

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua

UNAN-Managua

Recinto universitario Rubén Darío

Departamento de Tecnología

Ingeniería en Electrónica



Seminario de graduación para optar al título de

Ingeniería en Electrónica

Tema

Diseño de interconexión para enlace de microondas punto a punto entre las comunidades de San Carlos y el archipiélago de Solentiname

Elaborado por:

Br. Melvin Antonio Tercero Carrasco

Br. Ronnier Noxoly Rivera Morales

Tutor:

Msc. Álvaro Segovia Aguirre

UNAN- Managua, Diciembre 2013

INDICE

DEDICATORIA.....	6
AGRADECIMIENTO.....	7
RESUMEN	8
VALORACIÓN DEL DOCENTE	9
INTRODUCCIÓN	10
JUSTIFICACIÓN	12
OBJETIVOS	13
Objetivo general.....	13
Objetivos específicos	13
Capítulo I	14
1.0 GENERALIDADES Y CONCEPTOS QUE ORIENTAN PARÁMETROS PARA LOS CÁLCULOS DEL DISEÑO.....	15
1.1 Sistema de comunicación por microondas.....	15
1.2 Ancho de banda.....	16
1.2.1 Tasa de transferencia	16
1.3 Internet.....	16
1.3.1 ISP	16
1.4 Modelo de propagación.....	17
1.4.1 Propagación en ambientes con línea de vista	17
1.4.2 Zona de fresnel.....	19
1.5 Modelo de Propagación por desvanecimientos	20
1.5.1 Reflexiones	20
1.5.2 Atenuación por lluvia.....	21
1.5.3 Margen de desvanecimiento.....	21
1.5.4 Umbral de recepción del radio	22

1.6	Parámetro de confiabilidad del enlace	23
1.7	Indisponibilidad en los radioenlaces microondas	24
1.8	Propagación en el espacio libre	24
Capítulo II		26
2.0	DIAGNOSTICO Y CARACTERISTICAS DE LOS SITIOS.....	27
2.1	Características de los sitios	28
2.1.1	San Carlos	28
2.1.2	Archipiélago de Solentiname	29
2.2	Levantamiento del perfil del terreno	30
Capítulo III		
3.1	Frecuencia	34
3.1.1	Asignación de bandas de frecuencias	34
3.1.2	Nomenclatura de las bandas de frecuencias	35
3.2	Especificaciones técnicas de las estaciones microondas	37
3.2.1	Antena	37
3.2.2	Radio	38
3.3.2	Tipo de radio del enlace.....	40
3.3.3	Especificaciones del radio AMT/07/IP/HT/10M.....	41
3.4	Tipo de antena	42
3.5	Modo de transmisión.....	43
3.6	Tipo de Guía de onda del enlace	44
Capítulo IV		46
4.0	DISEÑO Y CALCULOS DE INGENIERIA PARA EL RADIO ENLACE SOLENTINAME A SAN CARLOS	47
4.1	Cálculos para el diseño del Radioenlace	47
4.1.1	Atenuación total debido a la lluvia.....	48
4.1.2	Atenuación por espacio libre.....	48

4.1.3 Pérdidas por propagación.....	49
4.1.4 Pérdidas del equipo de Transmisión/recepción	49
4.1.5 Pérdidas en la guía de onda	50
4.1.6 Pérdidas en el cable coaxial	50
4.1.7 Pérdidas netas del enlace.....	50
4.1.8 Pérdidas en la potencia de recepción.....	51
4.1.9 Margen de desvanecimiento.....	52
4.1.10 Cálculos de indisponibilidad y confiabilidad del enlace.....	52
4.1.11 Cálculo de la zona de fresnel para el enlace Solentiname a San Carlos.	54
4.2 Diseño del radio enlace usando la herramienta Pathloss 5.0	56
4.2.1 Descripción del Pathloss Versión 5.....	56
4.3 Procedimiento para el diseño del radioenlace con el simulador.....	57
4.3.1 Configurar el perfil del terreno	57
4.3.2 Configuración de los cálculos de lluvia según la 838-3UIT.....	60
4.3.3 Configuración de los equipos.....	61
4.3.4 Análisis de multitrayectos Y reflexiones.....	62
4.4 Tamaño de las torres	65
4.3.5 Visualización del enlace a través de Google Earth.....	67
4.3.6 Resultados de los cálculos del radioenlace con el simulador	68
4.3.7 Comparación de los cálculos del simulador los con cálculos teóricos del radioenlace	70
CONCLUSIONES.....	71
RECOMENDACIONES	72
BIBLIOGRAFÍA	73
ANEXOS	74

INDICE DE FIGURAS	Pág.
1.1 Línea de vista Archipiélago De Solentiname a San Carlos.....	18
1.2 Lóbulo de radiación de la primera zona de Fresnel.....	19
1.3 Desvanecimiento por multitrayectoria.....	21
1.4 Trayectoria de la señal recibida.....	22
2.1 Ubicación del Municipio de San Carlos.....	28
2.2 Ubicación del Archipiélago de Solentiname.....	29
2.3 Vista panorámica de San Carlos y Solentiname.....	31
2.4 Emplazamiento de la torre de San Carlos.....	32
2.5 Emplazamiento de la torre de el Archipiélago De Solentiname.....	32
3.1 Mapeo de frecuencias de la ITU-RF385.....	36
3.2 Equipos terminales.....	37
3.3 Estructura de interconexión entre las comunidades.....	39
3.4 Radio Proteus AMT serie L.....	41
3.5 Antena Andrew HPX6-74GA.....	42
3.6 Transmisión full –dúplex.....	43
3.7 Guía de ondas EW77.....	44
4.1 Trayectoria completa de transmisión entre el transmisor y receptor....	46
4.2 Tercer obstáculo de la primera zona de Fresnel.....	53
4.3 Primera zona de Fresnel con el 60% del lóbulo libre de obstrucciones	54
4.4 diagrama del enlace punto a punto.....	55
4.5 Recuadro para introducir coordenadas dentro del Pathloss.....	56
4.6 Perfil topográfico de la base de datos SRTM.....	57
4.7 Recuadro para configurar el perfil del terreno.....	57
4.8 Recuadro para configurar la altura de las antenas.....	58

4.9 Despeje de la primera zona de fresnel.....	58
4.10 Recuadro de configuración de lluvia.....	59
4.11 División de América por zonas de lluvia 838-3UIT.....	59
4.12 Selección de los equipos a emplear.....	60
4.13 Asignación del canal de transmisión.....	61
4.14 Recuadro de datos para ingresar la altura de las antenas.....	62
4.15 Análisis de reflexiones en San Carlos.....	62
4.16 Altura ideal para que no hallan pérdidas.....	63
4.17 Análisis de reflexiones en Solentiname.....	63
4.18 Altura ideal para que no hallan pérdidas.....	64
4.19 Altura de torre Solentiname a 34 m de altura.....	65
4.20 Altura de torre san Carlos a 40 m de altura.....	65
4.21 Ubicación de la estación Solentiname, visualizada por Google Earth	66
4.22 Ubicación de la estación San Carlos, visualizada por Google Earth	67

DEDICATORIA

Le dedicamos primeramente el trabajo a Dios por darnos la fortaleza para continuar y superar cada obstáculo presentado a lo largo de este trabajo de investigación, por ello y con toda la humildad le damos gracias.

De igual forma a nuestros padres, les agradecemos el cariño y comprensión, pues han sabido formarnos con buenos hábitos y valores, lo cual nos ha permitido salir adelante buscando siempre el mejor camino para alcanzar nuestros objetivos.

A nuestros maestros, gracias por su tiempo, apoyo y por la sabiduría que nos transmitieron en el desarrollo de nuestra formación profesional, en especial al profesor Msc. Álvaro Segovia Aguirre por habernos guiado en el desarrollo de este trabajo y llegar a la culminación del mismo.

¡Muchas gracias!

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios primeramente por acompañarnos todos los días y brindarnos la dicha de la salud y bienestar espiritual.

A nuestros padres y hermanos por apoyarnos en todo momento durante nuestra formación tanto personal como ahora en lo profesional. Que ésta sea la recompensa a tantos años de entrega y apoyo, gracias por darnos la oportunidad de hacer realidad el sueño de culminar esta carrera.

Gracias también a nuestros compañeros y amigos que nos permitieron entrar en su vida durante nuestra formación profesional, a los docentes por brindarnos su guía y sabiduría en el desarrollo de de nuestros estudios, a nuestro asesor el Ing. Jairo Gonzalez por haber dedicado parte de su tiempo para instruirnos en el tema de estudio.

¡Gracias a todos ustedes! que son parte de un logro más en nuestras vidas.

RESUMEN

En el presente trabajo de seminario se abordan aspectos técnicos que permiten explicar el desarrollo del diseño de un radio enlace punto a punto, las características del terreno, el levantamiento del perfil, la altura de las antenas, las características del hardware y los equipos que forman parte de su arquitectura y un diagrama para la disposición de los mismos.

También se realiza una investigación del método de diseño de un radio enlace con el propósito de comunicar con esta tecnología inalámbrica las comunidades de San Carlos y Solentiname en el departamento de Río San Juan. Tales propósitos responden a la necesidad de ofrecer un servicio de información y comunicación a dichas comunidades. Con ello se pretende realizar una propuesta de diseño para un servicio de telecomunicaciones entre estos dos sitios.

Para llevar a cabo todas las metas, se utiliza el programa Pathloss, el cual es una herramienta de diseño de ruta completa para radioenlaces que funcionan en la gama de frecuencias de 30 MHz a 100GHz. El programa está organizado en módulos de diseño de rutas, un módulo de zona de cobertura de la señal y un módulo de red que integra las trayectorias de radio de análisis de cobertura. Todo esto indica que Pathloss es una herramienta inteligente, potente y profesional que ayuda a diseñar el enlace punto a punto.

VALORACIÓN DEL DOCENTE

INTRODUCCIÓN

El radioenlace microondas punto a punto es un enlace que permite establecer comunicación entre dos puntos fijos situados sobre la superficie terrestre a través de la propagación de ondas electromagnéticas en el espacio libre. Este tipo de interconexión juega un papel muy importante en las telecomunicaciones y constituye una manera de comunicar dos puntos a diferentes distancias. Gracias a esta tecnología se puede diseñar un radio enlace que comunique los sitios de San Carlos a Solentiname donde es complicado hacerlo a través de sistemas de cableado convencionales.

Para el diseño de este radio enlace primeramente se abordan parámetros necesarios que disponen del perfil del terreno para determinar las ubicaciones (emplazamientos) y alturas de las antenas, en este apartado se debe tener en cuenta los puntos de visión para asegurar que esta sea directa entre los emplazamientos y evitar reflexiones. Seguidamente se explican aspectos y parámetros adicionales acerca de la evaluación sobre la radio propagación de los sitios de San Carlos y Solentiname.

Se determinan las características técnicas de un radioenlace con transmisión directa entre las dos estaciones adyacentes del sistema de microondas. Este enlace abarca todo lo referente a equipos utilizados para realizar la transmisión y comunicación correspondiente entre los dos puntos, como son los transmisores y receptores, las antenas y el trayecto de propagación entre ambas, todo este proceso técnico está sustentado a través de una simulación con el software Pathloss.

