

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-27 |

Diseño e implementación de un radioenlace digital como estrategia de conectividad de bajo presupuesto para las comunidades de bajos recursos en áreas rurales de Antioquia

Ana María Moncada Colorado

Andrés Julián Gómez Gaviria

Ingeniería en telecomunicaciones

Sara María Yepes Zuluaga

Instituto Universitaria ITM

Fecha

Octubre 2015

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

RESUMEN

El presente proyecto tiene por objetivo diseñar, implementar y caracterizar un radio enlace digital de microondas como backbone para un proveedor de servicios de televisión digital, internet y telefonía, con el fin de ofrecer soluciones de conectividad eficientes en zonas rurales de Antioquia.

El desarrollo de este proyecto se estructurará de la siguiente manera: Inicialmente se tratará sobre los antecedentes del proyecto, enmarcado en el análisis de la situación actual de Colombia en el progreso tecnológico mediante la expansión de Internet y el desarrollo del ecosistema digital nacional y las soluciones de conectividad para poblaciones marginales desde la concepción del plan vive digital.

Así como lo menciona el plan vive digital el objetivo principal es impulsar la masificación del uso de Internet, para dar un salto hacia la Prosperidad Democrática, se cree que a través de la masificación del uso de Internet, de la apropiación de tecnología, de la creación de empleos TIC directos e indirectos, lograremos reducir el desempleo y la pobreza.

Su infraestructura corresponde a los elementos físicos que proveen conectividad digital. Algunos ejemplos son las redes de fibra óptica nacional, las torres de telefonía celular con sus equipos y antenas, y las redes de pares de cobre, coaxiales o de fibra óptica tendidas a los hogares y negocios. Ya hay 1.123 municipios conectados por fibra óptica y a las zonas apartadas como Amazonía, Orinoquía y Chocó, donde no es posible llegar con esta tecnología, llevaremos redes inalámbricas de alta velocidad. (MinTIC, 2010)

Posteriormente se presentará un marco teórico sobre los principales conceptos de un radio enlace de microondas digital, definiciones, clasificación y tipos existentes; así como también las tecnologías y dispositivos utilizados.

Además se definirá la metodología para realizar el análisis y diseño, definición de las etapas de implementación y de pruebas de un radio enlace digital con los radios Alcatel TELETRA, ubicados en la terraza del sexto piso de la sede de Fraternidad, que permita compartir recursos e información eficientemente a los usuarios y de esta manera dar una solución de conectividad eficiente en zonas rurales.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

Y por último se presentarán las conclusiones y recomendaciones necesarias en el diseño e implementar del radio enlace digital.

Se tendrá como resultado un radio enlace digital implementado con diversos servicios de comunicación que permita a los usuarios acceder a información y de esta manera aportar a la calidad de vida de los colombianos con las tecnologías de la información y comunicación (TIC) como herramienta indispensable en un mundo globalizado. Identificando las necesidades de la sociedad y construyendo soluciones.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

RECONOCIMIENTOS

Queremos agradecer a la institución universitaria **ITM** por brindarnos la oportunidad de culminar nuestros estudios profesionales como ingenieros en telecomunicaciones, ayudándonos a crecer personal y profesionalmente.

También queremos agradecer a nuestra asesora y profesora Sara María Yepes de trabajo de grado la cual nos brindó todo el apoyo y conocimiento necesario para estructurar nuestro trabajo e informes, a Mauricio Gutiérrez de la empresa edatel por aportarnos su conocimiento y por su paciencia y sobre todo a nuestras familias y amigos por su incondicional apoyo.

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

ACRÓNIMOS

FM frecuencia modulada

MDF fibra de densidad media

OCITT comité consultivo internacional telegráfico y telefónico

BER tasa de error binario

CEPT conferencia europea de administración de correos y telecomunicaciones

QAM modulación de amplitud en cuadratura

PIRE Potencia Isotrópica Radiada Equivalente

CAS señalización de canales asociados

PCM Modulación por impulsos codificados

TDM multiplexación por división de tiempo

CSU unidad de servicio de canal

DSU unidad de servicios de datos

WIMAX Worldwide Interoperability for Microwave Access (interoperabilidad mundial para acceso por microondas).

DSLAM Digital Subscriber Line Access Multiplexer (Multiplexor de línea de acceso de abonado digital).

TV televisión

SCT secretaria de comunicaciones y transporte

HDTV televisión de alta definición (high definirían television).

IPTV Televisión por Protocolo de Internet

ADSL La línea de abonado digital asimétrica.

DTH demarcación territorial homologada

CNT corporación nacional de telecomunicaciones

MPEG Moving Picture Experts Group

NGN Red de Siguiete Generación o Red Próxima Generación (Next Generation Networking).

MPLS (Multiprotocol Label Switching).

FEC corrección de errores hacia adelante (Forward Error Correction).

OTM-CCL observatorio de telecomunicaciones de Medellín y ciencias computacionales

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUCCION..... | 7 |
| 1.1 Justificación..... | 7 |
| 1.2 Planteamiento del problema..... | 8 |
| 1.3 Objetivos..... | 9 |
| 1.3.1 Objetivo general..... | 9 |
| 1.3.2 Objetivos específicos..... | 9 |
| 1.4 Organización del trabajo..... | 10 |
| 2. MARCO TEORICO..... | 11 |
| 3. METODOLOGIA..... | 36 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 38 |
| 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO..... | 56 |
| 6. REFERENCIAS..... | 57 |

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación

Vive Digital, es el plan de tecnología que inicio en el año 2010 con una fecha de extensión al 2018 en Colombia, que busca que el país dé un gran salto tecnológico mediante la expansión de Internet y el desarrollo del ecosistema digital nacional, respondiendo al reto de este gobierno de alcanzar la prosperidad democrática gracias a la apropiación y el uso de la tecnología, con la masificación de Internet. Con la integración y expansión de servicios del proyecto plan vive digital se podrá reducir de manera muy significativa el retraso que posee en tecnología, las poblaciones vulnerables de nuestro país.

Está demostrado que hay una correlación directa entre la penetración de Internet, la apropiación de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), la generación de empleo y la reducción de la pobreza, con el fin de mejorar el estilo de vida de las comunidades, prestar servicios básicos a la población, municipios y zonas rurales apartadas para brindarles mayor calidad de información. Para lograrlo, el plan impulsa el ecosistema digital del país conformado por 4 grandes componentes: Infraestructura, Servicios, Aplicaciones y Usuarios. (MinTIC, 2010)

Con este proyecto se pretende aportar una solución de conectividad con los cuatro componentes del ecosistemas a partir del diseño e implementación de un radio enlace digital de microondas como backbone para un proveedor de servicios de televisión digital, internet y telefonía, con el fin de satisfacer la demanda de nuevos usuarios como de aplicaciones, permitiendo extender la oferta de servicios e infraestructura de la red en nuestra región.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

1.2 Planteamiento del problema

A pesar de los notables avances en materia de conectividad en lo que va corrido del siglo XXI, subsisten brechas importantes en el acceso a telecomunicaciones, debido principalmente a *los* altos costos en la implementación de la infraestructura, obra civil y espacios físicos adicionales. En el país actualmente sólo alrededor de 200 municipios de los 1.123 están conectados a través de la red de fibra óptica. Las características geográficas y de dispersión han limitado el despliegue de las redes de telecomunicaciones. La realidad colombiana hace que los recursos con los que cuenta el estado para invertir en infraestructura sean limitados, por lo que es importante encontrar la mejor manera de invertirlos. (MinTIC, 2010).

Por lo anterior se requiere de una estrategia de conectividad de bajo presupuesto, de un buen alcance, capacidad de transmisión de datos, seguridad, disponibilidad y flexibilidad para satisfacer las necesidades de las comunidades.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar, implementar y caracterizar un radio enlace digital de microondas como backbone para un proveedor servicios de televisión digital, internet y telefonía, que permita dar soluciones de conectividad eficientes en zonas rurales, estableciendo la solución principalmente en Marinilla-Antioquia.

1.3.2 Objetivos Específicos

Calcular los parámetros para el diseño de radioenlaces de microondas digital, simular y comprobar los resultados del diseño.

Dimensionar la capacidad del canal inalámbrico para transportar los servicios de televisión digital, internet y telefonía teniendo en cuenta el ancho de banda de los radios digitales.

Implementar el radio enlace digital de microondas y caracterizarlo a partir de los parámetros de transmisión como nivel de ruido, ancho de banda, BER, distorsión.

Gestionar y monitorear los servicios de red con el fin de garantizar una eficiente conectividad a los usuarios.

Comparar costos de la solución de conectividad con fibra óptica y coaxial con respecto al radioenlace digital diseñado en Marinilla-Antioquia

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

1.4 Organización del trabajo

En la primera fase del proceso de diseño, se deberá calcular parámetros, dimensionar la capacidad del canal para la necesidad de una zona con bajos recursos tecnológicos en particular y simulación del enlace.

En la segunda fase se basará en la implementación de los servicios.

En la tercera fase nos enfocaremos en diseñar el proceso de implementación del enlace, partiendo del site survey (reconocimiento del lugar) y considerando los procesos de instalación e integración.

Finalmente en la cuarta fase se hará el proceso de monitoreo, prueba, verificación, validación, certificación y aseguramiento de operadores y usuarios.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

2. MARCO TEÓRICO

Se denomina, en general, radioenlace a cualquier interconexión entre terminales de telecomunicaciones efectuada por ondas radioeléctricas. Cuando los terminales son fijos, se habla de radioenlaces del servicio fijo. Si algún terminal es móvil, se engloba al radioenlace dentro del amplio concepto de sistemas o servicios móviles. Si todos los terminales están en la tierra, se califican los radioenlaces como radioenlaces terrenales, reservándose el término de radioenlace espacial o por satélite cuando en el enlace intervienen uno o más repetidores situados a bordo de un satélite.

Los radioenlaces establecen circuitos de telecomunicación de tipo dúplex, a 4 hilos equivalentes, por lo que deben transmitirse dos portadoras moduladas: una para la transmisión y otra para la recepción. Una onda portadora es una forma de onda, generalmente sinusoidal, que es modulada por una señal que se quiere transmitir. Ésta onda portadora es de una frecuencia mucho más alta que la de la señal moduladora (la señal que contiene la información a transmitir). Al modular una señal se desplaza su contenido espectral en frecuencia, ocupando un cierto ancho de banda alrededor de la frecuencia de la onda portadora. Esto permite multiplexar en frecuencia varias señales simplemente utilizando diferentes ondas portadoras y conseguir así un uso más eficiente del espectro de frecuencias.

Según el tipo de modulación, pueden clasificarse los radioenlaces en dos amplias categorías, de las cuales se utiliza una tecnología específica:

Radioenlaces analógicos

En estos radioenlaces la portadora se modula en frecuencia (FM). La señal moduladora puede ser:

- a) un múltiplex telefónico MDF (fibra de densidad media) de capacidad variable entre 12 y 2700 canales con sus pilotos de continuidad y servicios, telecontrol y telemando.
- b) una señal video en banda base, de 0 a 5 MHz
- c) un múltiplex constituido por una señal video en banda base de 1 a 4 sus portadoras de audio, moduladas en frecuencias.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

- d) una señal radiofónica, formada por subportadoras de audio moduladas en frecuencias.

Radioenlaces digitales

La modulación en la portadora es digital, de tipo binario o multinivel se utilizan mucho variante de la modulación de fase coherente: puede ser PSK binaria, PSK cuaternaria, PSK diferencial, PSK desplazada (“offset-psk”), así como modulación multinivel mixtas de amplitud y fase del NQAM (N=16, 64,128).

La señal moduladora es un múltiplex digital de algunas de las jerarquías normalizadas por el CCITT (comité consultivo internacional telegráfico y telefónico), esto es la señal básica de 2Mbit/s, o los multiplex a 8, 34 o 140 Mbit/s.

Asociada a la clasificación anterior, existe otra en función de la capacidad del radioenlace que se mide por el número de canales telefónicos para los radioenlaces analógicos o por la velocidad de bits para los radioenlaces digitales. De acuerdo a la capacidad, pueden establecerse 3 tipos de radioenlace:

1. Baja capacidad, hasta unos 30 canales o 2Mbit/s
2. Capacidad media, hasta unos 240 canales u 8 Mbit/s
3. Alta capacidad de 300 a 2700 canales y por encima de 34Mbit/s (Rábanos, Transmision por radio, 2013)

Características de un radioenlace digital

1. Las microondas son ondas electromagnéticas cuyas frecuencias se encuentran dentro del espectro de las súper altas frecuencias (entre los 10^9 hasta aproximadamente 3×10^{11} Hz con longitud de onda entre 30 cm a 1 mm)
2. Protocolo IEEE802.11b transmite a 2.4 GHz, alcanzando velocidades de 11 Mbps. Otras redes utilizan el rango de 5,4 a 5,7 GHz para el protocolo IEEE 802.11
3. Necesitan estar en puntos topográficos altos para poder enlazarse.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

4. Las principales frecuencias utilizadas en microondas se encuentran alrededor de los 12 GHz, 18 y 23 GHz, con alcance entre 1 y 25 km. El equipo de microondas que opera entre 2 y 6 GHz puede transmitir a distancias entre 30 y 50 kilómetros.
5. Sistema de transmisión de punto a punto.
6. Vista espaciada entre antenas de 40-50 Km.
7. Mientras más alta la frecuencia de operación mayor es la cantidad de canales que pueden ser obtenidos por multiplexación.
8. Se realizan sólo si existe una vista de línea (LOS, Line Of Sight), es decir que tanto el emisor como el receptor puedan “verse”.
9. Capacidades hasta de 140 Mbps (dependen de la frecuencia de operación).
10. Estructuralmente los enlaces son sistemas en serie.
11. Utiliza tecnología dúplex.

Básicamente un enlace de vía de microondas tiene 3 componentes: El transmisor es el responsable de modular una señal a la frecuencia utilizada para transmitir. El receptor es el encargado de capturar la señal transmitida y llevarla de nuevo a señal y el canal aéreo representa un camino abierto entre el transmisor y el receptor. En la estructuración física de los radioenlaces se requiere tener estaciones terminales, las cuales contienen dos frecuencias por radiocanal: la frecuencia de emisión y la frecuencia de recepción.

Se denomina vano a la sección de enlace radioeléctrico entre un terminal y un repetidor o entre dos repetidores. Como el trayecto del rayo debe estar despejado al menos en el 60% de la primera zona de fresnel para el obstáculo peor y en condiciones normales de refractividad atmosférica, la longitud de los vanos tiene un límite superior, que es del orden de los 80 Km. Para frecuencias inferiores a unos 10 GHz. Por encima de esta frecuencia, la atenuación por lluvia puede limitar la longitud de los vanos a unos 30 Km. Por razones económicas, es conveniente que el número de vanos de un radioenlace sea mínimo, lo que implica que estos tengan la mayor longitud posible.

Parámetros básicos de un radioenlace

Son aquellos parámetros involucrados en la ecuación de Friis (llamada así por el ingeniero eléctrico danés-estadounidense Harold T. Friis o ecuación de balance):

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

$$PR \text{ (dBm)} = PT \text{ (dBm)} - LTT \text{ (dB)} + GT \text{ (dB)} - Lb \text{ (dB)} + GR \text{ (dB)} - LTR \text{ (dB)}$$

Donde

- $PT \text{ (dBm)}$ = Potencia de transmisión, entregada por el amplificador del transmisor a los circuitos de acoplamiento a la antena.
- $LTT \text{ (dB)}$, $LTR \text{ (dB)}$ = Pérdidas en los circuitos de acoplamiento a la antena del transmisor y receptor, respectivamente.
- $GT \text{ (dB)}$, $GR \text{ (dB)}$ = Ganancias de las antenas de transmisión y recepción, respectivamente.
- $Lb \text{ (dB)}$ = Pérdida básica de propagación.
- $PR \text{ (dBm)}$ = Potencia recibida, que se define a la entrada del amplificador de RF del receptor.

Se denomina diagrama de niveles o hipsograma a la curva que representa las variaciones de la intensidad de la señal a lo largo del trayecto de propagación. El hipsograma se obtiene de la ecuación de balance descrita anteriormente. (Rábanos, Transmisión por radio, 2013, pág. 315)

Condiciones de diseño de un radioenlace

En condiciones normales de propagación, con despejamiento adecuado, la pérdida básica de propagación es la del espacio libre. Sin embargo, existen atenuaciones adicionales que se manifiestan en condiciones de propagación anómalas, dando lugar a desvanecimientos. Para un vano de radioenlace terrenal, la pérdida básica de propagación incluye:

$$Lb = Lbf + Ldi + Ld + La + Lp + Lg$$

Dónde:

- Lbf = Pérdida en condiciones de espacio libre.
- Ldi = Pérdida por difracción, debida a un despejamiento insuficiente.
- Ld = Pérdida por desvanecimiento, desenfoque y centelleo.
- La = Pérdida por errores en los ángulos de salida y llegada.
- Lp = Pérdida ocasionada por las precipitaciones.
- Lg = Pérdida debida a la absorción de gases y vapores atmosféricos.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

Como todas estas pérdidas adicionales tienen una influencia muy directa sobre la disponibilidad, deben preverse y tomarse en consideración, así como adoptar, en cada caso, las medidas protectoras oportunas. Debe también estudiarse con detalle el efecto del desvanecimiento por sus repercusiones sobre la distorsión y la calidad de la señal.

