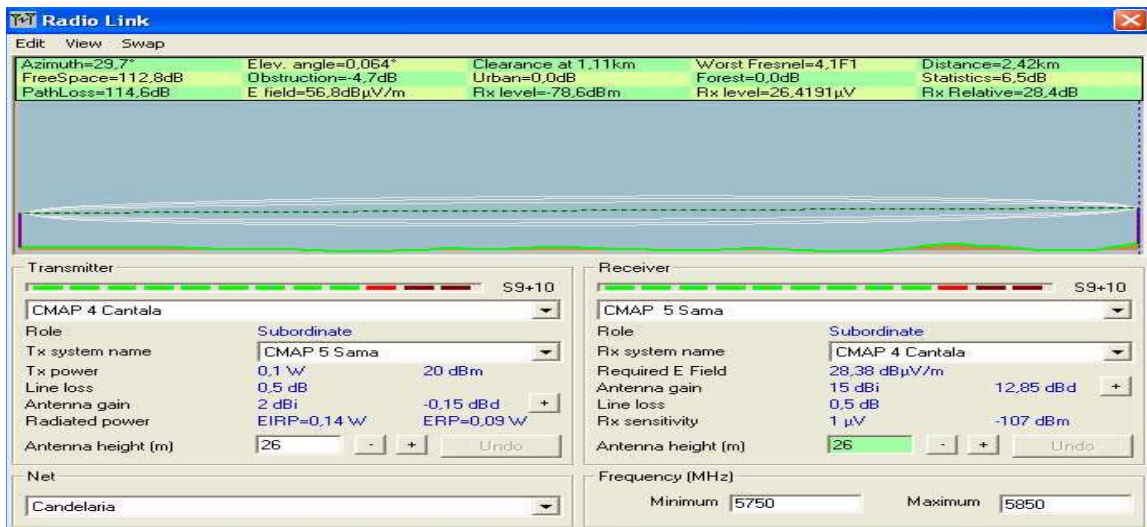
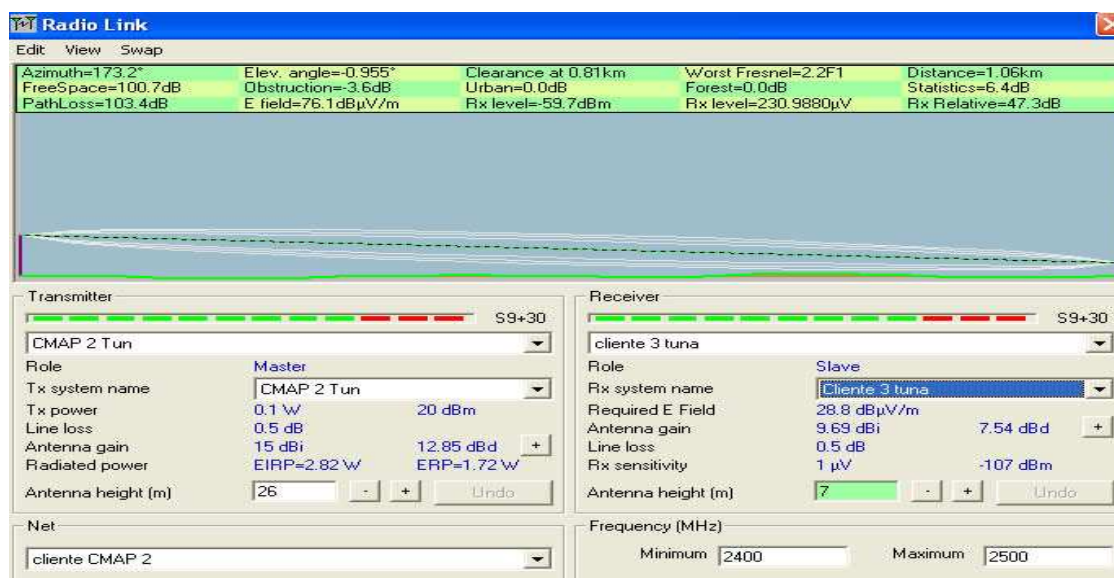


Figura D-31. Enlace desde el CMAP 4 Cantalamota hasta el CMAP 5 Samaritana.