Mediante este software se desarrolla el diseño del sistema de comunicación de radio enlace por microondas, a través de descripciones de las características a tenerse en cuenta en toda transmisión, como son el claro que requiere una trayectoria de microondas desde un obstáculo, el cálculo de las alturas de las antenas, la ubicación de los puntos con mayor obstrucción y la ganancia del sistema.

Seguidamente se muestran las conclusiones del diseño, donde se resumen las pruebas y cálculos obtenidos con el simulador teniendo en cuenta todos los detalles técnicos de dicho trabajo, incluyendo cada aspecto de importancia que marcaron un patrón en el diseño.

Este documento se desarrolla en cuatro capítulos, en el cual el primer capítulo consta de la descripción de los modelos de radiopropagación que tienen incidencia en el trayecto de la onda a través de su trayectoria, el segundo capítulo trata del diagnóstico de los sitios y de donde se ubican las estaciones microondas. En el capítulo tres se brinda información técnica con respecto a los equipos empleados en este diseño de radioenlace y la frecuencia con la que va a operar la interconexión. Por último en el cuarto capítulo se hacen los cálculos de ingeniería y el diseño del radioenlace con el simulador Pathloss.

JUSTIFICACIÓN

La necesidad de comunicación en los sitios de San Carlos y Solentiname es evidente ya que no cuentan con servicios esenciales de las telecomunicaciones para su desarrollo, debido a que son lugares muy alejados y se hace difícil de implementar trabajos de cableado para comunicaciones en esos sitios. No obstante nunca se ha implementado un proyecto de telecomunicaciones entre esos dos sitios, ya que la zona de Solentiname es un recurso natural protegido por el gobierno de Nicaragua, por eso se propone como solución elaborar un diseño de radioenlace microonda que se pueda implementar en un futuro, ya que con la implementación de esta tecnología permitirá el desarrollo tecnológico y educativo en los lugares.

La educación no es muy desarrollada en esas zonas debido a que carecen de medios informativos avanzados para realizar sus investigaciones académicas. Es por ello que el proyecto se justifica teniendo como argumento la necesidad de implementar la comunicación de datos a través de internet, ya que este tipo de tecnología es requerida entre estas comunidades con fines de estudio para mejorar la educación en la población estudiantil.

Otro de los principales problemas es que en esa zona no se cuenta con el servicio de telefonía convencional, lo que origina un gran retraso en su desarrollo por falta de comunicación con otros departamentos del país. Por esta razón se debe optar por alternativas que beneficien a corto plazo y que solucionen a lo inmediato esta problemática. Una de esas alternativas es instalar un sistema de telefonía IP gracias al internet que ayudará a intercomunicar estos lugares con el resto del país.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Elaborar un diseño para la interconexión de un radioenlace microondas punto a punto entre las comunidades de San Carlos y el archipiélago de Solentiname.

Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico de los sitios donde se propone la elaboración del diseño de un radioenlace.
- Determinar las características técnicas de los equipos requeridos en el diseño del radioenlace.
- Diseñar un radio enlace punto a punto verificando su funcionamiento con el simulador Pathloss.

Capítulo I

1.0 GENERALIDADES Y CONCEPTOS QUE ORIENTAN PARÁMETROS PARA LOS CÁLCULOS DEL DISEÑO.

Para poder entender mejor la elaboración de este diseño, es necesario definir parámetros que son de gran importancia para el correcto funcionamiento de la interconexión por microondas, debido a que estos describen el comportamiento que tendrá la señal durante el envío y recepción de la misma. A continuación se describen los parámetros y modelos de propagación que tienen mayor importancia a la hora de diseñar un enlace punto a punto.

1.1 Sistema de comunicación por microondas

Un sistema de comunicación por microondas tiene como objetivo transmitir información desde una fuente hasta un destinatario por medio de un canal, hay tres tipos de elementos que componen una comunicación por microondas: un emisor, receptor y canal de transmisión.

- Un emisor o fuente de información inicia el proceso de comunicación construyendo un mensaje y enviándolo a un receptor, éste a su vez analiza la información y reconstruye el mensaje a la luz de sus propios antecedentes y experiencias, los cuales le servirán para sintetizar la información recibida.
- El receptor analiza y reconstruye los significados del mensaje, sintetiza y construye significados y se convierte en un emisor al responder el mensaje que le fue enviado.
- El canal de transmisión es el medio que soporta la propagación de señales acústicas, electromagnéticas, de luz u ondas. Los canales de transmisión son típicamente cables metálicos o fibra óptica que confinan la señal por sí mismos, las radio transmisiones, la transmisión por satélite o por microondas por línea de vista.

1.2 Ancho de banda

El ancho de banda es la medida de cuanta información puede fluir de un lugar a otro en una cantidad de tiempo dada.

Unidades de medida del ancho de banda

1 kbps es equivalente a 10^3 bps

1 Mbps es equivalente a 10^6 bps

1 Gbps es equivalente a 10^9 bps

1.2.1 Tasa de transferencia

Se refiere al ancho de banda real, medido en un momento concreto del día, empleando bandas concretas de internet, mientras se descarga un archivo concreto.

Los factores que determinan la tasa de transferencia y el ancho de banda se deben a los tipos de datos que se van a transferir y al número de usuarios que se le lleva el servicio.

1.3 Internet

Internet es una red de ordenadores interconectados a nivel mundial. Cuando la gente hace referencia a Internet se está refiriendo normalmente a esta red y a un conjunto de servicios y aplicaciones que permiten hacer un uso provechoso de la misma.

A nivel físico, el Internet se compone de un gran número de máquinas distribuidas por todo el mundo y conectadas por los más diversos medios (cable, radio, satélites, etc...).

Las máquinas u ordenadores que forman parte de internet no son iguales y pueden tener funciones diferentes. Podemos encontrar desde el PC de nuestra casa, cuya única función es la de consultar páginas web, el servidor en el que se almacenan las páginas web que queremos consultar, ordenadores intermedios que administran el flujo de información a través de la red, etc...

1.3.1 ISP

Proveedor de servicios de internet (o ISP, por la sigla en inglés de Internet Service Provider) es una empresa que brinda conexión a Internet a sus clientes. Un ISP conecta a sus usuarios a Internet a través de diferentes tecnologías como DSL, Cablemódem, GSM.

El cliente tiene que contar con sus equipos de redes, es decir con una computadora que por ley tiene que tener un navegador web (internet explorer). Al abrir el navegador web se selecciona una petición para acceder a internet. Por ejemplo: La petición sería acceder a la página principal de google, en el navegador web se escribe google, al realizar esto, esta petición la recibirá el proveedor de internet el cual se encarga de proveer la información que se está buscando en este caso la página principal de google. Luego, encontrada la página principal de google la información se retorna a la computadora, de esta manera se cumple el objetivo de acceder a internet.

1.4 Modelo de propagación

Un modelo de propagación es aquel que predice lo que sucede con la señal transmitida entre el Tx (Transmisor) y Rx (Receptor). La ruta que sigue la señal desde su origen a su destino puede ser en un ambiente en el cual exista línea de vista o un ambiente con una gran cantidad de obstáculos tales como montañas, edificios y árboles. El objetivo de utilizar y aplicar modelos de propagación en ambientes es con el fin de conocer la viabilidad del proyecto, de esta manera se podrá hacer una estimación acerca de las especificaciones técnicas y la capacidad de los equipos requeridos tomando en cuenta sus costos.

Los modelos de propagación de las señales electromagnéticas en ambientes a analizar en el documento son los siguientes:

1.4.1 Propagación en ambientes con línea de vista

En cualquier tipo de comunicación a larga distancia ya sea aquí mismo en nuestro planeta tierra, se necesita de la propagación de señales electromagnéticas. En los enlaces de microondas el factor limitante es la distancia a cubrir entre el transmisor y el receptor, además que este trayecto debe ser libre de obstáculos esto se debe a que las altas frecuencias hacen que las ondas de radio se pierdan, es por eso que entre el trayecto del transmisor y el receptor, se debe tener una altura mínima sobre obstáculos presentes es por eso que se colocan torres muy altas para evitar interferencias.

En los enlaces con línea de vista, la onda electromagnética viaja directamente sin obstrucciones entre la estación transmisora y la receptora. La línea de visión implica que la antena en un extremo del radio enlace debe visualizar la antena del otro extremo, marcando sobre el mapa una línea recta, siendo esta la línea de vista que va desde el punto inicial hasta el punto final del enlace. Por lo tanto para la luz visible, la línea de vista es un concepto fácil de entender y comprobar¹.

A continuación se presenta en la siguiente imagen la línea de vista del enlace entre el archipiélago de Solentiname y San Carlos cuya distancia es de 27 km. (Ver figura 1.1)

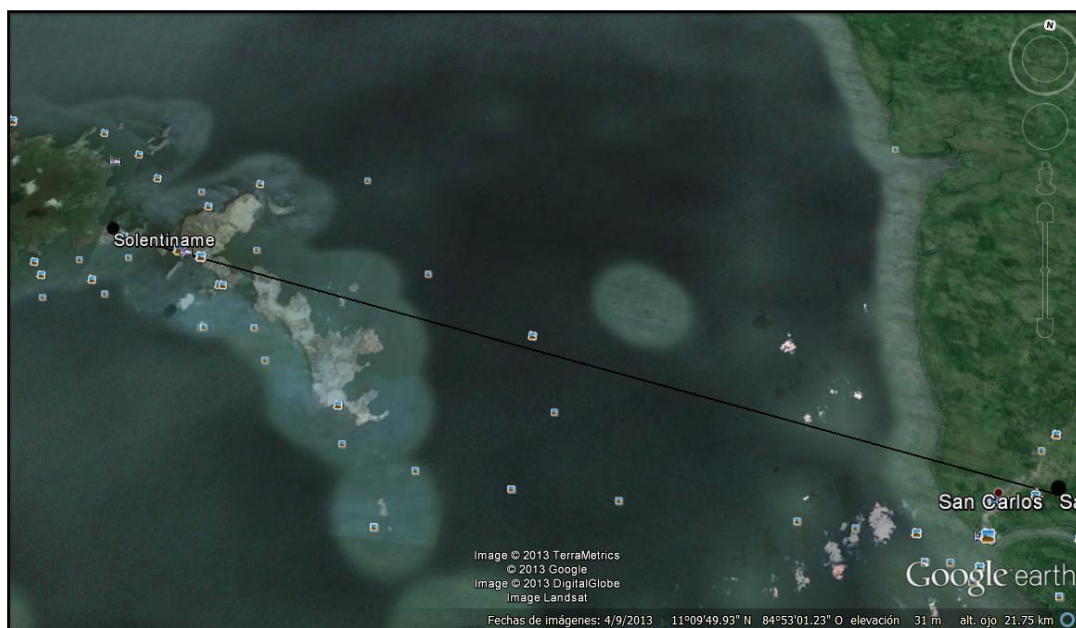


Figura 1.1 Línea de vista Archipiélago De Solentiname a San Carlos

Por lo tanto en este análisis la onda electromagnética tiene que viajar del archipiélago de Solentiname a san Carlos y tiene que encontrarse libre de obstáculos con el objetivo de que la señal no se reduzca significativamente, de esta manera se calcula la primera zona de Fresnel, donde por lo menos el 60% debe estar este libre de obstáculos(montañas, arboles, casas).