El proceso de diseño de un radioenlace, vano por vano, en lo atañe a la propagación, deberá seguir, en consecuencia, las siguientes líneas básicas:

1. Análisis de la geometría del perfil: elección de las alturas de antenas
2. Evaluación de las pérdidas por desvanecimiento de factor k y por gases y vapores atmosféricos
3. Calculo de la atenuación por lluvia
4. Estudio de la despolarización
5. Estudio de desvanecimiento multitrayecto: plano y selectivo
6. Protección contra desvanecimiento multitrayecto: técnicas de diversidad (Rábanos, Transmision por radio , 2013, pág. 323)

Calidad de un radioenlace

La calidad de un radioenlace representa el grado en que este sistema de transmisión estará en condiciones de proporcionar el servicio para el que se ha diseñado. Por ello se distingue entre dos aspectos de calidad complementarios y relacionados entre sí:

- Calidad de disponibilidad
- Calidad de fiabilidad (Rábanos, Transmision por radio , 2013, pág. 341)

Umbral de recepción: se define como el valor de potencia de ruido del sistema a la entrada del equipo amplificador o convertidor más la relación portadora a ruido, en dB, está suma se expresaría así:

$$P_{\text{umbral}} = P_{\text{ruido total en dbm}} + C/N$$

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

Si la potencia umbral es igual al nivel de potencia recibido según la ecuación, entonces se está cumpliendo con todas las condiciones impuestas al diseño, sin embargo, debe considerarse además el valor de atenuación por lluvia, pues en caso de que esta se presente no estarán garantizadas los requerimientos para una recepción confiable. Por lo tanto, para superar este problema, la potencia que se requiere en la recepción debe ser mayor que el valor umbral, de manera que se cuente con un margen de seguridad. (Juan C. Gómez, 2001)

Margen de desvanecimiento: Los humanos se han encargado desde hace mucho tiempo de propagar ondas electromagnéticas por la atmosfera terrestre y como todos sabemos todo ese conjunto tan grande de señales van a sufrir de pérdidas. Estas pérdidas se deben a distintos fenómenos que tienen efectos tanto a corto como a largo plazo. Esta variación de pérdida de señal se le llama desvanecimiento, a su vez esta pérdida se debe a un sin número de fenómenos naturales como la lluvia, la nieve, el granizo, etc.

Si definimos la señal puesta sobre los bordes de receptor y la sensibilidad del mismo. Entonces podemos definir el margen de desvanecimiento como la diferencia entre ambos valores. Todo esto se cumple en caso ideal, donde no hay obstrucciones, donde la atmosfera se mantiene en los valores ideales previstos, donde no hay lluvia o granizo, polvo, arena donde no hay tormentas eléctricas ni otros factores climáticos que perturben al enlace. Pero realmente esto no se da y además existen otro tipo de estaciones que nos producen interferencia, tanto en nuestro canal, como en los canales adyacentes y que tienden a enmascarar nuestra señal.

Es por esto que una señal nunca llega igual a como la enviamos por todos estos factores que nombramos, de todo esto es necesario establecer un Margen de Desvanecimiento que permita hacer frente a estos factores.

Se calcula de la siguiente manera:

$$F_m = 30 \log D + 10 \log (6ABf) - 10 \log (1 - R) - 70$$

Dónde:

F_m = margen de desvanecimiento (decibeles).

D = distancia (kilómetros)

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

f = frecuencia (giga Hertz)

R = confiabilidad en tanto por uno (es decir. 99.99% =0.9999 de confiabilidad)

$1 - R$ = objetivo de confiabilidad para una ruta de 400 Km en un sentido

A = factor de rugosidad

= 4 sobre agua o sobre terreno muy liso

= 1 sobre un terreno promedio

= 0.25 sobre un terreno muy áspero y montañoso

B = factor para convertir la peor probabilidad mensual en una probabilidad anual

= 1 para pasar una disponibilidad anual a la peor base anual

= 0.5 para áreas calientes y húmedas

= 0.25 para áreas continentales promedio

= 0.125 para áreas muy secas o montañosas (Luis Escobar, 2012)

Disponibilidad

La disponibilidad es el porcentaje de tiempo sobre un año en el cual un enlace de microondas terrestre o satelital está al aire. Generalmente en Colombia se trabaja con disponibilidades de 99.9999%, esto significa que el radioenlace estará fuera del aire por un total de 31.5 segundos en todo el año. El valor de la ventana de desvanecimiento y la no-disponibilidad (1 - disponibilidad) se pueden relacionar mediante el valor de atenuación por lluvia así:

$$F = 0.12 (At_{0.01})^P (8.0)$$

Dónde:

F: margen de desvanecimiento

At_{0.01}: atenuación por lluvia para una indisponibilidad del 0.01% del año.

P: indisponibilidad.

Para el cálculo de la indisponibilidad P , se utiliza un método de aproximación continua que genera el valor de P para luego obtener el valor de disponibilidad total del sistema.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

Para hallar el nivel de lluvia para una probabilidad de 0.01% se utilizan los mapas de zonas (Gómez, 2001)

La relación portadora ruido

En los cálculos de calidad de radioenlaces analógicos y digitales, interviene la relación entre las potencias de portadoras y ruido térmico a la entrada del modulador, denominada C/N que depende de la potencia recibida y el factor de ruido del sistema del receptor.

La Relación señal a ruido (S/N) y la portadora a ruido (C/N) son términos a menudo usados para indicar la calidad de los sistemas de cabecera en redes SMATV (televisión inteligente).

La relación portadora a ruido (C/N) Indica el ruido presente dentro del ancho de banda útil de un canal de televisión.

Sus cálculos son: Es la relación entre la potencia de la señal recibida (C) en la banda de frecuencia (B) del receptor y la potencia (N) del ruido que viene dada por la expresión $N=kTB$:

$$C/N = E + G - A - 10 \log T - 10 \log B - 10 \log k$$

Dónde:

E = PIRE (dBW), G es la ganancia de la antena en dB, A es la atenuación global en dB, T temperatura de ruido de la antena y del cabezal LNB (el bloque de bajo ruido), B anchura de banda FI del receptor (MHz) y k la constante de Boltzmann. (Rábanos, Transmision por radio , 2013, pág. 316)

Tabla 1

Ventajas y desventajas de un radio enlace digital

| Ventajas | Desventajas |
|-------------------------------|---------------------------------------|
| Bajo costo | Explotación restringida a tramos con |
| Instalación rápida y sencilla | visibilidad directa para los enlaces. |

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

Conservación más económica y de actuación rápida.

Necesidad de acceso adecuado a las estaciones repetidoras en las que hay que disponer.

Supera irregularidades de terreno

La regulación sólo debe aplicarse al equipo.

Al ser ondas, las condiciones atmosféricas, así como los fenómenos físicos pueden ocasionar interferencias, por lo que se utilizan sistemas y equipo auxiliar.

Capacidad de aumentar separación entre repetidores incrementando altura de torres.

Al aumentar las frecuencias de operación se incrementa su capacidad de transmisión.

Por su estructura serial si una terminal falla se cae la red, por lo que es necesario sistemas de supervisión y control.

Las estaciones funcionan de manera no atendida.

Las licencias de operación resultan un poco difíciles ya que las autoridades deben de asegurarse que los enlaces no causen interferencia con los ya existentes.

Nota: Comparación de la calidad de un radioenlace digital (Escobar Sanchez Fabian Yabin, 2012)

Radio enlaces microondas en la actualidad

Por varias décadas las microondas formaron el corazón del sistema de transmisión telefónica de larga distancia. A pesar de las ventajas y beneficios que ofrecen los sistemas de enlaces por microondas, desde la introducción de la fibra óptica, los radioenlaces han sufrido un desplazamiento importante de aplicación.

Siguen teniendo un lugar importante en el área comercial y telecomunicación a larga distancia. Sin embargo, su aplicación real se encuentra en las ciudades de ciertos países, principalmente de Estados Unidos. (Escobar Sanchez Fabian Yabin, 2012)

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

Tipos de ondas de propagación

Tipos de propagación La transmisión de ondas de radio utiliza cinco tipos de propagación distintos:

- Superficial
- Troposférica
- Ionosférica
- Línea de vista
- Espacio

La tecnología de radio considera que la tierra está rodeada por dos capas de atmósfera: la troposfera y la ionosfera. La troposfera es la porción de la atmósfera que se extiende hasta aproximadamente 45 km desde la superficie de la tierra (en terminología de radio, la troposfera incluye una capa de máxima altitud denominada estratosfera) y contiene aquello en lo que nosotros generalmente pensamos como el aire. Las nubes, el viento, las variaciones de temperatura y el clima en general ocurren en la troposfera, al igual que los viajes en avión. La ionosfera es la capa de la atmósfera por encima de la troposfera pero por debajo del espacio. Esta más allá de lo que nosotros denominamos atmósfera y contiene partículas libres cargadas eléctricamente (de aquí el nombre).

Propagación en superficie. En la propagación en superficie, las ondas de radio viajan a través de la porción más baja de la atmósfera, abrazando a la tierra. A las frecuencias más bajas, las señales emanan en todas las direcciones desde la antena de transmisión y sigue la curvatura de la tierra. La distancia depende de la cantidad de potencia en la señal: cuanto mayor es la potencia mayor es la distancia. La propagación en superficie también puede tener lugar en el agua del mar.

Propagación troposférica. La propagación troposférica puede actuar de dos formas. O bien se puede dirigir la señal en línea recta de antena a antena (visión directa) o se puede radiar con un cierto ángulo hasta los niveles superiores de la troposfera donde se refleja hacia la superficie de la tierra. El primer método necesita que la situación del receptor y el transmisor esté dentro de distancias de visión, limitadas por la curvatura de la tierra en relación a la altura de las antenas. El segundo método permite cubrir distancias mayores.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

Propagación Ionosférica. En la Propagación Ionosférica, las ondas de radio de más alta frecuencia se radian hacia la ionosfera donde se reflejan de nuevo hacia la tierra. La densidad entre la troposfera y la ionosfera hace que cada onda de radio se acelere y cambie de dirección, curvándose de nuevo hacia la tierra. Este tipo de transmisión permite cubrir grandes distancias con menor potencia de salida.

Propagación por visión directa. En la Propagación por visión directa, se trasmite señales de muy alta frecuencia directamente de antena a antena, siguiendo una línea recta. Las antenas deben ser direccionales, estando enfrentadas entre si, y/o bien están suficientemente altas ó suficientemente juntas para no verse afectadas por la curvatura de la tierra. La propagación por visión directa es compleja porque las transmisiones de radio no se pueden enfocar completamente. Las ondas emanan hacia arriba y hacia abajo así como hacia delante y pueden reflejar sobre la superficie de la tierra o partes de la atmósfera. Las ondas reflejadas que llegan a la antena receptora más tarde que la porción directa de la transmisión puede corromper la señal recibida.

Propagación por el espacio. La Propagación por el espacio utiliza como retransmisor satélites en lugar de la refracción atmosférica. Una señal radiada es recibida por un satélite situado en órbita, que la reenvía devuelta a la tierra para el receptor adecuado. La transmisión vía satélite es básicamente una transmisión de visión directa como un intermediario. La distancia al satélite de la tierra es equivalente a una antena de súper alta ganancia e incrementa enormemente la distancia que puede ser cubierta por una señal. (Evelio, 2007)

Parámetros de una red Ethernet

Los siguientes parámetros son los que debemos tener en cuenta para una red: jitter, latencia y ancho de banda.

La calidad de un enlace de red se puede determinar según su latencia, pérdida de paquetes (“datagramas”), variación de la latencia (“jitter”) y el ancho de banda (Sola, 2013).

En las telecomunicaciones las medidas de jitter son clave para asegurar un correcto funcionamiento de los sistemas y redes de comunicaciones. A altas velocidades se necesitan medidas de jitter muy precisas. A lo largo de todo un sistema de comunicaciones digitales, las señales de datos se ven

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

sujetas a numerosas fuentes de ruido y efectos no deseados que degradan su calidad. Una de estas degradaciones es el jitter, que se manifiesta como fluctuaciones temporales de los períodos de bit de la señal digital que dificultan el proceso de muestreo y recuperación de los datos en recepción. Dependiendo de su tasa de bit, la señal de datos se verá más o menos influenciada por el jitter. En todo caso existirán unos niveles máximos de jitter que se deberán asegurar. (Pascual, s.f)

Latencia: Es el tiempo o lapso necesario para que un paquete de información se transfiera de un lugar a otro. La latencia, junto con el ancho de banda, son determinantes para la velocidad de una red (Alegsa, 2010). Y el ancho de banda es la cantidad de datos que pueden ser transportados por algún medio en un determinado período de tiempo (generalmente segundos). Por lo tanto a mayor ancho de banda, mayor transferencia de datos por unidad de tiempo (mayor velocidad). En redes, como internet, el ancho de banda es expresado en bits por segundo (bps) o también en bytes por segundos (Alegsa, 2010).

Tecnología Gigabit Ethernet: Estandarizado en la norma IEEE 802.3an sobre cable de par trenzado no apantallado (UTP) categoría 6A conocida como 10G BASE-T y en otras aplicaciones como 10BASE-T, 100BASE-T y 1000BASE-T. Es una evolución de la tecnología Ethernet ofreciendo escalabilidad y flexibilidad para la transmisión de nuevas aplicaciones y tipos de datos a altas velocidades y gran ancho de banda, soportando diferentes medio físicos con distintos valores de distancia. (Eleodoro, 2013)

(MAC) Capa Control De Acceso Al Medio: Usa el mismo protocolo de Ethernet CSMA/CD donde la máxima longitud del medio de transmisión está limitada por dicho protocolo. Si 2 estaciones comienzan la transmisión al detectar el medio desocupado habrá una colisión.

Para evitar la colisión Ethernet maneja una trama mínima de 64 bytes, éste tamaño mínimo en la trama es para evitar que comiencen a transmitir antes de detectar el primer bit al final del cable, donde este puede colisionar con otra trama. El tiempo mínimo de detección de colisión es el tiempo que toma la señal en propagarse de extremo a extremo del cable; este tiempo es llamado *Time Slot*. La distancia máxima alcanzada con un máximo de 4 repetidores de un cable en Ethernet es de 2.5 Km. Al aumentar la tasa de bit aumenta la velocidad de transmisión. Como resultado, La estación

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

podrá transmitir una trama a gran velocidad y no detectar una colisión al final del cable, esto si tiene el tamaño de la trama y la longitud del cable se mantienen. (Solano Pozo, 2009)

Topología CSMA/CD: El correcto funcionamiento de CSMA/CD requiere que el tiempo de ida y vuelta entre dos estaciones no supere el tiempo que tarda en emitirse la trama mínima permitida. El tiempo de transmisión mínimo depende de la velocidad de la red, y el tiempo máximo de ida y vuelta fija a su vez unas distancias máximas entre las estaciones.

El estándar IEEE 802.3 establece dos formas de verificar si una topología Ethernet es válida o no:

Modelo 1: Conjunto de reglas sobre el número máximo de repetidores que puede haber entre dos estaciones y la distancia máxima entre ellos. Cumpliendo esas reglas se asegura que la red no excede los valores máximos en el tiempo de ida y vuelta; como no siempre una topología que incumpla sus reglas supera el tiempo máximo, el estándar establece el segundo modelo.

Modelo 2: Realiza cálculos detallados en cada trayecto del retardo para cada tramo de cable y cada componente. Una topología aceptable según el Modelo 2 es válida, aun cuando viole alguna de las reglas del Modelo 1.

Una ventaja del Modelo 2 es que permite conocer el retardo en la comunicación de computadores de la red. Es fundamental para el correcto funcionamiento de una red asegurarse de que no se supera en ningún caso el retardo máximo permitido. En caso de duda siempre se debe comprobar recurriendo al cálculo detallado en base al Modelo 2. El principal síntoma de una topología inválida es la pérdida injustificada de tramas y las colisiones tardías.

En las redes que se diseñan actualmente es raro encontrarse con problemas de topología, hoy en día los equipos se conectan directamente a conmutadores, o si se conectan a concentradores éstos solo aparecen en el primer nivel, estando el segundo nivel y superiores ocupados por un conmutador. Además al conectar directamente un equipo al conmutador la transmisión puede realizarse en modo full dúplex, con lo que desaparecen las colisiones y por tanto la limitación de distancias impuesta por la necesidad de detectarlas. (Montañana, 2007)

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

Extensión de Portadora: La tecnología Gigabit Ethernet mantiene los tamaños máximos y mínimos de las tramas Ethernet, para aumentar la distancia se aumenta la trama de 64 bytes (512 bits) a 512 bytes, si la trama es menor a este último valor se rellenan con símbolos especiales de extensión, es decir, un paquete pequeño puede tener un rendimiento superior que Fast Ethernet.

Topologías Gigabit Ethernet: Es una tecnología utilizada como enlace de Backbone en una red que demanda un gran ancho de banda, también puede ser usada entre routers, switches, hubs, servidores y repetidores. Además puede ser usado para conectar servidores en estaciones de trabajo de alto rendimiento.

