



**UNIVERSIDAD DEL ACONCAGUA**

**FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES Y ADMINISTRATIVAS**

**INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES**

**CRITERIOS DE DISEÑO DE UNA RED DE DATOS INALÁMBRICA DE  
ALTA CAPACIDAD, PUNTO A PUNTO, EN BANDA LICENCIADA**

**Alumno:** Mariano Salles

**Profesor Tutores:** Ing. Guillermo Sandez

## **CALIFICACIÓN**

## ÍNDICE

<u>Resumen Técnico.....</u>	<u>7</u>
<u>Introducción.....</u>	<u>8</u>
<u>Descripción del problema.....</u>	<u>8</u>
<u>Objetivos .....</u>	<u>9</u>
<i>Objetivo general .....</i>	<i>9</i>
<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>9</i>
<u>Justificación.....</u>	<u>10</u>
<u>Hipótesis.....</u>	<u>11</u>
<b>CAPÍTULO I - MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>12</b>
<u>1 Redes de transmisión .....</u>	<u>12</u>
<u>1.1.1 Redes inalámbricas en banda licenciada .....</u>	<u>14</u>
<u>2. Microondas .....</u>	<u>18</u>
<i>2.1 Estructura .....</i>	<i>18</i>
<i>2.2 Función.....</i>	<i>19</i>
<u>3 Zona de Fresnel.....</u>	<u>28</u>
<u>4 Proceso teórico de “Diseño de radioenlace” .....</u>	<u>29</u>
<u>4.1 Planificación inicial.....</u>	<u>30</u>
<i>4.1.1 Determinación del sitio a instalar .....</i>	<i>30</i>

4.1.2 Diagrama inicial de la Red.....	31
4.1.3 Mapa de red inicial.....	31
<u>4.2 Infraestructura existente y sitios repetidores.....</u>	<u>32</u>
4.2.1 Mapas topográficos.....	32
4.2.2 Modelo digital de terreno.....	33
4.2.3 Mapa de ruta.....	34
4.2.4 Perfiles del camino.....	35
<u>4.4 Protocolos de Comunicaciones Involucrados.....</u>	<u>37</u>
<b>CAPÍTULO 2 – DESARROLLO .....</b>	<b>44</b>
<u>5. Ventajas de una red de datos inalámbrica, punto a punto, en banda licenciada.....</u>	<u>44</u>
<u>6. Métodos de determinación de factibilidad de enlaces y equipamiento.....</u>	<u>46</u>
<u>7. Estructura de las antenas .....</u>	<u>49</u>
<u>8. Protocolos de comunicaciones involucrados.....</u>	<u>52</u>
<u>9. Proceso Típico de “Implementación de redes de microondas en banda licenciada”.....</u>	<u>53</u>
<u>10. Aspectos físicos para la instalación .....</u>	<u>61</u>
10.1 Chequeo inicial.....	61
10.2 Pasos para el armado de cable RF.....	62
10.3 Pasos para armar un conector RF.....	63
10.4 Pasos para la instalación de una antena .....	64
10.5 Alineación de antenas .....	66

<b>CAPÍTULO III – CONCLUSIÓN.....</b>	<b>69</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>70</b>
<b>ANEXO I.....</b>	<b>72</b>
<b><u>TUTORIAL PATHLOSS 5.....</u></b>	<b><u>73</u></b>
<i>Generar Perfil: .....</i>	<i>76</i>
<i>Altura de las antenas .....</i>	<i>78</i>
<i>Análisis de transmisión .....</i>	<i>79</i>

## **Resumen Técnico**

Este trabajo tiene como fin guiar a quien se disponga a diseñar una red inalámbrica punto a punto en banda licenciada, haciendo especial hincapié en los factores clave de éxito, tales como protocolos involucrados, problemáticas del medio de comunicación, factores climáticos y demás complicaciones que se encuentran en este tipo de soluciones de red de transporte. El autor describe cada una de las etapas del diseño basándose en su experiencia personal y, apoyándose en bibliografía especializada como así también documentos de fabricantes de equipamiento de microondas. Luego de leer esta guía se espera que el lector sea capaz de comprender los aspectos básicos de una red de microondas en banda licenciada y además el mismo pueda resolver la mayoría de las problemáticas que puedan plantearse durante su diseño e implementación.

## **Introducción**

En este documento se detallan los criterios de diseño y pasos necesarios para realizar un enlace de radiofrecuencia en la banda que se conoce como “microondas”. La mayoría de estas bandas de frecuencia son licenciadas, para poder utilizarlas, se debe solicitar un permiso a la C.N.C. (Comisión Nacional de Comunicaciones), como así también pagar por el mismo.

En estos criterios de diseño a desarrollar, se da especial atención a la canalización y la metodología de modulación a emplear, ya que estos dos aspectos determinarán la capacidad del enlace. Además, se analiza el impacto de la disponibilidad de la canalización de la banda de frecuencia elegida en cada zona geográfica, en la que el enlace de microondas estará funcionando.

Se detallan aspectos claves a tener en cuenta en el diseño y construcción, tales como dimensionamiento de la capacidad del enlace y escalamientos futuros, análisis de propagación basados en las recomendaciones de la ITU-R F.1668 e ITU-R F.1703, opciones para redundancia, análisis interferente, ingenierías de detalle, apuntado de antenas y las diferentes herramientas que se utilizan para estas tareas, así como los fundamentos teóricos que deben considerarse y algunos otros aspectos que surgen de la experiencia.

Como un caso concreto y para ejemplificar las técnicas descriptas, se evalúa un proyecto, que consiste en vincular de manera confiable distintos edificios que pertenecen al complejo del Ministerio de Economía de la Nación, mediante un enlace de radiofrecuencia, en la banda fija de 23 Ghz.

## **Descripción del problema**

En el diseño e implementación de redes inalámbricas, hay una gran cantidad de factores que deben tenerse en cuenta, ya que el medio de comunicación utilizado posee una gran diversidad y constantes cambios, por lo que es de suma relevancia tener todos estos aspectos en cuenta a la hora de diseñar un enlace.

El medio de comunicación depende de una combinación de características como: altura, humedad, presión atmosférica, cercanía a espejos de agua, tipo de terrenos y, a su vez, algunos de éstos también cambian de un momento a otro. Algunos de los factores fundamentales que deben resolverse de manera efectiva suelen ser:

- La presencia de espejos de agua suele ser omitido a la hora de realizar un cálculo de enlace, y causa reflexiones cuando están presentes.
- Las ráfagas de viento en la zona también son un factor muy importante al elegir el tipo de antena, soportes y feeders.
- El material y la técnica empleados para el vulcanizado de los conectores suele ocasionar atenuaciones luego de un tiempo.
- Variación en el índice de refracción del aire a diferentes horarios, suele ocasionar cambios en el comportamiento de las ondas electromagnéticas.
- El tamaño de las antenas muchas veces suele ocasionar grandes gastos para transportarse e instalarse en la estructura; existen alternativas que suelen mejorar los costos de la instalación.
- El tipo de tráfico a transportar y los algoritmos de ruteo empleados en la red, pueden complicar la implementación del radio enlace, si éstos no son contemplados a la hora de elegir qué equipo comprar.

## **Objetivos**

### Objetivo general

Definir los criterios de diseño fundamentales y las herramientas necesarias para lograr una correcta implementación de una red inalámbrica en banda licenciada, así como desarrollar un procedimiento estándar para el análisis y la implementación de radioenlaces punto a punto, de alta capacidad en dichas bandas.

### Objetivos específicos

- Explicar las ventajas de una red de datos inalámbrica punto a punto en banda licenciada.
- Detallar paso a paso la metodología para determinar la factibilidad del enlace y el equipamiento a utilizar.
- Determinar, basado en la experiencia previa, los principales aspectos a tener en cuenta en un enlace con posibles reflexiones.

- Fijar los criterios a la hora de elegir frecuencia, canal y modulación para evitar interferencias.
- Definir los aspectos críticos que más afectan a la indisponibilidad de la señal a la hora de realizar el diseño de una red de radioenlaces.
- Definir los criterios de diseño asociados al soporte de antena a la estructura.
- Especificar los posibles problemas de incompatibilidad de protocolos que pueden presentarse.
- Dejar un procedimiento de trabajo válido que sirva como base para quienes desean iniciarse en el mundo de las redes “punto a punto, inalámbricas, con equipos de alta capacidad”.
- Tener un compendio claro y conciso de los factores críticos de éxito para las fases de diseño y montaje de un enlace de estas características.

### **Justificación**

A lo largo de los años en los que el autor se ha desempeñado como ingeniero de redes de tipo Microwaves, ha encontrado que en nuestro país no se cuenta con gente especializada en las mismas y que, a la hora de realizar capacitaciones, las empresas siempre recurren a expertos traídos desde el exterior.

La inminente llegada de las redes 4G o LTE, demandarán una gran capacidad en la infraestructura de los operadores que deseen brindar esta tecnología a sus cliente; y en muchos casos, la forma más sencilla, práctica y rentable de montar esta infraestructura, es apoyándose de las redes de “punto a punto”, o “punto multipunto en banda licenciada”.

Para poder realizar dichos despliegues, es fundamental contar con ingenieros que conozcan la tecnología y sean capaces de dimensionar y poner en funcionamiento dichos enlaces.

Dado que en estos últimos años el autor se ha desempeñado como especialista de esta tecnología, primero como ingeniero de preventa (Alcatel Lucent) y luego como ingeniero de implementación (Huawei Technologies) en dos compañías multinacionales, posee conocimientos en aspectos tanto teóricos como prácticos, del funcionamiento de estos equipos; ellos suelen ser bastante complejos, ya que, por un lado, se encuentra todo lo relacionado a transmisiones inalámbricas, y por otro, todo

lo que respecta a cross conexiones con equipos de capa 3; en estos últimos, se encuentran características como calidad de servicio QoS, ruteo como spanning tree, o protocolos propietarios y demás funciones, que hacen tanto al tráfico de paquetes asincrónicos, como así también tramas E1 o STM1 (en el caso de transmisiones sincrónicas).

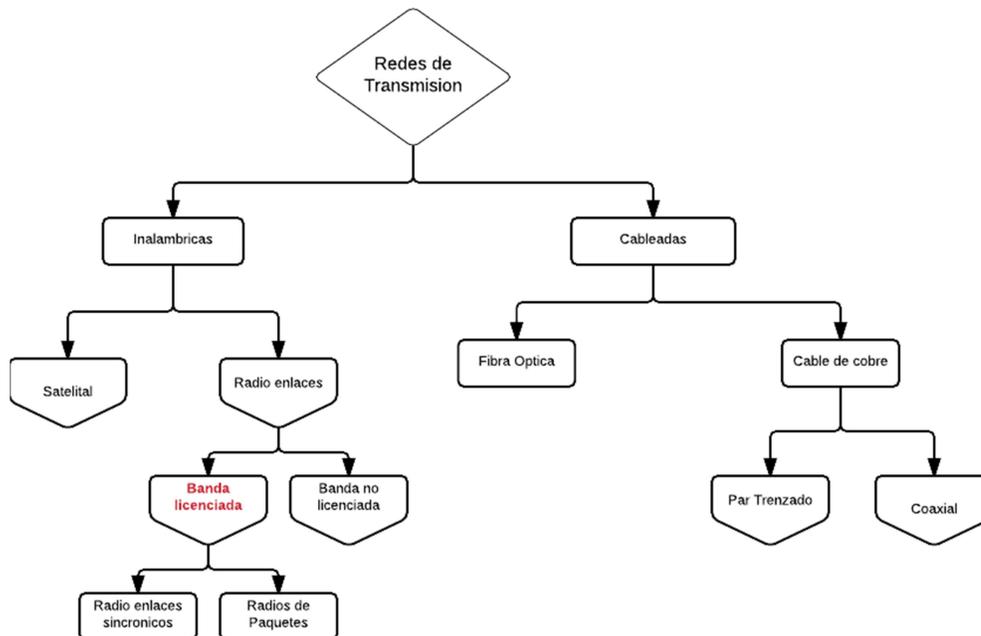
### **Hipótesis**

A pesar de la cantidad de variables que afectan el rendimiento de los radioenlaces a la hora de realizar el diseño y planificar la implementación, es posible trabajar sobre los factores incidentes de acuerdo al entorno en donde será instalado para que el rendimiento de los equipos no sea totalmente efectivo.

# CAPÍTULO I - MARCO TEÓRICO

## 1 Redes de transmisión<sup>1</sup>

Los radioenlaces pertenecen a las denominadas “redes de transmisión” y, dentro de éstas, se distinguen dos familias fundamentales, las cableadas y las inalámbricas.



**Imagen 1** -. Familia de “Redes de transmisión”.

Fuente: Elaboración Propia.

### 1.1 Redes inalámbricas:

#### 1.1.1 Definición<sup>2</sup>

Se denomina “microondas” a las ondas electromagnéticas definidas en un rango de frecuencias determinado, generalmente de entre 300 MHz y 300 GHz, que suponen un período de oscilación de 3 ns ( $3 \times 10^{-9}$  s) a 3 ps ( $3 \times 10^{-12}$  s) y una longitud de onda en el rango de 1 m a 1 mm. Otras definiciones, por ejemplo las de los estándares IEC 60050 y

<sup>1</sup>LEHPAMER, Harvey. Microwave Transmission Networks. Planning, design and deployment (2010). Págs. 90 – 99.

<sup>2</sup> GARCIA, Angélica. Redes Microondas (Mayo, 2013). <http://redesmicronondas.blogspot.com.ar>

IEEE 100, sitúan su rango de frecuencias entre 1 GHz y 300 GHz, es decir, longitudes de onda de entre 30 centímetros a 1 milímetro.

*1.1.2 Requisitos para la solicitud de frecuencia ante CNC:*

La solicitud de una frecuencia que se quiera utilizar debe realizarse a través de la CNC (Comisión Nacional de Comunicaciones).<sup>3</sup>

Nota de solicitud de Licencia Única y Registro de Servicio/s.

Planillas de Datos del Solicitante (Formulario F2)

Carpeta Jurídica

Carpeta Técnica

Carpeta Económica

Para la iniciación del trámite, el solicitante deberá abonar la cantidad de \$ 5.000 (cinco mil).

Los valores profesionales que el COPITEC (Consejo Profesional de Ingeniería de Telecomunicaciones, Electrónica y Computación), establece como recomendados para cada tarea, se describen en la siguiente tabla:

---

<sup>3</sup> Autoridad Federal de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (s.f.)  
[http://www.aftic.gob.ar/registro-de-asignaciones-de-frecuencias-en-bandas-de-microondas\\_p552](http://www.aftic.gob.ar/registro-de-asignaciones-de-frecuencias-en-bandas-de-microondas_p552)

Tarea	Honorarios desde
Licencia de Servicio de Telecomunicaciones, comprende: Carpeta Jurídica (asesoramiento p/su implementación) Carpeta Técnica (completa) Carpeta Económica-Financiera, (completa)	275 CE
Revisar, Responsabilidad Técnica y firmar licencia	106 CE
Solicitud frecuencia para enlace hasta 512 Mhz. (no incluye cálculo interferente)	44 CE
Solicitud frecuencia en SSE, 900 MHz., 2,4 o 5,7 Ghz	
- Punto a punto (por enlace)	31 CE
- Punto - multipunto (por nodo)	44 CE
Consultas, Asesoramiento, por HORA y por consultor	6 CE
Homologación equipos	63 CE
Solicitud Frecuencia MICROONDAS	56 CE
Solicitud ALTA Estación Servicio Fijo por Satélite	60 CE
Dar de baja frecuencia	19 CE

**Imagen 2** -Relación entre el servicio profesional y el costo del profesional matriculado.

Fuente: Consejo Profesional de Ingeniería de Telecomunicaciones, Electrónica y Computación. (Julio 2015).

Las hay de dos tipos:

- a) Satelitales: se realizan a través de bases terrestres con antenas que envían señales al satélite, el cual se encarga de direccionarlas hacia la estación receptora, con la onda amplificada, para evitar pérdidas.
- b) Terrestres: se basan en conexiones denominadas “punto a punto”, ya que sus antenas deben estar sin obstáculos físicos, para evitar fallas en la transmisión.

### **1.1.1 Redes inalámbricas en banda licenciada**

#### *1.1.1.1 Definición*

Una” banda licenciada” es una porción regulada del espectro electromagnético, con validez en todo el territorio de la Nación Argentina, por la cual se debe pagar para su utilización por un tiempo determinado, para enlazar una red inalámbrica.

### 1.1.1.2 Tipos de frecuencia

En Argentina, las redes inalámbricas funcionan bajo bandas reguladas por la CNC en diferentes canales de frecuencia, los cuales se dividen en dos grandes grupos, que pueden subdividirse en:<sup>4</sup>

**Frecuencias compartidas:** aquellas donde varios usuarios comparten las mismas frecuencias, durante un período de tiempo determinado, en la misma zona geográfica de operación de su sistema radioeléctrico.

**Frecuencias exclusivas:** aquellas en las cuales un único usuario posee asignada una o más frecuencias durante un período de tiempo, en la zona geográfica de su sistema radioeléctrico.

Este tipo de frecuencias, según su utilización, puede clasificarse en: *uso privado, uso oficial* y de *prestación de servicios*; también pueden dividirse *por canales, por grupo de canales* o *por bandas*.

**Dentro de este tipo de frecuencias exclusivas es donde se encuentra enmarcada la tecnología de “microondas”.**

---

<sup>4</sup> Comisión Nacional de Comunicaciones (CNC). Biblioteca. Servicios Terrenales. Radioenlaces terrestres fijos en bandas de microondas. Asignación de frecuencias. (s.f)

Código de Banda	Banda [MHz]		Canales (n)	Anchura de banda [MHz]	Capacidad [Mbps]	Canales telefónicos
	desde	hasta				
011	1427	1525	1..22	2	2	30
			1..11	4	4	60
			1..5	8	8	120
	1441	1505	1..39	0,25	-	6
023	2500	2700	1..6	14	17	240
			1..3	28	34	480
042	4400	5000	1..5	40	90	-
062	6425	7100	1..16	20	140	2700
071	7100	7425	1..20	7	-	300
072	7425	7725	1..20	7	-	300
			1..5	28	34	-
081	7725	8275	1..8	29,65	90	1800
			1..12	11,662	-	300
			1..6	23,338	-	960
	8200	8500	1..12	7	16	-
			1..6	14	34	-
101	10500	10680	1..12	7	16	-
111	10700	11700	1..12	40	140	1800
131	12750	13250	1..8	28	-	960
			1..32	7	2	-
151	14500	15350	1..56	2	2	-
			1..16	7	8	-
			1..8	14	16	-
			1..4	28	34	-
			1..10	28	34	-
181	17700	19700	1..2	27,5	34	-
			3..16	27,5	34	-
			1..5	20	10	-
231	21550	23600	1..17	50	8	-
			1..6	14	8	-
	21200	23600	1..320	3,5	4	-
			1..160	7	8	-
			1..80	14	16	-
			1..40	28	34	-
			1..20	56	140	-
			1..24	50	155	-
381	37000	40500	1..14	7	8	-

**Imagen 3** -. Esquemas de distribución de frecuencias para Sistemas Multicanales Digitales  
Fuente: AFTIC. Autoridad Federal de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (Julio 2015).