¹Obtenido(Cálculo de Radio enlace terrestre, 2010), Ver más referencias en la bibliografía

1.4.2 Zona de Fresnel

La onda electromagnética que viaja desde una estación transmisora hacia una estación receptora tiene que encontrarse libre de obstáculos con el objetivo de que la señal no se reduzca significativamente, de esta manera se utiliza el 60% de la primera zona fresnel que esté libre de obstáculos. Por consiguiente se define Zona de Fresnel al volumen de espacio entre el emisor de una onda electromagnética y un receptor, de modo que el desfase de las ondas en dicho volumen no supere los 180° (60% libre de obstáculos), adoptando la forma de un elipsoide, a esta zona se le llama primera zona de Fresnel.

Es aquí donde se concentra la mayor potencia de la señal que viaja de la antena transmisora hacia la antena receptora, cuya primer zona de Fresnel por lo menos el 60% de ella tiene que estar libre de obstáculos de esta manera se garantiza que la señal llegue a la estación receptora con buena potencia para cumplir un enlace ideal¹.(Ver figura 1.2).

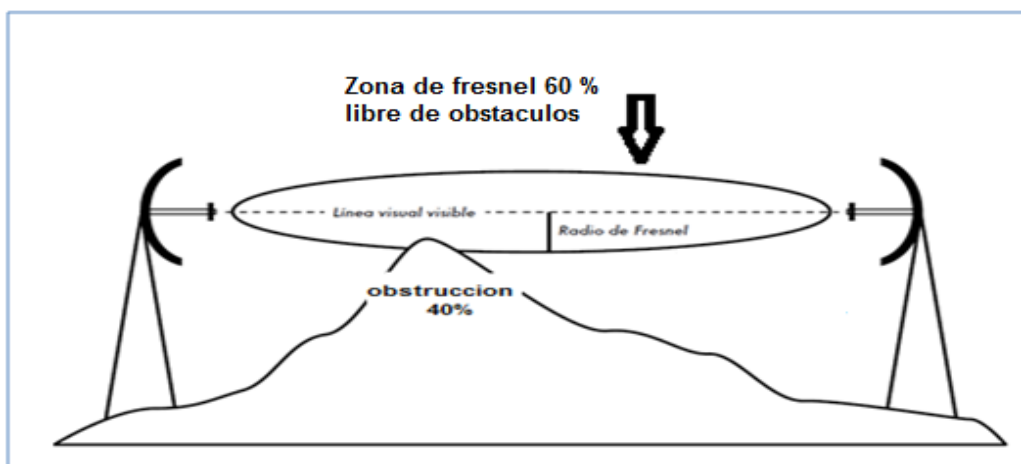


Figura 1.2 Lóbulo de radiación de las zonas de Fresnel

Para calcular la primera zona de Fresnel se utiliza la siguiente ecuación²: Esta ecuación describe una elipse, pero para aplicaciones prácticas el radio R_{f1} podría ser aproximado por la fórmula:

¹ Información citada en <http://mundotelecomunicaciones.blogspot.com>

² Tomada del libro PDF teoría de planificación de radio enlaces, pagina N° 17, encontrado en http://www.4shared.com/office/mVS-L82n/Planificacion_de_RadioEnlce-Te.html(Thorvaldsen, 2002)

$$Rf1 = n \sqrt{\frac{(d1)(d2)}{(f)(dt)}} \text{ Ec. (1)}$$

Donde:

n = Constante de la zona de Fresnel

n=17,31

Rf1: Radio de la primera zona de fresnel (m)

d1: Distancia desde el obstáculo al extremo emisor (km)

d2: Distancia desde el obstáculo al extremo receptor (km)

dt: Distancia total del enlace (m)

f: Frecuencia de transmisión del enlace (GHz)

1.5 Modelo de Propagación por desvanecimientos

Uno de los problemas que presentan los enlaces de microondas punto a punto son los desvanecimientos, el cual son las pérdidas de potencia de la señal en toda su trayectoria, su unidad de medida se expresa en dB. Estos desvanecimientos se dan debido a desvanecimientos por multitrayectoria y por la atenuación de lluvia, estos factores se explicarán a continuación de forma detallada.

1.5.1 Reflexiones

Otro de los problemas que presentan los radio enlaces microondas punto a punto son los desvanecimientos producidos por multitrayectos. Esto se realiza cuando una onda de radio puede llegar al receptor a través de múltiples trayectorias debido a la reflexión de las ondas en superficies reflectoras (agua, rocas, árboles). La señal sufre interferencia que causan problemas en la recepción.

Un parámetro muy importante a tomar en cuenta en la propagación de una onda son sus reflexiones. Si la onda directa y la onda reflejada están defasadas 180° habrá lo que se llama desvanecimiento, esto se debe a las reflexiones del agua, por lo tanto para evitar el desvanecimiento especialmente en los enlaces que pasan por agua, se utiliza una altura adecuada en el tamaño de las torres donde la onda reflejada no se defase en su trayectoria con el fin de obtener un buen funcionamiento del enlace¹. (Ver figura 1.3)

¹Este análisis se explicará en el capítulo 4 en el diseño del enlace con el simulador Pathloss.

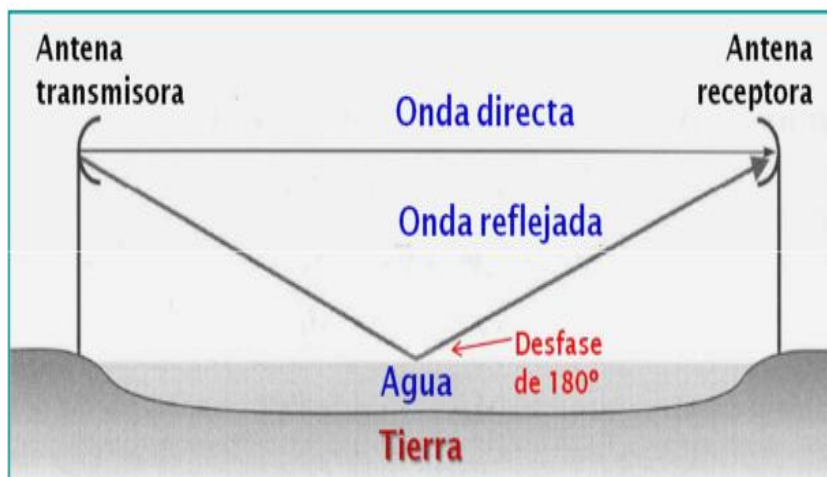


Figura 1.3 Desvanecimiento por multitrayectoria.

1.5.2 Atenuación por lluvia

Otro parámetro que se toma en cuenta en la propagación de la onda electromagnética es debido a los factores atmosféricos especialmente las producidas por lluvia. Por lo tanto es necesario calcular la atenuación producida por la lluvia, aunque la atenuación causada puede despreciarse para frecuencias por debajo de los 10 GHz, en el caso del enlace entre el Archipiélago de Solentiname y san Carlos como la frecuencia de trabajo¹ es de 7 GHz, la atenuación debido a la lluvia es prácticamente nula.

1.5.3 Margen de desvanecimiento

El margen de desvanecimiento es la diferencia entre el valor de potencia de la señal recibida y el nivel de umbral de recepción del radio, es el principal parámetro en el modelo de cálculo de la disponibilidad del enlace, en donde el margen de desvanecimiento asegura el buen funcionamiento del enlace, según la recomendación UIT-R 530² de manera que a mayor sea este valor menor será la probabilidad de interrupción en el enlace.

Este factor se calcula mediante la siguiente ecuación³:

$$MD = P_R - NUE_c. (2)$$

¹ La Selección de ésta frecuencia se explicará en el capítulo III

² Recomendación Citada en el documento PDF UIT-R530 encontrado en el enlace www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/.../R-REC-P-530-13-200910-S-PDF-S.pdf

³ El cálculo del margen de desvanecimiento se explicara en el capítulo IV

MD= Margen de desvanecimiento

P_R = Potencia recibida

NU= Nivel de umbral

1.5.4 Umbral de recepción del radio

Para el diseño de un radioenlace se toma en cuenta la trayectoria de la señal (Nivel de entrada), es por eso que se traza un objetivo de calidad (A esto se le llama umbral de recepción del radio). Si la señal recibida se encuentra por debajo del umbral el enlace se considera cortado (Nivel de corte); Este umbral trata de establecer un valor en la señal recibida que asegura el funcionamiento del enlace con una confiabilidad mínima del 99.9664.

La siguiente figura muestra la señal recibida en función del tiempo durante un fenómeno de desvanecimiento en su trayectoria. (Ver figura 1.4)

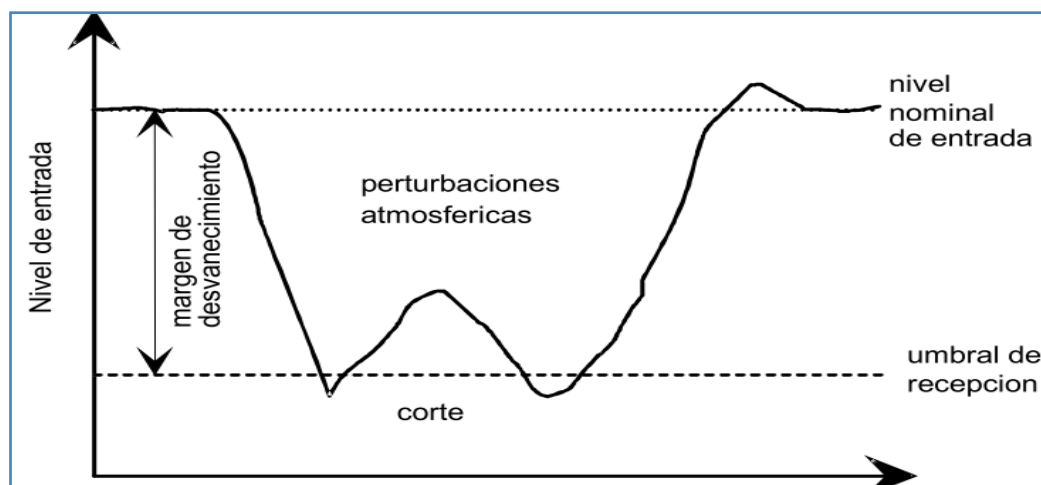


Figura 1.4 Trayectoria de la señal recibida

Como se muestra en la figura 1.4, a mayor margen de desvanecimiento, menor probabilidad de que la señal decaiga por debajo del nivel umbral de recepción del radio. El comportamiento tanto de los desvanecimientos producidos por perturbaciones atmosféricas causan desvanecimientos en la señal recibida. Por lo tanto se corta el funcionamiento del sistema. Consecuentemente, el funcionamiento del sistema se mejora aumentando el margen de desvanecimiento. Esto se puede alcanzar utilizando torres muy altas.

1.6 Parámetro de confiabilidad del enlace

El parámetro de confiabilidad del enlace corresponde al tiempo probabilístico en el cual un radioenlace se mantiene trabajando es decir transmitiendo información. El método escogido para realizar este cálculo es el de Vigants Barnett¹, donde se toma en consideración el margen de desvanecimiento, las características climáticas y la topografía del terreno, todo esto se utiliza para predecir el comportamiento de la transmisión de la señal.