Conexión Servidor-Switch: Un servidor da respuesta a una gran cantidad de clientes, lo que hace que necesite mayor ancho de banda. Si se conecta servidores a switches con tecnología Gigabit Ethernet ayudará a los clientes a tener un acceso al servidor con altas velocidades.

A los servidores se les instala tarjetas de red Gigabit Ethernet y se conectan a un Switch Gigabit Ethernet.

Migración Conexión Switch Fast Ethernet-Switch Gigabit Ethernet: Ésta topología propuesta migrará los enlaces entre Switch Fast Ethernet a enlaces entre switch Gigabit Ethernet.

Migración Backbone Fast Ethernet: Un enlace Backbone tiene conectado múltiples switches 10/100 Mbps, este enlace puede ser sustituido por un switch Gigabit Ethernet soportando múltiples switches 100/1000 Mbps así como routers, hubs y concentradores que tienen interfaces Gigabit Ethernet.

Cuando el backbone Fast Ethernet sea migrado, incrementará el rendimiento (throughput) para aplicaciones o servicios que requieren mayor ancho de banda y los servidores de alto rendimiento podrán ser conectados directamente al backbone con tarjeta Gigabit Ethernet.

Migración Backbone FDDI Compartido: Un enlace con tecnología FDDI es común encontrarlo en un campus o edificio, los concentradores FDDI que conforman dicho enlace pueden ser sustituidos por repetidores o switches Gigabit Ethernet.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

Migración Para Estaciones De Trabajo De Alto Rendimiento: Las estaciones de trabajo necesitan conectarse a redes de gran ancho de banda. Tarjetas de red Gigabit Ethernet pueden ser usadas para conectar computadores de alto rendimiento con switches Gigabit Ethernet. (Solano Pozo, 2009)

Modulación QAM

Es una técnica que transporta dos señales independientes, mediante la modulación de una señal portadora, tanto en amplitud como en fase. Esto se consigue modulando una misma portadora, desfasada en 90°.

La modulación de amplitud en cuadratura (QAM), es una forma de modulación digital en donde la información digital está contenida, tanto en la amplitud como en la fase de la portadora transmitida.

QAM digital: Conocida también como QAM Cuantizada, se basa en los principios de su similar analógica, con la diferencia de que tiene como entrada un flujo de datos binarios, el cual es dividido en grupos de tantos bits como se requieran para generar N estados de modulación, de allí que se hable de N-QAM. Por ejemplo, en 8-QAM, cada tres bits de entrada, que proporcionan ocho valores posibles (0-7), se alteran la fase y la amplitud de la portadora para derivar ocho estados de modulación únicos. En general, en N-QAM, cada grupo de m-bits genera $2^m = N$ estados de modulación.

Para representar los estados de modulación posibles en los distintos tipos de modulación digital, como la QAM Cuantizada, se utiliza el llamado diagrama de constelación en analogía con la astronomía. Los puntos de la "constelación" están uniformemente dispuestos en una rejilla cuadrada con igual separación vertical y horizontal, aunque son posibles otras configuraciones. Puesto que en las telecomunicaciones digitales los datos son binarios, el número de puntos del diagrama es normalmente una potencia de 2. Ya que el número de estados de modulación en QAM es generalmente un número cuadrado, las formas más comunes son de 16-QAM, 64-QAM y 256-QAM. Al cambiar a una constelación de orden superior, es posible transmitir más bits por símbolo. Sin embargo, si la "energía promedio" de la constelación sigue siendo la misma, los puntos deben estar más cercanos y son por lo tanto más susceptibles al ruido y la distorsión, lo que resulta en una

tasa de bits de error (BER) más alta y así la QAM de orden superior puede ofrecer más datos menos confiables que la QAM de orden inferior. (colaboradores de wikipedia, s. f. (sin fecha).)

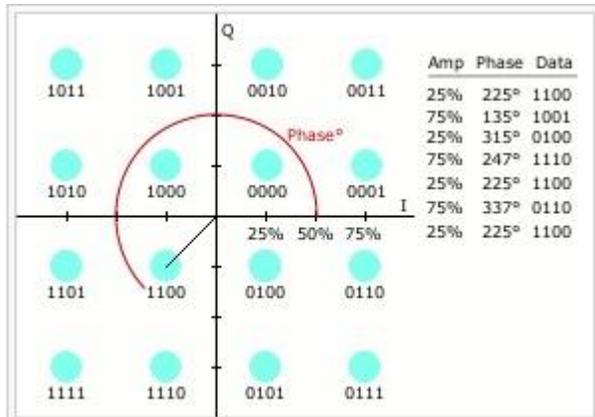


Figura 1 Diagrama para la modulación digital 16-QAM con ejemplos de puntos en un diagrama de constelaciones.

Tasa de error binario

La tasa de error binario o BER se define como el número de bits recibidos de forma incorrecta respecto al total de bits enviados durante un intervalo especificado de tiempo. Es usado en telecomunicaciones para modelar un canal de comunicaciones

Ejemplo: Supongamos que la siguiente secuencia de bits fue transmitida por un canal:

0 1 1 0 0 0 1 0 1 1, pero se recibió la siguiente secuencia:

0 0 1 0 1 0 1 0 0 1, Para determinar el BER se divide 3 (número de bits con error) por 10 (número total de bits). La tasa de error de bit en este caso es de 0.3 o 30%. (wikipedia, tasa de error binario, s. f. (sin fecha).)

Tabla 2

Tipos de modulación en QAM

| tipos de modulación en amplitud | descripción |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| en cuadratura | |
| 8-QAM | Modulación de amplitud El QAM de ocho (8-QAM), es una técnica de codificación |

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

en cuadratura de 8 estados M-ario, en donde $M = 8$. A diferencia del 8-PSK, la señal de salida de un modulador de 8-QAM no es una señal de amplitud constante.

16-QAM Modulación de amplitud en cuadratura de 16 estados Cada flujo de datos se divide en grupos de cuatro bits, y a su vez en subgrupos de 2 bits, codificando cada bit en 4 estados o niveles de amplitud de las portadoras.

N-QAM Modulación de amplitud en cuadratura de n estados Cada bit se codifica en $2n$ estados o niveles de amplitud de las portadoras.

Señales moduladas Ask La modulación por desplazamiento de amplitud, en inglés Amplitude-shift keying (ASK), es una forma de modulación en la cual se representan los datos digitales como variaciones de amplitud de la onda portadora en función de los datos a enviar.

Señales moduladas Psk La modulación por desplazamiento de fase o PSK (Phase Shift Keying) es una forma de modulación angular que consiste en hacer variar la fase de la portadora entre un número de valores discretos. La diferencia con la modulación de fase convencional (PM) es que mientras en ésta la variación de fase es continua, en función de la señal moduladora, en la PSK la señal moduladora es una señal digital y, por tanto, con un número de estados limitado.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

(colaboradores de wikipedia, s. f. (sin fecha).)

Formato de transmisión digital E1

E1 o Trama E1 es un formato de transmisión digital; su nombre fue dado por la administración de la CEPT (conferencia europea de administración de correos y telecomunicaciones). Es una implementación de la portadora-E.

El formato de la llamada y desmonte de acuerdo a varios protocolos estándar de telecomunicaciones. Esto incluye señalización de canales asociados (Channel Associated Signaling - CAS) en donde un juego de bits es usado para replicar la apertura y cerrado del circuito (como para los circuitos de llamadas en datos, sin riesgos de pérdidas de información).

Mientras que el estándar CEPT G703 especifica muchas opciones para la transmisión física, se utiliza de forma casi exclusiva el formato HDB3 (código binario de telecomunicaciones).

El protocolo E1 se creó hace muchos años ya para interconectar troncales entre centrales telefónicas y después se le fue dando otras aplicaciones hasta las más variadas que vemos hoy en día. La trama E1 consta en 32 divisiones (time slots) PCM (pulse code modulation) de 64k cada una, lo cual hace un total de 30 líneas de teléfono normales más 2 canales de señalización, en cuanto a conmutación. Señalización es lo que usan las centrales para hablar entre ellas y decirse que es lo que pasa por el E1.

El ancho de banda se puede calcular multiplicando el número de canales, que transmiten en paralelo, por el ancho de banda de cada canal:

$$\text{Canales} \times (\text{ancho por canal}) = 32 \text{ canales} \times 64 \text{ kbps} = 2048 \text{ kbps}$$

Resumiendo, un E1 equivale a 2048 kilobits en el vocabulario tecnológico convencional. Hoy contratar una trama E1 significa contratar el servicio de 30 líneas telefónicas digitales para nuestras comunicaciones, para un sistema 4E1 se tendrá 120 líneas telefónicas. (wikipedia, E1, 2014)

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

T1

Señal digital 1, abreviado DS1 o T1, un estándar de entramado y señalización para transmisión digital de voz y datos. (wikipedia, T1, 2015)

T1/E1: Una conexión T1 es un paquete compuesto por 24 canales de multiplexado por división de tiempo (TDM) de 64 kbps a través de circuito de cobre de cuatro hilos. Esto crea un ancho de banda total de 1.544 Mbps. En Europa y en otras partes del mundo, un circuito E1 es un paquete compuesto por 32 canales de 64 kbps, dando un total de 2.048 Mbps. TDM permite que múltiples usuarios compartan un medio de transmisión digital al utilizar ubicaciones en el tiempo pre asignadas.

Es importante darse cuenta de que T1 se puede compartir entre voz y datos. Por ejemplo, un servicio telefónico puede venir a través de un subconjunto de 24 canales de un enlace T1, dejando los demás canales para la conectividad de Internet. Se necesita un dispositivo multiplexor T1 para gestionar los 24 canales DS0 cuando se comparte un tronco T1 entre múltiples servicios. En el caso de una conexión individual solo de datos, el circuito se puede ejecutar sin canalizar (no se realiza TDM en la señal). Por ello, se puede emplear un dispositivo de unidad de servicios de canal/unidad de servicios de datos (CSU/DSU) más simple. En general, podrá conectarse a una CSU/DSU de T1/E1 o a un multiplexor a través de una interfaz serie V.35 o RS 449 con protocolo síncrono a velocidades múltiples de 64 kbps que llegan a alcanzar 1.544 Mbps o 2.048 Mbps. La CSU/DSU o el multiplexor proporcionan el cronometraje de la red. (IBM, 1993, 2013)

RICi-4E1

Los dispositivos rici-4e1 soportan cuatro circuitos E1 unframed. Todos los dispositivos cuentan con cuatro puertos de usuario 10/100BaseT o dos puertos 100BaseFX opcionales. Los cuatro dispositivos poseen la certificación MEF-9 de Metro Ethernet Forum para servicios de línea privada Ethernet, y soportan aplicaciones tales como conectividad transparente entre redes LAN, acceso directo a Internet y líneas privadas Ethernet, y transporte de estación base WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access, interoperabilidad mundial para acceso por microondas) Y DSLAM IP (Digital Subscriber Line Access Multiplexer, Multiplexor de línea de acceso de abonado digital). (bytecom)

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

Servicios de telecomunicaciones

Televisión digital

La Televisión Digital es la difusión de las señales de TV (televisión) que utiliza la más moderna tecnología digital para transmitir de forma optimizada imagen y sonido de mayor calidad, permitiendo ofrecer adicionalmente otros servicios interactivos o de acceso a la Sociedad de la Información.

La Televisión Digital revoluciona el concepto que hasta ahora se tiene de la televisión.

Tipos de televisión digital

Televisión Digital Abierta (Radiodifundida o Gratuita): Es la tecnología que permite la transmisión de señales digitales a través del espectro radioeléctrico (sin medios guiados) a todos los aparatos receptores (televisores) que sean compatibles o un decodificador para aparatos analógicos, además de una antena que se instala en el exterior o interior.

La transición de la tecnología analógica a la digital brinda varios beneficios para los usuarios como mayor calidad de imagen y sonido, pero también permite optimizar el uso de la banda de 700 MHz, liberando gran parte de este espectro para otros servicios como el de banda ancha.

En México, desde julio de 2004 se adoptó el estándar ATSC A/53 (Advanced Television Systems Committee, es un estándar que permite la difusión IP de la televisión digital orientado a receptores portátiles o móviles) para la digitalización de la señal analógica radiodifundida. Se determinó que para la migración de estas señales se otorgaría un canal adicional a los concesionarios de televisión radiodifundida para generar un canal espejo digital y así transmitieran simultáneamente sus señales por la vía analógica y por la digital. El término de las transmisiones analógicas será el 31 de diciembre de 2015, lo que se conoce como apagón analógico.

En mayo de 2013 se realizó una Prueba Piloto en la ciudad de Tijuana, Baja California; para ello el Gobierno Federal apoyó con la entrega de decodificadores digitales para el 7% de los hogares (14,400 mil) que dependían de la televisión abierta y que no contaban con un receptor digital. El 18 de julio de 2013 se dieron por terminadas las transmisiones analógicas en esta ciudad.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

Adicionalmente, en marzo de 2014, el Instituto Federal de Telecomunicaciones aprobó la licitación de dos nuevas cadenas de televisión digital abierta con la finalidad de ofrecer a los mexicanos mayores opciones de contenidos y fomentar la competencia.

Derivado de esto fue la controversia de la Ley Televisa en México ya que Televisa y Televisión Azteca ganaron los derechos de las frecuencias analógicas otorgadas por la SCT (secretaría de comunicaciones y transporte) originalmente en modo analógico y ahora pueden colocar mucho más servicios en el mismo espectro otorgado.

Televisión digital por cable: Se refiere a la transmisión de señales de televisión digitalizadas a través de cable de tipo coaxial. Esta tecnología fue desarrollada originalmente por la empresa estadounidense Motorola. Las compañías de cable pasaron a los sistemas digitales durante la década de 2000, en la época en que las señales de televisión se convirtieron en el formato de televisión de alta definición digital (HDTV), que no era compatible con los sistemas de cable analógicos anteriores. Además de proporcionar vídeo de mayor resolución en alta definición, los sistemas de televisión digital por cable ofrecen servicios tales como la programación de Pay per view, acceso a Internet por cable y servicios ampliados de telefonía por cable. La mayoría de las señales de cable digitales están codificadas, lo que redujo la alta incidencia de robo de cable que se produjo en los sistemas analógicos.

Protocolo de televisión IP (IPTV): Este tipo de servicios, ha hecho que el par de cobre o hilo telefónico se consolide como una alternativa válida para recibir canales temáticos de televisión, vídeo a la carta y espectáculos o películas de pago previo (Pay Per View). Los avances tecnológicos en el sistema (La línea de abonado digital asimétrica, ADSL), que han llevado al desarrollo y expansión de la tecnología ADSL2+, permiten mayor velocidad de conexión y la transmisión de centenares de canales, además de diversas posibilidades interactivas, argumentos suficientes para que las compañías de televisión por ADSL hayan apostado por un método de difusión más económico que el cable coaxial ya que se aprovecha la infraestructura telefónica existente.

Televisión digital por satélite: Se refiere a la transmisión de señales satelitales en formato digital. Los principales operadores a nivel mundial son Telmex, sky, DIRECTV y telefónica.

En España, es el formato que más usuarios agrupa en la televisión por suscripción, a pesar de que ha ido descendiendo desde el año 2001. Las dos plataformas, Vía y Canal Satélite Digital, debido a

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

las pérdidas que han tenido en años anteriores, se han fusionado creando Digital+. Sus mayores ingresos los obtienen de la transmisión en directo de eventos deportivos.

En países como México el operador más grande de DTH (Demarcación Territorial Homologada) es sky perteneciente al grupo televisa y su más cercano competidor es Dish de Grupo MVS, esta última ha ganado más cuota de mercado gracias a la reforma constitucional en materia de telecomunicaciones, que le permite transmitir los canales de televisión abierta. Esta modalidad de televisión restringida abarca el 52.3% de las suscripciones.

En la oferta de canales de la televisión digital, podemos encontrar canales generalistas y temáticos, de servicio público y entretenimiento, no obstante, también pueden ser clasificados según su cobertura:

- Canales de cobertura nacional con posibilidad de desconexión regional
- Canales de cobertura nacional sin posibilidad de desconexión regional
- Canales de cobertura autonómica
- Canales de cobertura local.

En otros países como Argentina, Chile y Colombia es DIRECTV. En Ecuador el operador de DTH es Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT).

En dicho país se presentó de manera oficial el servicio de televisión pagada CNT TV el 22 de noviembre de 2011 por CNT, la que utiliza tecnología DTH (Direct to Home). Se trata de un servicio que transmite la señal de satélite directamente hacia la antena y luego al decodificador del usuario, y que se encuentra disponible desde hoy para todo el país, excepto Galápagos.