Código de Banda	Longitud mínima del enlace
011 - 021 - 022 - 023	30
062-071 - 072 - 081	12
151	7
181	5
231 - 381	Sin limitación

**Imagen 4** -. Esquema de asignación de bandas de acuerdo a las distancias entre dos puntos transmisor y receptor.  
Fuente: AFTIC. Autoridad Federal de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. . (Julio 2015).

La frecuencia de operación determinará los diferentes modos de propagación de las ondas radioeléctricas (por onda de superficie, onda ionosférica, onda espacial-troposfera); en consecuencia, para canales con frecuencias de operación por debajo de 30 MHz (banda de HF), la asignación dependerá:

- De la ubicación de las estaciones a instalar.
- Del circuito de comunicación a entablar (longitud del enlace, distancia entre transmisor y receptor).
- De la ocupación previa del canal bajo consideración, ya sea por una asignación previa del mismo a nivel nacional, o por parte de otro país.
- De la hora del día en que se realizarán las comunicaciones, debido a la incidencia del sol en la ionosfera.
- De la época del año en función del período de actividad solar.
- De las horas del día en que es posible asignar un bloque de tiempo (período) para utilizar el canal.

Para frecuencias o canales ubicados entre los 30 MHz y 1000 MHz, la asignación dependerá de la congestión de la banda de frecuencia en la zona geográfica o coordinada, en torno a las cuales se realiza el estudio, y del tipo de sistema o servicio radioeléctrico a instalar.

De esta forma, toda asignación de canales está sujeta al estudio de compatibilidad electromagnética con sistemas o servicios autorizados en la zona en que se realiza el análisis; y dado que en estas bandas de frecuencias (VHF – UHF) predomina el modo de propagación por onda espacial (troposférica), dicho análisis se realiza en áreas de no más de 200 km. de radio.

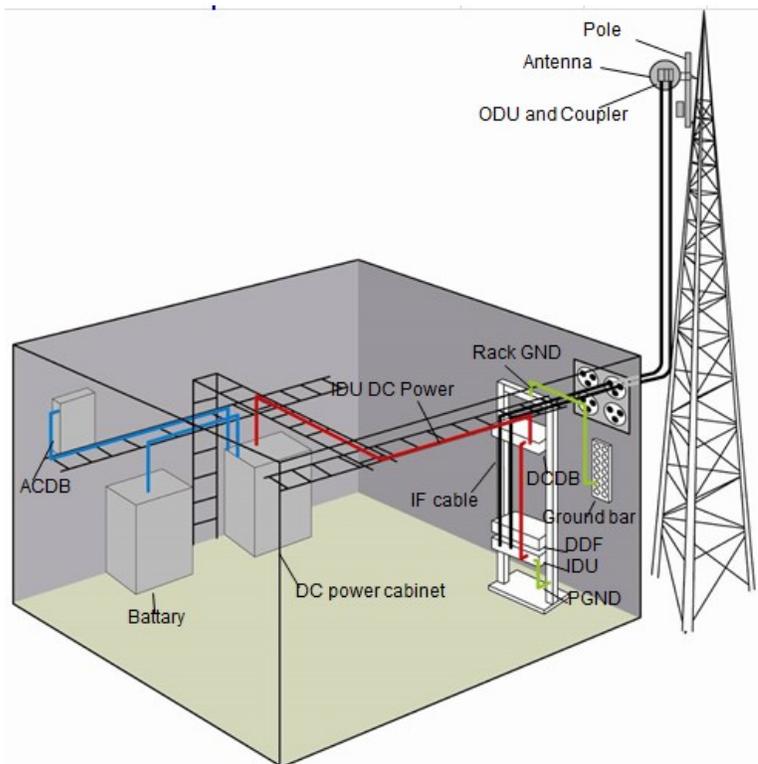
Los sistemas multicanales que operan en frecuencias ubicados por encima de 1000 MHz (sistemas o enlaces punto a punto que operan en lo que usualmente se denomina “banda de microondas”), y dadas la particularidades que poseen estos sistemas, con grandes anchuras de bandas y antenas con alta directividad, permiten un mayor reuso del espectro, en comparación con las bandas de VHF / UHF.

## **2. Microondas**

Dentro de las redes inalámbricas en “banda licenciada”, se encuentra la tecnología que nos ocupa: “microondas”.

### 2.1 Estructura

Un sitio “microondas” se compone de varias partes, pero suele segmentarse en cuatro grandes grupos: las que pertenecen a la unidad interior (IDU), a la unidad exterior (ODU), al elemento irradiante o pasivo (antena) y al Cable IF.



**Imagen 5** -.Estructura Básica de un sitio micro ondas.

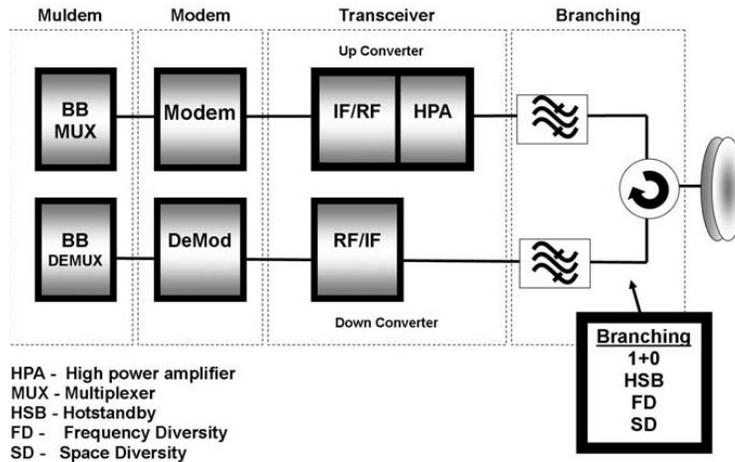
Fuente “Huawei Standard Installation Procedure Of OptiX RTN 950 V3.0-English(SOP). Marzo 2010.

## 2.2 Función<sup>5</sup>

Para la persona que realizará el planeamiento de la red “microondas”, es muy importante entender las características de los equipos de radio y la forma en la que éstos afectan en la performance. Como las tecnologías que se utilizan para construir los equipos de microondas cambian dramáticamente, los equipos también lo hacen constantemente, disminuyendo su tamaño y reduciendo costos. La mayoría de los componentes pueden tomarse como “cajas negras” desde la perspectiva del planificador de red. De todas maneras, hay algunas características y especificaciones de componentes claves, que tienen impacto en el diseño de los enlaces. Los requerimientos de transportar Ethernet presentaron varios desafíos, ya que se debían seguir transportando los antiguos

<sup>5</sup> MANNING, Trevor. Microwave Radio Transmission Design Guide. Segunda Edición. (Londres, Artec House, 2009). Pág. 95-100.

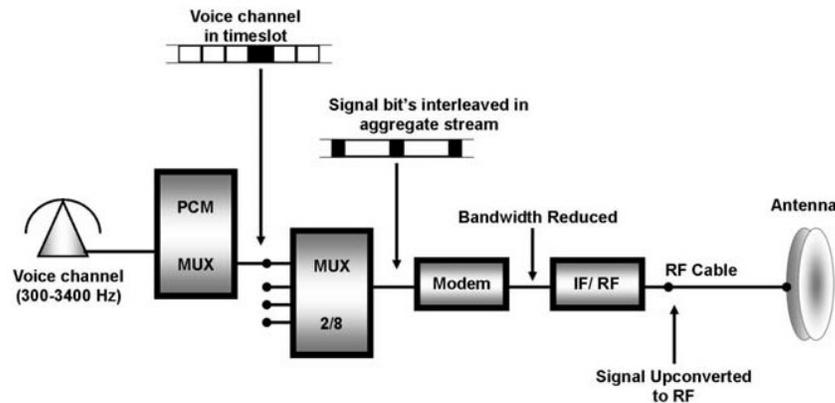
tráficos TDM y paquetes sobre un mismo enlace de radio. El avance más significativo es la función de código y modulación adaptativa.



**Imagen 6.** Diagrama del Sistema de Radio

Fuente: MANNING, Trevor. Microwave Radio Transmission Design Guide. Segunda Edición. (Londres, Artec House, 2009).

En la imagen anterior se pueden apreciar los bloques en que se compone un sistema de microondas. El tráfico de banda base (voz o datos) sumado a los bytes de encabezados, señalización, canales de servicio, control de radio, todo esto dentro de un multiplexor que luego es mezclado para mejorar la distribución espectral. Luego, la etapa moduladora, convierte esto en una frecuencia intermedia (IF), típicamente de 70 Mhz, que después, también, es amplificada para facilitar la linealidad y se convierte en una señal de frecuencia RF, utilizando un oscilador.



**Imagen 7.** Camino de transmisión del circuito de voz.

Fuente: MANNING, Trevor. Microwave Radio Transmission Design Guide. Segunda Edición. (Londres, Artec House, 2009).

### Componentes “Indoor”

Usualmente estos componentes del equipo se encuentran raqueados en un rack de 19” y de él puede verse salir un cable coaxial, o una guía de onda, que transporta las señales de RF hacia las antenas montadas en la torre. El equipo se mantiene como módulos con el propósito de facilitar su mantenimiento. Diferentes diseños se requieren para diferentes capacidades y bandas de frecuencia.

### Componentes “Split”

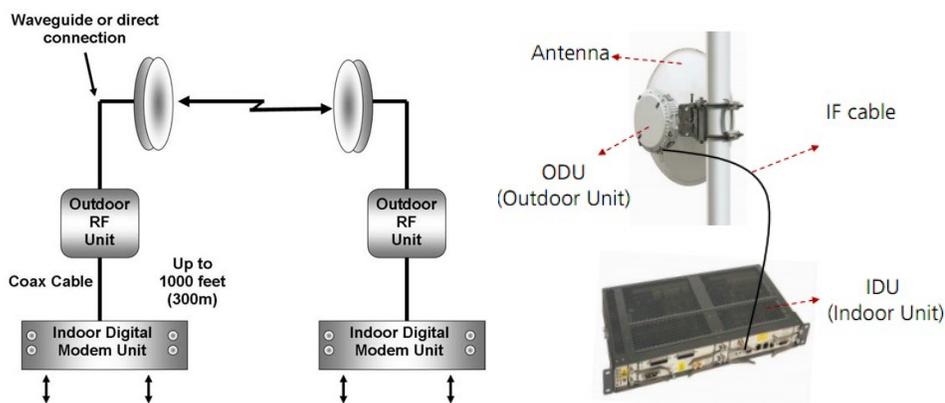
Los equipos más modernos suelen tener un diseño de este tipo, ya que requiere de menos espacios y mejoran las pérdidas por guías de onda. En esta solución se dejan todas las etapas de radiofrecuencia en la unidad exterior, y en la unidad interior sólo quedan las funciones de energía e interconexión hacia otras redes y transmite en frecuencia intermedia hacia las ODU.

Antena: enfoca las señales RF transmitidas por las ODU e incrementa la ganancia de la señal.

ODU: procesa señales RF y convierte de IF a RF.

Cable IF: transmite las señales en frecuencia intermedia, y maneja la señal y la alimentación de la ODU.

IDU: realiza el acceso, la agregación y la multiplexación/demultiplexación para los servicios a transportar.



**Imagen 8.** Split típico de la unidad de configuración

Fuente: MANNING, Trevor. Microwave Radio Transmission Design Guide. Segunda Edición. (Londres, Artec House, 2009).

En ella se encuentran las funciones de los transmisores, la frecuencia de trabajo (para más detalle acerca de éstas, puede ir a la sección 1.1.1, “Redes Inalámbricas en Banda Licenciada”) y la potencia de los transmisores. También se ocupa de la estabilidad en la frecuencia local, por ejemplo: si la frecuencia de trabajo del transmisor es inestable, la efectividad de la demodulación decrecerá, por lo que la cantidad de errores aumentará, el rango de estabilidad se encuentra entre 3 a 10 ppm.

Frecuencia del espectro a transmitir, se debe controlar que el espectro de la frecuencia transmitida, esté dentro de los parámetros, ya que si la misma ocupa demasiado ancho de banda, producirá interferencia en los canales adyacentes.

Las especificaciones del receptor serían que la frecuencia de trabajo establece que la frecuencia de recepción será la misma que el canal de transmisión en la estación opuesta. También debe controlar el ruido, ya que el mismo debe encontrarse entre los 2.5 dB y 5 dB.

Pasa banda: para realizar la supresión de interferencia y garantizar la mejor calidad en la transmisión, el pasa bandas y la amplitud de la frecuencia que éste admitirá, deberán ser cuidadosamente seleccionados.

Control de ganancia automática: es una función que permite cambiar la señal RF, dependiendo de la ganancia, y mantener las señales de IF sin cambios.

Antenas: existen diversas formas de clasificar las antenas, ya sea por su frecuencia de operación, directividad de la misma, construcción física, ganancia, ancho de banda, precio, etc. Los criterios de selección de antena pueden apreciarse en las siguientes imágenes:

Browse products based on general categorization:

**Your filter selection**

- Product Type
  - ☒ Point to point antennas
- Frequency, GHz
  - ☒ 7.125 - 8.5
- Diameter, ft (m)
  - ☒ 4 (1.2)

Product Type Choose filter option ▼

Frequency, GHz Choose filter option ▼

Diameter, ft (m) Choose filter option ▼

Profile Choose filter option ▼

Performance Choose filter option ▼

Polarization Choose filter option ▼

Regulatory Compliance Choose filter option ▼

Imagen 9. Criterios de selección en el catálogo de productos RFS

Fuente: Radio Frequencies System. (Julio 2015). <http://www.rfsworld.com/product-solutions-results.560.1.html&sol=3112&pt=67933>

Diameter, ft (m)

Choose filter option ▼

- Choose filter option
- 0,5 (0,15)
- 1 (0,3)
- 10 (3)
- 12 (3,7)
- 15 (4,6)
- 2 (0,6)
- 3 (0,9)
- 4 (1,2)
- 6 (1,8)
- 8 (2,4)

Profile

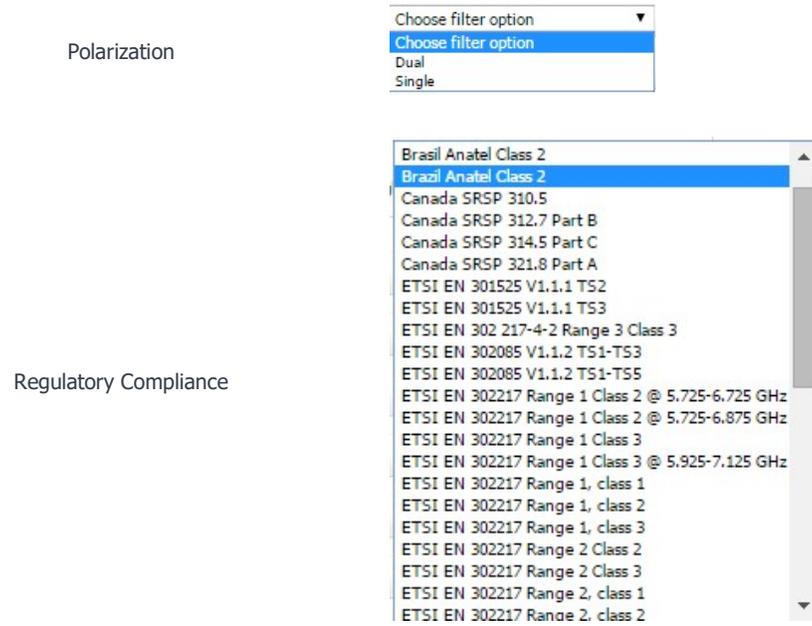
Choose filter option ▼

- Choose filter option
- CompactLine
- CompactLineEasy
- Flat Panel
- HarshAreasLine
- Lens
- PrimeLine
- SlimLine
- TrunkLine

Performance

Choose filter option ▼

- Choose filter option
- High
- Improved Performance
- Standard
- Ultra High
- Ultra High, High Cross Polar Discrimination



**Imagen 10. Selección de productos en el catálogo de productos RFS**

Fuente: Radio Frequencies System. (Julio 2015). <http://www.rfsworld.com/product-solutions-results,560,1.html&sol=3112&pt=67933>

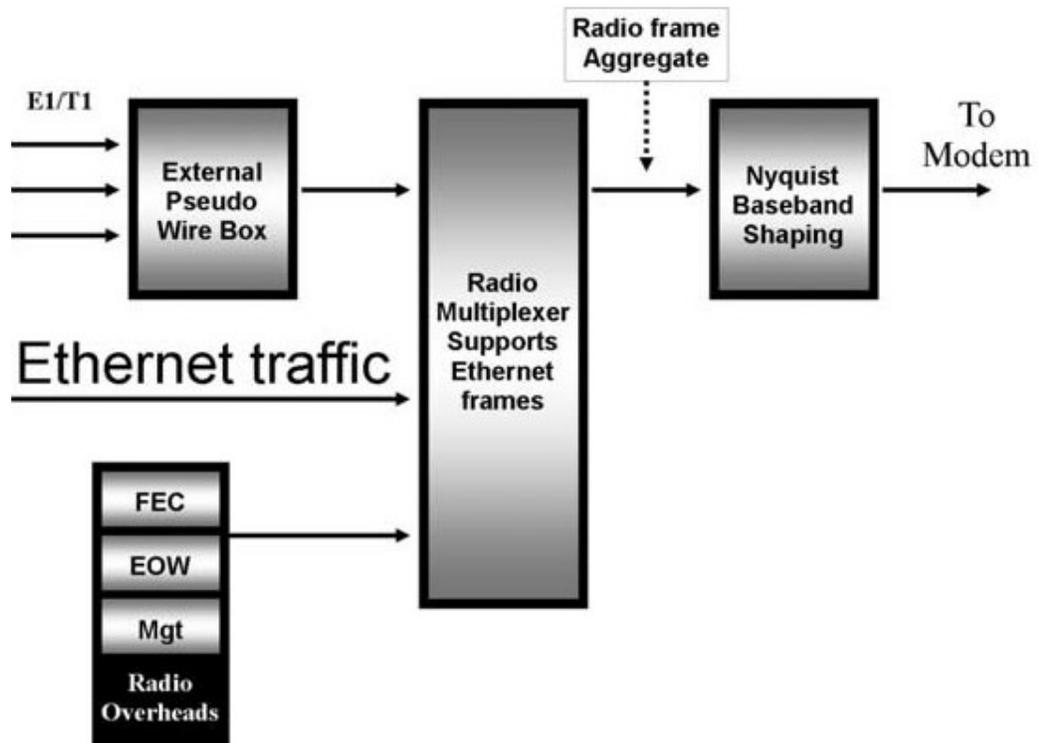
Selection	See product details	Model Number	Product Name	Profile	Performance
		▲ ▼	▲ ▼	▲ ▼	▲ ▼
<input type="checkbox"/>		SB4-W71BB	CompactLine Antenna, Ultra High Performance, Single Polarized, 4 ft	CompactLine	Ultra High
<input type="checkbox"/>		SB4-W71BB2	CompactLine Antenna, Ultra High Performance, Single Polarized, 4 ft	CompactLine	Ultra High
<input type="checkbox"/>		SB4-W71BC	CompactLine Antenna, Ultra High Performance, Single Polarized, 4 ft	CompactLine	Ultra High
<input type="checkbox"/>		SB4-W71BD	CompactLine Antenna, Ultra High Performance, Single Polarized, 4 ft	CompactLine	Ultra High
<input type="checkbox"/>		SB4-W71BD2	CompactLine Antenna, Ultra High Performance, Single Polarized, 4 ft	CompactLine	Ultra High
<input type="checkbox"/>		SB4-W71CB	CompactLine Antenna, Ultra High Performance, Single Polarized, 4 ft	CompactLine	Ultra High
<input type="checkbox"/>		SB4-W71CB2	CompactLine Antenna, Ultra High Performance, Single Polarized, 4 ft	CompactLine	Ultra High
<input type="checkbox"/>		SB4-W71CC	CompactLine Antenna, Ultra High Performance, Single Polarized, 4 ft	CompactLine	Ultra High
<input type="checkbox"/>		SB4-W71CD	CompactLine Antenna, Ultra High Performance, Single Polarized, 4 ft	CompactLine	Ultra High
<input type="checkbox"/>		SB4-W71CD2	CompactLine Antenna, Ultra High Performance, Single Polarized, 4 ft	CompactLine	Ultra High