Por consiguiente la confiabilidad e indisponibilidad de un radioenlace se calcula a través de las siguientes ecuaciones:

$$P = 6 \times 10^{-7} \cdot a \cdot b \cdot f \cdot d^3 \cdot 10^{-MD/10} \text{ Ec. (3)}$$

$$R = (100 - P) \cdot 100 \text{ Ec. (4)}$$

P = Indisponibilidad

R= Confiabilidad

f = Frecuencia (MHz)

d = Distancia total del trayecto (Km)

MD = Margen de desvanecimiento (dB).

a = Variable del tipo de terreno del enlace. (Ver tabla 1.1).

b =Factor climático del lugar del enlace. (Ver tabla 1.2).

a	Tipo de terreno
4	Terreno muy suave o agua
1	Terreno poco montañoso
1/4	Terreno montañoso

Tabla 1.1 Factor de rugosidad “a”

b	Tipo de terreno
1/2	Zonas con costas
1/4	Clima con temperatura normal
1/8	Zonas montañosas o muy secas

Tabla 1.2 Factor climático “b”

¹Vigants Barnett se usa para calcular la probabilidad de grandes profundidades de desvanecimientos durante pequeños porcentajes de tiempo para el peor mes del año en cualquier parte del mundo.

1.7 Indisponibilidad en los radioenlaces microondas

Los objetivos de indisponibilidad para radioenlaces microondas se definen en las recomendaciones UIT-R F.557-4¹ (UIT- Unión Internacional de Telecomunicaciones) y UIT-R F.695 en donde se propone como valor provisional una indisponibilidad del 0,3%. El porcentaje debe evaluarse durante un periodo de tiempo suficientemente largo, probablemente superior a un año para que sea válido estadísticamente.

Se estipula que el 0.3% del tiempo se distribuya de forma proporcional a la distancia del enlace, hasta una distancia mínima de 280 Km por debajo de la cual el porcentaje de indisponibilidad se mantiene constante. Se ha procedido así para evitar cifras de indisponibilidad excesivamente pequeñas en enlaces cortos que serían difíciles de conseguir como el enlace entre el Archipiélago de Solentiname y San Carlos, por lo tanto el objetivo de indisponibilidad es: Trayectos menores a 280 km

$$P_T = \frac{0.3 \cdot 280}{2500} \% \text{Ec (5)}$$

$$P_T = 0.0336\%$$

P_T = Porcentaje de indisponibilidad (%)

Este valor es la indisponibilidad porcentual propuesta por la UIT para enlaces de trayectorias menores de 280 km.

Su objetivo de confiabilidad está dada por la siguiente ecuación:

$$R_T = (100 - P_T) \% \text{Ec (6)}$$

$$R_T = (100 - 0.0336) \%$$

$$R_T = 99.9664 \%$$

R_T = Confiabilidad del enlace

¹ Ver referencia en el documento PDF UIT-R F.557-4 obtenido de: www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/.../f/R-REC-F.557-4-199709-I!!PDF-S.pdf

1.8 Propagación en el espacio libre

Este modelo se deduce de las ecuaciones de Maxwell y permite calcular la potencia recibida a cierta distancia en condiciones ideales, es decir sin obstáculos de ninguna naturaleza. Se compone de una expresión matemática que se utiliza para la propagación general de una señal. Este tipo de propagación define la cantidad de fuerza que la señal pierde durante la trayectoria entre transmisor y el receptor. La propagación del espacio libre depende de la frecuencia y la distancia del enlace. El cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación¹.

$$P_{el} (db) = 32.45 + 20 \log_{10} (d) + 20 \log_{10} (f) E_c \quad (7)$$

P_{el} (dB) = Pérdida de propagación en el espacio libre (dB)

f = Frecuencia (MHz)

d = Distancia total del enlace (Km)

¹Tomada del libro PDF teoría de planificación de radio enlaces, página N° 30. (Thorvaldsen, 2002)

Capítulo II

2.0 DIAGNOSTICO Y CARACTERISTICAS DE LOS SITIOS

Para dar inicio al diseño de este radioenlace es necesario saber la cantidad de habitantes que tienen los municipios donde se hará esta propuesta de interconexión de un radioenlace punto a punto, ya que este es un dato muy importante debido a la demanda que se presentará al establecer el servicio. Donde la población del Archipiélago de Solentiname está formada por 735 habitantes pertenecientes a 129 familias. El 53 por ciento de la población son hombres y el 47 por ciento mujeres.

Mientras tanto la población total del municipio de San Carlos es de 28 600 habitantes (Censo nacional de 1995), con un 52 por ciento de habitantes varones y un 48 por ciento de mujeres. Este municipio cuenta con los servicios de datos a través de internet cuya administración está a cargo de la empresa de Telecomunicaciones Claro, de esta manera San Carlos es el municipio que proveerá datos a través de internet. Existen 117 conexiones domiciliarias que equivalen al 4 por ciento de las viviendas de ese municipio¹.

El servicio de telecomunicaciones será llevado de San Carlos hacia el Archipiélago de Solentiname, debido a que este sitio no cuenta con ninguna red de comunicaciones para su desarrollo, se enfocará en el sector educación donde se le brindará cobertura a los nueve centros escolares del sitio, las escuelas están ubicadas en la isla mayor llamada Macarrón, en la isla Macarroncito y San Fernando.

Por lo tanto, en base a esta necesidad, es necesario definir una ubicación para las estaciones microondas donde se instalará el equipo de radio y la torre. Estos emplazamientos deben estar cercanos al poblado al que se va a dar el servicio de datos a través del Internet. Obteniendo la ubicación (Coordenadas geográficas) se procede a hacer todo el estudio que implica un diseño de radioenlace microonda terrestre.

¹ Información citada de la ficha municipal del municipio de San Carlos, obtenida en www.inifom.gob.ni/municipios/.../RIO%20SAN%20JUAN/san_carlos.pdf

2.1 Características de los sitios

Continuando con el análisis de interconexión por microondas se brinda información acerca de los sitios de San Carlos y el Archipiélago de Solentiname para conocer en detalle todas las características que poseen estas dos zonas, su clima, el tipo de suelo, la vegetación, etc. Esto se realiza con el fin de proporcionar datos muy importantes para realizar el diseño del enlace por microondas.

2.1.1 San Carlos

El municipio de San Carlos, pertenece a la jurisdicción política del departamento de Río San Juan, está situado en el margen izquierda de la salida del río hacia la costa del Mar Caribe y frente al gran Lago de Nicaragua. Es la cabecera del municipio y del departamento, por consiguiente este municipio está ubicado entre las coordenadas de 11° 07' latitud norte y 84° 46' longitud oeste. (Ver figura 2.1)



Figura 2.1 Ubicación del Municipio de San Carlos

El clima del municipio de San Carlos está catalogado de monzónico tropical, con una temperatura que oscila entre los 25° y 26 °C, con precipitación anual que varía entre los 2000 y 2400 mm³. Las características del suelo de este lugar es un suelo ondulado, arcilloso, plásticos y adhesivos, durante la época seca se resquebrajan, tiene un color gris muy oscuro, como permanecen mojados la mayor parte del año, su manejo es más difícil¹.

¹ Citado en la ficha Municipal de San Carlos, información encontrada en la Página del gobierno de Nicaragua mediante la dirección web www.inifom.gob.ni/municipios/.../RIO%20SAN%20JUAN/san_carlos.pd...

2.1.2 Archipiélago de Solentiname

El Archipiélago de Solentiname se encuentra ubicado en el sur oeste del gran lago de Nicaragua (Cocibolca), situado en las siguientes coordenadas: Con una latitud de 11° 10' 00" N y longitud de 85° 00' 00" O. Este lugar posee una naturaleza excepcional, compuesta por 36 islas e islotes de diverso tamaño con una superficie total de 40,2 Km², esta zona representan una reserva de biosfera de inigualable comparación. (Ver figura 2.2).



Figura 2.2 Ubicación del Archipiélago de Solentiname

La vegetación del archipiélago es propia de la zona de bosques de transición del trópico húmedo al trópico seco. La mayor parte de la superficie de Solentiname se encuentra ocupada por bosques jóvenes o de regeneración y por tacotales. Su elevación oscila entre 30 y 250 metros sobre el nivel del mar, la precipitación anual es alrededor de 1500mm³ entre Mayo y Diciembre, y la temperatura promedio anual es de 26 a 28° C, estos datos son basados a los estudios del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER)¹.

¹ Datos obtenidos de <http://www.manfut.org/juan/solentiname.html>(MUNICIPIO)

2.2 Levantamiento del perfil del terreno

Para realizar el levantamiento del perfil del terreno se utiliza el software Google Earth, cuyas herramientas son de suma utilidad. Por consiguiente los puntos elegidos variarán de acuerdo a la altitud y posición de cada área, en donde se consideró el terreno más elevado de ambas zonas, auxiliándose del software antes mencionado, esto se hace con el fin de que las antenas puedan quedar enfrentadas directamente entre ellas.

De acuerdo al software, uno de los puntos más elevados del Archipiélago de Solentiname se encuentra ubicado en la Isla Macarrón, ideal para colocar antenas o equipos para telecomunicaciones, además que es una de las islas más grandes y la que esta más poblada, donde se ubican escuelas y hoteles, lugares ideales para fomentar el desarrollo a través del servicio de internet.

El otro punto se encuentra ubicado en el municipio de San Carlos alejado del casco urbano, en una zona con una altitud considerable que lo hace apto para la ubicación de la segunda torre, en estos dos puntos es donde se obtiene buena trasmisión inalámbrica, esto se realiza con el objetivo de brindar una cobertura óptima entre los sitios de el Archipiélago de Solentiname (Isla Macarrón) y San Carlos. A continuación se visualiza en la siguiente tabla las coordenadas geográficas de las estaciones del radioenlace, ubicadas a traves del software Google Earth. (Ver tabla 2.1).

Emplazamiento	Latitud	Longitud
Archipiélago de Solentiname	11° 10' 26.50 N	85° 00' 16.05 O
San Carlos	11° 08' 05.39N	84° 45' 38.19 O

Tabla 2.1 Coordenadas geográficas de las estaciones terrestres

La consideración mas importante es conocer la altura de la superficie terrestre, desde el punto inicial en el que se encuentra el emplazamiento de Solentiname (Km 0) ubicado en la Isla Macarrón, hasta el punto final donde se va a situar la torre ubicada en San Carlos (Km 27), y con esto poder visualizar las alturas del terreno y la línea de vista, donde se observarán todos los posibles obstáculos que pueden perjudicar la transmisión. (Ver figura 2.3).