- **Análisis Nivel de Acceso**

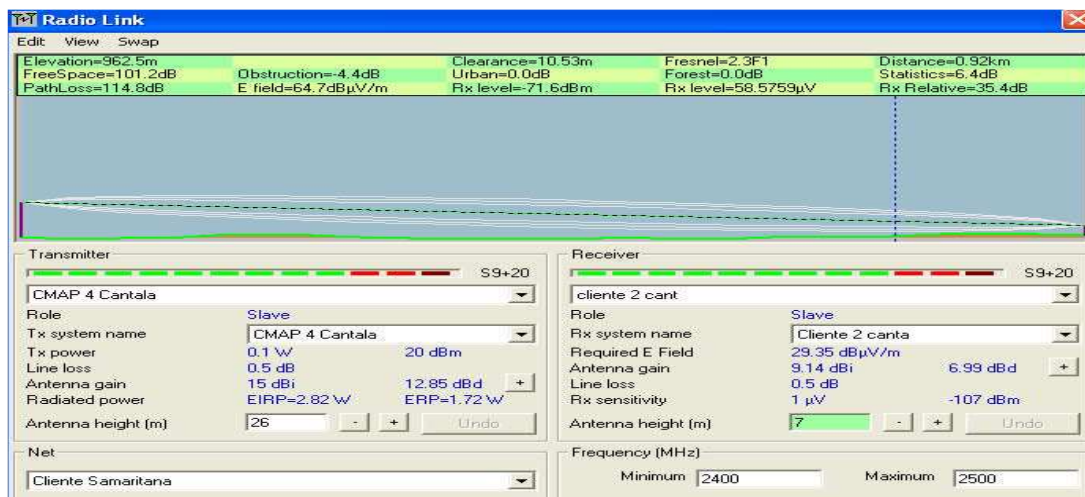
Se hace necesario analizar la capa de acceso desde el punto de vista del modelo de propagación. A continuación se muestran las distancias y las potencias para la capa de acceso, generando un radio promedio de 1 kilómetro con potencias muy bajas y antenas de pocas ganancias. Se tuvo en consideración las características expresadas en la Tabla D-3 la cual da un ejemplo de CPE usado idealmente para este sistema.

- **Celda CMAP 2 Tunal.** El Cliente 3 pertenece a la celda CMAP2, a manera de simulación se encuentra a 1.06 Kms de distancia en las coordenadas 3°22'49.9" de latitud norte (N) y 76°25'37" de longitud Oeste (O), esta grafica permite analizar que con las potencias básicas que poseen los equipos se puede obtener muy buenos enlaces de un alto grado de desempeño. Es de resaltar que el valle del cauca se encuentra en una zona totalmente plana sin obstrucciones significativas, adicional a lo anterior existen árboles de gran tamaño aproximadamente 15 metros de altura, pero como lo describe el POT estos están ubicados a los costados de las vías principales permitiendo así la libre propagación de la radio frecuencia.



**Figura D-32. Desempeño Cliente CMAP 2 Tunal.**

- **Celda CMAP 4 Cantalamota.** El Cliente 2 pertenece a la celda CMAP 4, a manera de simulación se encuentra a 920 mts de distancia en las coordenadas 3°22'17" de latitud norte (N) y 76°24'53" de longitud Oeste (O), esta grafica permite analizar que con las potencias básicas que poseen los equipos se puede obtener muy buenos enlaces de un alto grado de desempeño.