See product details legend

Add to my e-Catalog
 Download PDF datasheet
 View related documents
 See related Products

**Imagen 11. Criterios de selección en el catálogo de productos RFS**

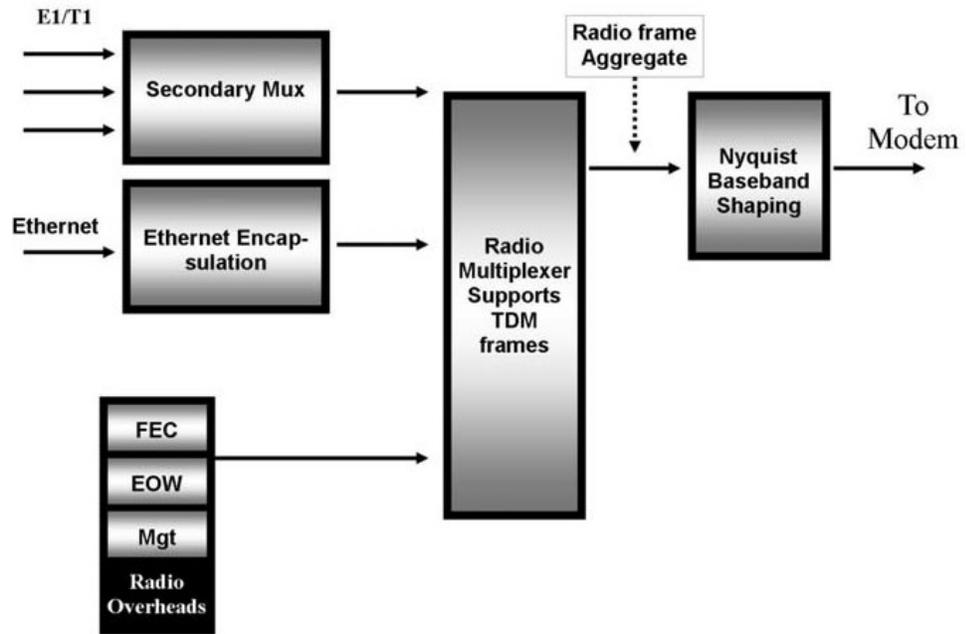
Fuente: Radio Frequencies System. (Julio 2015). <http://www.rfsworld.com/product-solutions-results,560,1.html&sol=3112&pt=67933>



**Imagen 12. Diagrama de bloque de Radio Ethernet**

Fuente: MANNING, Trevor. Microwave Radio Transmission Design Guide. Segunda Edición. (Londres, Artec House, 2009).

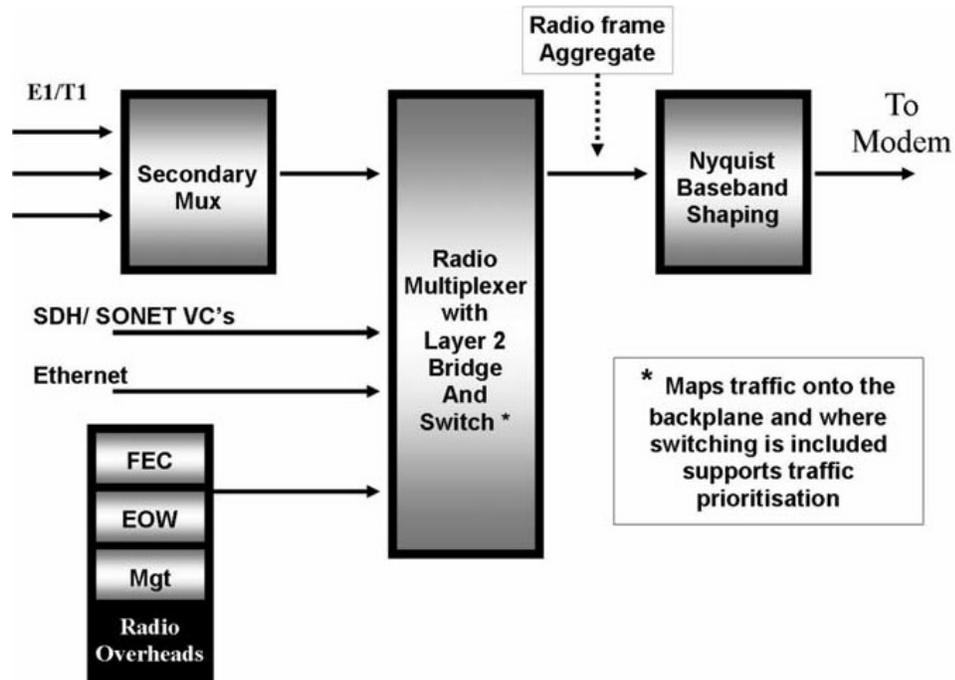
En esta imagen podemos observar las etapas que intervienen cuando el tráfico es puramente de paquetes.



**Imagen 13. Bloque de Radio TDM**

Fuente: MANNING, Trevor. Microwave Radio Transmission Design Guide. Segunda Edición. (Londres, Artec House, 2009).

En esta imagen podemos observar las etapas que intervienen cuando el tráfico es puramente TDM, o sincrónico (SDH/PDH).



**Imagen 14. Bloque de Radio Híbrido.**

Fuente: MANNING, Trevor. Microwave Radio Transmission Design Guide. Segunda Edición. (Londres, Artec House, 2009).

En esta imagen podemos observar las etapas que intervienen cuando el tráfico es combinado entre paquetes, y TDM o síncronico.

### 3 Zona de Fresnel

La “zona de Fresnel” es uno de los principios que se utilizarán en esta Tesis, para determinar la línea de vista entre un transmisor y un receptor, y se calcula con la fórmula a continuación. Se define como el volumen del espacio entre dos puntos interconectados que abarca una fase de 180°, formando un elipsoide; se utiliza para determinar la obstrucción máxima permisible, entre estos dos puntos, cuyo valor no debería superar al 40%. Se calcula:

$$R = C_e \sqrt{\frac{D}{4f}}$$

r R = radio Zona Fresnel

Ce = Zona de Fresnel en metro (Ver tabla imagen 6)

D= Distancia entre el transmisor y el receptor

F= Frecuencia de operación del radioenlace.

Es cómo varía el diámetro de la “zona de Fresnel” a medida que aumenta la distancia entre los puntos a enlazar.

La siguiente tabla muestra la relación entre la constante elipsoidal y la distancia:

Tabla para calcular la zona de Fresnel:

Distancia entre antenas (en Km)	Zona de Fresnel (en metros)
1	3.9
2	5.6
3	7.1
4	8.4
5	9.7
6	11.0
7	12.3
8	13.6
9	15.0
10	16.4
11	17.9
12	19.4
13	21.0
14	22.7
15	24.4
16	26.2
17	28.0
18	29.9
19	31.9
20	34.0
25	45.4
30	58.7

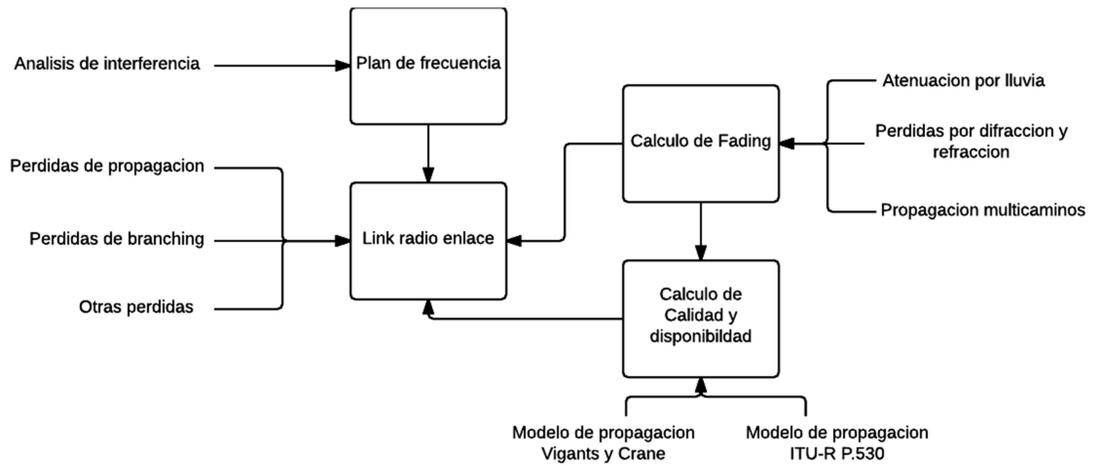
Nota: la zona de Fresnel expresada en la tabla (la que usaremos en la práctica) es calculada según el 70% de la 1ª zona de Fresnel a una frecuencia de 2.4GHz + la curvatura terrestre para cada distancia.

**Imagen 15** -.Tabla que expresa la constante elipsoidal según la distancia en la zona de Fresnel.

Fuente: <http://www.geocities.com/sqrmatrix/radio/propagacion.html?Nav>. Julio 2015.

#### 4 Proceso teórico de “Diseño de radioenlace”

Las actividades principales a desarrollar serán:



**Imagen 16** -.Pasos para el diseño de un link de Microondas

Fuente: Microwave Transmission Networks. Planning, design, and deployment. Harvey Lehpamer. Segunda edición, 2010.

## 4.1 Planificación inicial<sup>6</sup>

### 4.1.1 Determinación del sitio a instalar

Los links de Microwaves permiten muy poco margen de error en las coordenadas geográficas de los sitios, porque cualquier obstrucción entre los radioenlaces es crítica. La tendencia actual es determinar las coordenadas geográficas a través de GPS, aunque puede haber errores debido a las limitaciones que este sistema puede tener.

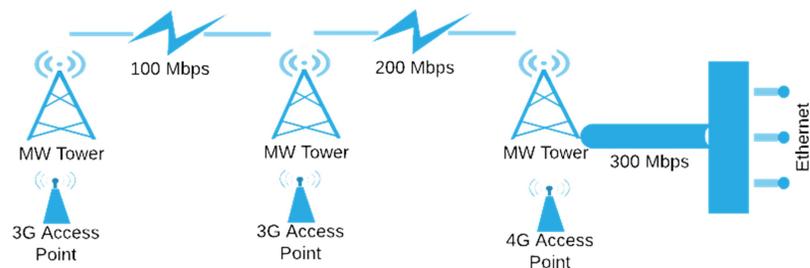
Lo más importante a tener en cuenta cuando se realizan los cálculos de coordenadas geográficas, es que las coordenadas deben tomarse sobre la posición donde irá instalada la antena, y no donde se instalará la unidad Indoor (IDU).

El análisis detallado del perfil geográfico tendrá sentido sólo si la información de la locación del sitio es correcta.

<sup>6</sup> MANNING, Trevor. Microwave Radio Transmission Design Guide. Segunda Edición. (Londres, Artec House, 2009). Pág. 21-41.

#### 4.1.2 Diagrama inicial de la Red

Una vez que las coordenadas del sitio hayan sido establecidas, deben ser plasmadas geográficamente mostrando la lógica del circuito de conexiones, a través de un diagrama de red. La capacidad de la red puede ser determinada agregando el número de circuitos en cada salto, entre varias conexiones punto a punto; capacidad extra debe ser agregada para un sistema de expansión y luego, los requerimientos.



**Imagen 17** -.Diagrama inicial de red  
Fuente Elaboración propia

#### 4.1.3 Mapa de red inicial

Una vez determinados los interconexiones de red y las capacidades, debemos crear un diagrama de los links en la red. Como primera regla debemos pensar que, si algunos de nuestros link se encuentra sin Línea de Vista, hay obstáculos en el espacio existente entre los sitios repetidores, que dificultan la propagación de la onda (se tratará este tema en el punto 6 de este trabajo) y este link no funcionará, por lo que se requerirá un repetidor, o deberemos mover el sitio.

La necesidad de “sitios repetidores”, surge cuando se detecta que existen obstrucciones en la propagación de la señal “microondas” entre emisor y receptor. Su función es re direccionar la señal. Estas obstrucciones se detectan a través del estudio de los perfiles del camino (*ver punto 4.2.4*) y del análisis de los mapas topográficos y de rutas (*ver puntos 4.2.1 y 4.2.3*).

La forma más sencilla para chequear la “línea de vista” (LOS) en los link, en el plan inicial, es considerar que cada salto no superará los 50 km de distancia. En otras palabras, si tenemos una

distancia de 100 km entre dos sitios a interconectar, asumiremos que se requerirá un repetidor entre ambos.

Esta premisa es simplemente para establecer un punto inicial y conocer la cantidad de repetidores que serán necesarios, pero cabe aclarar que en algunos casos pueden implementarse radioenlaces de más de 100 kms con LOS, que serían una excepción de la regla. En esta instancia, se busca establecer un número aproximado de repetidores, y así conocer la cantidad de sitios necesarios para aproximar los costos y las rutas posibles. Este proceso será interactivo y podrá replantearse, ya que un buen diseño de radioenlaces, debe asegurar una confiabilidad de los mismos, además de balancear los costos.

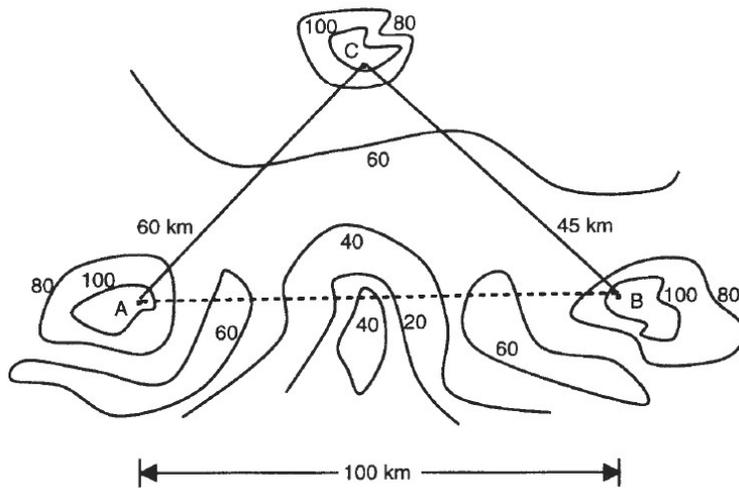
## **4.2 Infraestructura existente y sitios repetidores**

### 4.2.1 Mapas topográficos

Otra forma sencilla de determinar dónde se necesitan repetidores, es dibujar un diagrama de la red de sitios, en un mapa topográfico, con una escala de 1:500,000 o de 1:250,000; es importante tener una escala correcta, para poder lograr una vista completa de la red (ver figura 20).

Una vez que los sitios extremos estén colocados en el mapa, se pueden colocar los repetidores existentes; también es recomendable colocar en el mapa los sitios de otras operadoras, para evaluar si es factible compartir algún sitio. Con todos los sitios colocados en el mapa, utilizando la vista de alto nivel, se podrá determinar si existe algún punto que bloquee la línea de vista; además, también podremos encontrar potenciales puntos para colocar repetidores.

En el caso de enlaces urbanos, se utilizan mapas tridimensionales con fotografías, a una escala de 1:10,000, para identificar posibles sitios repetidores e identificar posibles obstrucciones.



**Imagen 18** - Mapa topográfico

Fuente “Microwave Transmission Networks. Planning, design, and deployment. Harvey Lehpamer. Segunda edición, 2010.

#### 4.2.2 Modelo digital de terreno

Otra forma útil de realizar el plan inicial, es utilizar la herramienta Digital Terrain Modelo (DTM), también llamada Digital Elevation Model (DEM). DTM es una base de datos nacional que resulta en coordenadas por pixel, en cada uno se coloca un promedio de sus elevaciones. Usualmente, los pixel tienen una resolución de 200 m x 200 m, y en algunos casos, se encuentran resoluciones de 50 m x 50 m, o mejores. Los archivos DTM se encuentran disponibles en Internet de manera gratuita, desde el radar Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Éste tiene una exactitud de 3 segundos (90m) para el mundo, y para el caso particular de Estados Unidos, de 1 segundo (30m), y utilizando esta información ya digitalizada, se puede muy rápidamente determinar “LOS” entre dos sitios.

Las bases de datos del proyecto DTM y los programas que lo utilizan, ya se encuentran estandarizados en el mercado para los cálculos de “microondas” y cobertura de “radio bases celular”. Se debe tener mucho cuidado a la hora utilizar esta información para realizar el cálculo de los enlaces, ya que cualquier error en la misma resultaría en grandes costos y pérdidas de dinero.

Una definición de 200m x 200m, no proporciona una resolución suficiente para trazar un perfil de terreno en link críticos, ya que la primera “zona de Fresnel”, tendrá sólo algunas decenas de metros.

Teniendo en cuenta esto, en el resto de los casos será suficiente utilizar estos mapas, sumado a un software de simulación para realizar el plan inicial de enlaces.

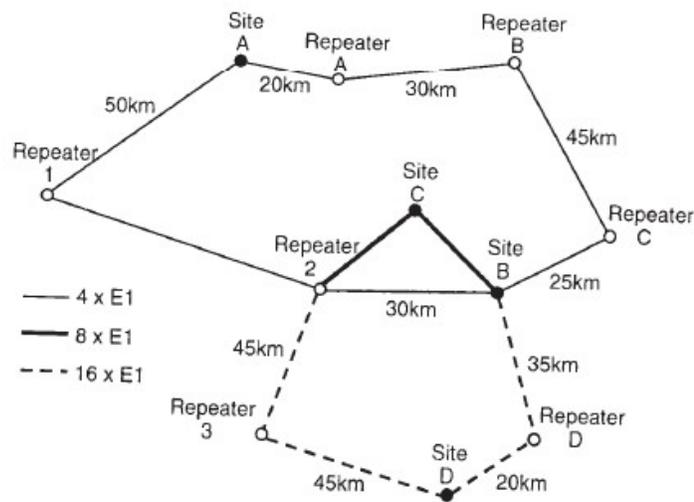
#### 4.2.3 Mapa de ruta

A la hora de planear la ruta de las “microondas”, se deben contemplar varias opciones.