Formatos

La televisión digital acepta diferentes formatos de transmisión, a diferentes resoluciones, lo que permite crear subcanales de transmisión. Estos son los siguientes:

Tabla 3

Formatos de la televisión digital

| Formato | Exploración | Tamaño (píxeles) | Cuadros por segundo |
|----------------|--------------------|-------------------------|----------------------------|
| 480i | Entrelazada | 720x480 | 30 |
| 480p | Progresiva | 720x480 | 30 |

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

| | | | |
|-------|-------------|-------------------|-------|
| 576i | Entrelazada | 720x576 | 25 |
| 576p | Progresiva | 720x576 | 25 |
| 720p | Progresiva | 1280x720 pixeles | 25/30 |
| 1080i | Entrelazada | 1920x1080 pixeles | 25/30 |
| 1080p | Progresiva | 1920x1080 pixeles | 25/30 |

Los formatos 480i, 480p, 576i y 576p, son conocidos como formatos de definición estándar y los demás son los de alta definición, aunque, para efectos comerciales, algunos fabricantes han acuñado el término "FULL HD" para hacer referencia exclusiva al formato 1080p. Genéricamente, se habla simplemente de HDTV para referirse a la televisión de alta definición. (Wikipedia, Televisión digital, 2015)

Gracias a esta variedad de formatos, por ejemplo, un canal de televisión puede optar por transmitir un solo programa en alta definición, o varios programas en definición estándar.

Todos los estándares para la televisión de definición estándar son de naturaleza analógica y muchas de las estructuras de los sistemas de la televisión digital de definición estándar provienen de la necesidad de ser compatibles con la televisión analógica y en particular con la exploración entrelazada, que es un legado de la televisión analógica tradicional.

Ancho de banda de televisión digital.

La capacidad de un canal de televisión digital puede subdividirse en múltiples sub-canales para transmitir diversa información de vídeo en distintas resoluciones para dispositivos fijos y móviles, audio y otros datos, a diferencia de lo que ocurre en los sistemas analógicos tradicionales. Cuando una banda de frecuencia contiene múltiples subcanales se le denomina multiplex. Los canales radioeléctricos de la TV digital van a ocupar el mismo ancho de banda (6MHz) que los canales utilizados por la televisión analógica pero, gracias a técnicas de compresión de la imagen y sonido (MPEG), tienen la capacidad de un número de variables y programas de televisión que dependerán en función de la velocidad de transmisión. (Wikipedia, Televisión digital, 2015).

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

Ventajas de la Televisión Digital: La Televisión Digital revoluciona el concepto que hasta ahora se ha tenido de la televisión.

Estas son algunas de las ventajas de la Televisión Digital frente a la Analógica:

Más canales:

- La Televisión Digital permite transmitir 4 o más canales digitales en el mismo espacio que se necesita para emitir un canal analógico.
- Se incrementa la oferta de canales.
- Podemos elegir entre una oferta de programación más amplia.

Mejor imagen y sonido:

- Aporta una gran calidad de imagen, similar al DVD.
- Podemos ver la televisión en formato panorámico (16:9), sin cortes ni bandas negras.
- Sin ruidos, interferencias, nieve ni imagen doble.
- Con un sonido envolvente, con la misma calidad que un CD.

Más servicios:

- Versión original, elección de idioma y subtítulos.
- Guía electrónica de programación, con toda la oferta de canales digitales.
- Servicios interactivos y de acceso a la Sociedad de la Información, como la realización de trámites administrativos, participación en concursos, encuestas, etc.
- Teletexto digital, con más opciones.
- Visión multicámara para acontecimientos deportivos.
- Y un largo etc. (Gobierno de España. Ministerio de Industria, Energía y Turismo)

Existen trabajos relacionados a este en diferentes fuentes de información. (Rendón, 2010).

Desarrolla una propuesta de Access to Digital Libraries from Low Speed Disconnected Environments: El programa EHAS (Enlace Hispano-Americano de Salud) propuso diversas soluciones de conectividad para zonas rurales apartadas en función de las condiciones geográficas y la infraestructura de telecomunicaciones disponible en ellas.

La arquitectura propuesta logro el esquema cliente servidor. La Aplicación Cliente está localizada en las estaciones remotas, permitiendo a los usuarios consultar y descargar los contenidos

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

administrados por la biblioteca. La aplicación servidor está localizada en Internet, por ejemplo en el mismo equipo donde está instalada la biblioteca digital.

Similar al trabajo de grado desarrollado, donde hay conectividad en las zonas rurales, y pueden ser apropiados para una red de baja velocidad utilizada por usuarios de regiones rurales donde el acceso a las tecnologías de la información es escaso.

También (A. Colín, 2015) presenta la propuesta orientada a NGN Model for the Mexican Rural Context Applied to the e-Mexico System: Las Redes de Siguiete Generación (NGN por sus siglas en inglés) permiten la conectividad a diferentes redes de acceso, proveen una plataforma tecnológica flexible, interoperable y adaptable que muestra importantes atributos para su aplicación en zonas rurales.

Los logros obtenidos, cumplen con el objetivo de la investigación realizada, el cual consistió en proponer una arquitectura de red de siguiente generación capaz de proveer servicios multimedia a las comunidades rurales, consistentes con las recomendaciones internacionales de NGN

En consecuencia, el grupo de investigación ha diseñado un modelo de red NGN, para proporcionar acceso telefónico a zonas rurales remotas y aisladas.

Por lo tanto es similar al trabajo de grado desarrollado, donde la implementación del modelo propuesto de red NGN permitirá conectar las diferentes zonas rurales y los sitios públicos mencionados a la red de banda ancha nacional de telecomunicaciones, utilizando diferentes redes de acceso inalámbrico (fijo y móvil) y alámbricas.

(M. K. Huerta, 2007), propone una reducción de congestión mediante técnicas de optimización de flujos en redes MPLS: propone una arquitectura MPLS (Multiprotocol Label Switching) es una tecnología de alto rendimiento aplicable al transporte de paquetes IP a través de la red, donde es posible clasificar el tráfico mediante el concepto de clase de equivalencia de transmisión “Forwarding Equivalence Class” (FEC). Estas características presentan a MPLS como una solución versátil a los problemas presentes en la convergencia de redes (voz, vídeo y datos), porque ofrece alta velocidad de conmutación, escalabilidad y gestión de QoS.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

3. METODOLOGÍA

La metodología se divide en cuatro fases:

- Primera fase: el proceso de diseño, se deberá calcular parámetros, dimensionar la capacidad del canal para la necesidad de una zona con bajos recursos tecnológicos en particular y simulación del enlace.
- Segunda fase: Implementación de los servicios.
- Tercera fase: Diseñar el proceso de implementación del enlace, partiendo del site survey (reconocimiento del lugar) y considerando los procesos de instalación e integración.
- Cuarta fase: proceso de monitoreo, prueba, verificación, validación, certificación y aseguramiento de operadores y usuarios.

El primer paso a realizar se basará en un radioenlace digital, en el cual se deben calcular parámetros importantes para su diseño. Debemos diagnosticar el óptimo funcionamiento de los radios telectra, los dispositivos modem rici 4E1, las plantas telefónicas panasonic, el estado de todos los cables y los atenuadores en caso de requerimiento, los que se encuentran en las instalaciones del laboratorio de radiocomunicaciones ubicado en el sexto piso del ITM-Fraternidad. El diseño de radioenlaces involucra tal cantidad de variables de entrada (datos y criterios de diseño), pasos (ecuaciones para el cálculo de diferentes parámetros) y variables de salida (resultados), que necesariamente llevan al diseñador a hacer uso de alguna herramienta automática de diseño, más aun si para llegar al diseño final se requiere evaluar diferentes alternativas. Para asegurar que esto suceda, se calcula el perfil de radioenlace terrestre incluyendo el análisis de la primera zona de Fresnel. En la práctica se requiere despeje total, libre de obstáculos. El cálculo de potencia, en el cual se definen las ganancias y pérdidas desde el radio transmisor (fuente de la señal de radio), a través de cables, conectores y espacio libre hacia el receptor. La estimación del valor de potencia en diferentes partes del radioenlace es necesaria para hacer el mejor diseño y elegir el equipamiento adecuado.

Debemos tener en cuenta algunos factores principales, los cuales son: elección de la frecuencia, perfiles de trayectoria, presupuesto de potencia, área de cobertura, prospección de sitios, nivel de señal a ruido, BER, ancho de banda.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

Segundo paso a seguir es dimensionar la capacidad del canal inalámbrico para transportar los servicios de telecomunicaciones, teniendo en cuenta el ancho de banda de los radios digitales.

Nuestro radioenlace digital está unido a un dispositivo módem, el cual se encargará de segmentar la información, que será tomada del semillero OTM-CCL (observatorio de telecomunicaciones de Medellín y ciencias computacionales y software libre) y nos facilitará el transporte de los servicios por cada uno de los puertos los cuales cuentan con una capacidad de 2 Mb; cada uno se encargará de transportar un servicio hacia el receptor para un óptimo funcionamiento de la red en áreas rurales.

Tercer paso a seguir es partir del site survey (inspección del lugar) en el cual debemos considerar los posibles cambios físicos en la red, mediante la modificación o la adición de nuevos sitios y / o equipos.

El cuarto paso es gestionar y monitorear los servicios de red con el fin de garantizar una eficiente conectividad a los usuarios. Después de tener los servicios en funcionamiento, procedemos a monitoréalos mediante un software el cual nos permitirá observar los comportamientos de los servicios y sus parámetros con el fin de mirar posibles fallas en los sistemas.

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la primera fase de este apartado, se muestran los parámetros calculados para el diseño de radioenlaces de microondas digital teniendo en cuenta las siguientes características:

Tabla 4

Coordenadas geográficas y Parámetros de radio Telettra

| coordenadas geograficas | sitio 1 | sitio 2 | modulacion | capacidad | frecuencia | Ptx | temperatura |
|-------------------------|---------------|---------------|------------|-----------|------------|-------|-------------|
| | Rionegro | Marinilla | 16 QAM | 8Mbps | 2434Mhz | 0.8mW | °17 |
| lat: | 6° 08'39,6''N | 6°10'36,3''N | | | | | |
| long: | 75°22'30,5''W | 75°20'26,3''W | | | | | |
| | | | | | | | |

- Distancia del Trayecto

Coordenadas de Rionegro

$$latitud = 6^{\circ}08'39.6'' \text{ En decimales es } 6.144333$$

$$Longitud = 75^{\circ} 22'30.5'' \text{ En decimales es } -75.37514$$

Coordenadas de Marinilla

$$latitud = 6^{\circ}10'36.3'' \text{ En decimales es } 6.176747$$

$$Longitud = 75^{\circ} 20'26.3'' \text{ En decimales es } -75.34064$$

Total de latitud de los dos sitios

$$\Delta latitud = 6.144333 - 6.176747 = -0.032414$$

Total de longitud de los dos sitios

$$\Delta Longitud = -75.37514 - 75.340 = -0.0345$$

Con estos valores se determinó la distancia del radioenlace entre Rionegro y Marinilla como se muestra a continuación.

$$D(Km) = \sqrt{(-0.032414)^2 + (-0.0345)^2} * 111.177 = 5.26km$$

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

El ángulo de azimut calculado es de 43.21° , como se puede observar más adelante en la simulación del enlace.

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{-0.032414}{-0.0345} \right) = 43.21^\circ$$

$$270 - \phi = 226.78^\circ$$

Para realizar los cálculos teóricos del Radioenlace entre Rionegro y Marinilla se tomaron en cuenta los materiales que se tienen en el enlace implementado en el laboratorio de Radio propagación del ITM.

- Este análisis inicia calculando el ancho de banda del canal

$$B = \frac{fb}{n} = \frac{8 * 10^6 bps}{4} = 2 * 10^6 Hz \quad (1)$$

Dónde:

B=ancho de banda

Fb= velocidad de la señal digital de banda básica del radio Telettra

n= orden de modulación

- Ancho de banda del canal en MHz, considerando el factor de Nyquist.

$$Bw = \frac{fb}{n} (1+\alpha) = \frac{8 * 10^6 bps}{4} (1 + 0.5) = 3 * 10^6 Hz \quad (2)$$

α =factor de error del filtro real de Nyquist.

- Potencia de ruido térmico Pni(dBm)

$$\begin{aligned} Pni &= -174 + 10 \log (B) + fa = -174 + 10 \log (2 * 10^6) + 8 \\ &= -102.98 dBm \end{aligned} \quad (3)$$

Donde

KT=La constante de Boltzman $\left(1.38 \times 10^{-23} \frac{J}{^\circ K}\right)$ y la temperatura ambiente de $17^\circ C$, dando un valor de -174 dBm/Hz

B= ancho de banda (Hz)

f_a = figura de ruido

- Potencia de umbral P_{th} (dBm)

$$P_{th} \text{ dBm} = \frac{C}{N} + f_a \text{ dB} + 10 \log(B) - 174 \quad (4)$$

$$= 20.5 \text{ dB} + 8 \text{ dB} + 10 \log(2 * 10^6) - 174 = -82.48 \text{ dBm}$$

Donde

C/N= señal a ruido

f_a = figura de ruido

B=ancho de banda

- Relación portadora a ruido C/N para umbral de 10^{-6}

Comparación de presencia de errores en diversos esquemas de modulación digital (BER= 10^{-6} de probabilidad de error).

Tabla 5

Probabilidad de error

| Modulación | Relación C/N (dB) | Relación E b/N 0 (dB) |
|------------|-------------------|-----------------------|
| 4-QAM | 13.6 | 10.6 |
| 8-QAM | 17.6 | 10.6 |
| 8-PSK | 18.5 | 14 |
| 16-PSK | 24.3 | 18.3 |
| 16-QAM | 20.5 | 14.5 |
| 32-QAM | 24.4 | 17.4 |
| 64-QAM | 26.6 | 18.8 |

Para el radio telettra utilizado la C/N para el umbral de 10^{-6} , es de 20.5dB, como se observa en la Tabla 5.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

- Factor de ocurrencia de desvanecimiento (P_o), para este caso se definió la región 4 y utilizando el método de Barnett y Bigants, el valor típico es $7.75 * 10^{-8}$

$$P_o = (PMKQ * f * d^3) = 7.75^{-8} * 2.43Ghz * (5.26km)^3 = 2.7 * 10^{-5} \quad (5)$$

Donde

PM.K.Q= región 4 seco y montañoso, donde PM es la distribución de probabilidad de nivel de señal instantánea, K es Factor de condiciones climáticas y Q es Factor de condiciones del terreno y su cálculo es $1 \times 10^{-5} / S_1^{1.3}$, donde S1 expresa la rigurosidad del terreno para tramos de 1km, por lo tanto para la región 4 es 42km, haciendo la operación da $7.75 * 10^{-8}$.

F=frecuencia Ghz

d=Kms

- Potencia de recepción PRX(dBm)

Para hallar la potencia de transmisión primero se halla las pérdidas de espacio libre (Lfs) y luego las pérdidas de transmisión y recepción. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se puede ver el esquema general del radioenlace.

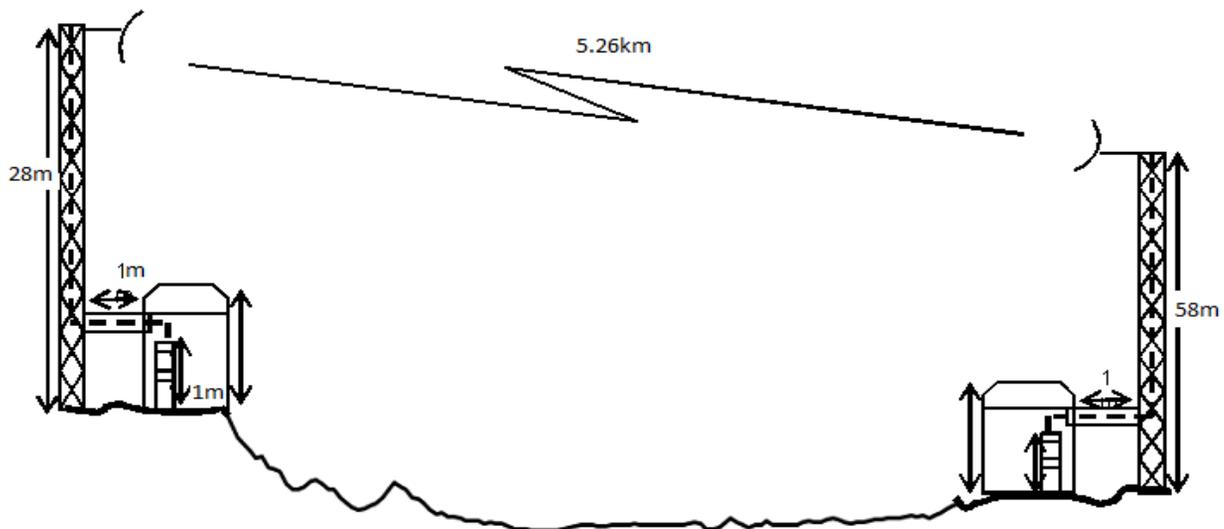


Figura 2. Esquema del radioenlace.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

Las pérdidas en el espacio libre calculadas son:

$$\begin{aligned}
 lfs &= 32.44 + 20 \log(dkms * fMhz) = 32.44 + 20 \log(5.26 * 2434) \\
 &= 114.58dB
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se observa el esquema con los conectores y los cables utilizados para calcular las pérdidas de transmisión y recepción del radioenlace.