**Figura D-33 Desempeño Cliente CMAP 4 Cantalamota.**

## **D-6 GUIA BASICA PARA LA PLANEACION DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

Dado que no es fácil encontrar una guía práctica que trate sobre el dimensionamiento de un sistema basado en energía solar fue necesario acudir a la experiencia de los autores de este proyecto relacionada con el diseño y la instalación de sistemas fotovoltaicos realizadas en algunas regiones del territorio colombiano. Por lo tanto este anexo presenta una guía general, la cual se deberá tenerse en cuenta a la hora de implementar un sistema autónomo que permita el suministro de potencia, en nuestro caso, para los dispositivos inalámbricos (MAP) de la red Wifi en malla. Se espera que esta guía sea de utilidad en futuros trabajos de grado y que despierte el interés por la investigación y su uso no solo como una alternativa tecnológica sino también ecológica.

A continuación se presentan los pasos a seguir al momento de planear un sistema que será alimentado con energía solar.

- 1.-Consultar mapas o tablas de radiación solar para determinar la radiación solar promedio en horas pico sobre el plano horizontal. Luego como regla general, multiplicar por 1.2 este valor para estimar la radiación promedio sobre el plano de los módulos, que estarán inclinados con un ángulo igual a la latitud del lugar más 15 grados.
- 2.-Calcular la demanda total de energía y multiplicarla por un factor de 1.2, para tomar en consideración un 20% adicional debido a las pérdidas.
- 3.-A la energía demandada del (inciso anterior) dividirla entre la radiación promedio del inciso 1, con lo que se determinara la potencia pico total de los módulos requeridos. El numero de módulos requeridos se calculara a partir de la potencia pico total dividida entre la potencia pico de los módulos con que se cuente.
- 4.-A la energía demandada, dividirla sobre el voltaje nominal para determinar la carga demandada en promedio cada día.

5.-Multiplicar la carga demandada por un factor que oscile entre 4 y 10 y dividir sobre la máxima profundidad de descarga permitida en las baterías. Esto nos dará la carga total requerida en las baterías.

6.-Las conexiones de los módulos se harán en paralelo si los voltajes nominales de los módulos y de las baterías con que se cuenta son iguales. Sin embargo, si los voltajes difieren tendrán que combinarse en paralelo varios sub-arreglos de módulos interconectados en serie. Para determinar el número de módulos en serie en cada sub-arreglo se deberá dividir el voltaje nominal de de operación de las cargas entre el voltaje nominal de los módulos con que se cuente. Por ejemplo, si un equipo de radiocomunicación que opera a 48 voltios de DC, las baterías deberán conectarse de tal manera que proporcionen dicho voltaje, y si los módulos generan voltajes nominales de 12 voltios, será necesario conectar 4 módulos en serie.

7.-Con base en las corrientes máximas generadas por los módulos y demandada por las cargas, se podrán determinar cuál es el regulador más apropiado.

Teniendo en cuenta los pasos anteriores realizamos los cálculos correspondientes para dimensionar el sistema de suministro de potencia basado en energía solar para la red Wifi en malla.

Como requisito de entrada es necesario contar con una cantidad de energía promedio por día para una zona geográfica dada. Además se debe asegurar que el suministro de energía será confiable aun en días nublados o con bajos niveles de radiación solar.

La energía requerida dependerá de la potencia consumida por los MAP y el tiempo de operación promedio por día. Para el caso del municipio de Piendamó, es necesario tener en funcionamiento 14 MAP los cuales consumen 16 Watts teniendo en cuenta el número de radios y operando durante las 24 horas del día, por lo tanto la energía requerida por cada MAP será de  $1 \times 16 \times 24 = 384$  Watts-hora en promedio cada día. En este ejemplo simple, los MAP demandaran aproximadamente 670 mA a 24 voltios de DC, cada uno.

Desafortunadamente, en Colombia (como ocurre en toda Latinoamérica) no se cuenta con datos precisos sobre la radiación solar lo cual es una limitante por lo tanto se espera que en el futuro se cuente con esta información y así asegurar mejores diseños.