Muchas veces, desde un punto de vista ambiental, es necesario que más de una ruta sea evaluada; la adquisición de los sitios también es un elemento fundamental a la hora del “planning”, por lo que debería ser lo más abierto posible a la hora de tener en cuentas las posibles opciones.

El resultado de este proceso, debería ser un mapa de ruta que muestre la ruta recomendada, con sus posibles repetidoras, más algunas rutas alternativas. Los sitios repetidores son elegidos basados en los criterios de “LOS”, como por ejemplo, saltos demasiado largos.

Otro aspecto importante, es la capacidad que la red requiere, ya que mayores capacidades requieren de esquemas de modulación más complejos, y esto limita el largo de cada salto y, por supuesto, en la topología de red.



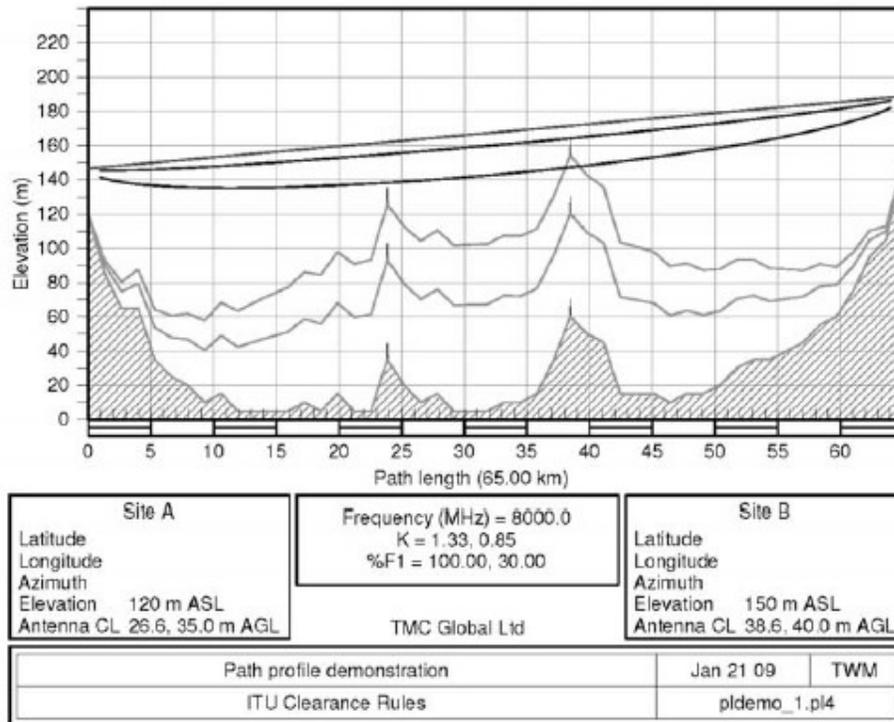
**Imagen 19** -. Mapa de ruta típico

Fuente “Microwave Transmission Networks. Planning, design, and deployment. Harvey Lehpamer. Segunda edición, 2010.

#### 4.2.4 Perfiles del camino

Este punto debe ejecutarse una vez que los mapas de rutas se hayan realizado y los posibles sitios de repetidoras se hayan identificado.

Realizar esta tarea es fundamental en grandes áreas, aunque está cuestionada su funcionalidad en áreas urbanas, ya que en las áreas con grandes espacios entre los sitios, es muy difícil el chequeo físico de las “líneas de vista”. El método más recomendado para estas áreas, es realizar perfiles de camino a través de Pathloss 5 (*ver Anexo I*); esto es una sección cruzada de la superficie de la Tierra entre los dos sitios finales. Los puntos críticos de obstrucción identificados, deben ser chequeados físicamente por obstrucciones adicionales, tales como árboles o edificios.



**Imagen 20-** Perfil de camino realizado en computadora.

Fuente: MANNING, Trevor. Microwave Radio Transmission Design Guide. Segunda Edición. (Londres, Artec House, 2009).

Para producir el mapa del terreno, deben marcarse con regla (preferentemente metálica, para evitar errores) los dos sitios finales en el mapa, dibujar una línea recta entre ambos y las distancias entre ambos puntos deben registrarse.

### 4.3 Causas de Indisponibilidad<sup>7</sup>

Las interrupciones pueden ser consideradas principalmente por problemas en la propagación.

#### *4.3.1 Propagación*

Los cortes relativos a la propagación, que son mayores a 10 segundos, se deben principalmente a tres causas:

##### 4.3.1.1 Pérdida por difracción

Se da por difracción de la señal del radio; si las antenas no están posicionadas lo suficientemente altas sobre el suelo, la señal del radio viajará muy cerca del suelo y se produce la pérdida de la señal. Esto se da cuando una parte de la onda es obstruida por un obstáculo; si esta pérdida causa la atenuación en la recepción, hasta un nivel donde el radio no puede ya demodular la señal, se produce una pérdida. En la práctica, esta pérdida puede evitarse a través de la buena elección de reglas de “línea de vista” e instalación de las antenas en la altura adecuada.

##### 4.3.1.2 Túneles

Es una condición que puede ocurrir si la curvatura de la señal es mayor a la curvatura de la Tierra; bajo esta condición, ocurre el desvanecimiento de la señal y puede durar demasiadas horas. En la práctica, las zonas geográficas que presentan grandes riesgos de pérdidas por túneles, están bien documentadas; cuando sucede esto, puede disminuirse el efecto con la utilización de grandes antenas.

---

<sup>7</sup> MANNING, Trevor. Microwave Radio Transmission Design Guide. Segunda Edición. (Londres, Artec House, 2009). Pág. 51-54.

#### 4.3.1.3 Lluvias

La pérdida de propagación debido a la lluvia es proporcional al promedio de lluvias de la región; es importante notar que lo importante no son las probabilidades de lluvias, sino la cantidad de agua que realmente cae en la región. Las moléculas de agua absorben energía microondas a través del calentamiento, y cuanto mayor sean los tamaños de las gotas que caigan, mayor será la absorción de la señal de microondas. La nieve exhibe menor atenuación, aunque la nieve húmeda tendrá mayor atenuación que la llovizna; también debe tenerse precaución de que no queden nieve o hielo sobre la antena, ya que así la atenuación será mayor; existen cubre-antenas llamados *radomes*, que son generalmente empleados para asegurarse de que estas cosas no pasen. La única manera de mejorar la disponibilidad de la señal, es incrementando la ganancia del sistema, utilizando, por ejemplo, antenas más grandes.

La atenuación es mayor a medida que la frecuencia aumenta; la atenuación por lluvias disminuye por encima de los 10GHz, y es necesario chequearla en links grandes, si la frecuencia es menor a los 10GHz. En la práctica, la atenuación por lluvias es muy severa en las bandas de frecuencia altas, lo cual limita la distancia sobre la cual el radio puede operar.

### 4.4 Protocolos de Comunicaciones Involucrados

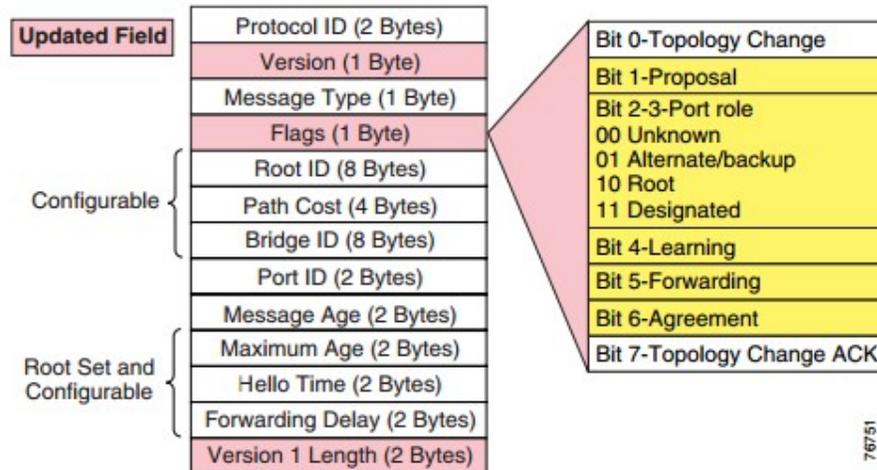
#### 4.4.1 *Spanning Tree (STP)*

*Spanning Tree* es un protocolo de capa 2, cuyo objetivo es garantizar que se impida la creación de bucles en trayectos redundantes en la red; la clave es que todos los switches elijan un “bridge raíz” en la red y que se convierta en el elemento fundamental de la red. Todas las demás decisiones en la red, como por ejemplo, qué puerto se bloquea y qué puerto se coloca en el modo de reenvío, se toman desde la perspectiva de este bridge raíz; un error en el enlace principal, activa los enlaces de respaldo, para que los usuarios puedan continuar utilizando la red<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> CISCO. [Introducción y configuración del Spanning Tree Protocol \(STP\) en los switches Catalyst.](#) (Abril de 2008).

Este protocolo era ampliamente utilizado en los inicios de Ethernet y, la mayoría de las redes antiguas de capa 2, lo implementaron como protocolo de protección; es por eso, que hoy en día, es común encontrarlo en las redes ya desplegadas, aunque sea obsoleto.



**Imagen 21** - Formato RSTP BPDUs.

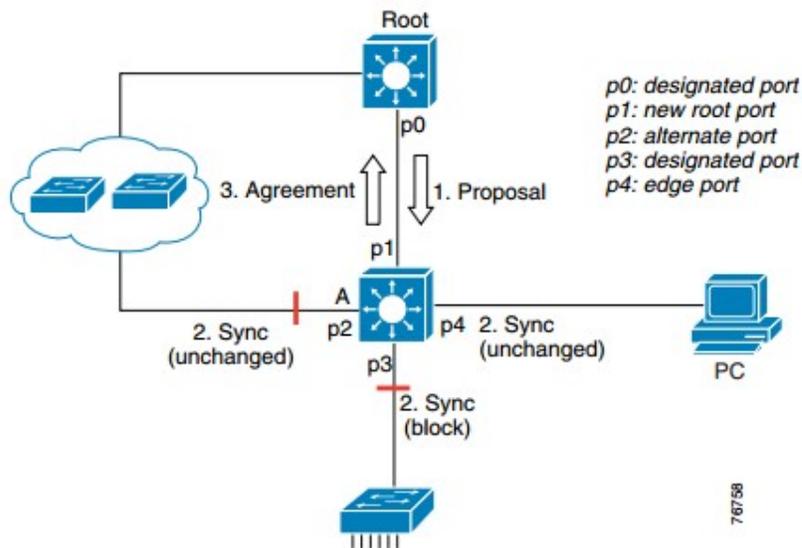
Fuente: (Cisco AVVID Network Infrastructure: Implementing 802.1w and 802.1s in Campus Networks. Cisco. Abril 2003).

Mecanismo de funcionamiento<sup>9</sup>:

Luego de que se instala el link, los puertos p0 y p1 son designados como puertos bloqueados, y ambos envían un RSTP BPDUs con el bit “proposal” activo. Como el Bridge A recibe un BPDUs indicando que el costo del camino superior es mayor, inmediatamente sabe que el nuevo puerto raíz será p1; luego, el Bridge A, se asegura de que todos sus puertos estén en sincronización con la nueva información. Una vez que comprueba que todos sus puertos están sincronizados, el Bridge A puede desbloquear su nuevo puerto raíz p1 y responder a la raíz enviando un mensaje “Agreement”; éste se asegura de que el puerto p0 sepa qué “Proposal” le corresponde al “Agreement” que recibe.

Una vez que p0 recibe el “Agreement”, puede hacer inmediatamente la transición a “Forwarding”.

<sup>9</sup> CISCO. AVVID Network Infrastructure: Implementing 802.1w and 802.1s in Campus Networks. (Abril de 2003).



**Imagen 22 .** Formato RSTP BPDU.

Fuente: Cisco AVVID Network Infrastructure: Implementing 802.1w and 802.1s in Campus Networks.  
Cisco. Abril 2003

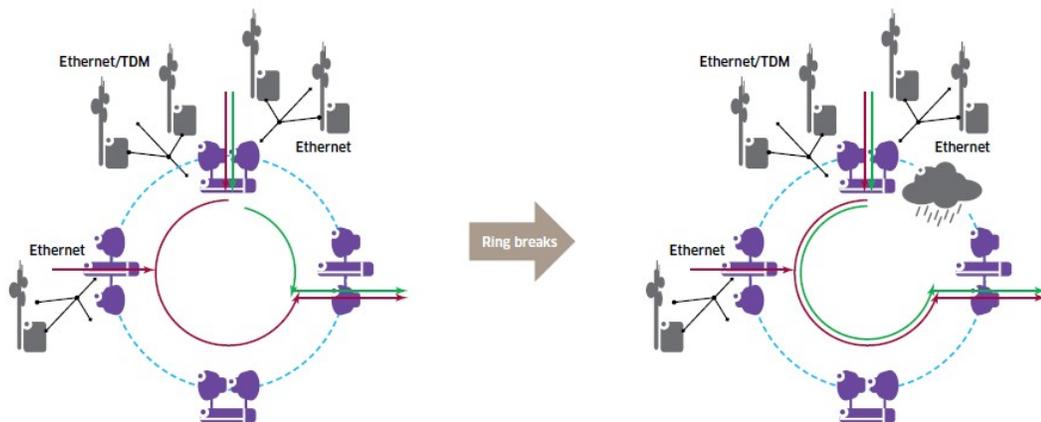
#### 4.4.2 Ethernet Ring Protection (ERP)

Este protocolo define una topología de nodos en anillo formando un loop físico. Cada nodo Ethernet está conectado a dos nodos adyacentes del anillo, a través de una conexión dúplex; el número mínimo de nodos es de 3 y su máximo, de 16.

Este protocolo es ampliamente utilizado en los radioenlaces de manera que, si un nodo queda inaccesible/indisponible, permite que el anillo cierre por otro camino.

En este protocolo existe una entidad llamada “EPRS”, cuya función es proteger las sub-redes de VLAN que transportan el tráfico; cada instancia de “EPRS”, es independiente de otras instancias de EPRS.

A continuación, se muestra la operación de las redes de anillos bajo normalidad y bajo funcionamiento con fallas.



**Imagen 23 .** Funcionamiento normal y con fallas de una red en anillo con protección ERP.  
Fuente: Alcatel-Lucent. “Microwave Ethernet Ring Protection”.

Cuando se detecta una falla de link en el anillo, el protocolo *Ethernet Ring Protection* permite que los flujos de VLAN se re direccionen hacia el flujo de información, en la dirección opuesta por el link de protección de anillo (RPL), evitando así el corte de envío de información dentro del mismo.

Este protocolo está certificado por la ITU-T (The International Telecommunications Union) como “carrier grade”, ya que garantiza una recuperación ante una falla, en menos de 50 milisegundos. Está tomando impulso en las operadoras que desean transportar el tráfico de datos 3G/LTE en su backhaul de fibra óptica y microondas, porque mejora algunos aspectos con respecto a Spanning Tree, en cuanto al tiempo de recuperación ante una falla y al ancho de banda consumido para su gestión. Además, posee características que permiten a los operadores configurar el mismo a través de comandos, lo cual mejora el control y mantenimiento de la red.

#### 4.4.3 Link aggregation (LAG 802.1ax)

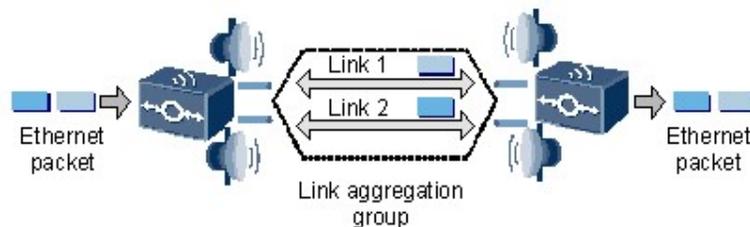
El protocolo *LAG* nos permite formar un grupo de interfaces físicas creando un link virtual de mayor capacidad, de manera que se pueda transmitir por la interfaz de aire todo el tráfico a través de un solo link.

Esto nos provee de las siguientes funciones:

1. Aumento del ancho de banda: agregando múltiples links físicos a un link lógico, el ancho de banda que se genera es igual a la suma total de ancho de banda proveído por los múltiples

links físicos. El módulo de agregación distribuye el tráfico dentro de los miembros del grupo, usando un algoritmo de balanceo de carga y logrando compartir la carga a lo largo de todo el link.

2. Incremento de la disponibilidad: los miembros en un *LAG*, proveen un backup dinámico para el resto; cuando un link falla, el otro toma su lugar rápidamente. El proceso de empezar el backup del link está relacionado sólo con los links del mismo *LAG*.



**Imagen 24 .** Link con agregación de paquetes Ethernet

Fuente: Huawei. "OptiX RTN 950 Product Documentation " V04. 30 de Agosto de 2013.

#### 4.4.4 VLAN Tagging (IQ y QinQ)<sup>10</sup>

Se utiliza QinQ para transportar paquetes privados sobre redes públicas, por ejemplo redes de operadores, y esto se logra utilizando tags de VLANs; además, provee túneles privados virtuales (VPN) de capa 2.

Comparado con MPLS, este protocolo nos provee una solución de capa 2 más barata y fácil de implementar. Los servicios son diferenciados utilizando dos Tags de VLAN en los paquetes; por un lado tenemos los C-VLAN (Customer VLAN) y, por otro, los S-VLAN (Service VLAN)

Los beneficios son:

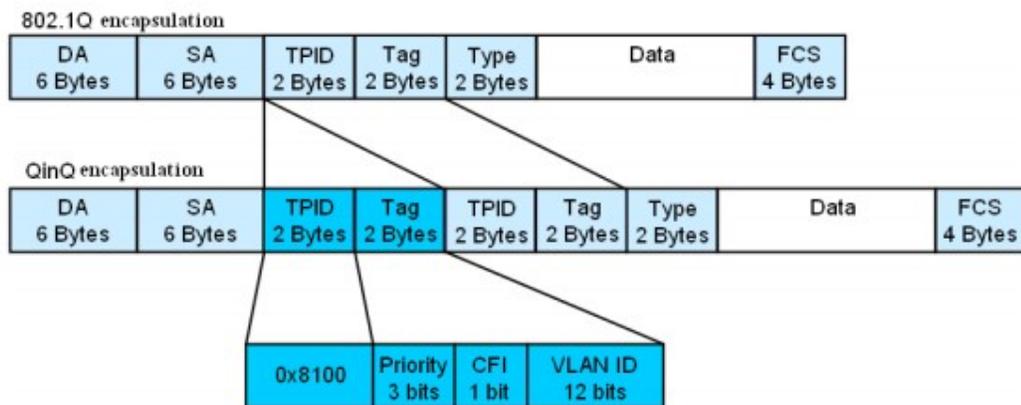
- El número de VLAN IDs puede alcanzar los 4094 x 4094.
- Los clientes y los operadores pueden generar VLAN independiente y flexiblemente, por lo que resulta en una configuración y mantenimiento más simple.