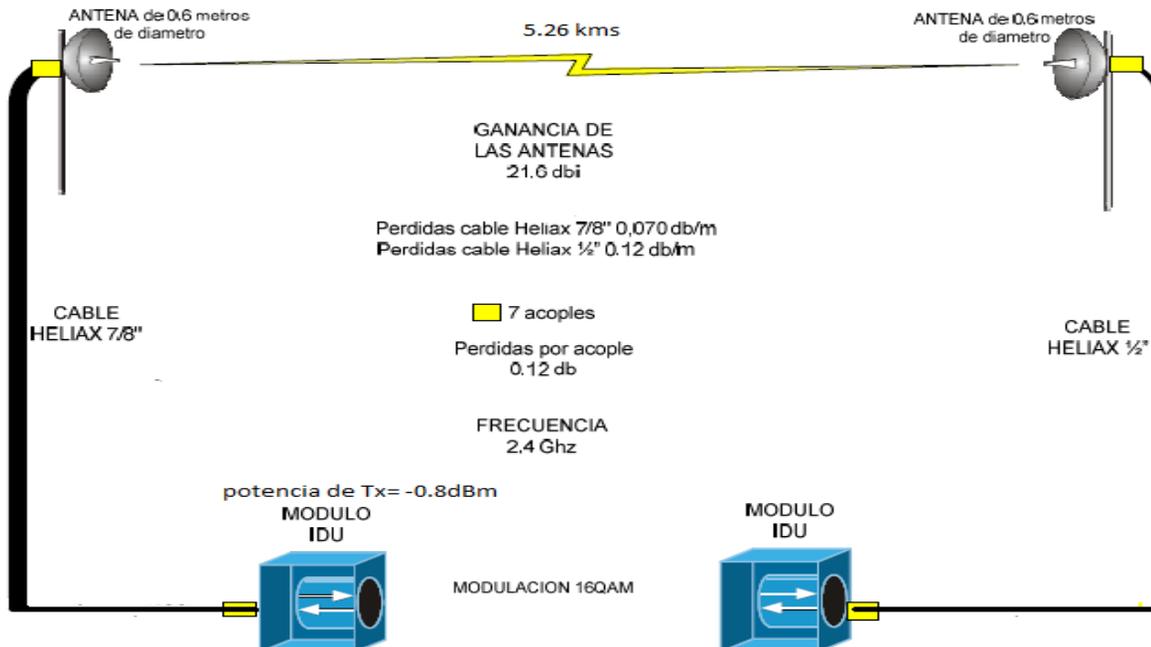


Figura 3 Esquema con los conectores y los cables utilizados.

$$LTX = 0.12db - 2.1db/m - 0.12db = -2.1dB$$

$$LRX = 0.12 - 7.2db - 0.12db = 7.2dB$$

$$\begin{aligned}
 Prx &= Ptxdbm + Gtxdb + Grxdb - Ltxdb - Lrxdb - Lfsdb \\
 &= -0.8dBm + 21.6dB + 21.6dB - 2.1dB - 7.2dB - 114.58dB \\
 &= -81.48dBm
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

Ptx = Potencia de salida del transmisor

Prx = Potencia de entrada al receptor

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

Gtx = Ganancia de la antena de Transmisión

Grx = Ganancia de la antena de Recepción

Lfs = Pérdidas de espacio libre

Ltx y Lrx = otras pérdidas (pérdidas en los cables alimentadores de antena, pérdidas en conectores, pérdidas en filtros de inserción o derivación, además de las pérdidas por difracción) si las hay en el transmisor y el receptor.

- PIRE

$$\text{PIRE} = P_{tx}(\text{dBm}) + G_{tx}(\text{dB}) = -0.8\text{dBm} + 21.6 = -20,8\text{dBm} \quad (8)$$

PIRE = Potencia Isotrópica Efectivamente Radiada (Vatios)

Ptx = Potencia entregada a la antena de transmisión (Vatios)

Gtx = Ganancia de la antena de Transmisión.

- Zona de Fresnel [1]

$$R_n = 548 \frac{\sqrt{n * d_1 * d_2}}{f * d} = 548 \frac{\sqrt{3.60 * 1.66}}{2434 * 5.26} = 11.83 \quad (9)$$

Donde

Rn: radio de la n-sima zona de Fresnel

f: frecuencia (MHz).

d1: distancia del transmisor al obstáculo considerado (Km).

d2: distancia del obstáculo considerado al receptor (Km).

d: distancia del transmisor-receptor (Km).

- Margen Bruto de Desvanecimiento, a partir del valor de potencia de recepción calculado en la Ecuación 7 y la potencia de umbral hallada en la ecuación 4.

$$M_3 = Pr(\text{dBm}) - Th(\text{dBm}) = -81.48\text{dBm} - (-82.48\text{dBm}) = 1\text{dB} \quad (10)$$

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

Pr= potencia de recepción

Th=potencia de umbral

Para asegurar un enlace estable y de calidad durante condiciones climáticas adversas u otras anomalías atmosféricas, un margen bruto de desvanecimiento de 10 a 15 dB es lo típico en condiciones normales, pero en presencia de fading (desvanecimiento) en la señal recibida, se debe tener un margen aun mayor, del orden de 20 dB.

Para radioenlaces digitales de pequeña capacidad (<34Mbit/s), se evalúa solamente el porcentaje para desvanecimiento plano:

$$\begin{aligned}
 PTT = PTP = P_o * 10^{\frac{-M_3}{10}} * 100 \% = PTT = PTP = 2.7 * 10^{-5} * 10^{\frac{-10.11}{10}} * 100 \% \\
 = 2.63 * 10^{-6}
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

Donde

M3= margen bruto de desvanecimiento para el umbral

Po= factor de ocurrencia de desvanecimiento

La segunda fase de este apartado presenta la simulación del radioenlace en el software Radio Mobile, mostrando los resultados y los perfiles de elevación correspondientes a cada enlace. En Figura 4. Perfil topográfico del radioenlace se utilizó la herramienta de Google Earth para mostrar las líneas de vista de los enlaces y su Altura a nivel del Mar.

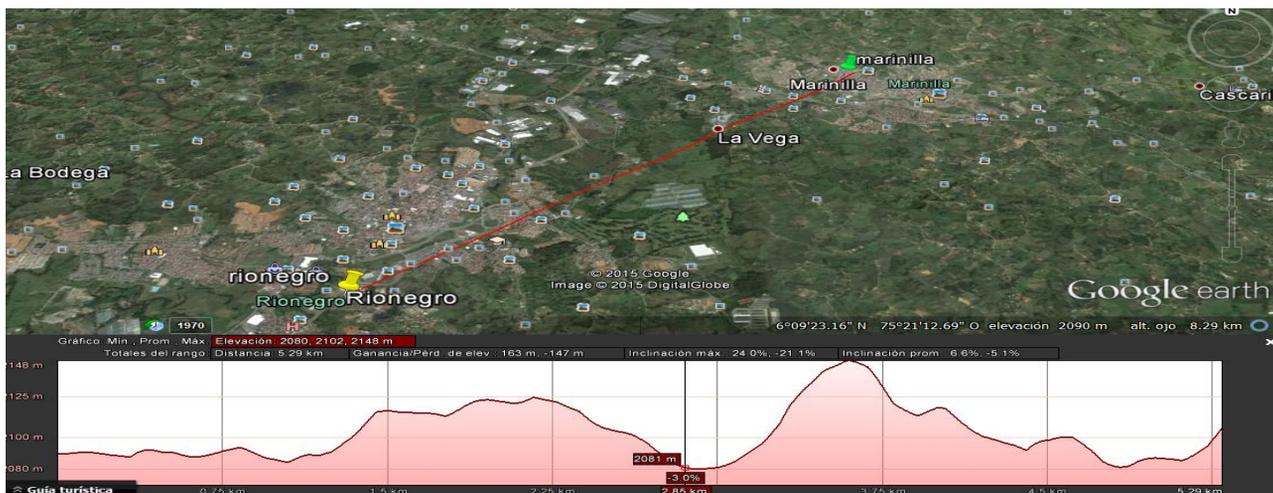


Figura 4. Perfil topográfico del radioenlace

Para la simulación se configuró la herramienta Radio Mobile con los siguientes parámetros

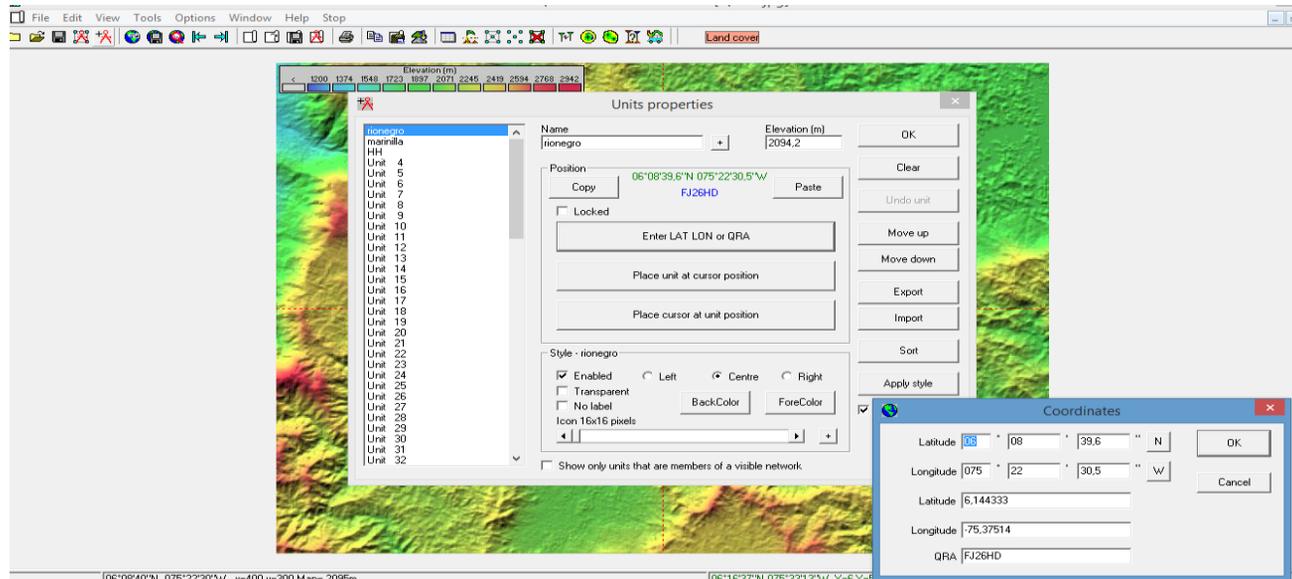
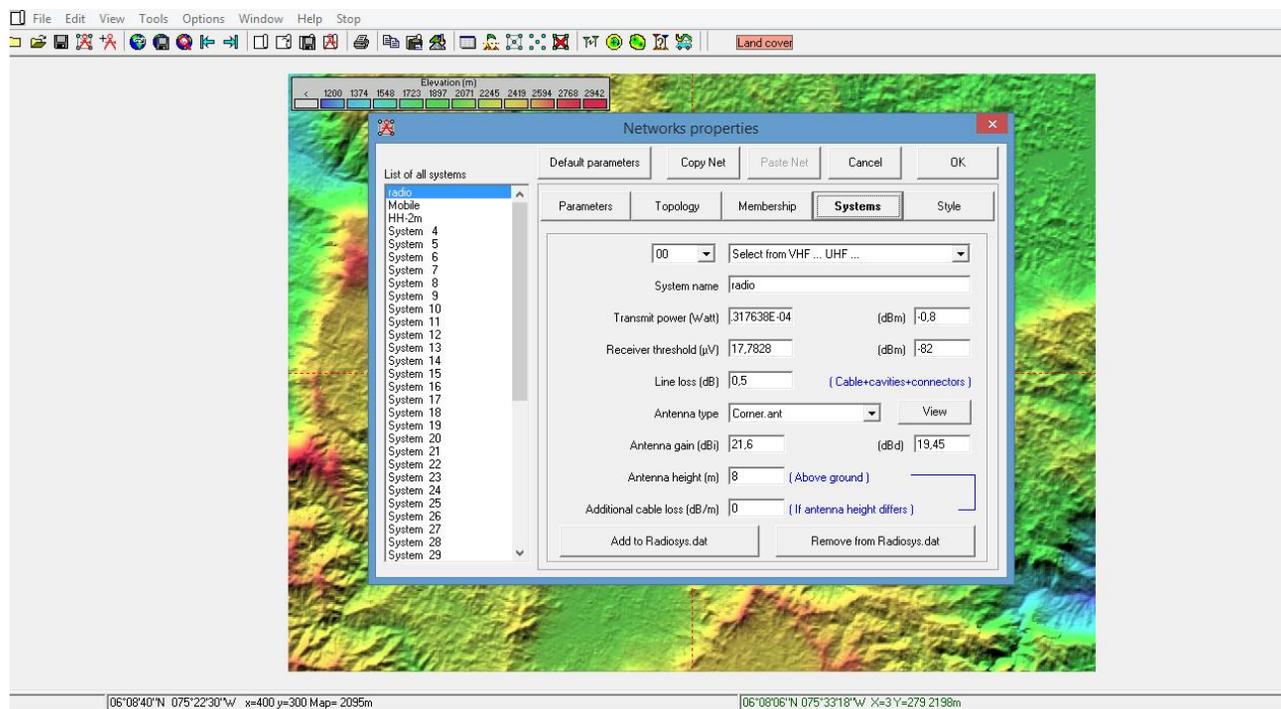


Figura 5. Ubicación geográfica de los puntos de transmisión y recepción del radioenlace.

En esta ventana se ingresaron los datos de la ubicación geográfica donde quedaron las antenas, para este caso Rionegro y Marinilla.



| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

Figura 6. Parámetros de las antenas.

En esta ventana se ingresaron los datos que se encuentran en la hoja de datos de la antena de rejilla marca RFS de 0.6 metros de diámetro con conector tipo N, por características de fábrica la ganancias es de 21.6dBi y una sensibilidad de los radios Telettra de -82 dB.

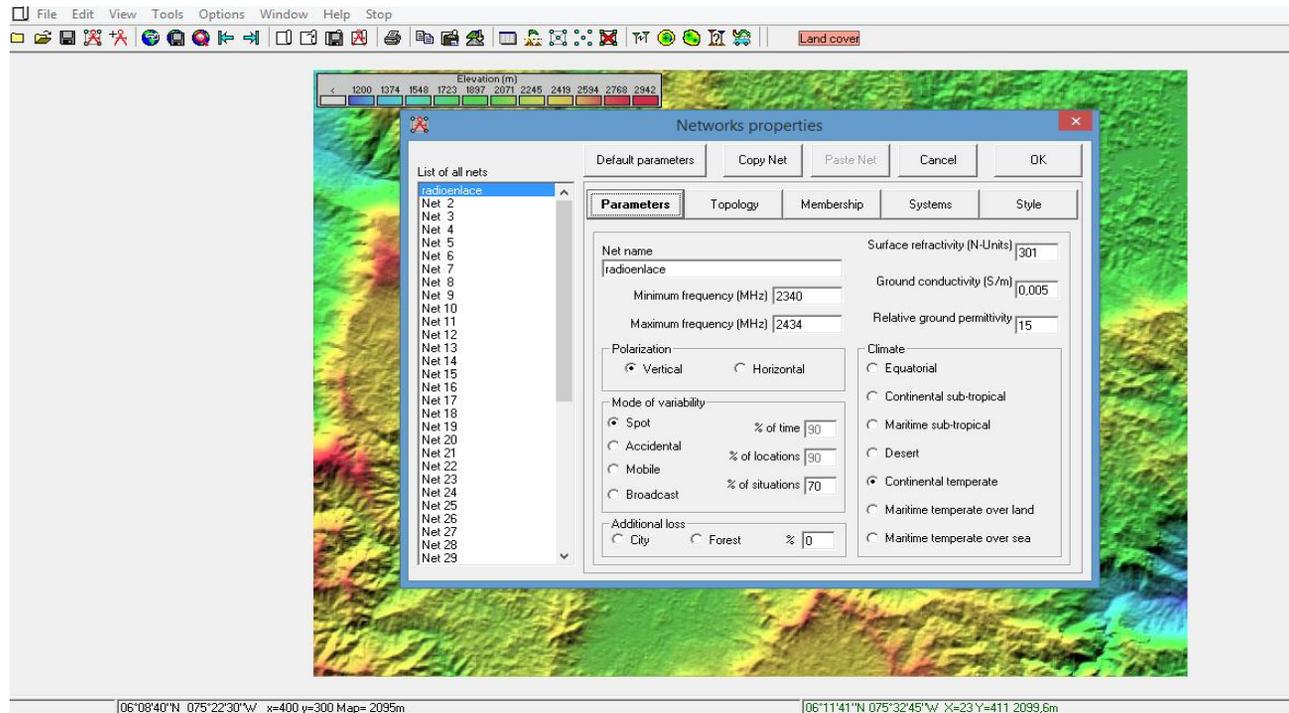


Figura 7. Configuración de las redes

Por último, se definieron algunos parámetros para la simulación, como lo son el tipo de polarización vertical, debido a que la probabilidad de obtener menores pérdidas en el radio enlace es con este tipo de polarización, la frecuencia de operación, la refractividad de superficie, la conductividad de la tierra, el clima y la permitividad relativa del terreno.