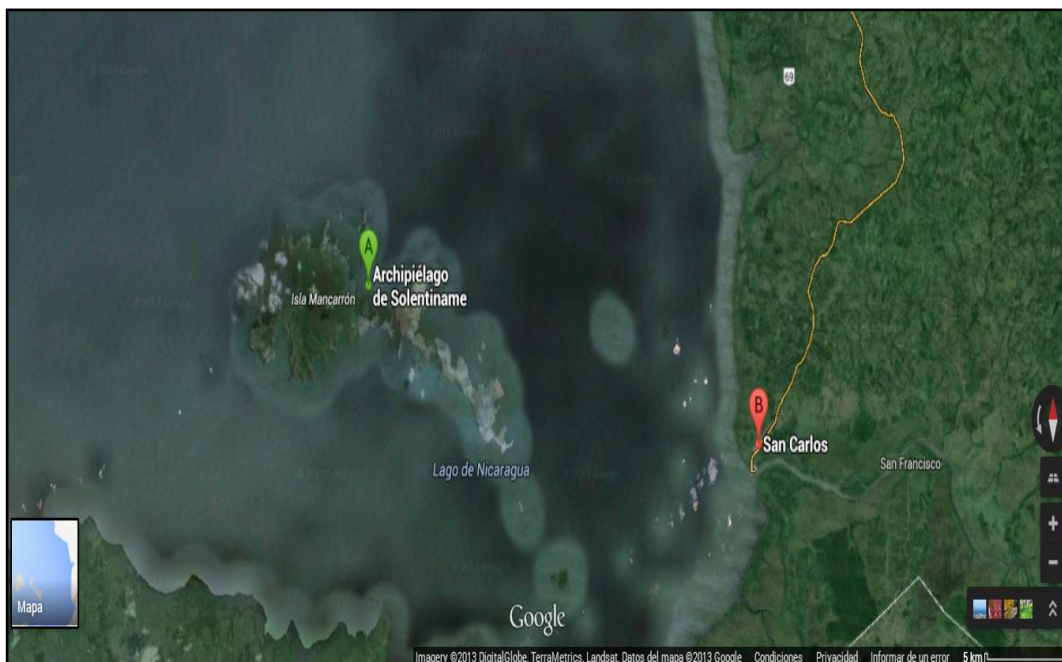


Figura 2.3 Vista panorámica de San Carlos y Solentiname

En el análisis del perfil del terreno tambien se ubicó el punto exacto donde se instalarán las torres, con la primer torre ubicada en San Carlos y las coordenadas mostradas en la tabla 1.1 y una elevación de 62 m, haciendo un recorrido de 17.6 Km sobre el lago Cocibolca hasta llegar al archipiélago donde se encuentran obstáculos como árboles y elevaciones montañosas. En la siguiente figura se podrá apreciar el emplazamiento de San Carlos. (Ver figura 2.4).



Figura 2.4 Emplazamiento de la torre de San Carlos.

En el resto del trayecto se encuentra el punto ideal donde se ubica la segunda torre a 27 Km de distancia de la torre de San Carlos, con una elevación de 53 m sobre el nivel del mar, ubicada en las coordenadas definidas anteriormente. Donde se decidió ubicar en este punto la torre de Solentiname debido a que hay población a sus alrededores. Se aprecia esta ubicación en la siguiente figura. (Ver figura 2.5).

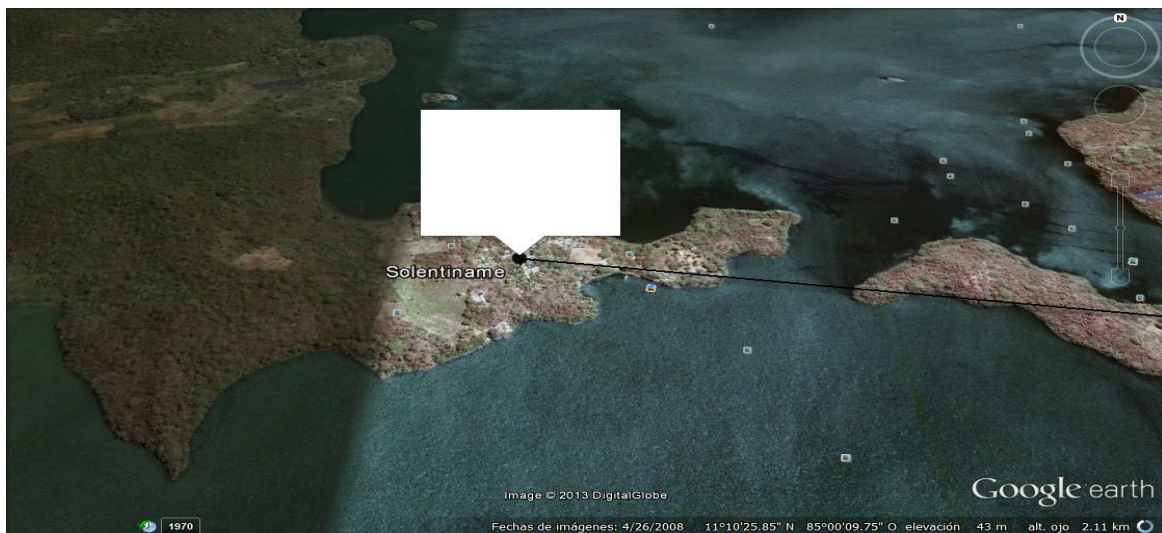


Figura 2.5 Emplazamiento de la torre de el Archipiélago De Solentiname

Capítulo III

3.0 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS ESTACIONES MICROONDAS

3.1 Frecuencia

Se denomina frecuencia a la cantidad de veces que sucede un movimiento periódico, como puede ser una onda senoidal de voltaje ó de corriente, durante determinado tiempo. La unidad básica de frecuencia es el Hertz. La necesidad de utilización de frecuencia para un determinado enlace de radiocomunicación junto con la enorme demanda de servicios de este tipo y los problemas de interferencia, implican que la asignación de frecuencias a las estaciones de radio sea un poco compleja debido a que está sujeta a una debida planificación.

Por eso existe una importante disciplina en el área de comunicaciones que es la llamada ingeniería del espectro, la cual se ocupa de la planificación y gestión de frecuencia. Como las ondas radioeléctricas no conocen fronteras es necesario que la gestión tenga un alcance internacional, esta gestión la realiza la unión internacional de telecomunicaciones (UIT) donde se establecen los mecanismos de coordinación internacional para la utilización de frecuencias.

3.1.1 Asignación de bandas de frecuencias

El espectro radioeléctrico se divide en bandas de frecuencias, las cuales se atribuyen a los diferentes servicios de telecomunicaciones. Tales atribuciones la efectúa la UIT en las conferencias administrativas mundiales de radiocomunicaciones y quedan recogidas en el cuadro de atribución de bandas de frecuencias del reglamento de radiocomunicaciones. Las administración de telecomunicaciones de los diferentes países, efectúan las asignaciones de frecuencia y banda a las estaciones radioeléctricas para cada servicio de comunicación, en nuestro país el encargado de administrar este servicio es TELCOR (Ente Regulador de Telecomunicaciones de Nicaragua).

3.1.2 Nomenclatura de las bandas de frecuencias

El espectro radioeléctrico de microondas se subdivide en tres bandas de frecuencias como se muestra en la tabla 3.1

banda	Denominación	Gama de frecuencias	Aplicación
UHF	Ultra high frecuencias (Frecuencias ultra altas)	300 Mhz a 3 GHz	Telefonía celular y en comunicaciones militares. Usos industriales y médicos.
SHF	Super high frecuencias (Frecuencias super altas)	3 GHz a 30 GHz	Comunicaciones vía satélite y radioenlaces terrestres.
EHF	Extra high frecuencias (Frecuencias extra altas)	30GHz a 3000 GHz	Comunicaciones diversas y radar de navegación

Tabla 3.1 Espectro radio eléctrico de microondas

Cabe destacar que las frecuencias entre 1GHz y 30 GHz, son llamadas microondas. Estas frecuencias abarcan parte del rango de UHF y todo el rango de SHF y EHF. Estas ondas se utilizan en numerosos sistemas, como múltiples dispositivos de transmisión de datos, radares y hornos microondas, transmisión de radio y televisión. A continuación se mostrarán las bandas de frecuencia para las microondas. (Ver tabla 3.2)¹

Banda	L	S	C	X	Ku	Ka
Inicio (GHz)	1	2	4	8	12	18
Final (GHz)	2	4	8	12	18	30

Tabla 3.2 Bandas de operación de microondas

¹ Tabla 2.2 sugun el estandar IEEE 521-2013 para la designación de las bandas de frecuencias. Citada en la web <http://www.upv.es/satelite/trabajos/pracGrupo17/frecuencias.html>

La frecuencia que se utiliza en el diseño de este radioenlace se selecciona de acuerdo a la capacidad de información. Por consiguiente la información a transmitir son datos a través de internet con una capacidad de información de hasta 34 Mbps por tal razón se selecciona una frecuencia que esta en el rango del equipo de radio¹ que se utiliza en el enlace. De acuerdo a lo anterior se selecciona la frecuencia central de 7662.5 MHz.

Además de la frecuencia central se seleccionan las frecuencias bajas y altas según la UIT, ya que son un parámetro muy importante para el diseño de este radioenlace, donde la frecuencia baja seleccionada es de 7547 MHz y la frecuencia alta es de 7792 MHz con un ancho de banda espectral de 28 MHz. Estas dos frecuencias están definidas dentro de la banda de frecuencias de las microondas. Por consiguiente se aprecia el mapeo de frecuencias de la ITU. (Ver imagen 3.1)

ITU-R F.385		
Banda	7425-7900	MHz
Frecuencia central	7662.5	MHz
Ancho de banda	28	MHz
N	Frec. Baja	Frec. Alta
1	7435	7680
2	7449	7694
3	7463	7708
4	7477	7722
5	7491	7736
6	7505	7750
7	7519	7764
8	7533	7778
9	7547	7792

Figura3.1 Mapeo de frecuencias de la ITU-R F385

¹ El equipo de radio es el encargado de modular la señal a una frecuencia determinada para ser transmitida al medio.

3.2 Especificaciones técnicas de las estaciones microondas

Un radio enlace está constituido por equipos terminales (transmisor y receptor). Los enlaces microondas son una forma eficiente de transmitir información punto a punto, tienen como una de sus principales ventajas el bajo costo del servicio lo que incluye: equipo, instalación, mantenimiento y la puesta en marcha del enlace. Para dar continuidad con el desarrollo de este documento es necesario saber las características técnicas de los equipos microondas. (Ver figura 3.2)

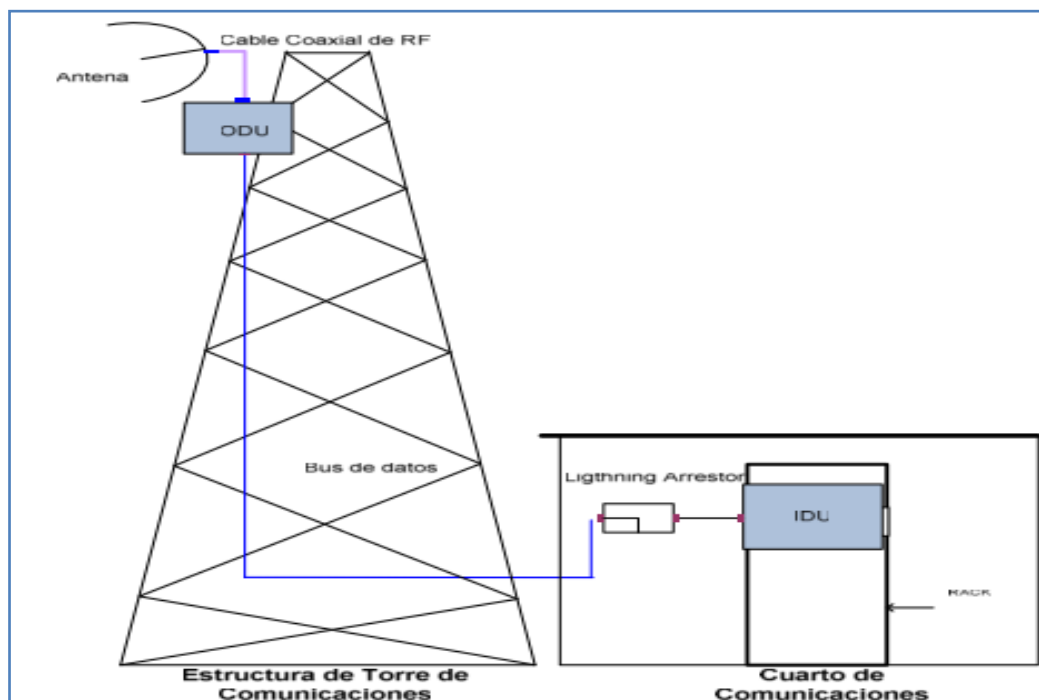


Figura 3.2 Equipos terminales

3.2.1 Antena

La antena es el elemento que determina la forma en la que se llevará a cabo la radiación de potencia fundamental en la fase de diseño, ya que el alcance, la capacidad y disponibilidad del enlace depende directamente de la elección de la misma. Para la elección de una antena se deben considerar una serie de características como lo es la frecuencia, polarización, directividad y radiación¹.