<sup>10</sup> HUAWEI. VLAN and QinQ Technology. White Paper. (Octubre de 2012).

- Los servicios de Ethernet pueden ser extendidos desde LAN a WANs de forma sencilla.

En QinQ existen tres tipos de tagging:

- C-TAG
- C-TAG + S-TAG
- S-TAG



**Imagen 25 .** Formato de paquetes QinQ  
Fuente:Huawei. “VLAN and QinQ Technology”.

DA = Destination MAC Address

SA = Source MAC Address

TYPE = Indicates the protocol type of the frame

PRIORITY = Representa el 802.1P. La longitud es de 3 bits

CFI = Canonical Format Indicator

TPID = TAG Protocol Identifier

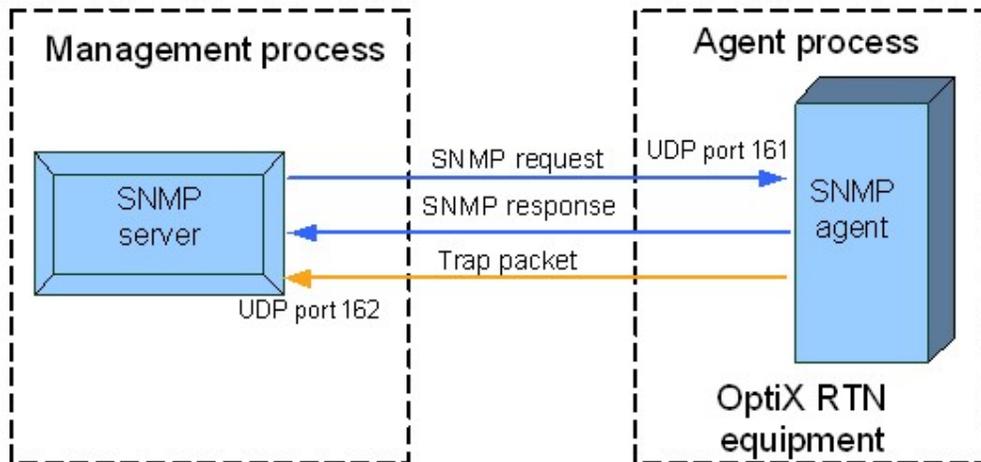
PCP = Priority Code Point

DEI = Drop Eligible Indicator

VID = VLAN ID

#### 4.4.5 SNMP

El *SNMP* transmite información, usando un modelo que consiste en un proceso de management y un proceso agente.



**Imagen 26 .** Modelo SNMP

Fuente: Huawei. "OptiX RTN 950 Product Documentation" V04. 30 de Agosto de 2013.

Las funciones soportadas son:

- Reporte de información general e información de servicios sobre un NE.
- Reporte de alarmas y eventos de performance históricos y actuales.
- Envío automático de un paquete SNMP cuando un valor pre-establecido en la performance de un radio enlace excede el umbral monitoreado.
- Reporte automático de un paquete SNMP cuando se reporta una alarma.

## **CAPÍTULO 2 – DESARROLLO**

### **5. Ventajas de una red de datos inalámbrica, punto a punto, en banda licenciada**

Existen múltiples aplicaciones para las redes inalámbricas que se vienen utilizando desde hace mucho tiempo; este uso ha generado un grado de confiabilidad y calidad lo suficientemente alto como para cursar grandes volúmenes de tráfico.

Las redes inalámbricas son de gran utilidad, ya que hacen posible la conexión entre dos puntos, que en muchos casos, resultan físicamente imposible de conectar. Sus mayores avances e inversiones los encontramos en las redes de telefonía celular.

Al mismo tiempo, podemos encontrar que estas redes inalámbricas presentan algunas complicaciones, debido a que el medio de comunicación es muy variado y se puede ver afectado por diversos factores característicos de cada zona, lo que obliga a adaptar el equipamiento a emplear.

Las redes inalámbricas en banda licenciada, tienen varios aspectos particulares que las hacen ideales para las empresas que desean brindar servicios a usuarios, pero no son populares entre usuarios finales, debido a varios aspectos, tales como: el costo de los equipamientos, la escasez de los mismos en el mercado local y el conocimiento técnico que se requiere para su implementación.

Las consideraciones a tener en cuenta a la hora de querer implementar una red de este tipo son varias; se mencionan algunas de ellas y se describen brevemente sus particularidades.

Los primeros aspectos a tener en cuenta al utilizar “banda licenciada”, es determinar qué distancia y qué capacidad se necesitará para implementar dicho enlace. Esto es debido a que la distancia suele estar relacionada con la frecuencia utilizada, y la capacidad, con el ancho de banda del canal y la modulación.

#### *5.1 Distancia y frecuencia*

Cómo determinar la frecuencia dependiendo de la distancia es algo que a simple vista parece muy sencillo.

Principalmente, para determinar la frecuencia, es muy importante tener en consideración dos puntos: las bandas de frecuencia más bajas, como 7 Ghz y 8 Ghz, suelen estar muy saturadas, y conseguir un canal en estas frecuencias, no suele ser tan fácil. El segundo punto a considerar es que, estas bandas, al estar muy saturadas, comúnmente reciben interferencias de otro radioenlace ya instalado.

Si tratáramos de establecer una regla sobre la determinación de las frecuencias para los radioenlaces, podemos decir que, dependiendo de los factores climáticos y de la topografía de cada terreno, como así también de las parábolas a emplear, normalmente se utilizan las siguientes:

- Distancias menores a 3 kms = Frecuencia 80 Ghz a 26 Ghz.
- Distancias entre 3 kms a 15 kms = Frecuencia 23 Ghz a 26 Ghz.
- Distancias entre 15 kms a 30 kms = Frecuencias entre 13 Ghz a 18 Ghz
- Distancias mayores a 30 kms = Frecuencias de 7 Ghz.

En el siguiente gráfico, podemos ver qué diámetro de antena se debe utilizar según las distancias de los radioenlaces, tomando como ejemplo la frecuencia de 23 MHz.



**Imagen 27 .** Relación entre diámetro de antenas y distancia de los radioenlaces.  
Fuente: Software: Raincalc

## 5.2 Canal y Modulación

Determinar el canal y la modulación es un poco más complejo, ya que la frecuencia depende de los canales que se encuentran disponibles en el país, los cuales van desde los 3.5 KHz, hasta los 56 KHz.

Mientras mayor sea el canal, mayor será el ancho de banda que se podrá lograr; por lo general, en las frecuencias más altas, se encuentran disponibles canales mayores.

Por ejemplo, en la Argentina, no se dispone del canal de 56 KHz, ya que no se encuentra habilitado por la CNC, y además suelen ser los más difíciles de conseguir en zonas densamente pobladas.

La modulación de los equipos que se pueden conseguir en el mercado, va desde PSK hasta los 512 QAM; algunas compañías ya ofrecen 1024 QAM, aunque esta última todavía no está estandarizada en el mercado.

Es muy importante a la hora de elegir la frecuencia y el canal a utilizar, que se disponga de los mismos en la zona a ser utilizados; para esto se debe recurrir a la CNC (Comisión Nacional de Comunicaciones), organismo que se encarga de regular qué equipo está operando en cada lugar y en qué frecuencia lo hace, como así también asegurarse de que no presenten interferencias entre sí.

Para otorgar una licencia, se debe presentar la documentación pertinente, que luego la CNC se encarga de evaluar para asignar al requirente la frecuencia a utilizar, según la frecuencia del radioenlace a implementar.

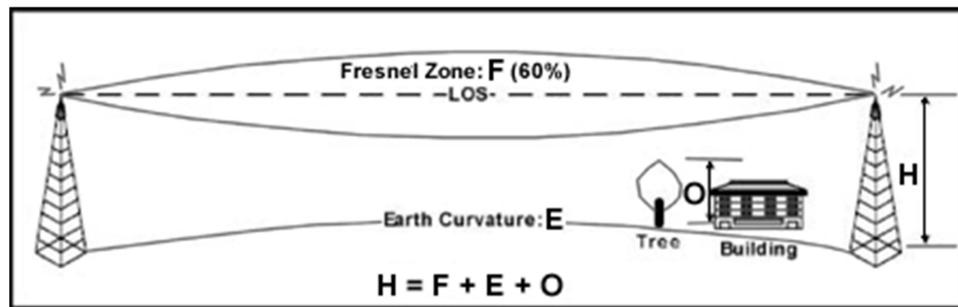
Por todo esto, es que se exige un análisis interferente cada vez que alguien presenta un requerimiento de frecuencia para ser usado en una zona determinada. Este trámite suele ser bastante burocrático y se exige que quien realice dicho análisis, se encuentre registrado en el Consejo de Ingeniería de Telecomunicaciones, Electrónica y Computación (COPITEC), para lo cual también se debe pagar.

## 6. Métodos de determinación de factibilidad de enlaces y equipamiento

Los factores principales para determinar si un enlace es factible o no, principalmente son dos: por un lado, tenemos la *línea de vista* entre los puntos a interconectar, y en segunda instancia, *la distancia y la existencia de espejos de agua entre los puntos a interconectar*.

### 6.1 Línea de Vista

La “línea de vista” es una línea recta imaginaria, que se traza desde la antena emisora hasta la antena receptora, y se encuadra dentro de la Zona de Fresnel; ésta indica los obstáculos que pueden presentarse en la zona intermedia entre la antena transmisora y la receptora. Si a lo largo de la “línea de vista” no existen obstáculos, esto indicaría que la Zona de Fresnel no se ve afectada y que la factibilidad del enlace es positiva.



**Imagen 28 .** Línea de vista de la Zona de Fresnel  
Fuente: <http://www.ds3comunicaciones.com> (Julio 2015)

La determinación de la “línea de vista” puede hacerse por dos métodos:

- a) De forma visual: lo cual implica una visita hasta la zona en donde se requiere instalar el radioenlace, y simplemente subiendo a la estructura y valiéndose de binoculares, intentar divisar los extremos a interconectar, siempre que el enlace sea menor a 10 kms.
- b) En el caso contrario, es decir, cuando la distancia del enlace es mayor a 10 kms, deberá recurrirse a un software que permita observar los perfiles del terreno, tales como Google Earth, o algún otro que permita cargar mapas, como por ejemplo, Pathloss.

A estos programas se les pueden cargar archivos de cartografías, los cuales se obtienen gratuitamente de páginas como la de la NASA (<http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>); la misma requiere que se esté registrado, y luego permita seleccionar la porción de terreno a analizar desde el mapa.

Otra fuente puede ser USGS ([http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2\\_1/SRTM30](http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM30)), en la cual pueden encontrarse mapas con una exactitud de entre 30 cms a 3 cms; habitualmente, resulta

suficiente descargar aquellos mapas de 30 cms.

Un punto importante a tener en cuenta, es que estos mapas están ordenados por latitud y longitud, por lo que es muy importante conocer de antemano las coordenadas de los puntos a interconectar.

Por último, queda mencionar que es posible realizar un enlace sin “línea de vista”, mediante rebote en algún pasivo que refleje las ondas electromagnéticas, lo cual es muy común en zonas montañosas.

### *6.2 Distancia y Espejos de Agua*

Los otros factores importantes a tener en cuenta a la hora de determinar la factibilidad del enlace, son la distancia y la existencia de espejos de agua entre los puntos a interconectar. Estos aspectos son muy sencillos de corroborar mediante simple sentido común, pero en caso de estar en duda, se puede recurrir al método mediante el software llamado Pathloss 5.0, que resulta más complejo que los anteriores.

Una vez determinada la factibilidad del enlace mediante los métodos mencionados anteriormente, se deberá realizar un cálculo que determinará el equipamiento a emplear y las características del enlace a implementar. Este tema se desarrolla en detalle en el capítulo “Proceso Típico de Implementación de redes inalámbricas licenciadas”.

### *6.3 Reflexiones*

Las reflexiones que encontramos en las redes “microondas”, generalmente son causadas por espejos de agua.

Al realizar los estudios de propagación, es muy difícil determinar cuándo se presentarán estos fenómenos, ya que muchas veces, en los mapas topográficos con los que se suelen trabajar, estos espejos de agua no suelen estar definidos. Además, fenómenos como la evaporación, generan constantes cambios en las superficies en las que las ondas electromagnéticas se reflejan.

Como plan alternativo, ante la posibilidad de encontrarse con espejos de agua en el terreno en donde se decide realizar la implementación (sobre todo en aquellos lugares donde por las condiciones climáticas este tipo de fenómenos son más comunes, por ejemplo, la Pampa húmeda), y como condición para mitigar este riesgo, se recomienda que se utilicen radioenlaces con configuración de diversidad espacial, lo que implica la implementación de dos antenas, tanto en el

equipo emisor como en el equipo receptor. La colocación de ambas antenas debe realizarse a una distancia de 10 metros entre una y otra, y como mínimo a una distancia proporcional a 1 longitud de onda de la frecuencia transmitida.

De esta manera, la diversidad espacial nos permite realizar la transmisión de la información como si fueran dos canales independientes, logrando así la redundancia de información y la selección de la misma en el extremo receptor, y eligiendo de esta forma, aquella señal con menor desvanecimiento.

Otra forma de evitar las reflexiones del terreno, es utilizar antenas con gran directividad o levemente apuntadas hacia arriba.

#### *6.4 Frecuencia, canal y modulación para evitar interferencias*

Para evitar estar interferidos por otros radio enlaces adyacentes es fundamental elegir una frecuencia y un canal adecuados, para ello debe descargarse la base de datos de la CNC desde:

[http://www.aftic.gob.ar/registro-de-asignaciones-de-frecuencias-en-bandas-de-microondas\\_p552](http://www.aftic.gob.ar/registro-de-asignaciones-de-frecuencias-en-bandas-de-microondas_p552)

Haciendo click en:



En esta base de datos se encuentra toda la información referente a los radio enlaces ya instalados y operativos en todo el territorio nacional, así como también podemos encontrar información relativa a: Código de la Banda, Frecuencia de TX y RX, longitud/latitud, anchura de la banda (Mhz) y potencia de transmisión.

Con todos esos datos debemos realizar una estimación de a qué distancia que se encuentran los radio enlaces más cercanos y determinar en qué frecuencia y canal podremos implementar nuestro proyecto. Además acorde a estos parámetros podremos seleccionar la modulación que se encuentre disponible para utilizar.

### **7. Estructura de las antenas**

Dependiendo del tipo de estructura sobre la cual se realizará el anclaje de la antena, que suelen ser torres auto soportadas, mono postes, y en la mayoría de los casos, torres arriestradas, es muy importante considerar las ráfagas de viento de la zona en la que se encontrará el radioenlace; esto se debe a que es muy frecuente que, como consecuencia de esas ráfagas de viento, las antenas se desalineen, lo que, con el paso del tiempo, produce que la calidad del enlace se vea afectada. Por

esto, es fundamental a la hora de la implementación, tener en cuenta el tipo de soporte que se utilizará.

Dependerá del conocimiento de quien releva el terreno, proveer el reporte específico relativo a las ráfagas de viento, ya que no suele encontrarse información documentada sobre las mismas, y esto es lo que determinará el anclaje a utilizar en la implementación de las antenas.

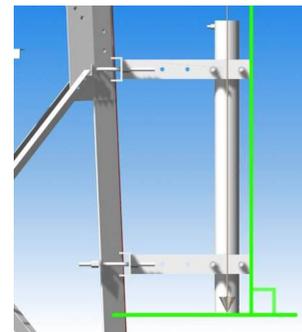
En las regiones donde se encuentren ráfagas de viento superiores a 80 Km/H, el criterio para definir los soportes a utilizar es el siguiente:

Diámetro de la antena	Tipo de soporte
0,3	Soporte tipo "Y" simple
0,6	
0,9	Soporte tipo "Y" reforzado
1,2	
1,8	Soporte Face Mount
2,4	

**Imagen 29** . Relación diámetro de antena y soporte a utilizar.  
Fuente: Elaboracion propia



Soporte tipo "Y" simple

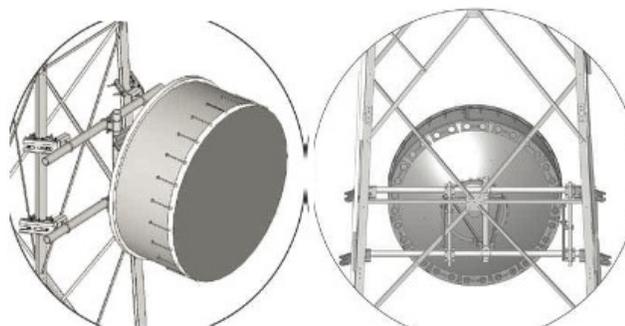




Soporte  
tipo "Y"  
reforzado



Soporte  
face  
Mount



**Imagen 30 . Soportes de antenas**

Fuente: Elaboracion propia y COMMSCOPE - Microwave Planners Guide - Structural Support Products. Julio 2015.

## **8. Protocolos de comunicaciones involucrados**

### *8.1 Spanning Tree (STP)*

El problema de este protocolo recae en la ineficacia de los tiempos de respuesta ante fallas, con lo cual, los fabricantes de equipos de microondas, lo están discontinuando. La ineficiencia se debe a que cuando un enlace falla, el resto de los equipos que utilizan ese camino para alcanzar otros puntos de la red, demoran demasiado en ser informados, por lo que se pierden muchos paquetes hasta comenzar a utilizar otro camino. Los tiempos de convergencia del Spanning Tree son: 15 segundos escuchando, 15 segundos para aprender y 20 segundos de timeout, lo que impide alcanzar los tiempos de convergencia estándar en las redes actuales.

Este punto es importante a tener en cuenta, dado que a la hora de implementar un radioenlace, probablemente este protocolo no sea soportado por los nuevos equipos a instalar.

### *8.2 Ethernet Ring Protection (ERP)*

Varios de los fabricantes de equipos, actualmente soportan este protocolo, en lugar de Spanning Tree, ya que el mismo se ha convertido en un estándar a la hora de la implementación de nuevas redes de microondas.

### *8.3 Link aggregation (LAG 802.1ax)*

Debe tenerse en cuenta que al utilizar este protocolo, no podremos utilizar QinQ; además no todas las unidades IDU (Internal Distribution Unit) pueden soportar este protocolo (por lo general las versiones más básicas no lo resisten).

### *8.4 VLAN Tagging (IQ y QinQ)*

Es importante tener en cuenta, a la hora de pensar en utilizar este protocolo, que la mayoría de los fabricantes tienen problemas de compatibilidad entre *QinQ* y *Link aggregation*. Los puertos de interfaz por lo general sólo soportan un modo de operación, y debe elegirse entre utilizar uno u otro.