Algo importante de destacar es que la radiación debe medirse sobre el plano horizontal del lugar, y no sobre el plano en el cual se encuentran los módulos. Por lo tanto, es necesario hacer el cálculo de la radiación promedio que incide actualmente sobre el arreglo de módulos. Esto es laborioso y deberá ser realizado por medio de programas de computadora.

Es conveniente que la energía generada por el arreglo fotovoltaico en el mes con mínima radiación promedio, al menos sea igual a la energía demandada (incluyendo las pérdidas). Con esto se asegura que en los días con mayor radiación promedio no habrá deficiencia de energía, de ahí que la orientación de los módulos sea otro factor a tener en cuenta.

La inclinación de los módulos mas adecuada, es igual a la latitud del lugar más 15°. Para el caso del municipio de Piendamó, la orientación más adecuada para los módulos será de 17° grados respecto de la horizontal viendo hacia el norte.

Debido a que no se cuenta con un mapa detallado para determinar la radiación promedio sobre el plano horizontal para el municipio de Piendamó, se estima que la radiación promedio incidente sobre los módulos orientados a 2° respecto a la horizontal es de 6 horas-pico.

Si tomamos un factor de 20% para compensar las pérdidas de energía, (en las conexiones, en el regulador y en las baterías), la energía demandada será de aproximadamente 461 Watts-hora. Por lo tanto la potencia pico de los módulos requeridos deberá ser de  $461 \text{ W-h}/6 \text{ horas pico}=77 \text{ Watts pico}$ . O sea, que para el presente ejemplo, requerimos de un solo modulo de 77 Watts a 80 Watts pico, el cual puede encontrarse comercialmente.

El siguiente paso es calcular la capacidad de las baterías requeridas. Para ello, supongamos que el fabricante nos indica que sus baterías operan a 24 voltios nominales con máxima profundidad de descarga recomendable de 50%. Por lo tanto, la carga diaria nominal demandada es igual a:

$$461 \text{ Watts-hora}/(0,5*24 \text{ Voltios})=38,42 \text{ Amperios-hora.}$$

El factor de 0,5 en el denominador se debe a que solo se permitirá un 50% de descarga máxima en las baterías. Un sistema con una sola de estas baterías, no sería confiable porque la carga almacenada servirá para proporcionar la energía demandada solo en días en que la radiación solar fuera suficiente para satisfacerla. Sin embargo, a lo largo del año habrá varios días nublados consecutivamente. En este caso, la energía generada no sería suficiente para proporcionarla a los MAPs durante la noche. Por ello, es necesario tener carga extra almacenada para prevenir esos periodos con bajos niveles de radiación.

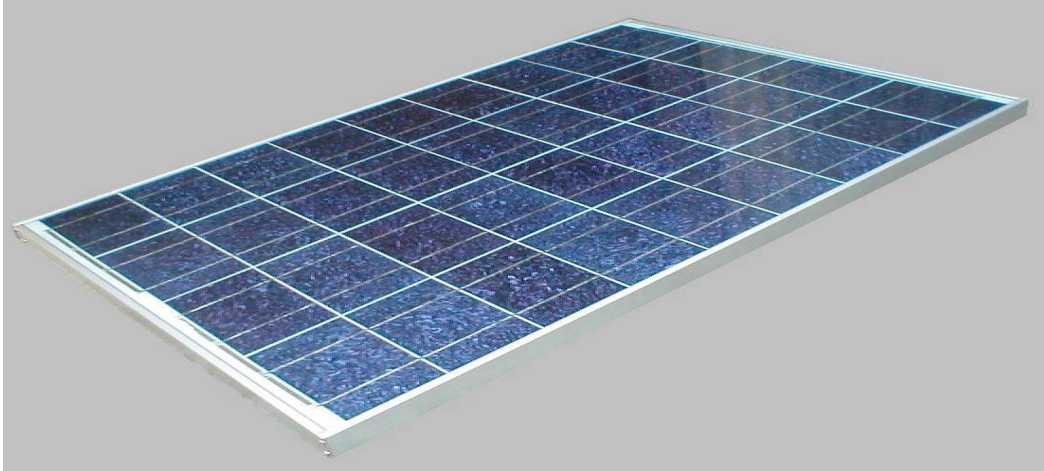
Es aconsejable usar 4 a 10 días de carga en las baterías, dependiendo del lugar, de la confiabilidad y del costo deseado. En nuestro caso, donde la conexión es un factor importante, podremos usar 10 días de carga en las baterías (8 días de consumo, mas dos días de reserva, para nublados). Por lo tanto, en nuestro ejemplo, se necesitaran baterías con un total de  $10*36 \text{ Amperios-hora}=360 \text{ Amperios-hora}$  de carga a 24 voltios.