¹ Citar la definición de polarización, radiación y directividad en la página web http://www.wni.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=62:antenasoporte&catid=31:general&Itemid=79 (WNI)

3.2.2 Radio

Es la unidad encargada de poner en operación un enlace de microondas. Generalmente los radios de microondas poseen cinco módulos bien diferenciados que son módulo de energía, módulo de interfaces, módulo de control, módulo de modem de unidad interior (IDU) y el módulo de radiofrecuencia de unidad exterior (ODU). A continuación se describe cada uno de ellos en la siguiente tabla. (Ver tabla 3.3)

Módulo	Descripción
Energía	Energizar los circuitos del radio generalmente son voltaje de 48VDC
Interfaces	Se utiliza para acomodar las interfaces que se desean transmitir tales como: E1, E3, STM-1, Ethernet.
Control	Se encarga de todas las funciones de operación y mantenimiento, incluyendo las memorias donde se guarda la configuración del radio
Modem (IDU)	Se encuentra montada en el interior del cuarto de radio protegido de condiciones climáticas, procesa la información y entrega la misma a la ODU que esta se encargara de modular la señal a la frecuencia requerida.
Modem (ODU)	Se encuentra ubicada cerca de la antena y se compone de un paquete electrónico que contiene: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Amplificador de transmisión ➤ Receptor de bajo ruido ➤ Conversor de frecuencia.
Radio transmisor	Va acoplado a la antena por medio de un cable coaxial (es el elemento pasivo encargado de recibir y retransmitir los datos modulados). Es la encargada de modular la señal a la frecuencia deseada, amplificarla, filtrarla y enviarla a la antena para ser transmitida.

Tabla 3.3 Unidades del radio

3.3 Estaciones de microondas del enlace

En la presente propuesta de diseño del enlace entre el Archipiélago de Solentiname y San Carlos se pretende solucionar la necesidad de comunicación de datos a través de internet, especialmente en la comunidad de el Archipiélago de Solentiname donde no existe dicha tecnología. En San Carlos se cuenta con los servicios de datos a través de internet cuya administración está a cargo de la empresa de Telecomunicaciones Claro, de esta manera este municipio proveerá datos a través de internet a la comunidad de el Archipiélago de Solentiname.

Este tipo de tecnología es requerida en esa comunidad con fines de estudio para mejorar la educación en la población estudiantil. A continuación se muestra una figura en donde San Carlos le provee a el Archipiélago de Solentiname acceso a internet con el proveedor de claro. (Ver figura 3.3)

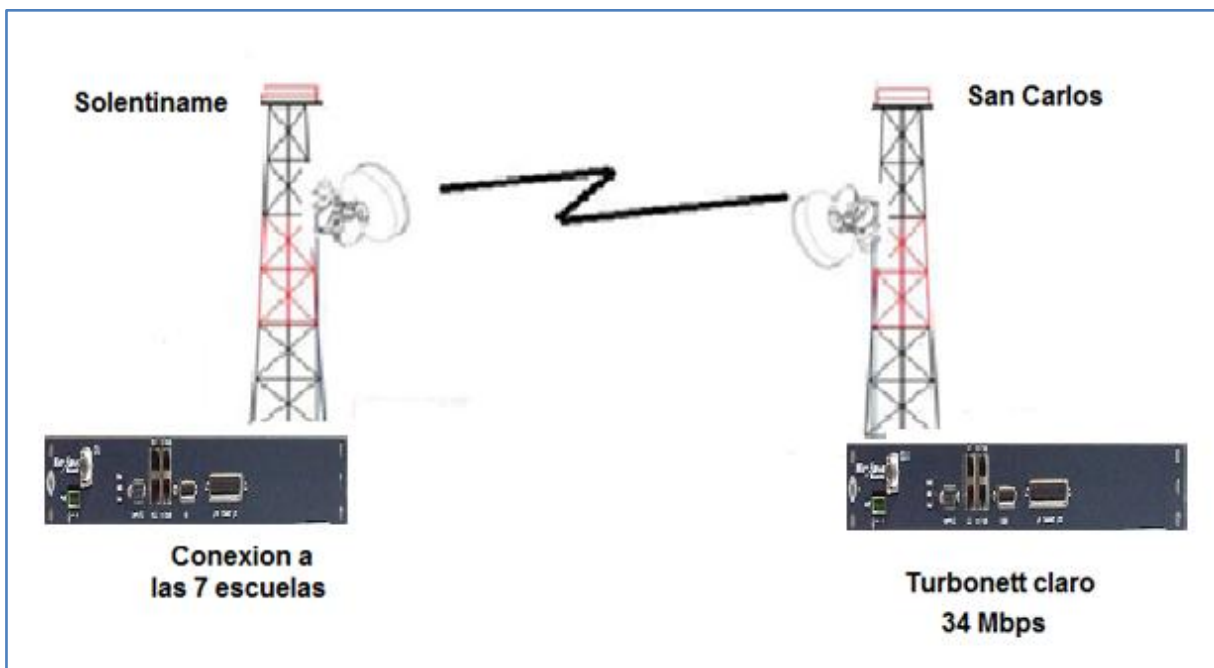


Figura 3.3 Estructura de interconexión entre las comunidades

3.3.1 Selección de los equipos de transmisión y recepción

El criterio de selección de los equipos de transmisión y recepción empleados en este diseño son los siguientes:

- Capacidad de información o ancho de banda a transmitir.
- Las pérdidas por conexiones físicas e instalación de los equipos de transmisión y recepción son prácticamente nulas.

Para el cálculo del ancho de banda se deben conocer dos factores, primeramente el tipo de información a transmitir y el número de clientes que se le lleva el servicio. Por lo tanto la información a transmitir son datos a través de internet. Estos datos destacan voz, video, acceso a todo tipo de páginas web, acceso a correos electrónicos y acceso a redes sociales.

El número de clientes que reciben el servicio son siete, que serán las siete escuelas que se encuentran en el Archipiélago de Solentiname. Por esta razón el radio Proteus AMT es el equipo adecuado para realizar esta transmisión. Por lo que cuenta con una capacidad de información de 34 Mbps utilizando la interfaz FastEthernet, donde se proporciona un rendimiento completo en 28 MHz de ancho de banda.

3.3.2 Tipo de radio del enlace

El tipo de radio a utilizar en este enlace es muy usado en la red de microondas porque permite configurarse como transmisor y como receptor, fue seleccionado de acuerdo a dos factores que definen un buen enlace que son: Las frecuencias y la capacidad de información que se va a transmitir. El radio para esta transmisión tiene que estar en el rango de las frecuencias establecidas por la UIT de 7547 MHz a 7792 MHz, por tal razón se selecciona de acuerdo a sus capacidades el modelo AMT/07/IP/HT/20M. A continuación se muestran la figura 3.4 y la tabla 3.4 del tipo de radio

3.3.3 Especificaciones del radio AMT/07/IP/HT/10M.



Figura 3.4 Radio Proteus ATM serie L

Radio	Archipiélago de Solentiname	San Carlos
Frecuencia	7547 MHz	7792 MHz
Modelo de radio	AMT/07/IP/HT/10M	AMT/07/IP/HT/10M
Potencia de transmisión	20 dBm	20 dBm
Ancho de banda	28 MHz	28 MHz
Capacidad de información	50 Mbit/s	50 Mbit/s
Nivel de umbral Rx	-75.50 dBm	-75.50 dBm
Tipo de Modulación	32 QAM	32 QAM

Tabla 3.4 Especificaciones Técnicas del radio

3.3.3.1 Funcionamiento y capacidad de información del Radio

Se encarga de codificar las señales ópticas y eléctricas, para luego emitirlas como ondas electromagnéticas a través de una antena. En el enlace de microondas a realizar entre el Archipiélago de Solentiname y San Carlos se utiliza el equipo Proteus AMT, donde éste tendrá la función de transmisor y receptor de la información a transmitir.

3.4 Tipo de antena

En este enlace la antena que se requiere es una antena de la marca Andrew modelo HPX6-74GA, se seleccionó este modelo de antena porque es el adecuado según el rango de frecuencias con que se va a hacer el diseño y su rango de operación está entre los 7425 a 7900 MHz, dispone de un diámetro de 1.8 m y una ganancia de 40.4 dBi¹. Por lo tanto es ideal para los sistemas punto a punto inalámbrico con polarización vertical². (Ver figura 3.5) y especificaciones técnicas en la tabla 3.5



Figura 3.5 Antena Andrew HPX6-74GA

¹El dBi, o decibelio isótropo, es una unidad para medir la ganancia de una antena en referencia a una antena isótropa teórica. El valor de dBi corresponde a la ganancia de una antena ideal (teórica) que irradia la potencia recibida de un dispositivo al que está conectado, y al cual también transmite las señales recibidas desde el espacio, sin considerar ni pérdidas ni ganancias externas o adicionales de potencias.

²Detalles técnicos de la antena fueron obtenidos de la base de datos del Pathloss

Antena	Solentiname	San Carlos
Frecuencia	7547 MHz	7792 MHz
Modelo de antena	Andrew HPX6-74GA	Andrew HP6-74GA
Ganancia de antena	40.4 dBi	40.4 dBi
Altura de la torre	34 m	40
Polarización	vertical	vertical
Diámetro	1.83m	1.83m
Código de la antena	A 3691	A 3691

Tabla 3.5 Especificaciones técnicas de la antena

3.5 Modo de transmisión

Los sistemas de comunicación se diseñan para manejar la transmisión en una dirección, y en ambas direcciones pero solo uno a la vez o en ambas direcciones al mismo tiempo esto se llama modos de transmisión. El modo de transmisión de este enlace es el full-dúplex. Las transmisiones ocurren en ambas direcciones y al mismo tiempo. Esto quiere decir que el enlace que se está trabajando la antena ubicada en el archipiélago de Solentiname puede transmitir y recibir información de manera simultánea. Un ejemplo de ello es un sistema telefónico estándar. (Ver figura 3.6)

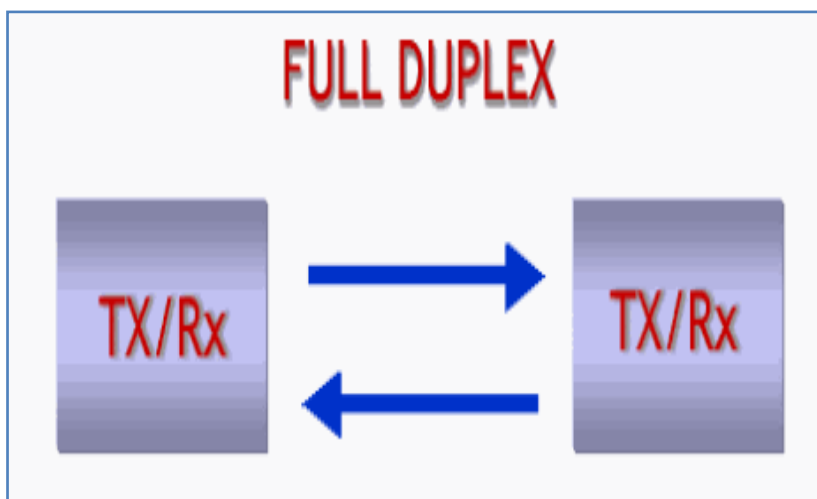


Figura 3.6 Transmisión full –dúplex

3.6 Tipo de Guía de onda del enlace

Las guías de ondas se utilizan para la transmisión de RF en el rango de las frecuencias de microondas. Las configuraciones clásicas de guía rígida rectangular y circular fueron suplantadas hace más de 20 años por la guía de onda elíptica. La guía de onda rectangular hoy en día se utiliza principalmente como partes cortas de interconexión, codos, twist etc; Mientras la elíptica es la más utilizada para las alimentaciones sistemas de antenas. Por lo tanto las guías de ondas circulares se utilizan en lugares donde se requieren valores muy bajos de atenuación.