### *8.5 SNMP*

Es importante tener en cuenta que los equipos de radio deben soportar este protocolo y poder reportar las alarmas y estadísticas a gestores no propietarios, es decir, el formato abierto y estándar. Existen varias versiones de este protocolo, siendo la más popular la versión 3.

A su vez, debe tenerse en cuenta el formato en que estos equipos reportan dicha información al software de gestión; a este formato se le llama MIB (Management Information Base). Es por ello que es fundamental requerir al fabricante del equipo de radioenlace, la documentación en donde se especifique el formato en el que reportan sus alarmas y estadísticas, llamados archivos MIB.

#### *8.6 Radio PDH vs Radio de Paquetes*

Uno de los primeros problemas con que nos encontramos cuando se quiere realizar una implementación de radioenlace, es que muchos de éstos, ya instalados, son radioenlaces PDH, los cuales, por las bajas modulaciones empleadas, permiten grandes distancias; y a la hora de renovar el equipamiento, generalmente se quiere cubrir las mismas distancias, pero con mayor throughput, lo que implica aumentar la modulación. Ésta suele ser una problemática difícil de resolver; la mayoría de las veces se necesita colocar radioenlaces intermedios para contrarrestar la disminución en la distancia cubierta, causada por los radioenlaces nuevos, y a su vez, poder cubrir el throughput que se necesita.

### **9. Proceso Típico de “Implementación de redes de microondas en banda licenciada”**

Lo primero que se debe hacer al implementar una red de radioenlaces de banda licenciada, es realizar la simulación del enlace con un software de simulación.

Los datos que se necesitan tener antes de comenzar con la simulación son:

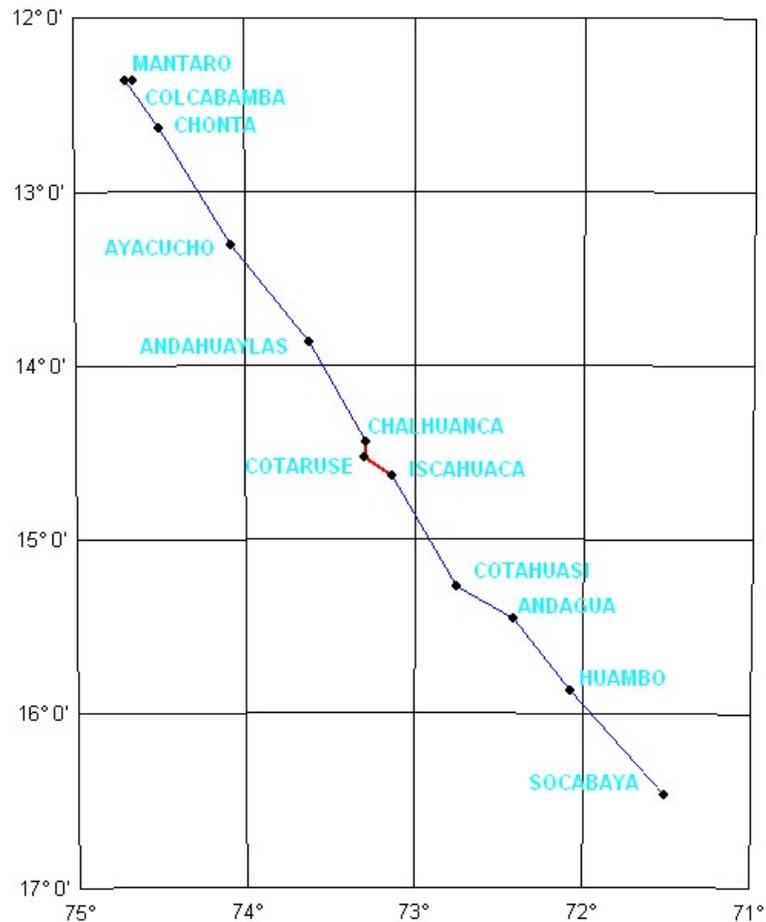
9.1 Latitud y longitud de los sitios a enlazar dentro de la red

Site Name	Latitude	Longitude
MANTARO	74° 38' 55.1"	12° 21' 22.5"
COLCABAMBA	74° 41' 30.1"	12° 21' 49.7"
CHONTA	74° 29' 53.1"	12° 38' 12.3"
AYACUCHO	74° 04' 36.4"	13° 18' 15.6"
ANDAHUAYLAS	73° 37' 18.1"	13° 51' 44.4"
CHALHUANCA	73° 17' 10.8"	14° 26' 43.4"
COTARUSE	73° 17' 55.5"	14° 31' 49.3"
ISCAHUACA	73° 08' 09.2"	14° 38' 23.8"
COTAHUASI	72° 44' 54.0"	15° 16' 19.2"
ANDAGUA	72° 24' 36.2"	15° 27' 28.7"
HUAMBO	72° 04' 24.1"	15° 52' 16.7"
SOCABAYA	71° 30' 55.7"	16° 28' 19.3"

**Imagen 31 .** Definición de estaciones y coordenadas

Fuente: Alcatel-Lucent. "Radioenlaces 9500MPR". Dimensionamiento de infraestructura de red Internexa (Perú). Octubre 2012.

## 9.2 Diagrama de red



**Imagen 32 .** Diagrama de red Pathloss

Fuente: Alcatel-Lucent. "Radioenlaces 9500MPR". Dimensionamiento de infraestructura de red Internexa (Perú). Octubre 2012.

Es importante realizar también el diagrama de red en Google Earth, ya que éste nos muestra las características geográficas del terreno en donde se realizará la implementación de los radioenlaces; también nos permite ver si existen imperfecciones en el terreno que podrían llegar a afectar la efectividad de la implementación.

Esto se realiza ingresando las coordenadas establecidas en el punto anterior, en Google Earth, quien nos devuelve el siguiente esquema:



**Imagen 33 .** Diagrama de red Google Earth  
Fuente: Alcatel-Lucent. “Radioenlaces 9500MPR”. Dimensionamiento de infraestructura de red Internexa (Perú). Octubre 2012.

### 9.3 Compromiso en el cumplimiento de objetivos de calidad y disponibilidad

La *calidad* es la cantidad de errores recibidos sobre una unidad de tiempo y se mide en BER (Bit Error Rate); los valores de BER usuales esperados en un radioenlace, son  $10^{-3}$  y  $10^{-6}$ .

La *disponibilidad* del enlace estará determinada por la cantidad de tiempo máximo que el radioenlace podría encontrarse indisponible. Se entiende por “indisponible”, el tiempo en el cual el radioenlace no estará en la modulación que se espera; esto puede ser que se encuentre en modulaciones inferiores, o en estado “loss of signal” (LOS). La “indisponibilidad” puede medirse en segundos por año, y la “disponibilidad” es medida en porcentaje, es decir el porcentaje de tiempo en que se encuentre funcionando en la modulación para la cual realizó el reporte de transmisión.

Los factores que afectan a la *disponibilidad* son por fallas de equipos y por lluvias.

### 9.4 Optimización de la selección del equipamiento reduciendo los costos

En este sentido, se deben tener en cuenta diferentes métodos para la optimización de los costos, en cuanto al *equipamiento a instalar*, antes y durante la implementación de los radioenlaces. Un punto fundamental a tener en cuenta, es el tamaño de las antenas; en general, se utilizan las más pequeñas, ya que si se eligen antenas grandes, como por ejemplo, de 3 mts de diámetro, se tienen que utilizar camiones especiales para trasladarlas al sitio de instalación, así como también grúas especiales para subirlas a las estructuras, lo cual incrementa los costos de implementación.

Si se tiene que elegir entre instalar una ODU HP (High Power), o incrementar el tamaño de las antenas, es conveniente optar por la primera opción, ya que de esta forma se reducen los costos de la implementación.

#### 9.5 Hipótesis adoptadas para el cálculo del radioenlace

Para la realización del cálculo del radioenlace, deben establecerse las siguientes hipótesis:

- Para los canalizados deben evaluarse las frecuencias y sus respectivos canalizados, que se encuentran disponibles en la zona a implementar el radioenlace. En nuestro caso “ejemplo” se encuentran disponibles, y asignamos frecuencia 7 Ghz y canalización 28 Mhz, o 15 Ghz y canalización 28 Mhz.
- Los parámetros geo climáticos, las características del terreno y la probabilidad de gradiente de cada región, se deben determinar teniendo en cuenta el método ITU-R 530-7/8 (para el ejemplo en cuestión se utilizó la zona K).

Con las hipótesis de dimensionamiento se llega a los siguientes resultados:

Nº	ESTACIÓN A	ESTACIÓN B	CONFIGURACIÓN	ANTENAS
1	COLCABAMBA	MANTARO	1+0	2x0.3m
2	COLCABAMBA	CHONTA	1+0	2x0.9m
3	CHONTA	AYACUCHO	1+1HSBSSpaceDiversity	2x1.2 / 2x0.9m
4	AYACUCHO	ANDAHUAYLAS	1+1HSBSSpaceDiversity	2x1.2 / 2x0.9m
5	ANDAHUAYLAS	CHALHUANCA	1+0	2x2.4m
6	COTARUSE	CHALHUANCA	1+0	2x0.6m
7	COTARUSE	ISCAHUACA	1+0	2x1.2m
8	ISCAHUACA	COTAHUASI	1+1HSBSSpaceDiversity	2x1.2m / 2x0.9m
9	COTAHUASI	ANDAGUA	1+0	2x0.9m
10	ANDAGUA	HUAMBO	1+0	2x1.2m
11	HUAMBO	SOCABAYA	1+0	2x2.4m

**Imagen 34 . Datos de salida**

Fuente: Alcatel-Lucent. "Radioenlaces 9500MPR". Dimensionamiento de infraestructura de red Internexa (Perú). Octubre 2012.

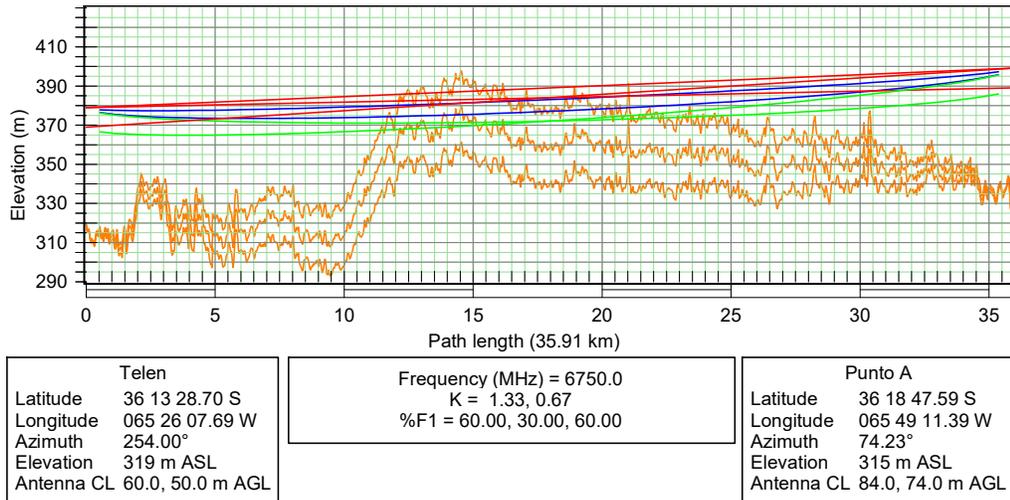
Los pasos para realizar la simulación de implementación de una red de radioenlaces, se encuentran detallados en el [ANEXO I](#).

En el mismo podrán encontrar cómo:

- Cargar datos de los sitios a simular, como así también los perfiles de terreno que se utilizarán.
- Crear los enlaces entre los sitios y calcular el perfil del terreno.
- Determinar la mejor posición (altitud) de las antenas en la estructura.
- Crear el link Budget, especificando información como: ganancia de las antenas, potencia del transmisor, sensibilidad del receptor, pérdida en los conectores y demás aspectos técnicos que afecten al rendimiento del enlace.

Los reportes que ofrece dicho programa, nos permitirán determinar la factibilidad del enlace y encontrar las combinaciones de equipamiento que se ajusten a los requerimientos de disponibilidad y capacidad deseados.

Abajo, podemos encontrar dos ejemplos de información que el programa brinda: determinación del perfil del terreno y reporte de transmisión entre dos radioenlaces.



**Imagen 35 . Perfil de terreno enlace entre sitio “Talen” y sitio “Punto A”.**

Fuente: Alcatel-Lucent. Cotización para cliente Aguas del Colorado. “Troncal de datos inalámbrico para el oeste pampeano”. Julio 2013.

	Telen	Punto A
Latitude	36 13 28.70 S	36 18 47.59 S
Longitude	065 26 07.69 W	065 49 11.39 W
True azimuth (°)	254.00	74.23
Vertical angle (°)	-0.09	-0.15
Elevation (m)	319.01	315.08
Tower height (m)	60.00	110.00
Antenna model	DA 4-65B (TR)	DA 4-65B (TR)
Antenna file name	da 4-65b	da 4-65b
Antenna gain (dBi)	36.00	36.00
Antenna height (m)	60.00	84.00
Antenna model	DA 4-65B (DR)	DA 4-65B (DR)
Antenna file name	da 4-65b	da 4-65b
Antenna gain (dBi)	36.00	36.00
Antenna height (m)	50.00	74.00
Frequency (MHz)	6750.00	
Polarization	Vertical	
Path length (km)	35.91	
Free space loss (dB)	140.16	
Atmospheric absorption loss (dB)	0.33	

	Telen	Punto A
Field margin (dB)	1.00	
Main net path loss (dB)	69.49	69.49
Diversity net path loss (dB)	69.49	69.49
Radio model	U6MPT256_265_S	U6MPT256_265_S
Radio file name	u6mpt256_265_s	u6mpt256_265_s
TX power (dBm)	22.00	22.00
Emission designator	40M0D7W	40M0D7W
EIRP (dBm)	58.00	58.00
RX threshold criteria	1E-6 BER	1E-6 BER
RX threshold level (dBm)	-67.50	-67.50
Main receive signal (dBm)	-47.49	-47.49
Diversity receive signal (dBm)	-47.49	-47.49
Thermal fade margin (dB)	20.01	20.01
Geoclimatic factor	2.802E-006	
Path inclination (mr)	0.56	
Fade occurrence factor (Po)	3.268E-002	
SD improvement factor	31.19	31.19
Worst month multipath availability (%)	99.99894	99.99894
Worst month multipath unavailability (sec)	27.92	27.92
Annual multipath availability (%)	99.99971	99.99971
Annual multipath unavailability (sec)	92.40	92.40
Annual 2 way multipath availability (%)	99.99941	
Annual 2 way multipath unavailability (sec)	184.80	
Polarization	Vertical	
Rain region	ITU Region L	
0.01% rain rate (mm/hr)	60.00	
Rain rate (mm/hr)	261.99	
Flat fade margin - rain (dB)	20.01	
Rain attenuation (dB)	20.01	
Annual rain availability (%)	99.99994	
Annual rain unavailability (min)	0.34	
Annual rain + multipath availability (%)	99.99935	
Annual rain + multipath unavailability (min)	3.42	

Multipath fading method - Rec. ITU-R P.530-7/ 8

Rain fading method - Rec. ITU-R

**Imagen 36 .Reporte de transmisión de los radioenlaces entre los sitios “Telen” y “Punto A”.**  
Fuente: Alcatel-Lucent. Cotización para cliente Aguas del Colorado. “Troncal de datos inalámbrico para el oeste pampeano”. Julio 2013.

Los factores más importantes que deben tomarse en cuenta del reporte de transmisión descripto anteriormente son:

- Worst month multipath availability (%) = este valor nos refleja la disponibilidad del enlace, generalmente con 99,99% suele ser suficiente. Si se requiere de una alta disponibilidad, se espera un valor de 99,999%.
- Main receive signal (dBm) = este valor refleja la potencia que llega al receptor.

## 10. Aspectos físicos para la instalación

### 10.1 Chequeo inicial.

En la instalación, es importante chequear las condiciones físicas, ya que pueden ocurrir algunos cambios en el periodo entre que se realizan los cálculos y se implementa el radio enlace.

- Chequear la altura del soporte de la antena y el azimut.
- Chequear el espacio para la IDU.
- Chequear si el disyuntor cumple con las especificaciones de 16A y -38.4V a 57.6V DC.



**Imagen 37 . Estructuras de montaje. Térmicas de alimentación**  
Fuente: Elaboración Propia.

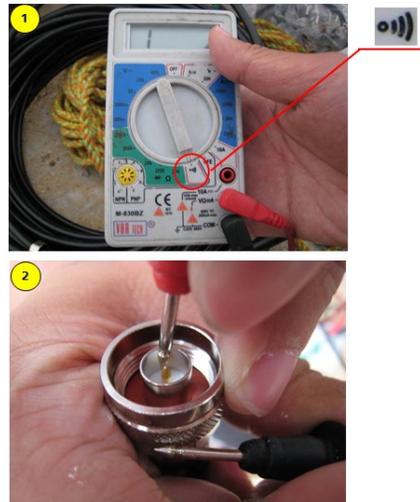
## 10.2 Pasos para el armado de cable RF

1. Poner la tuerca en el cable, y haga un corte en el recubrimiento.
2. Colocar la abrazadera en el final del cable.
3. Colocar hacia atrás el apantallado del cable, y luego ponga la abrazadera entre las capas de apantallado y el aislamiento.
4. Remover el apantallado en 4 mm y corte la parte sobrante.
5. Pelar la capa aislante, hasta obtener 4.5 mm de cable conductor.
6. Ensamblar todas las piezas del conector.



**Imagen 38 .** Armado conector cable IF  
Fuente: Elaboración Propia

7. Setear el multímetro en modo test de continuidad.
8. Conectar una de las puntas del multímetro en el conductor externo del conector; si no escucha un zumbido, quiere decir que el cable está normal, pero si se oye ese sonido, el cable se encuentra en cortocircuito y el conector debe hacerse nuevamente.



**Imagen 39 .** Testeo conector IF  
Fuente: Elaboración Propia.

### 10.3 Pasos para armar un conector RF

1. Marque el cable con cinta de color para identificar cuál cable se conecta a la ODU principal.
2. Coloque el protector de agua en el cable marcado, el cual será conectado a la ODU principal.
3. Proteja el terminal del cable para evitar las roturas durante el ascenso.



**Imagen 40 .** Armado cable RF exterior  
Fuente: Elaboración Propia.

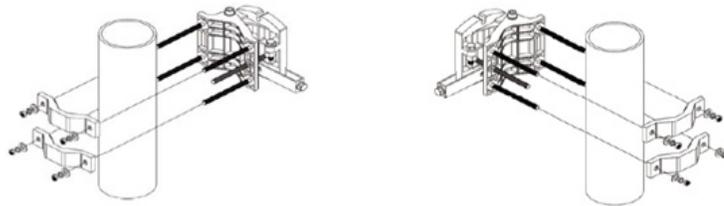
#### 10.4 Pasos para la instalación de una antena

1. Antes de subir e instalar la antena, determine el azimut y el pole acordes con el documento de diseño.
2. Instale la pinza anti caída al pole.
3. Instale la cuerda entre la antena y la ODU, y luego comience a subir la primera.
4. Procure que dos instaladores en tierra alejen la antena de la torre.
5. Instale las dos abrazaderas del soporte alrededor del pole y ajústelas; luego ajuste el azimut de las antenas, acorde con lo que figura en el documento de diseño.
6. Remueva los tapones de caucho de las ventilas de aire en el tope de la antena.
7. Realice la conexión de puesta a tierra.