Teniendo en cuenta las características técnicas del MAP propuesto se observa que se necesita corriente directa pero en caso de necesitar de corriente alterna se debe usar in inversor. En tal caso, habrá que considerar las pérdidas de energía en la conversión CD a AC. Por ejemplo, si se tuviera un inversor que en operación tuviera una eficiencia de 90% significaría que tendríamos que agregar un 10% a las capacidades que hemos calculado previamente.

Veamos ahora las características del regulador de carga. Dados los parámetros de los módulos, podemos ver que la corriente máxima generada por el modulo a 24 voltios es del orden de 3,3 amperios, por lo que bastara con un controlador que a la entrada pueda soportar 5 amperios. Si además se tiene un controlador que proteja la descarga de las baterías, podemos ver que a su salida maneja una corriente máxima aproximada de  $16 \text{ Watts}/24 \text{ voltios}= 667 \text{ mA}$ . Es decir, seleccionaremos un controlador que permita manejar corrientes de 1 a 3 amperios de descarga.



- **CARACTERISTICAS GENERALES DEL PANEL SOLAR SOLARTEC KS80**



**Figura D-33 CARACTERISTICAS GENERALES DEL PANEL SOLAR.**

- **SOLARTEC KS80**

Este panel es fabricado en base a celdas fotovoltaicas de silicio policristalino de alta eficiencia producidas por Kyocera en Japón. La eficiencia de conversión de estas celdas es superior al 14%. Para protegerlas de los agentes atmosféricos y aislarlas eléctricamente, las celdas son encapsuladas con material plástico EVA (etilvinilacetato) estable a la radiación ultravioleta. El frente expuesto al sol es de vidrio templado de alta transparencia (bajo contenido de hierro) y de 4 mm de espesor, lo que le otorga una mayor resistencia al impacto. La cara posterior es de TPE, una lámina plástica compuesta de elevada resistencia mecánica y eléctrica. El marco de aluminio anodizado asegura la rigidez estructural y facilita su instalación. La caja de conexiones fijada a la cara posterior permite la interconexión con los otros componentes del sistema.

- ✓ **CARACTERISTICAS MECANICAS**

Largo: 917 mm  
Ancho: 651 mm  
Espesor: 36 mm  
Peso: 8,7 Kg.

- ✓ **CARACTERISTICAS ELECTRICAS**

Potencia Nominal (PN): 80 Wp  
Tensión a PN ( $V_{mp}$ ): 17,4 V  
Corriente a PN ( $I_{mp}$ ): 4,60 A  
Tensión en circuito abierto ( $V_{oc}$ ): 21,7 V  
Corriente de corto circuito ( $I_{sc}$ ): 5,01 A

## REFERENCIAS

[1] F, ohrtman "Voice Over 802.11", Ed. Artech House: Elsevier, 2004. ISBN 1-58053-677-8.

[2] UIT- Unión Internacional de Telecomunicaciones, "Extracto de la Tabla de Formula de perdida Erlang", 2002. Documento PDF disponible en:  
<http://www.itu.int/itudoc/itu-d/dept/psp/ssb/planitu/plandoc/erlangt-es.pdf>