El cableado a utilizar tiene las características necesarias para trabajar en el rango de las frecuencias establecidas en este enlace, por lo tanto se eligió el modelo EW77 ya que posee los parámetros que se necesitan para realizar una buena transmisión de la señal hacia la antena, este modelo de guía de onda presenta una pérdida de 5.91 dB por cada 100 m y trabaja en una banda de frecuencia de 7.125 a 8.5 GHz.

A continuación se darán a conocer las características específicas en las siguientes tablas. (Ver figura 3.7, tablas 3.6 y 3.7)



Figura 3.7 Guía de ondas EW77

Conductor del material	Cobre corrugado
Color del revestimiento	negro

Tabla 3.6 Material de construcción

Frecuencia (GHz)	Atenuación (dB/100 pies)	Atenuación (dB/100 m)	Potencia media (KW)	Velocidad de grupo%
7.5	1.825	5.988	3.263	77.8
7.7	1.792	5.88	3.323	79.1

Tabla 3.7 Atenuación

Las características de una guía de onda se determinan por su forma. En la instalación hay que tener sumo cuidado en evitar torceduras que puedan causar degradación en la transmisión, estas deben ser levantadas utilizando poleas. Una vez colocadas, la guía de onda debe asegurarse en la torre con los kits de soportes, y se utiliza un soporte cada metro aproximadamente. El soporte se fija a la torre y la guía se asegura en su lugar de arriba hacia abajo.

Las guías de onda deben conectarse a un buen polo tierra, por medio de una varilla de cobre aterrizada en la base de la torre. Esto con el objetivo de proteger los equipos ante posibles daños provocados por descargas eléctricas, debido a que hay áreas con mucha incidencia de rayos y se aconseja un polo tierra cada 30m aproximadamente. Echo lo anterior las guías de onda elípticas deben presurizarse¹

¹ Información citada del PDF Guía de ondas de telecomunicaciones, encontrada en <ftp://neutron.ing.ucv.ve/pub/.../GUIA03TELECOMUNICACIONES.pdf> (Costanini)

Capítulo IV

4.0 DISEÑO Y CALCULOS DE INGENIERIA PARA EL RADIO ENLACE SOLENTINAME A SAN CARLOS

Para dar inicio al diseño del radioenlace es necesario definir parámetros importantes que ayudan a entender de una mejor manera la realización del mismo. En el cual se realizan cálculos de ingeniería para el diseño de radioenlaces, para ello se cuenta con la ayuda del simulador Pathloss versión 5, donde se introducen datos y configuraciones que se requieren para este diseño de radioenlace. A continuación se muestra una figura de la trayectoria completa de transmisión entre los emplazamientos con sus respectivas ganancias y pérdidas de la señal. (Ver figura 4.1)

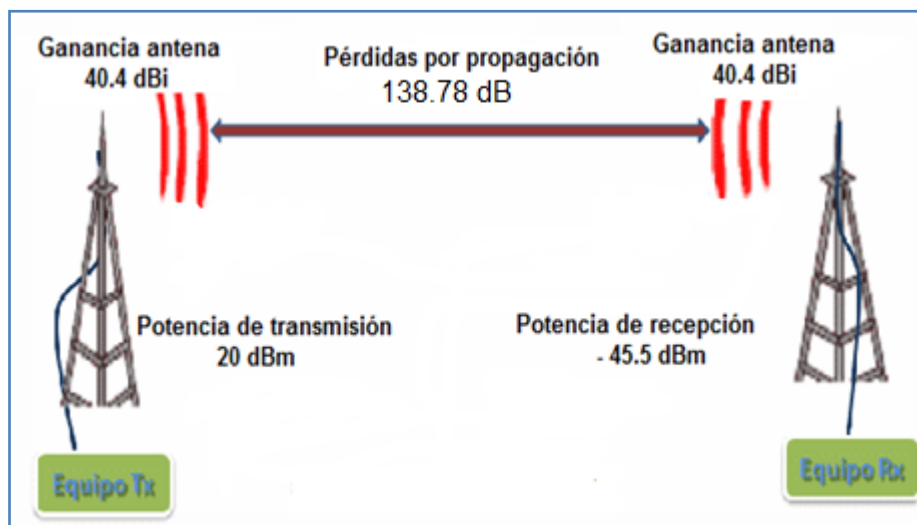


Figura 4.1 Trayectoria completa de transmisión entre el transmisor y receptor

4.1 Cálculos para el diseño del Radioenlace

Como parte del diseño del radioenlace entre el Archipiélago de Solentiname y San Carlos se cuantifican las pérdidas que sufre la señal (desde el radio transmisor a través de cables, conectores y espacio libre hacia el receptor) y de esta manera verificar la eficiencia que tiene el diseño con la finalidad de poder evaluar si es posible o no su implementación. A continuación se muestran los cálculos matemáticos de todas las posibles pérdidas de la señal¹.

¹Las ecuaciones para realizar estos cálculos fueron tomadas del documento PDF Rediseño de radioenlaces pagina 132, (Morocho, febrero del 2012)

4.1.1 Atenuación total debido a la lluvia

La atenuación total debido a la lluvia se calculó y se ubicó en los anexos ya que la frecuencia de trabajo es de 7GHz y la atenuación que presenta debido a la lluvia es prácticamente nula. Realizando este cálculo en el enlace entre el Archipiélago de Solentiname y San Carlos se pudo obtener un valor de la atenuación total de la lluvia.

$$A_{\text{total}} = 2.37 \text{ e}^{-4} \text{ dB}$$

A total= Atenuacion Total

4.1.2 Atenuación por espacio libre

Este es un cálculo realizado para conocer las pérdidas que va a tener la señal durante su trayecto de propagación sin obstáculos entre el transmisor y el receptor. En este análisis se omiten las pérdidas ocasionadas por lluvia, debido a que el enlace de microondas opera a una frecuencia de 7 GHz, donde estas son despreciables. Este cálculo es para determinar la pérdida que tiene la señal durante todo su camino, sin obstrucción alguna como pueden ser árboles, casas y elevaciones rocosas. Se retoma la EC (7)

Datos:

f=7662.5 MHz

d=27 km

$$P_{\text{el}} (\text{dB}) = 32.45 + 20 \log_{10} (d) + 20 \log_{10} (f) \text{ Ec (7)}$$

$$P_{\text{el}} (\text{dB}) = 32.45 + 20 \log_{10} (27) + 20 \log_{10} (7662.5)$$

$$P_{\text{el}} (\text{dB}) = 32.45 + 28.62 + 77.68$$

$$P_{\text{el}} (\text{dB}) = 138.75 \text{ dB}$$

Pel= Propagación en el espacio libre (dB)

f= Frecuencia de trabajo (GHz)

d= Distancia total del enlace (Km)

4.1.3 Pérdidas por propagación

Son las pérdidas que sufre la señal por atenuación debido a la lluvia y a las pérdidas del espacio libre.

$$P_p = A_{\text{total}} + P_{\text{el}} \text{Ec (8)}$$

$$P_p = 2.37 e^{-4} \text{ dB} + 138.75 \text{ dB}$$

$P_p = 138.76 \text{ dB}$

P_p = Pérdidas por propagación (dB)

A_{total} = Atenuación total debido a la lluvia (dB)

P_{el} = Pérdidas del espacio libre (dB)

4.1.4 Pérdidas del equipo de Transmisión/recepción

Las pérdidas que introducen los equipos en el sistema de transmisión/recepción a diseñar son las llamadas pérdidas misceláneas (Son las pérdidas causadas por acoplamiento de la ODU y la antena) y otras pérdidas adicionales que se totalizan por la siguiente ecuación:

$$P_{T_x/R_x} = P_m + P_f + P_{\text{circulador}} + P_s \text{Ec (9)}$$

Donde:

P_{T_x/R_x} = Pérdidas del equipo de transmisión/recepción

P_m = Pérdidas misceláneas

P_f = Pérdidas en los filtros

$P_{\text{circulador}}$ = Pérdidas en el circulador

P_s = Pérdidas en el switch

$$P_{T_x/R_x} = 1 \text{ dB} + 1 \text{ dB} + 1 \text{ dB} + 1 \text{ dB}$$

$P_{T_x/R_x} = 4 \text{ dB}$

4.1.5 Pérdidas en la guía de onda

De acuerdo a la ficha técnica de la guía de onda seleccionada de acuerdo a su rango de frecuencia, esta presenta una pérdida de 5.91 por cada 100m. La longitud de guía de onda del enlace es de 0.5 m.

La pérdida por guía de onda sería: $(5.91 \text{ dB} * 0.5 \text{ m}) / 100 \text{ m} =$

0.02 dB

La pérdida por guía de onda del enlace es de 0.02 dB cuya longitud es de 0.5 m que va acoplada de la antena a la ODU como se muestra en la figura 3.2 del capítulo 3.

4.1.6 Pérdidas en el cable coaxial

De acuerdo a la ficha técnica del cable coaxial presenta una pérdida de 22 dB por cada 260 m. La longitud del cable coaxial del enlace es de 45 m.

La pérdida del cable coaxial sería: $(22 \text{ dB} * 45 \text{ m}) / 260 \text{ m} =$

3.80 dB

La pérdida del cable coaxial del enlace es de 3.80 dB cuya longitud es de 45 m que va acoplada de la ODU a la IDU.