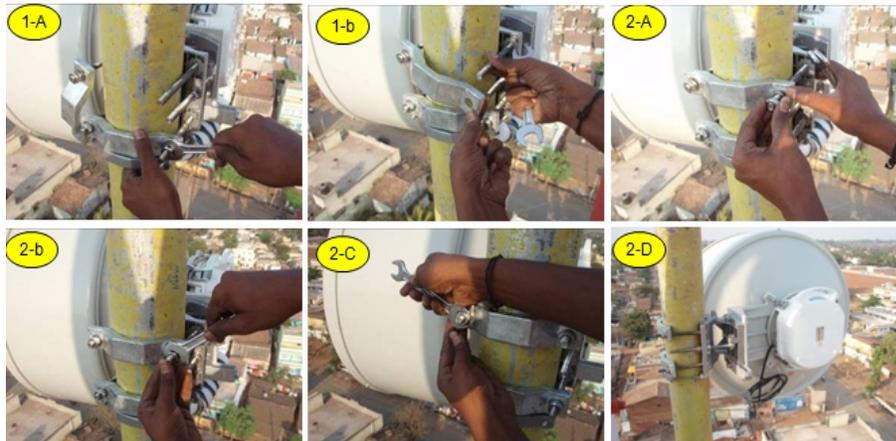
**Imagen 41 .** Montaje de antena  
Fuente: Elaboración Propia.

8. Instale las abrazaderas inferiores del soporte de la antena alrededor del pole y luego ajuste las tuercas para fijarla al mismo.
9. Instale las abrazaderas superiores del soporte de la antena alrededor del pole, y realice el mismo procedimiento.



Hanging Bracket Right Installation

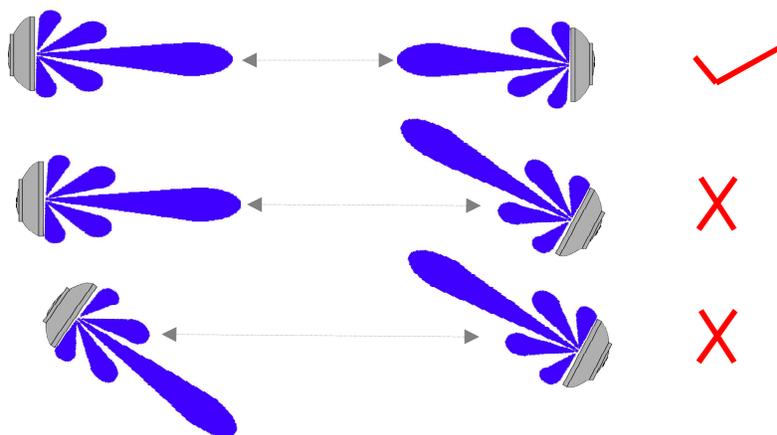
Hanging Bracket Left Installation



**Imagen 42 .** Fijación de soportes  
Fuente: Elaboración Propia.

### 10.5 Alineación de antenas

Se deben alinear las antenas de manera que se alineen los lóbulos principales.



**Imagen 43 .** Alineamiento de lóbulo principal de la antena  
Fuente: COMMSCOPE - Microwave Planners Guide - Structural Antenna Products. Julio 2015.

El nivel de señal recibida, debe ser la misma que figura en el diseño, con una tolerancia de  $\pm 3$  dBm.

Si pasa más de un día sin poder alinear la antena como figura en el diseño, debe solicitarse una revisión de los cálculos, y luego se debe esperar a que el equipo de planeamiento chequee el diseño.

1 - Setear el máximo voltaje que el multímetro puede detectar y que el mismo sea DC 20 V; fijar el multímetro a la torre para que le sea más fácil su lectura, y luego observar la cantidad de potencia recibida mientras se alinean las antenas.

2 - Remover el tapón protector de agua de la interfaz RSSI de la ODU y enchufar el conector BNC en el puesto RSSI.

3 - Remover el tapón protector de agua de la interfaz RSSI y conectar el BNC.



**Imagen 44 .** Medición potencia recibida  
Fuente: Elaboración Propia.

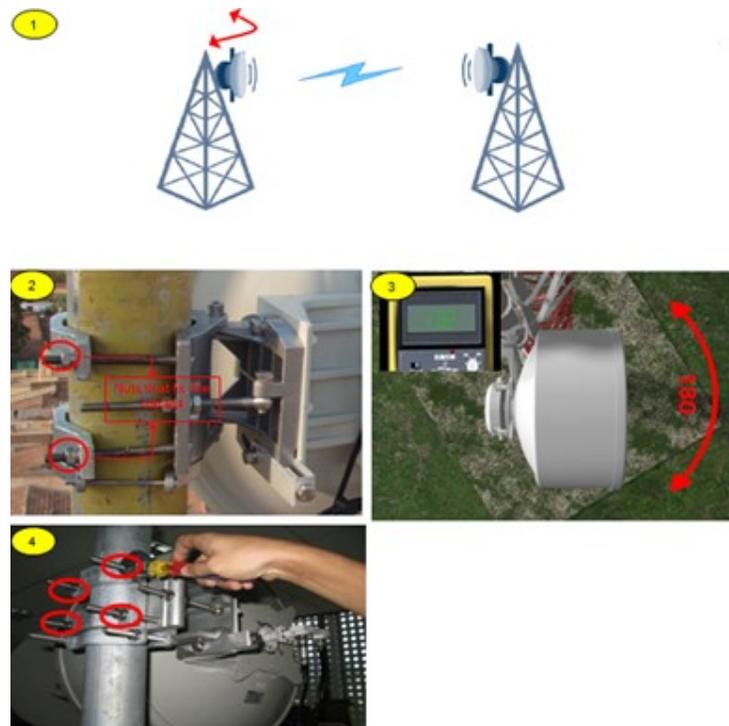
Mientras ajusta la antena, intente ubicar el multímetro en el mejor lugar posible para una fácil lectura del mismo. Ajuste todas las tuercas de la fijación de la antena en una secuencia diagonal.

1 - Ajuste la antena en un extremo y realice el ajuste horizontal en el otro.

2 - En la antena a ajustar, afloje las tuercas que la fijan al pole.

3 - Ajuste la antena en un gran rango horizontal, de modo que ésta quede enfocada; luego, durante el ajuste fino, usted va a recibir tres picos de señal. En este punto, debe intentar lograr el mejor nivel en cada uno de ellos para, finalmente, elegir aquél en el que mejor recepción se logró.

4 - Inmediatamente después de que terminó de ajustar la antena, debe hacer lo mismo con todas las partes nuevamente.



**Imagen 45 . Alineamiento lateral**  
Fuente: Elaboración Propia.

### **CAPÍTULO III – CONCLUSIÓN**

Como conclusión a la hipótesis planteada y dada la motivación de este trabajo, se explicitan, en el desarrollo de la Tesis, los problemas más importantes que se detectan en la práctica, y que muchas veces son omitidos al momento de la planificación y diseño de la implementación; uno de ellos, puede ser la necesidad de una guía y manual de consulta a la hora de realizar una instalación, para intentar así, evitar cometer los errores frecuentes y realizar una correcta evaluación inicial.

Es fundamental entender los requerimientos del cliente a la hora de decidir la solución de transmisión a utilizar, dado que, muchas veces, al intentar reducir costos de inversión y tiempos de implementación, se opta por la solución técnica menos adecuada al caso, lo que resulta en una red con mayor delay y capacidad que lo adecuado. Éstos y otros factores, como la gran demanda de capacidad y bajos tiempos de latencia que requiere la llegada de LTE, son los que, con el paso del tiempo, fueron posicionando a las redes de microondas en un nicho de mercado que, día a día, pierde impulso, comparado con las redes de Fibra ópticas.

Fueron mencionados y descritos de forma genérica la mayoría de los protocolos que causan problemas en el momento de la implementación; sin embargo, se recomienda la lectura de material específico a utilizar, de cada fabricante, ya que es fundamental entender qué es lo que ellos recomiendan para cada solución particular, dado que en muchos casos disponen de soluciones propietarias.

Como se mencionó en el desarrollo de este documento, los factores que afectan el éxito en la implementación de redes “microondas”, son muy diversos, y cada caso particular tiene sus propias particularidades, por lo que es muy difícil cubrir todas las combinaciones de factores posibles. Si bien esta guía será de gran ayuda en la implementación exitosa de una red” microondas”, es fundamental contar con personal especializado y con gran experiencia, tanto en la etapa de planificación, como así también en la implementación e instalación del equipamiento.

## BIBLIOGRAFÍA

- AFTIC. Autoridad Federal de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.
- Alcatel-Lucent. Microwave Ethernet Ring Protection.
- Alcatel-Lucent. “Radioenlaces 9500MPR”. Dimensionamiento de infraestructura de red Internexa (Perú). Octubre 2012.
- Alcatel-Lucent. Cotización para cliente Aguas del Colorado. “Troncal de datos inalámbrico para el oeste pampeano”. Julio 2013.
- Autoridad Federal de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
- Cisco AVVID Network Infrastructure: Implementing 802.1w and 802.1s in Campus Networks. Cisco. Abril 2003.
- CISCO. Introducción y configuración del Spanning Tree Protocol (STP) en los switches Catalyst. (Abril de 2008).
- Comisión Nacional de Comunicaciones (CNC).
- COMMSCOPE - Microwave Planners Guide - Structural Antenna Products. Julio 2015
- Introducción y configuración del Spanning Tree Protocol (STP) en los switches Catalyst. Cisco. 9 de Abril de 2008.
- H. Lehpamer, Microwave Transmission Networks. Planning, design and deployment (págs. 90 - 99). McGraw-Hill. Second Edition.
- <http://www.geocities.com/sqrmatrix/radio/propagacion.html?Nav>.
- <http://redesmicrondas.blogspot.com.ar>.
- <http://redesmicrondas.blogspot.com.ar>.
- <http://www.ds3comunicaciones.com/>.

[http://www.pathloss.com/pwiki/index.php?title=Pathloss\\_5\\_-\\_Where\\_to\\_begin](http://www.pathloss.com/pwiki/index.php?title=Pathloss_5_-_Where_to_begin). Tutorial “Pathloss 5- Where to begin.” Octubre 2012.

Huawei Standard Installation Procedure Of OptiX RTN 950 V3.0-English(SOP).

Huawei. “OptiX RTN 950 Product Documentation ” V04. 30 de Agosto de 2013.

Huawei. VLAN and QinQ Technology. White Paper. 30 de Octubre de 2012.

MANNING, Trevor. Microwave Radio Transmission Design Guide. Segunda Edición. (Londres, Artec House, 2009).

## **ANEXO I**

## TUTORIAL PATHLOSS 5<sup>11</sup>

Este tutorial intenta ayudar al usuario a usar por primera vez el sistema Pathloss 5. Está diseñado para familiarizarlo con el layout y las herramientas básicas del sistema.

### Primer paso – Ingreso de la información del sitio

Abrir el programa Pathloss 5, en el cual se debería ver una ventana con una barra de herramientas y un menú. Si llegara a haber un menú llamado “Initialize Program”, se debe inicializarlo antes de continuar; en caso contrario, clicar en **View - Site List** para ver el *índice de sitios*. También puede hacerse a través del botón *Sites*, en la barra de herramientas.

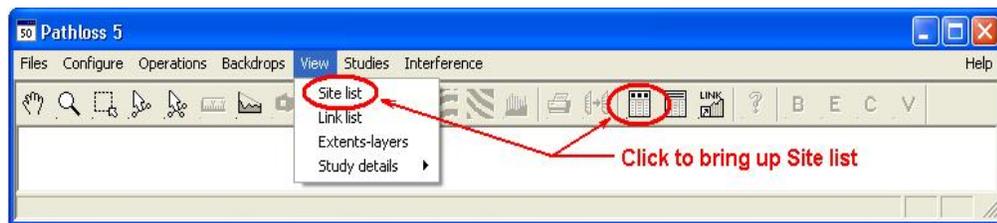


Imagen 46 . Formulario infomacion de sitio

- Agregar dos sitios manualmente al proyecto, para lo cual se debe clicar en la primera celda de la columna “Site Name”.
- Ingresar un nombre para el sitio y apretar la tecla “Tab” para moverse a la siguiente celda.
- Ingresar una Latitud para el sitio y volver a presionar la tecla “Tab”.
- Ingresar una Longitud.

Nota: Éstos son los mínimos requisitos de información para un sitio.

- Agregar un segundo sitio siguiendo la misma metodología.

<sup>11</sup> ([http://www.pathloss.com/pwiki/index.php?title=Pathloss\\_5\\_-\\_Where\\_to\\_begin](http://www.pathloss.com/pwiki/index.php?title=Pathloss_5_-_Where_to_begin). Tutorial “Pathloss 5- Where to begin.” Octubre 2012.)

	Site name	Latitude	Longitude	Elevation (m)	Tower height (m)
1	Site 1	49 15 27.80 N	121 14 32.30 W		
2	Site 2	49 34 23.40 N	122 37 56.30 W		
3					
4					
5					

Imagen 47 . Formulario infomacion Latitud / Longitud

- Cerrar la ventana de *Site list* y los sitios se verán en la ventana *GIS*.
- Los sitios también pueden ser importados a través de un archivo GSV, o cualquier archivo de texto delimitado.
- Para determinar qué terreno de archivos de información se necesitarán, es de ayuda generar gráfico geográfico; para eso se debe clicar en: **Configure - Options - Network display options**, y luego, click en **Axis - map grid**. En el área de abajo, a la derecha, tildar la opción **Show Geographic Grid** y **Show Labels**:

Imagen 48 . Formulario seteos generales de mapa

- Clicar el botón verde:  para aceptar los cambios de configuración.
- Hacer una nota de las coordenadas para saber qué información del terreno se necesitará.

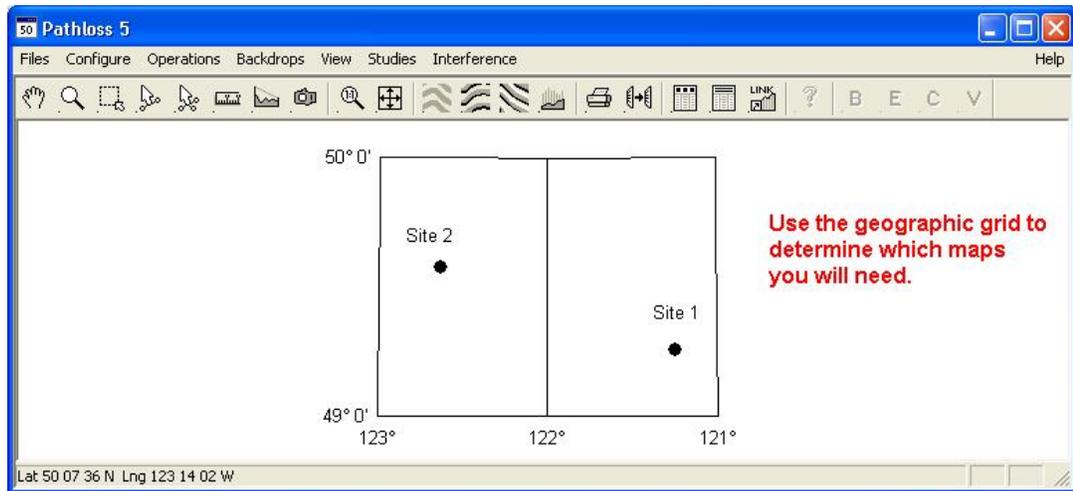


Imagen 49 . Vista general Pathloss

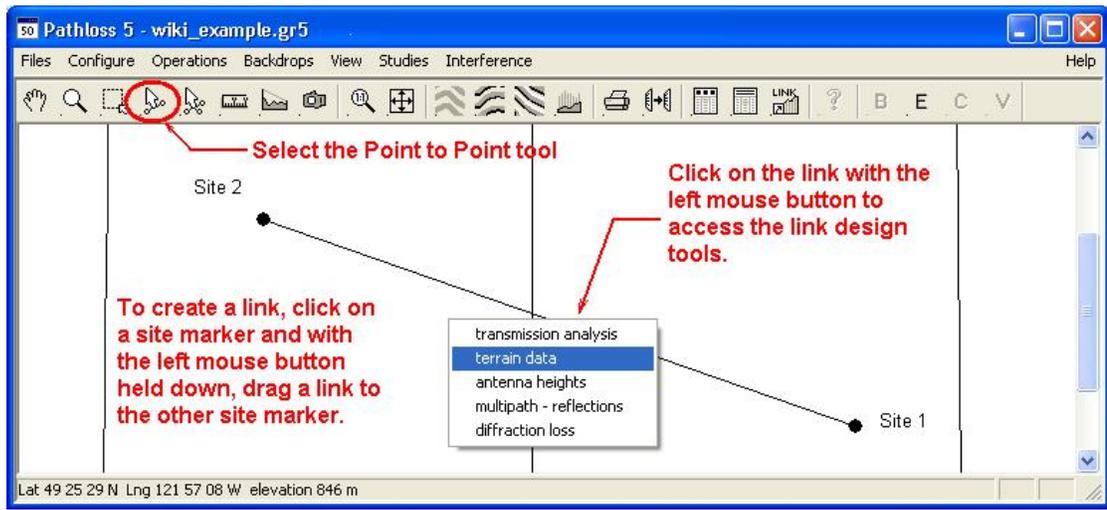
### Segundo Paso – Configurar la información del terreno

La información del terreno está disponible desde diferentes fuentes en muchos formatos diferentes; para este ejemplo se usará SRTM.

### Tercer Paso – Creación de Links

Para este ejemplo se realizarán los links manualmente.

Deberían verse los dos sitios marcados en la figura de abajo. La rueda del mouse puede utilizarse para hacer “zoom” en la pantalla, hacia adentro y hacia afuera.



**Imagen 50 . Puntero de seleccion**

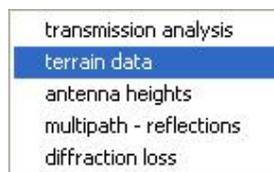
Seleccionar el cursor “point to point”  en la barra de herramientas; este cursor es usado para crear e interactuar entre los links.

Hacer “click izquierdo” sobre uno de los sitios y arrastrar hasta el otro sitio para crear el link; luego, hacer nuevamente “click izquierdo” sobre el link (determinado por una línea recta que une los dos puntos), para acceder a los módulos de la herramienta de diseño.

Hacer “click derecho” sobre los links, o sitios, permitirá ajustar los atributos (apariencia) y acceder a otras opciones.