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

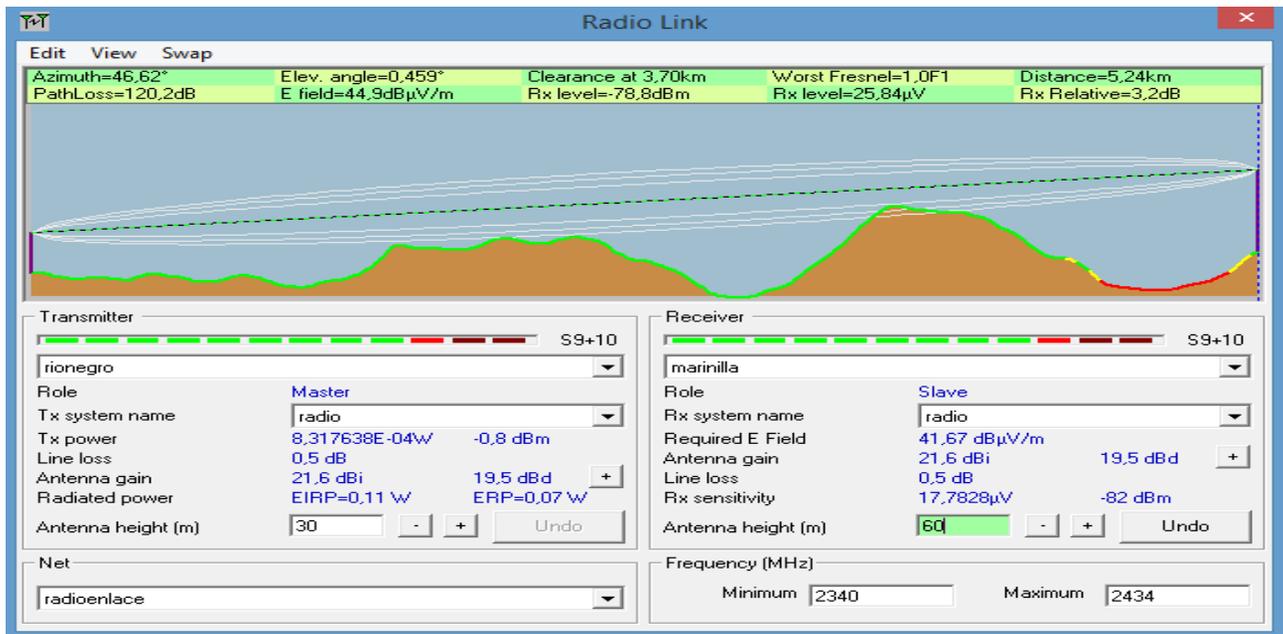


Figura 8. Se muestra la simulación del radioenlace directo entre Rionegro y Marinilla.

Esta ventana muestra el enlace entre los municipios de Rionegro y Marinilla, donde se puede observar la línea de vista.

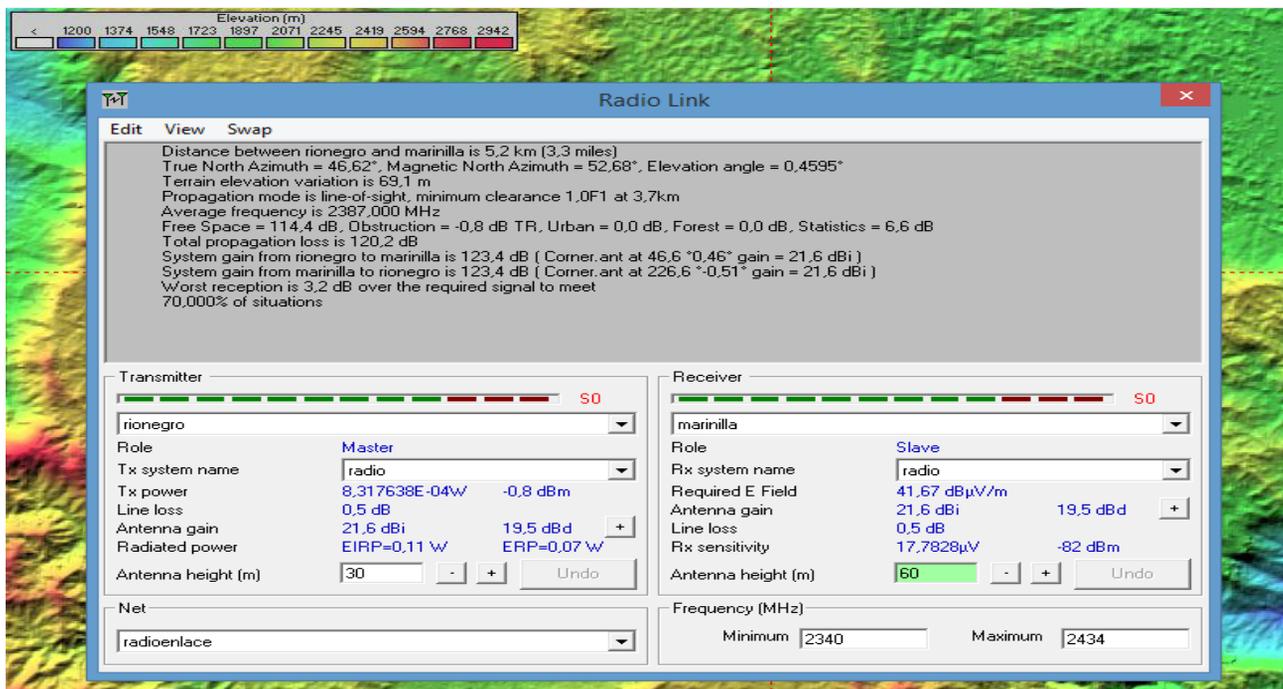


Figura 9. Resultados de la simulación.

Realizando una comparación entre los valores obtenidos del desarrollo teórico y el simulado se puede observar que el porcentaje de error es del 9.09.

Tabla 6. Tabla comparativa entre parámetros calculados y simulados.

| Datos calculados teórico | | Datos simulados | Porcentaje de error |
|---------------------------|------------------------------|-------------------|---------------------|
| Distancia | Rionegro-Marinilla 5.26km | 5.2km (3,3millas) | 0.06 |
| Angulo Azimuth | 43.21° | 46.62° | 3.41 |
| Perdidas de propagación | 114.58dB | 120.2dB | 5.62 |
| Total porcentaje de error | | | 9.09 |

La tercera fase de este apartado muestra los procedimientos de la implementación de los servicios (telefonía, internet y televisión) que ofrece el proveedor. Es importante aclarar que los servicios fueron implementados para los radios Telettra que están ubicados en el sexto piso del ITM fraternidad.

Se inició con el chequeo de las conexiones entre los radios Telettra y los equipos RICi, para ellos fue necesario conectar los radios a cada uno de los puertos asignados de los RICi como se muestra en la 10.

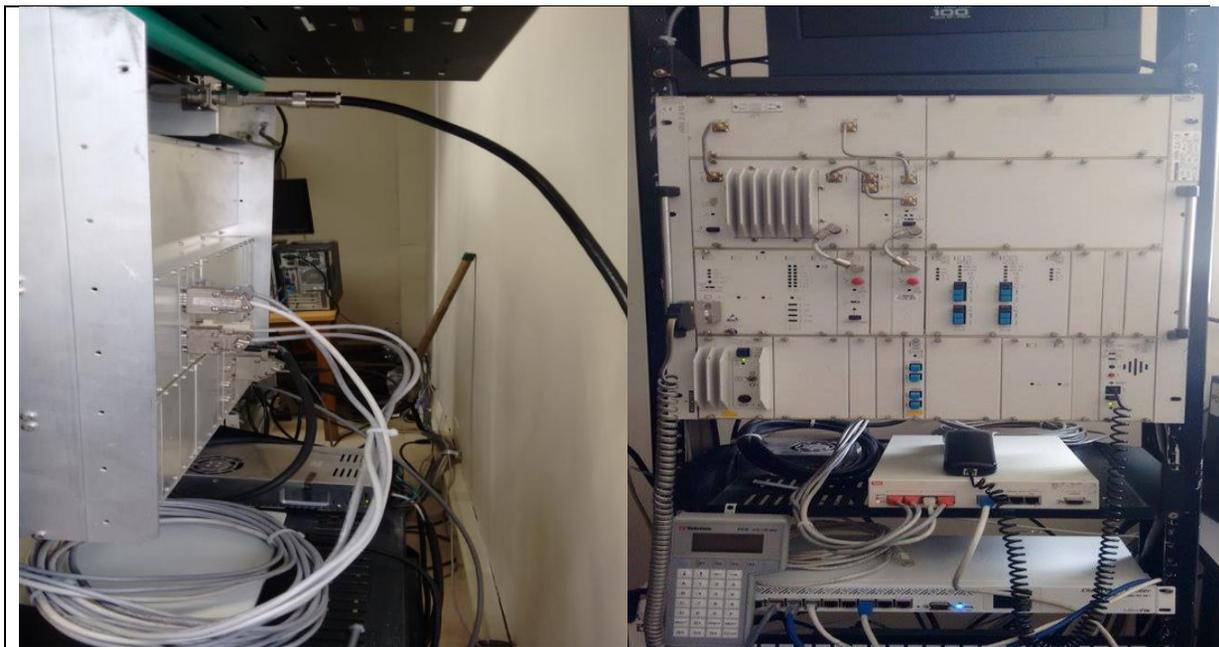


Figura 10. Conexión entre los radios Telettra y los RICi

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

También fue necesario desconectar las antenas en cada radio con el fin de colocar un atenuador de 20 dB a la salida de ellos, debido a la corta distancia que hay entre las antenas, 8 metros de distancia entre ellas, con el objetivo de proteger los equipos.



Figura 11. Antenas marca RFS de 0.6 m en el ITM Fraternidad

Luego de validar la conexión y el funcionamiento de los radios, que se encontraran en óptimas condiciones sin ninguna alarma encendida, se procedió a conectar los puertos de salida de los RICi a cada computador, en el servidor se configuró el software Windows server 2008, para la transmisión del streaming, y como cliente, el otro computador con sistema operativo Windows 7. Además en cada uno de ellos se instaló el software VLC, que permite observar la emisión del video.

A cada uno de los computadores se le configuró una IP estática dentro de un mismo rango de red, para este caso, 192.168.31.16 y 192.168.31.17. De esta manera finalmente se comprobó conectividad realizando una prueba de ping y luego de la validación se emitió el video como se observa en la siguiente figura.

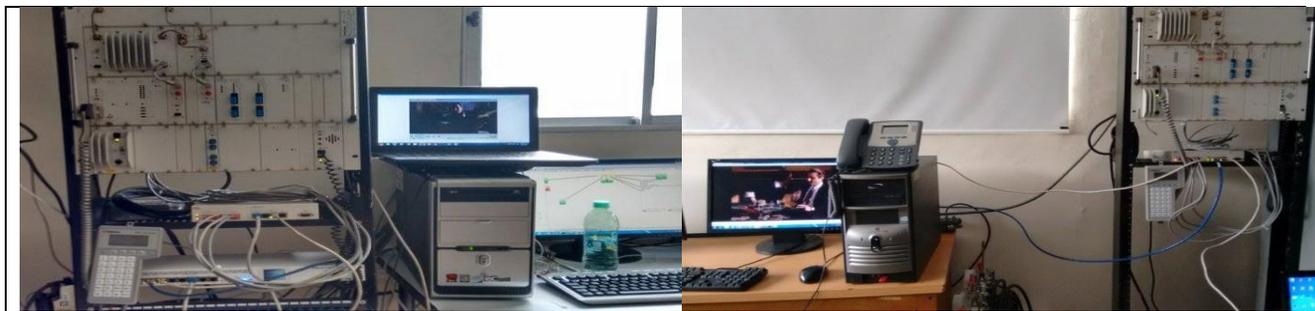


Figura 12, Streaming de video

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

Luego se configuraron las extensiones telefónicas, con el software Elastix se accedió por medio de la URL (localizador de recursos uniforme) del navegador a través de la dirección IP asignada al servidor de telefonía Elastix, 192.168.50.20, para dicha configuración se debe estar en el mismo segmento red, que llevará a la ventana de login en la cual se coloca el usuario “admin” y la contraseña configurada.

Luego aparece un menú de configuración por medio del cual se crea las extensiones y los usuarios en nuestro servidor elastix.

Se procedió a seleccionar la opción PBX, donde se crean las extensiones.

En la opción agregar una extensión, se desprende la opción device, donde se seleccionó el tipo de protocolo, este caso el protocolo sip y luego se seleccionó el botón submit para guardar la información suministrada.

En el campo user name se asignó el número de la extensión, en display name nombre de la persona a la cual se le asignó dicha extensión, como se muestra en la figura 13.

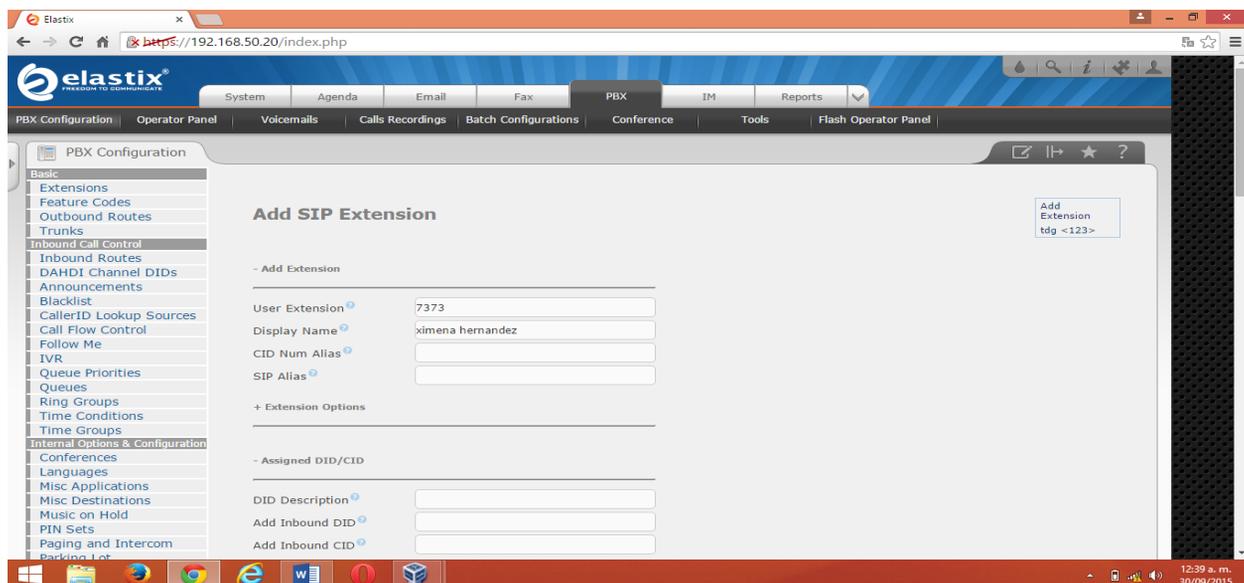


Figura 13. Asignación de extensión

Se configuró una contraseña en la opción “secret” y luego se va a la opción “submit”. Aplicando los cambios de configuración que se han hecho.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

En la siguiente figura se observó en la parte superior derecha la extensión agregada

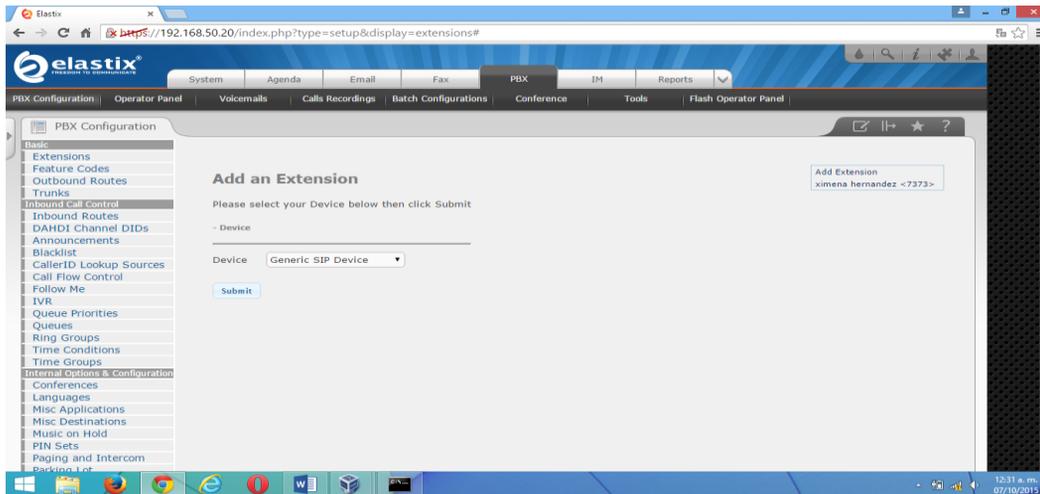


Figura 14. Extensión agregada.