Paso cuatro – Diseño de los links

Generar Perfil:



**Imagen 51 . Menu de Diseño**



Una vez que la operación está finalizada, se desplegará una ventana de estado. Revisar muy cuidadosamente esta información, en la que debería mostrarse "primary usage - 100.0%."; si no es así, o el *usage* es menor al 100%, chequear primero el archivo usado y el directorio. Asegurarse de que el archivo existe y de que está en el directorio correcto.

Clicar en el botón verde de "check" para cerrar la ventana de status.

### Altura de las antenas

Una vez que el perfil fue generado, puede calcularse la altura de las antenas; para esto, debe clicarse en el menú **Design - Antenna heights** para ingresar al módulo de altura de antenas.

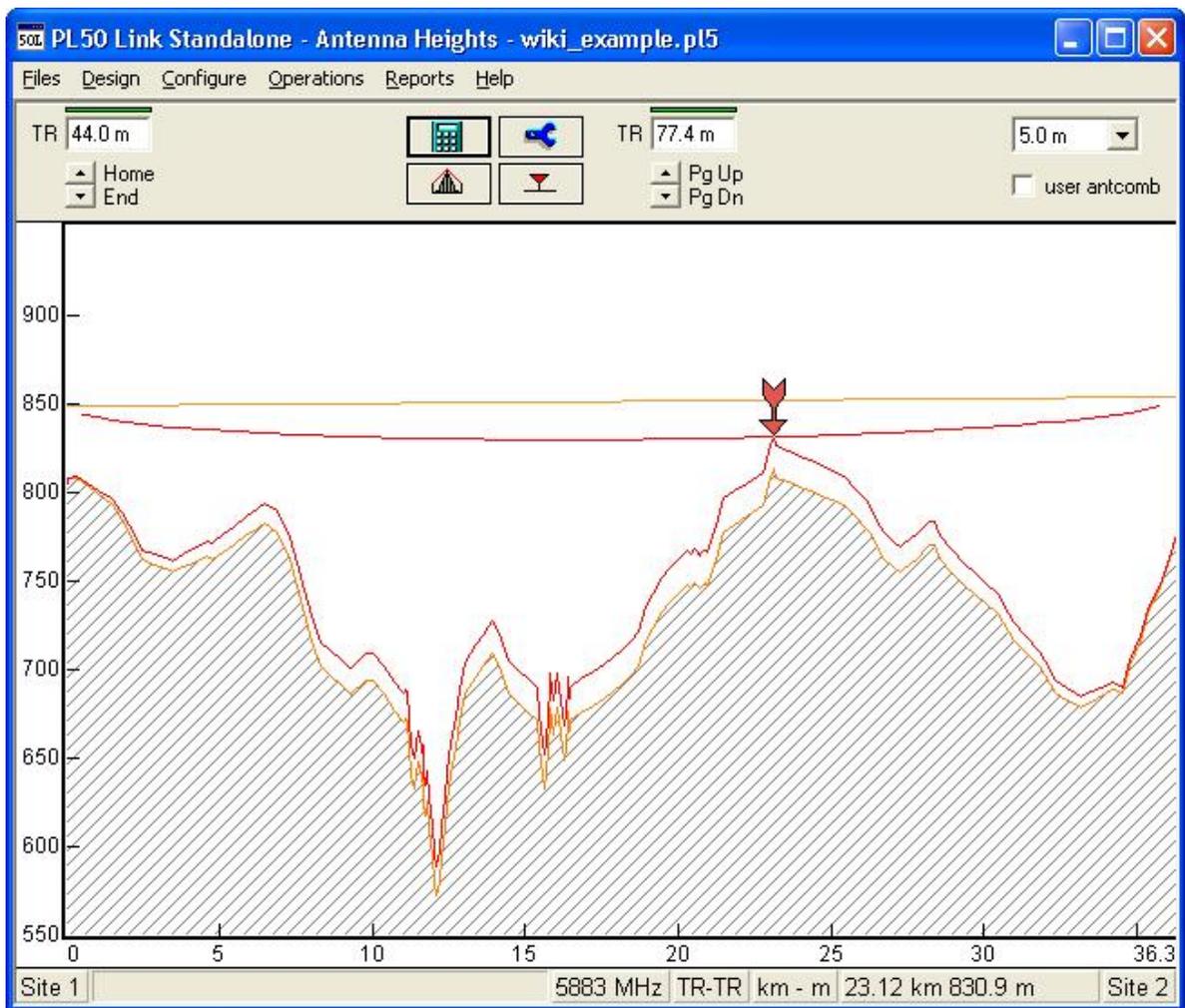
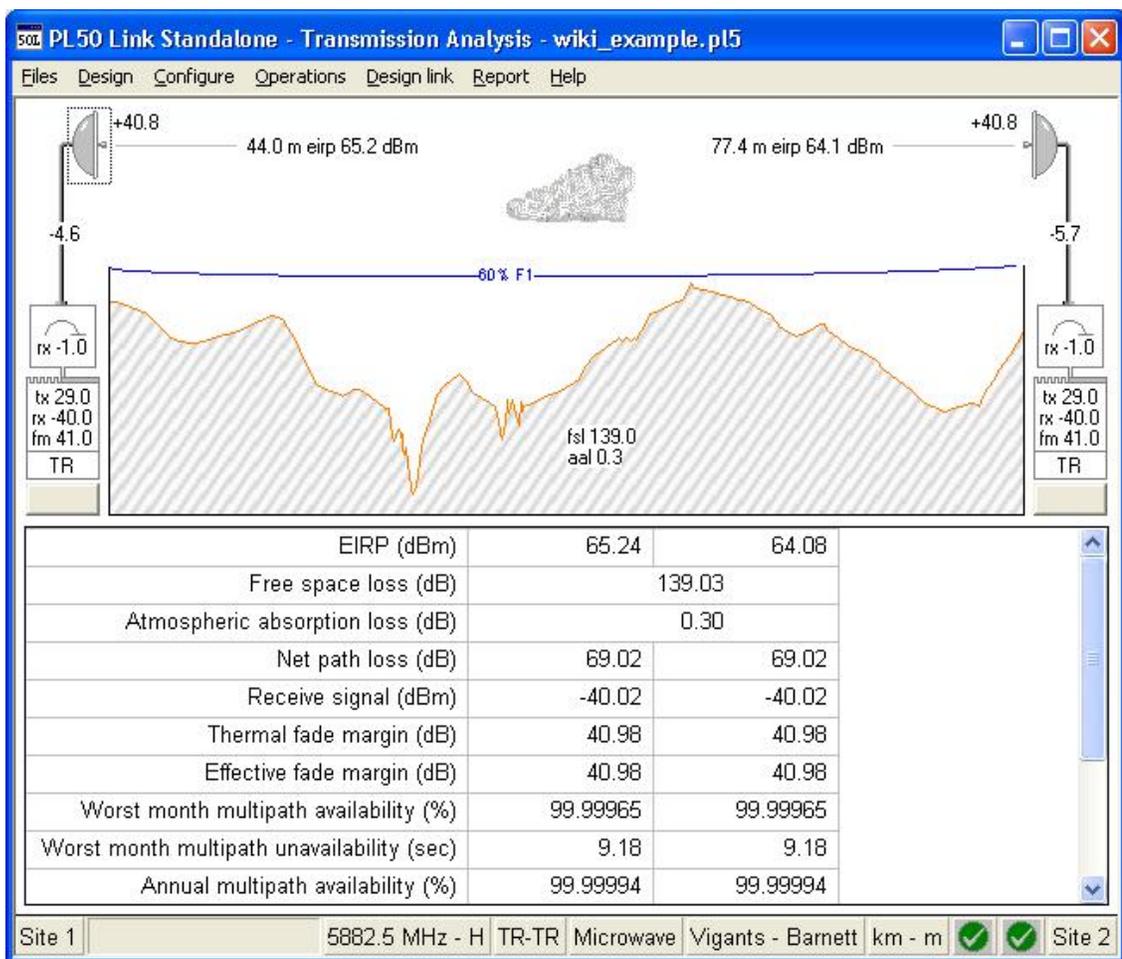


Imagen 53 . Altura de antenas

Clicar en el botón de cálculo:  para calcular la altura de las antenas que satisfaga el criterio de vista (100%F1 at 4/3k es el genérico).

### Análisis de transmisión

Clicar sobre el menú **Design - Transmission analysis** para abrir la sección de “presupuesto del programa”.



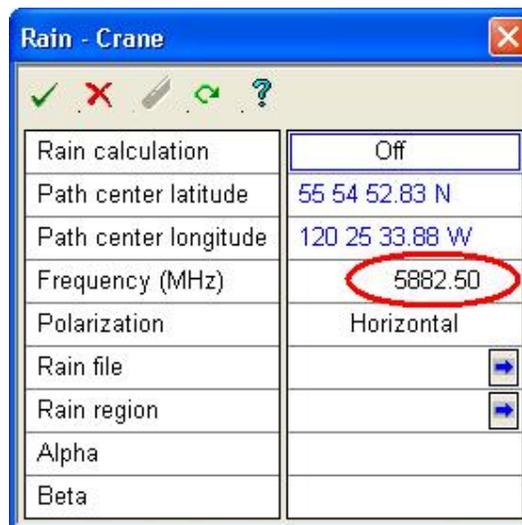
**Imagen 54 . Analisis de Radio enlace**

El mínimo de información requerido para cálculo completo y real, es:

- Frecuencia
- Ganancia de la antena

- TX Power
- RX Threshold level
- Información del terreno (factor climático, temperatura, etc.)

Clicar en el botón “Rain *cloud*” en el centro de la ventana y aparecerá un cuadro de diálogo.



Rain calculation	Off
Path center latitude	55 54 52.83 N
Path center longitude	120 25 33.88 W
Frequency (MHz)	5882.50
Polarization	Horizontal
Rain file	[button]
Rain region	[button]
Alpha	
Beta	

Imagen 55 . Cuadro Selección de frecuencia

Ingresa la frecuencia en MHz y clic en el botón verde de check .

Clicar en el gráfico de antena, localizado sobre el lado izquierdo o derecho de la pantalla, y de esta forma se abrirá un cuadro de diálogo.

Antennas TR - TR		
	Site 1	Site 2
Antenna model	HPX8-58W	HPX8-58W
Antenna diameter (m)	2.44	2.44
Antenna height (m)	44.01	77.42
Antenna gain (dBi)	40.80	40.80
Radome loss (dB)		
Antenna code	a1992	a1992
Antenna 3 dB beamwidth H (°)	1.40	1.40
Antenna 3 dB beamwidth E (°)		
True azimuth (°)	133.43	313.77
Vertical angle (°)	-0.13	-0.11
Antenna azimuth (°)		
Antenna downtilt (±°)		
Orientation loss (dB)		

Imagen 56 . Informacion de Antenas

Ingresar el dato de la ganancia de la antena en el campo proporcionado; se necesitará especificar la ganancia de ambas antenas: las del lado 1 y 2. Clickear en el botón verde de check: .

Luego, clickear en el gráfico de radio, que se encontrará sobre los lados izquierdo o derecho de la pantalla, para que aparezca el siguiente cuadro de diálogo, en donde deberá ingresarse el dato TX Power en watts o dBm y el nivel de RX Threshold en dBm, también para ambos lados del link (sitio 1 y 2).

Apretar el botón verde de check: .

	Site 1	Site 2
Radio model	MDR-6706-8	MDR-6706-8
Emission designator	2M50D7W	2M50D7W
Radio code	6706-8	6706-8
TX power (watts)	0.79	0.79
TX power (dBm)	29.00	29.00
RX threshold criteria	BER 10-3	BER 10-3
RX threshold level (dBm)	-81.00	-81.00
Maximum receive signal (dBm)	-8.00	-8.00
Dispersive fade margin (dB)	70.00	70.00

Imagen 57 . Características Unidad exterior (ODU)

Hacer click en el gráfico de “Perfil de terreno”, que se encuentra en el centro de la pantalla, a través del cual se abrirá un cuadro de diálogo, en donde deberán completarse los campos que contengan el botón con la flecha azul a su lado: ➡. Este botón calculará el campo, o en caso de que exista pérdida de difracción o de rugosidad del terreno, pedirá información adicional.

Path Profile Data (Vigants - Barnett)	
Frequency (MHz)	5882.50
Polarization	Horizontal
Path length (km)	36.27
Field margin (dB)	
Diffraction loss (dB)	➡
Fade occurrence factor (Po)	4.38E-002
Path center latitude	55 54 52.83 N
Path center longitude	120 25 33.88 W
Climatic factor	1.00 ➡
Terrain roughness (m)	42.67 ➡
C factor	0.26 ➡
Average annual temperature (°C)	2.00 ➡
Dispersive fade occurrence factor	1.00 ➡

Imagen 58 . Características Climáticas

Comenzar cliqueando el botón con la fecha azul para calcular el campo “Diffraction loss” y aparecerá un cuadro de diálogo:

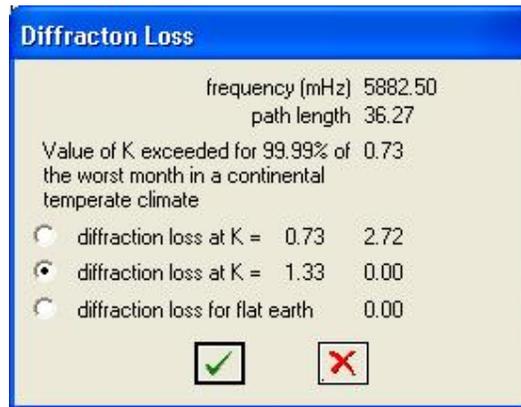


Imagen 46 . Zona de fresnel a emplear

Aceptar los cálculos por default cliqueando en el botón verde del cuadro de diálogo.

Luego, clicar el siguiente botón con flecha azul para calcular el factor climático, y consiguientemente, “Terrain roughness”, en donde aparecerá el siguiente cuadro de diálogo:

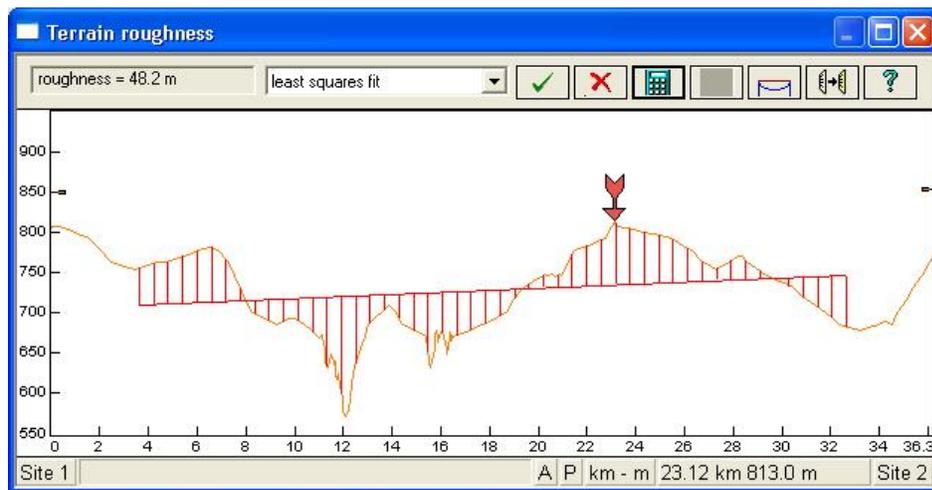


Imagen 59 . Rugocidad del terreno

Aceptar los cálculos por default, apretando el botón de la calculadora  y luego el botón verde de check .

Finalmente, chequear el campo “Average annual temperature” a través del botón con la flecha azul y aceptar los valores. Luego, cerrar el cuadro de diálogo “Path Profile”.

En ese momento, deberían verse los cálculos reales en la ventana principal.

### Paso 5 – Generar Reportes

Desde la herramienta *Link Design Tool*, seleccionar **Design - Transmission Analysis**, y luego, el menú **Report - Transmission Summary Report**, el cual abrirá la ventana de reporte, que es similar a Microsoft Word:

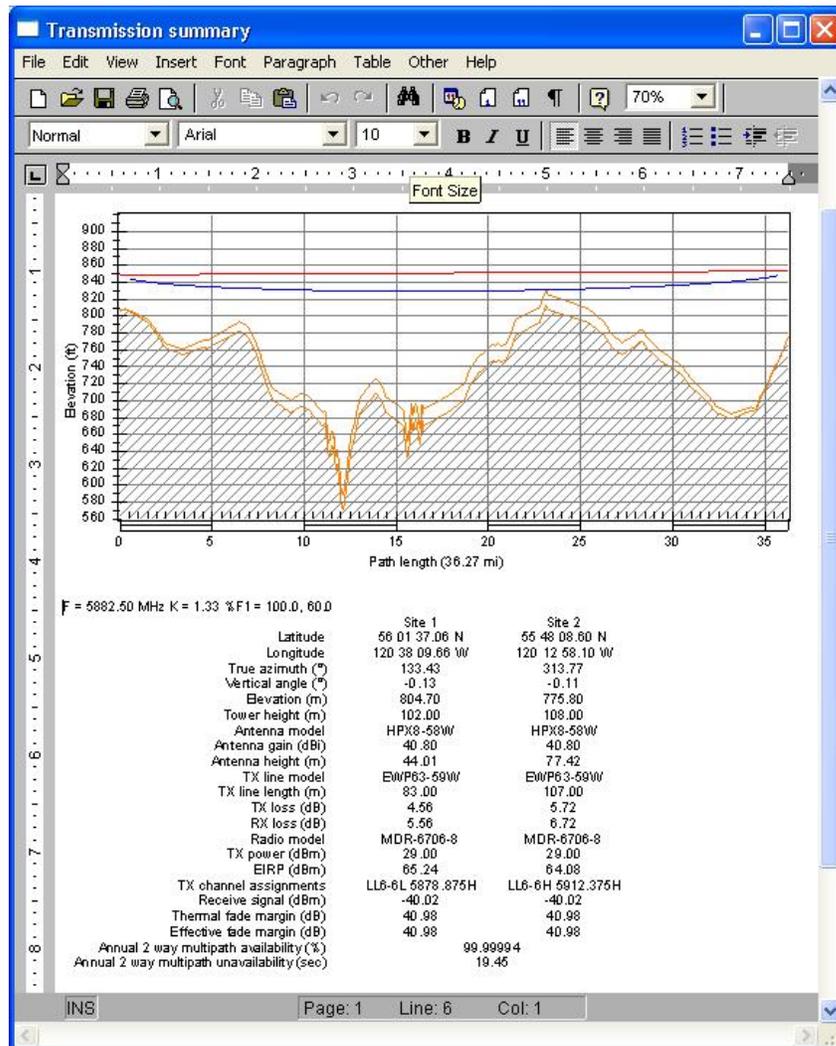


Imagen 60 . Export de resumen del enlace

Aquí se podrán realizar los cambios finales a la apariencia del reporte; cuando esté listo, cliquear ***File - Print*** para imprimirlo.

Cada módulo tiene su propio formato de reporte. También podrá seleccionarse el menú ***Design - Reports*** para crear formatos de reporte que incluyan información desde cualquier módulo y a través de varios links de archivos.