En la siguiente figura se dirige al software de telefonía “ZoIPer”, se seleccionó el icono “options”; en “options” vamos a seleccionar “add new sip account”, en el siguiente campo se asignó el nombre de la cuenta y luego “ok”

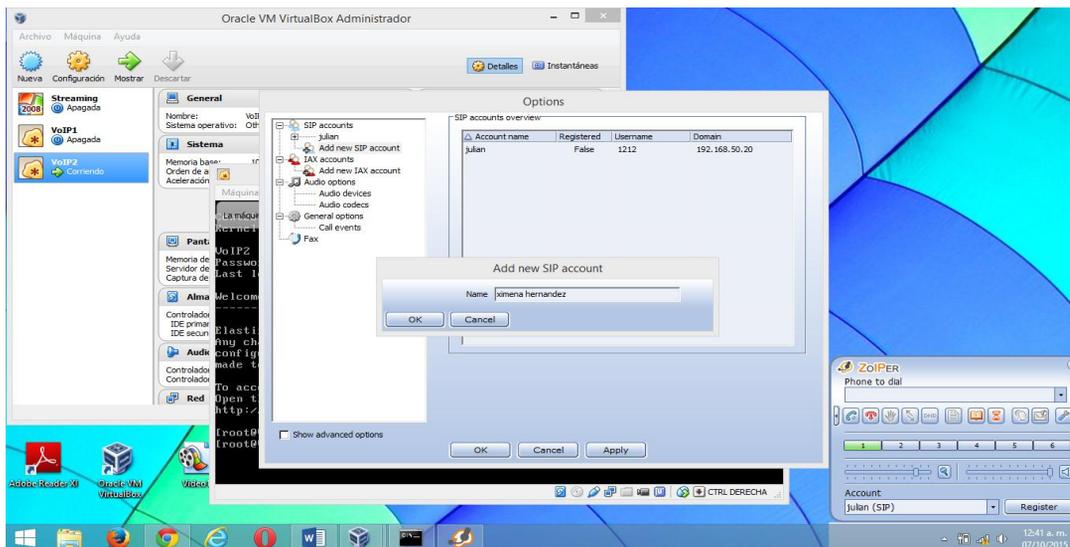


Figura 15. Asignación del nombre de la cuenta.

En los siguientes campos se puso en “domain” la dirección ip del servidor, en “username” el número de la extensión asignada en el servidor, luego el password configurado en el servidor y finalmente el nombre de la persona a la cual se le asignó la extensión, se dio al botón “apply” y “ok”.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

Luego se creó otra extensión para hacer las pruebas de telefonía, se aplicaron los respectivos cambios y “ok”

Ahora se procedió a hacer la prueba de telefonía llamando de una extensión a otra, como se muestra en las siguientes figuras:

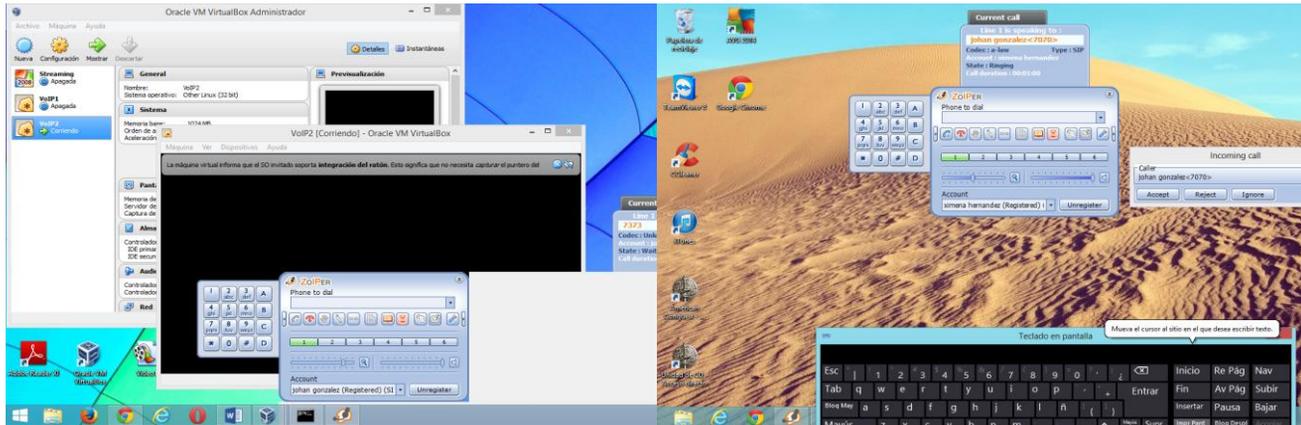


Figura 16. Prueba de telefonía de una extensión a otra

En la siguiente figura se puede observar el historial de llamadas realizadas y recibidas.

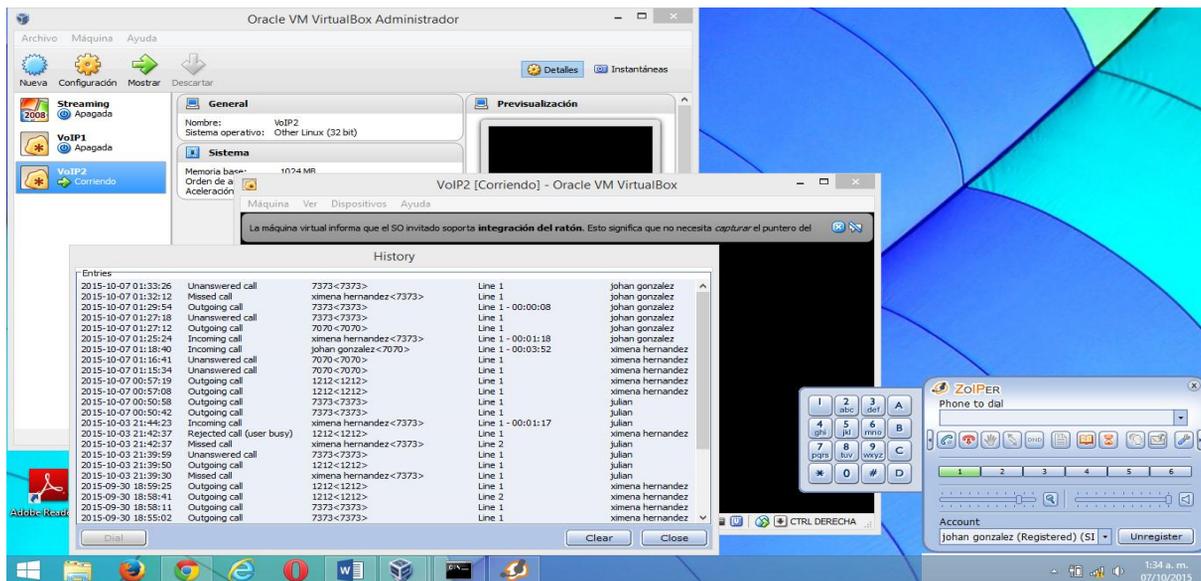


Figura 17. Historial de llamadas realizadas y recibidas.

Por último se finalizó con el servicio de internet, donde se proporcionó por medio de un mikrotik, el cual está conectado a un ISP (proveedor de servicios de internet).

Se dimensionó la capacidad del canal inalámbrico para transportar los servicios, el radio Alcatel Telettra 9424LL es un sistema de 4 * 2, es decir tiene capacidad para cuatro tributarios (E1's) 2048

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

Kbps * 4 = 8192 Kbps = 8 Mbps, cada trama tiene 2Mbps; un E1 equivale a 2048 kilobits. Contratar una trama E1 significa contratar el servicio de 30 líneas telefónicas digitales para las comunicaciones, la capacidad del internet se transportó dependiendo de la velocidad requerida, por ejemplo la capacidad de los radios digitales es de 2Mbps, por lo tanto por cada puerto del equipo RICi ofrece 2Mbps, para el servicio de internet se proporcionó 4Mbps, como se muestra en la figura 18 y los canales radioeléctricos de la televisión digital van a ocupar el mismo ancho de banda (6MHz) que los canales utilizados por la televisión analógica pero, gracias a técnicas de compresión de la imagen y sonido (MPEG), tienen la capacidad de un número de variables y programas de televisión que dependerán en función de la velocidad de transmisión. Por lo tanto 8Mbps de los RICi 4E1, repartió 30 líneas telefónicas por un tramo de 2Mbps+un internet de 4Mbps+un canal de televisión digital de 2Mbps=8Mbps.



Figura 18. Medidor de velocidad de internet.

La cuarta fase de este apartado se capturó la red por medio del dudu y se monitorio los servicios.

En cuanto se ingresó al software de monitoreo, se escaneó las redes configuradas en los equipos en este caso fue la red 192.168.31.0.

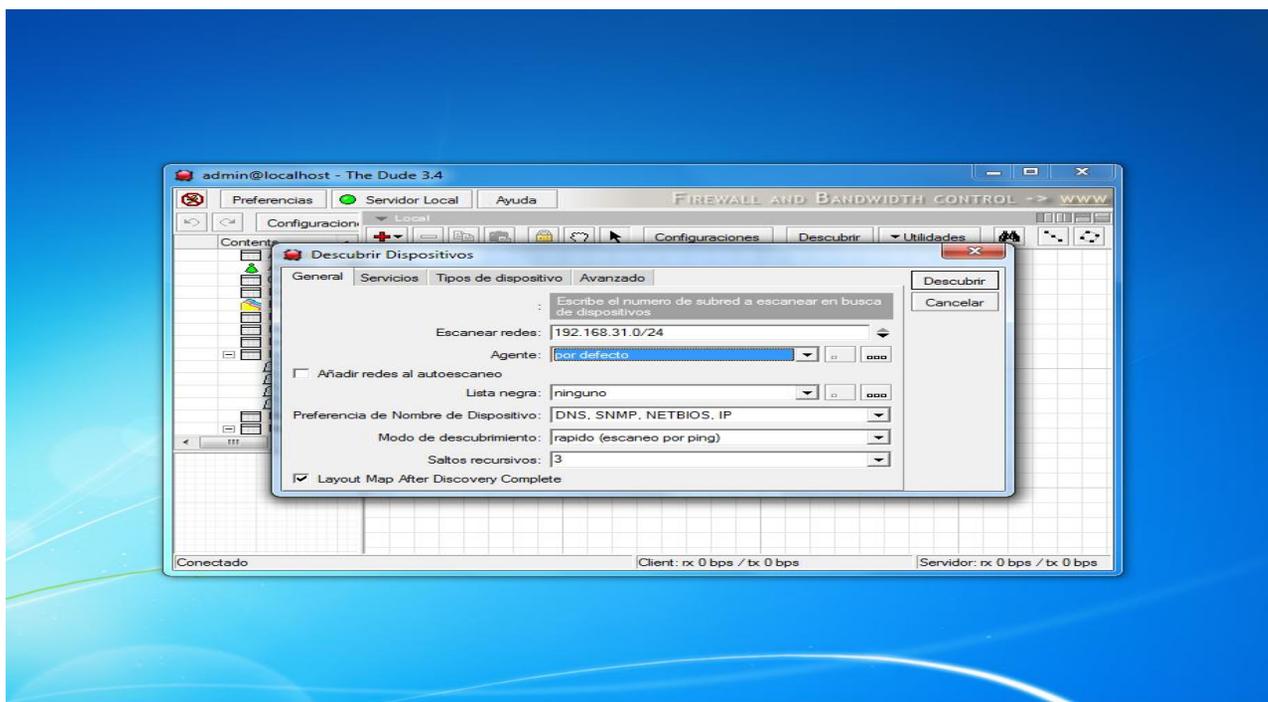


Figura 19. Escaneando las redes.

Una vez conectados se pudo comprobar, cada una de las funcionalidades disponibles. Mostrando una buena gestión del historial gráfico de los servicios implementados.

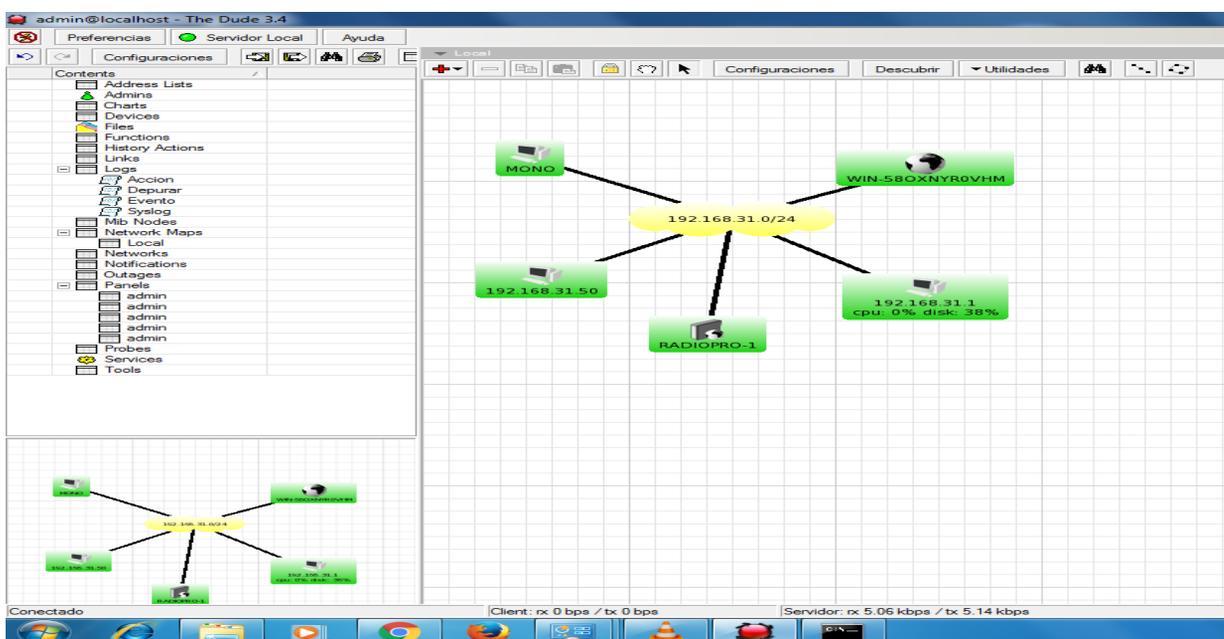


Figura 20. Historial gráfico de los servicios.

Como se observa en la figura 21, pudimos verificar cada red y su servicio en su óptimo estado.

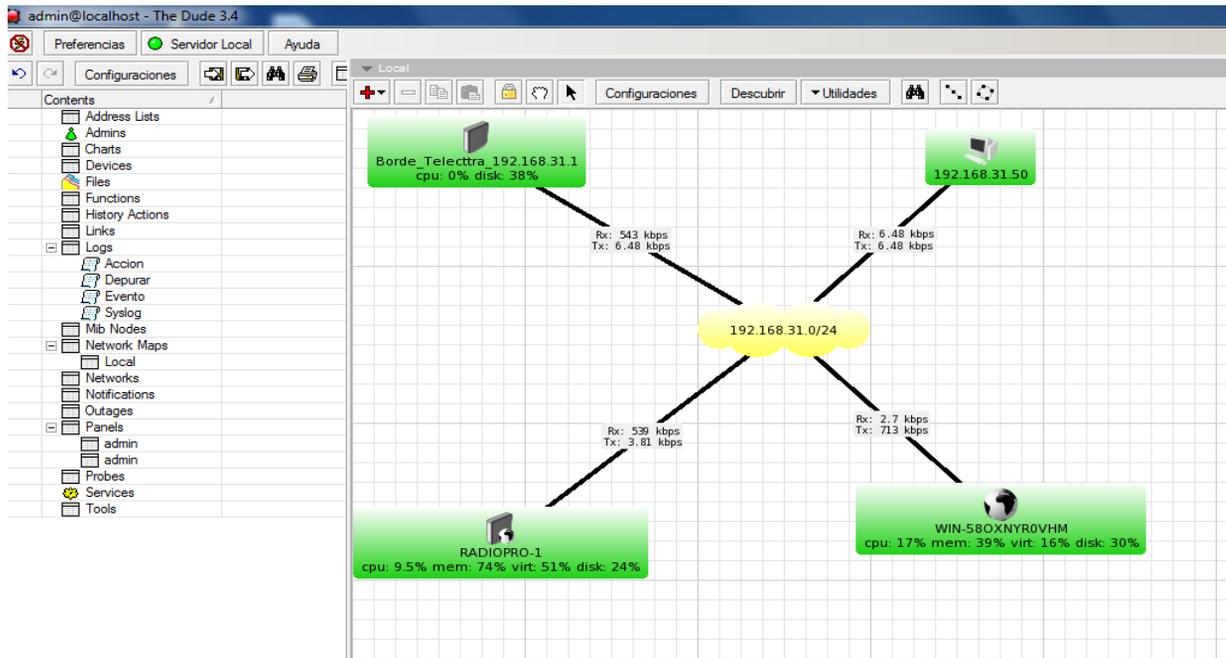


Figura 21. Los servicios detectados, con su respectiva velocidad.

Al terminar se pudieron obtener datos de cada uno de los servicios en funcionamiento con sus respectivas velocidades de transmisión y recepción, como lo muestra la tabla 7.

Tabla 7. Tabla Descripción de servicios

| Equipo | Dirección IP | TX | RX |
|-----------------------------|----------------|----------|---------|
| Radiopro-1 (Internet) | 192.168.31.251 | 3.81kbps | 539kbps |
| Borde-telettra (Mikrotik) | 192.168.31.1 | 6.48kbps | 543kbps |
| Telefonía(192.168.31.50) | 192.168.31.50 | 54kbps | 56kbps |
| WIN-580XNYROVHM (streaming) | 192.168.31.242 | 2.7kbps | 713kbps |

En la siguiente tabla, se pudo observar la medición de parámetros del radioenlace por medio de los PCD de cada radio telettra, se movió la antena a una distancia de 3, 8, 13 y 18 metros para verificar el óptimo funcionamiento de los servicios y sacar los parámetros arrojados en cada PCD como los son el BER y la potencia de recepción, según la distancia colocada.

Tabla 8. Medición de parámetros del radioenlace

| Distancia | R1= PTX= -0.8dBm | | R2=PTX= =0.0dBm | |
|-----------|------------------|----------|-----------------|----------|
| | BER | PRX | BER | PRX |
| 3 metros | $9 * 10^{-6}$ | -46.4dBm | $4.9 * 10^{-6}$ | -58.2dBm |
| 8 metros | $9.2 * 10^{-5}$ | -47.9dBm | $2.8 * 10^{-5}$ | -63.1dBm |
| 13 metros | $8.8 * 10^{-5}$ | -53dBm | $1.9 * 10^{-4}$ | -69dBm |

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

18 metros $8.5 * 10^{-5}$ -55.4dBm $2.3 * 10^{-4}$ -72.8dBm

Para garantizar el óptimo funcionamiento de los equipos RICi se opto por ingresar por medio de su puerto de control atraves del software “putty”, el cual al ingresar permitio ver su adecuada configuracion.

En la pantalla de inicio de los equipos RICi 4E1, se seleccionó la opción “configuration” como se observa en la siguiente figura.

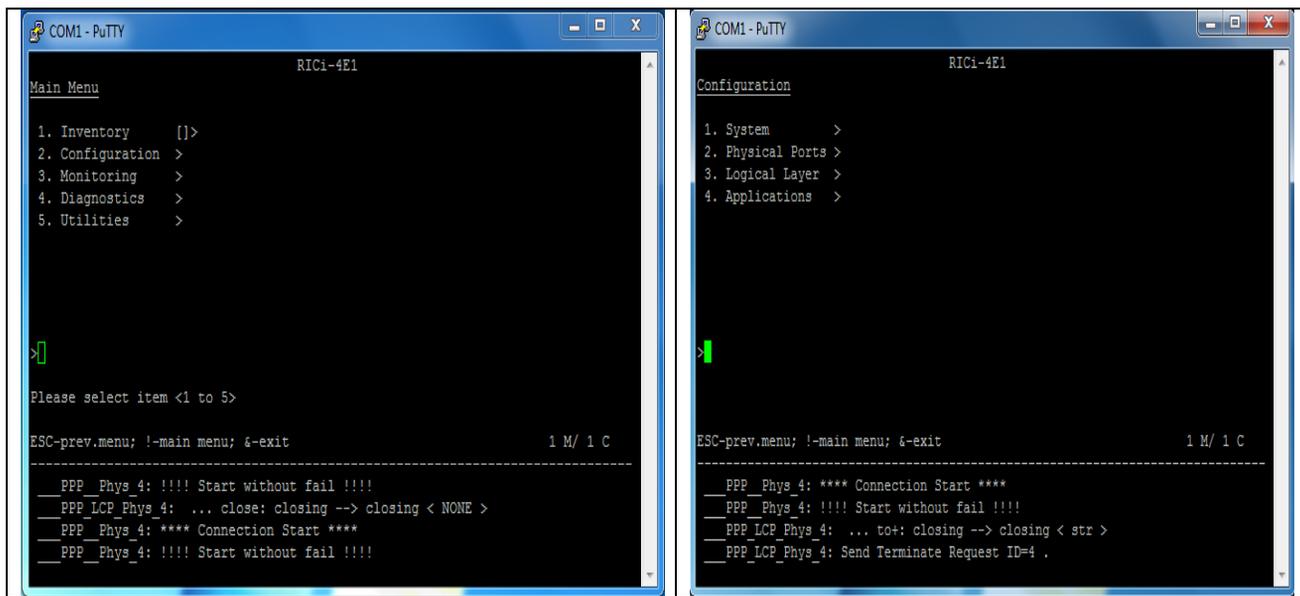
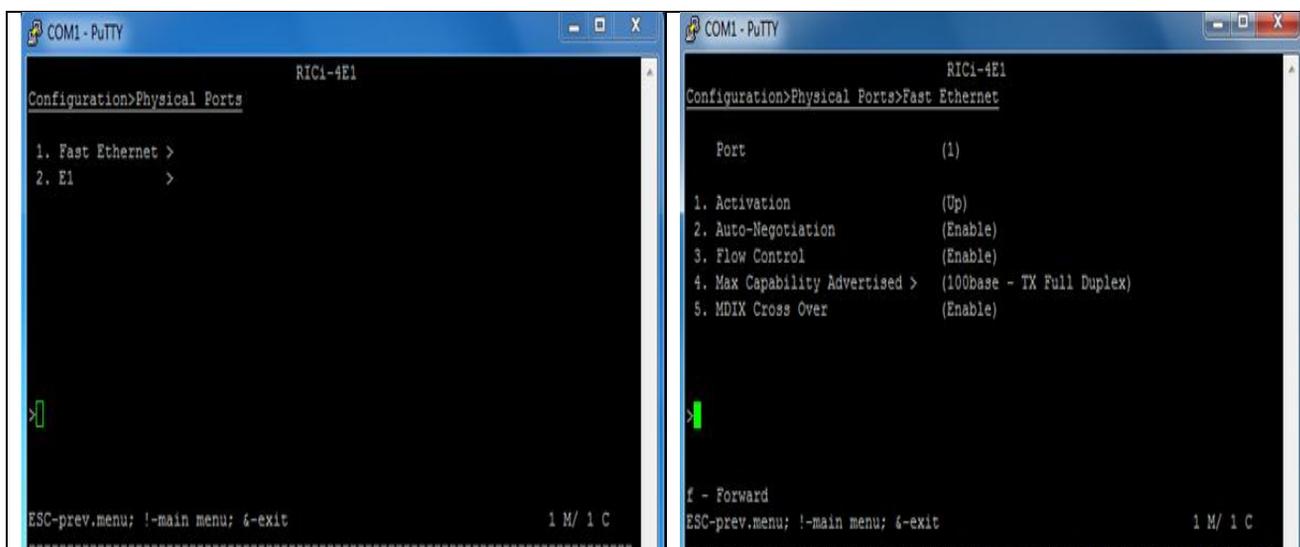


Figura 22. Configuración de inicio de los RICi

Se procedió a verificar la activación del estado de los puertos físicos E1 y Ethernet y se verificó, en excelente estado.



| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

Figura 23. Verificación de activación de los puertos FastEthernet.

Por último se compararon los costos de la solución de conectividad con los medios de transmisión de fibra óptica y coaxial con respecto al radioenlace digital diseñado en Marinilla-Antioquia. Según las políticas de la Empresa prestadora de servicios de telecomunicaciones EDATEL S.A., si la durabilidad del contrato del usuario con la empresa prestadora del servicio es menor a 12 meses se cobra la totalidad del derecho de conexión, si es a 12 meses se hace un descuento del 50% y si el contrato es a 24 meses no se cobran derechos de conexión. En la siguiente tabla se observa:

Tabla 9 derechos de conexión

| derechos de conexión (IVA incluido) | | | |
|--------------------------------------|--------------------|---------------|----------|
| | menos a 12 meses | 12 meses | 24 meses |
| Cobre | 1.160.000 pesos | 580.000 pesos | 0 |
| Fibra | | 1.310.975,16 | |
| óptica | 2.621.950,32 pesos | pesos | 0 |
| Radio | | | |
| enlace | 1.160.000 pesos | 580.000 pesos | 0 |

Fuente: EDATEL S.A.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

En el siguiente trabajo se diseña, implementa y caracteriza un radioenlace digital como backbone para un proveedor de servicios de televisión, internet y telefonía, permitiendo la conectividad desarrollada en el ITM Fraternidad garantizando un servicio óptimo y económico a zonas rurales especialmente a Marinilla-Antioquia, obteniéndose las siguientes conclusiones:

Se diseña un radioenlace digital, se simula con el software Radio Mobile y se calculan los parámetros de dicho enlace para probar la efectividad y comprobación de los resultados arrojados, se sabe que para asegurar un enlace estable y de calidad durante condiciones climáticas adversas u otras anomalías atmosféricas, un margen bruto de desvanecimiento de 10 a 15 dB es lo típico en condiciones normales, pero en presencia de fading (desvanecimiento) en la señal recibida, se debe tener un margen aun mayor, del orden de 20 dB, en nuestro caso el valor obtenido fue de 1dB, comparado con la recomendación este resultado se encuentra por debajo, pero es importante aclarar que se diseñó y simuló el radioenlace con potencias de transmisión muy bajas del orden, de -0.8dBm y 0.0 dBm.

Se dimensiona la capacidad del canal inalámbrico de los radios digitales para transportar los servicios instalados, se evidencia en la implementación que la velocidad de transmisión del internet era de 4Mbps, que a la hora de transmitir el video en ningún momento se presentaron problemas de congelamiento de la imagen, ni problemas en la imagen durante la transmisión. Al momento de probar la telefonía no se pudo ocupar el ancho de banda con las 30 líneas telefónicas por falta de equipos terminales.

Al implementar el radioenlace en la sede de Fraternidad, se gestiona y monitorea los servicios a una distancia de 18 metros, esto debido al espacio físico con el que se cuenta en la terraza del sexto piso del ITM, los resultados obtenidos como el umbral del BER de $8.5 * 10^{-5}$ y un nivel de potencia de recepción de -55.4dBm para una potencia de transmisión de 0.0dBm, para estos valores la transmisión se efectuó en perfecto estado, con una velocidad de transmisión de 4Mbps y sin efectos de distorsión de la imagen de video.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

De acuerdo a las políticas de EDATEL, al comparar los costos de fibra óptica y coaxial con respecto a un radioenlace, se determinó que el costo del radioenlace es más factible que la implementación con cable coaxial y más económico aún que la implementación con fibra óptica, por lo tanto los servicios implementados son viables debido a que se ahorra tiempo, dinero e infraestructura. No fue posible realizarse una comparación más detallada, ni con otras empresas prestadoras de servicios de telecomunicaciones debido a la confidencialidad de la información por parte de estas empresas.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

.REFERENCIAS

«Resolución 269 House of Representatives». (17 de octubre de 2001). *wikipedia*. Obtenido de <http://es.wikipedia.org/wiki/Tel%C3%A9fono>

Cardama, L. Jofre, J.M. Rius, J. Romeu, S. Blanch, M. Ferrando. (s.f.). *wikipedia*. Obtenido de <http://es.wikipedia.org/wiki/Antena>

Tim Unwin. (octubre de 2008). *uba*. Obtenido de <http://www.uba.ar/encrucijadas/48/sumario/enc48-lastic.php>

A. Colín, E. Á. (2015). NGN Model for the Mexican Rural Context. *IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS*, 337-344.

Admin. (8 de noviembre de 2014). *noticias*. Obtenido de <http://www.noticias.in.rs/ultimas/%C2%BFque-es-el-ber-bit-error-ratio-y-el-bert-bit-error-ratio-probador/>

Alegsa, L. (12 de Mayo de 2010). *alegsa*. Obtenido de <http://www.alegsa.com.ar/Dic/latencia.php>

bibliotecas universales. (s.f.). *gatesfoundation*. Obtenido de <http://www.gatesfoundation.org/es/What-We-Do/Global-Development/Global-Libraries>

bytecom. (s.f.). *bytecompanama*. Obtenido de <http://bytecompanama.com/producto/rici-8e1/>

Castells, M. (2001). *wikipedia*. Obtenido de La galaxia Internet.

colaboradores de wikipedia. (s. f. (sin fecha).). modulación de amplitud en cuadratura. *Wikipedia, La enciclopedia libre*, https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Modulaci%C3%B3n_de_amplitud_en_cuadratura&oldid=82755424.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

Díaz Rodríguez, N. S. (s.f.). *bibing*. Obtenido de

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11901/fichero/capitulo4.pdf>

Durand, L. A. (2008). Educational Software for Project and Analysis. *IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS*, 638-646.

Edward A. Lee, David G. Messerschmitt. (26 de mayo de 2015). *ecured*. Obtenido de

http://www.ecured.cu/index.php/Modulaci%C3%B3n_QAM

Eleodoro, M. T. (2013). “IMPLEMENTACIÓN, FASE CABLEADO ESTRUCTURADO DEL LABORATORIO # 4 EN CATEGORÍA 6A COMO APORTE A LA FORMACIÓN PROFESIONAL DE LOS ESTUDIANTES DE LAS CISC Y CIN, APLICANDO ESTÁNDARES INTER- NACIONALES DE CABLEADO GENÉRICO, RUTAS Y ESPACIOS DE TELECOMU- NICACIO. En *Tesis - Ingeniería en Sistemas Computacionales* (pág. Tomo1). guayaquil: Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas. Carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales & Networking.

Escobar Sanchez Fabian Yabin, H. H. (22 de MAYO de 2012). *blog de comunicacion de microondas*. Obtenido de <http://comunicacionmicroondas.blogspot.com/2012/05/redes-de-radio-enlace-de-microondas.html>

Evelio. (11 de julio de 2007). *www.eveliux.com*. Obtenido de

<http://www.eveliux.com/mx/curso/tipos-de-propagaci.html>

Gobierno de España. Ministerio de Industria, Energía y Turismo. (s.f.). *televisiondigital*. Obtenido de <http://www.televisiondigital.gob.es/TelevisionDigital/Paginas/informacion-general.aspx>

Gómez, J. C. (2001). CadCom, software para el diseño de radioenlaces. Fundamentos. *ingenieria* , 59-66.

IBM, D. d. (1993, 2013). *Copyright IBM Corporation*. Obtenido de [http://www-](http://www-01.ibm.com/support/knowledgecenter/ssw_ibm_i_61/rzaiy/rzaiytone.htm?lang=es)

[01.ibm.com/support/knowledgecenter/ssw_ibm_i_61/rzaiy/rzaiytone.htm?lang=es](http://www-01.ibm.com/support/knowledgecenter/ssw_ibm_i_61/rzaiy/rzaiytone.htm?lang=es)

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

Juan C. Gómez, G. H. (2001). CadCom, software para el diseño de radioenlaces. Fundamento. *revista udistrital*, 59-66.

Luis Escobar, A. E. (12 de noviembre de 2012). <http://propagaciondeondascom1.blogspot.com/>.
 Obtenido de <http://propagaciondeondascom1.blogspot.com/2012/11/margen-de-desvanecimiento.html>

M. K. Huerta, M. I. (2007). Reducción de congestión mediante técnicas de optimización de flujos en redes MPLS. *IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS*, 352-359.

MinTIC. (28 de octubre de 2010). *vive digital colombia*. Obtenido de <http://www.mintic.gov.co/portal/vivedigital/612/w3-propertyvalue-6106.html>

MinTIC. (28 de octubre de 2010). *vive digital colombia*. Obtenido de <http://www.mintic.gov.co/portal/vivedigital/612/w3-propertyvalue-6106.html>

Montañana, R. (2007). *Ethernet: de 2,94 a 1000 Mb/s en 25 años*. España: redIris.

Pascual, F. R. (s.f). Medidas de jitter en redes ópticas. *conectronica*.

Rábanos, J. M. (2013). *Transmisión por radio*. Madrid: Centro de estudios Ramón Areces, S.A.

Rábanos, J. M. (2013). *Transmisión por radio*. Madrid: Centro de estudios Ramón Areces, S.A.

Rendón, D. F. (2010). Access to Digital Libraries from Low Speed. *IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS*, 111-119.

Sola, R. C. (6 de septiembre de 2013). *blog.calat*. Obtenido de <http://blog.calat.com/probar-el-rendimiento-de-una-red/>

Solano Pozo, D. V. (2009). Estudio y diseño de una red de voz y datos para la Unidad Educativa Municipal Quitumbe utilizando la tecnología GIGABIT Ethernet para soportar servicios en tiempo real de Voip, videoseguridad y videoconferencia. En *Tesis Electrónica y Redes de Información (IER)*. QUITO/ EPN/ 2009.

wikipedia, c. d. (2014). E1. *Wikipedia, La enciclopedia libre*, 74445631.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

Wikipedia, c. d. (2014). Jitter. *Wikipedia, La enciclopedia libre.*, 75597357.

Wikipedia, c. d. (2015). Latencia. *Wikipedia, La enciclopedia libre.*, 82294768.

wikipedia, c. d. (2015). T1. *Wikipedia, La enciclopedia libre*, 64502308.

Wikipedia, c. d. (2015). Televisión digital. *Wikipedia, La enciclopedia libre.*, 82721346.

wikipedia, c. d. (s. f. (sin fecha).). tasa de error binario. *wikipedia. la enciclopedia libre*,
https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Tasa_de_error_binario&oldid=81008738.

FIRMA ESTUDIANTES Ana María Moncada Colorado
Andrés Julián Gómez Gaviria

FIRMA ASESOR Sara María Yepes

FECHA ENTREGA: 2-12-2015

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO__ ACEPTADO__ ACEPTADO CON MODIFICACIONES__

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____