4.1.7 Pérdidas netas del enlace

Son las Pérdidas que hay debido a la propagación en toda la trayectoria del enlace menos la variación de ganancias de ambas antenas.

$$P_n = P_p - G_T - G_R \text{ Ec (10)}$$

$$P_n = 146.31 \text{ dB} - 40.4 \text{ dBi} - 40.4 \text{ dBi}$$

P_n=65.51 dB

P_p= Pérdidas por propagación (dB)

G_T = Ganancia de la antena transmisora (dBi)

G_R = Ganancia de la antena receptora (dBi)

4.1.8 Pérdidas en la potencia de recepción

La potencia que está disponible en el receptor depende de la potencia entregada por el transmisor y las diferentes pérdidas y ganancias que aparecen en el trayecto del transmisor al receptor. Al considerar todas estas variables se tiene la siguiente ecuación que es conocida como ecuación general del radioenlace.

$$P_R = P_{TX} + GT + GR - PT - P_p \text{Ec (11)}$$

Donde:

P_R = Potencia recibida (dBm)

P_{TX} = Potencia del transmisor (dBm)

GT = Ganancia de la antena transmisora (dBi)

GR = Ganancia de la antena receptora (dBi)

P_p = Pérdidas por propagación (dB)

Los datos de potencia de transmisión y de las ganancia de las antenas fueron obtenidas de las características técnicas de los equipos a emplear, la cual se especificaron en el capítulo tres.

$$P_{TX} = 20 \text{ dBm}$$

$$GT = 40.4 \text{ dBi}$$

$$GR = 40.4 \text{ dBi}$$

$$P_p = 146.31 \text{ dB}$$

$$P_R = 20 \text{ dBm} + 40.4 \text{ dBi} + 40.4 \text{ dBi} - 146.31 \text{ dB}$$

$$P_R = 100.8 \text{ dBm} - 146.31 \text{ dB}$$

$P_R = -45.5 \text{ dBm}$

4.1.9 Margen de desvanecimiento

El margen de desvanecimiento de un sistema es la diferencia existente entre la potencia de recepción y el nivel de umbral del receptor. El nivel de umbral de este equipo de radio a utilizar es de -75.50 dBm para una tasa de bit de error de BER 10^{-6} y con estos valores puede calcular el margen de desvanecimiento efectivo mediante la siguiente ecuación:

$$Md = P_R - Nu \quad \text{Ec. (12)}$$

$$Md = -45.50 \text{ dBm} - (-75.50 \text{ dBm})$$

$$Md = -45.50 \text{ dBm} + 75.5 \text{ dBm}$$

$$Md = 30 \text{ dBm}$$

$Md = 30 \text{ dBm}$

Md= Margen de desvanecimiento (dBm)

P_R = Potencia recibida

Nu= Nivel de umbral

4.1.10 Cálculos de indisponibilidad y confiabilidad del enlace

$$P = 6 \times 10^{-7} \cdot a \cdot b \cdot f \cdot d^3 \cdot 10^{-Md/10} \quad \text{Ec. (3)}$$

$$R = 100 - P (\%) \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

P = Indisponibilidad

R = Confiabilidad

f = 7662.5 MHz = 7.66205 GHz

d = 27 Km

Md = 30 dBm

a = 4

b = $\frac{1}{2}$

De acuerdo a lo antes expuesto, para el diseño se tiene:

$$P = 6 \times 10^{-7} (4)(1/2)(7.66205)(27)^3 (10^{-30/10})$$

$$P = 6 \times 10^{-7} (4)(1/2)(7.66205)(27)^3 (0.00105)$$

$$P = (0.0000012)(7662.5)(19683)(0.00105)$$

$$P = 1.9 \times 10^{-4}$$

$$R = (100 - 1.9 \times 10^{-4})$$

R = 99.99981%

Debido a que en ambos extremos del enlace el margen de desvanecimiento es igual, entonces los valores de indisponibilidad y confiabilidad del enlace son los mismos para ambos sentidos. En el capítulo I se analizó el objetivo de confiabilidad de un radioenlace propuesto por la UIT; En donde la recomendación UIT-R F695 recomienda que el porcentaje de confiabilidad sea mayor a 99.9664%.

Para este radio enlace el porcentaje de confiabilidad es de 99.99981% por lo que evidentemente se cumple con lo propuesto por la UIT, Lo que se ve reflejado en el desempeño del sistema, proporcionando de esta manera calidad en la transmisión de información entre las comunidades. En la siguiente tabla se muestra el tiempo de inactividad anual del enlace, esto quiere decir el tiempo en el que el enlace estará fuera de servicio en todo un año. (Ver tabla 4.1)

Porcentaje de disponibilidad	Día de 24 horas	Día de 8 horas
99%	87,6 horas (3,65 días)	29,12 horas (1,21 días)
99.9%	8,76 horas	2,91 horas
99.99%	52,56 minutos	17,47 minutos
99,999%	5,256 minutos	1,747 minutos
99.9999%	31,536 segundos	10,483 segundos

Tabla 4.1 Porcentaje de disponibilidad y tiempo de inactividad anual

4.1.11 Cálculo de la zona de Fresnel para el enlace Solentiname a San Carlos

Este cálculo se realiza para ver si hay un alto grado de obstrucción en el trayecto y no deteriorar la calidad de transmisión. Según a como se definió la la primera zona de Fresnel en el primer capítulo, se señaló que el primer lóbulo de radiación, debe tener al menos un de 60% de su área despejada para establecer una buena comunicación inalámbrica, mientras tanto un 40% es el rango óptimo que debe estar un obstáculo dentro de la primera zona de Fresnel.

4.1.11.1 Cálculo para el obstáculo más elevado

Los datos del enlace son tomados gracias al levantamiento del perfil, donde se muestran los principales obstáculos que se encuentran en el trayecto de propagación. De manera que este cálculo fue realizado con respecto al obstáculo más elevado, ubicado a 3.45 km de la estación microonda del archipiélago de Solentiname y una elevación de 64.7 m, donde se utilizará la frecuencia de 7665.2 MHz para efectuar este cálculo. Se retoma la Ec (1) para realizar este cálculo (Ver figura 4.2) y (Figura 4.3)

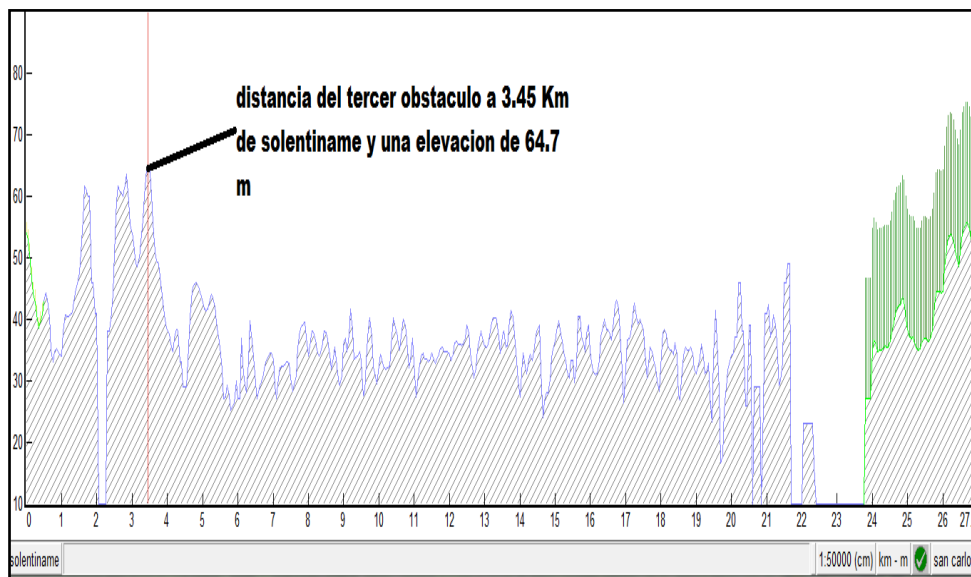


Figura 4.2 Tercer obstáculo de la primera zona de Fresnel

Datos del enlace

d1= 3.45 km

d = 27 km

d2= d – 3.45 km del obstáculo

d2= 23.55km

f= 7662.5 MHZ

$$Rf1 = n \sqrt{\frac{(d1)(d2)}{(f)(dt)}} Ec (1)$$

$$Rf1 = 17,31 \sqrt{\frac{(3.45km)(23.55km)}{(7662.5 \text{ MHz})(27 \text{ km})}}$$

$$Rf1 = 17,31 \sqrt{\frac{81247500 \text{ km}}{206.88 \times E6}}$$

$$Rf1 = 17,31 (0.62) = 10.85 \text{ m} \quad (\text{Ver figura 3.3})$$

Rf1= 10.85 m

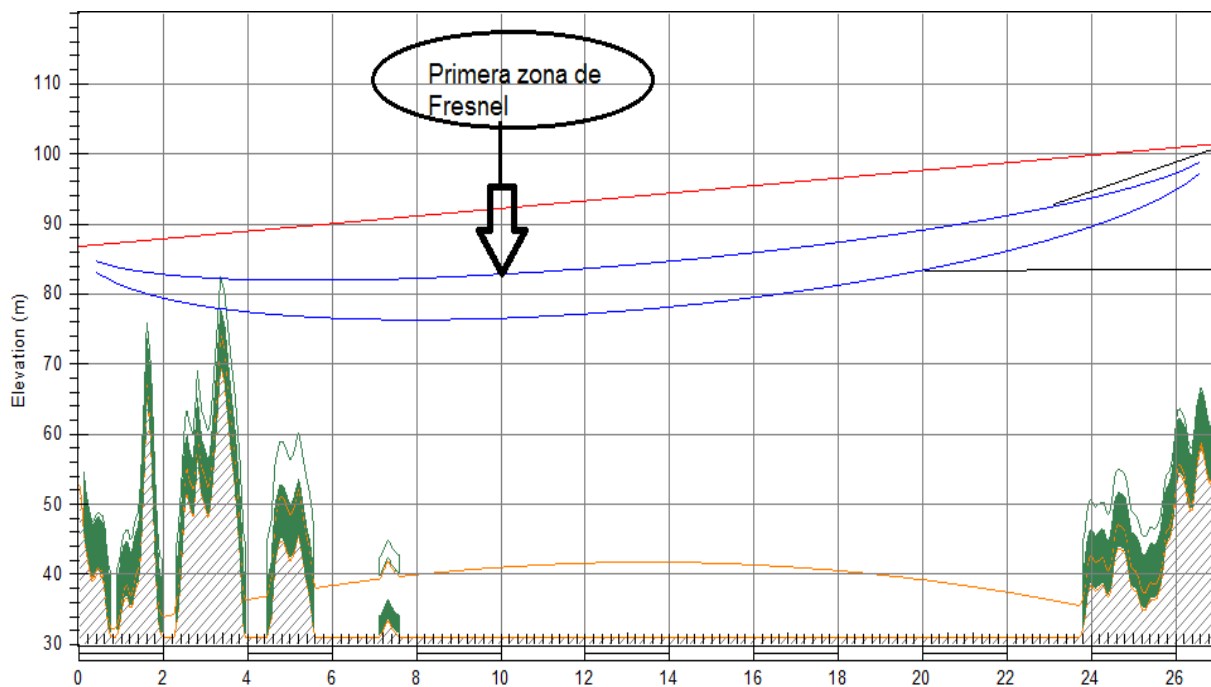


Figura 4.3 Primera zona de Fresnel con el 60% del lóbulo libre de obstrucciones

4.2 Diseño del radio enlace usando la herramienta Pathloss 5.0

Para realizar los cálculos en el diseño, a pesar que estos son realizados automáticamente por el programa es necesario tener una noción básica de todos los parámetros que favorecen y desfavorecen los radioenlaces, a continuación se muestra un diagrama del enlace punto a punto entre San Carlos y el archipiélago de Solentiname. (Ver figura 4.4)

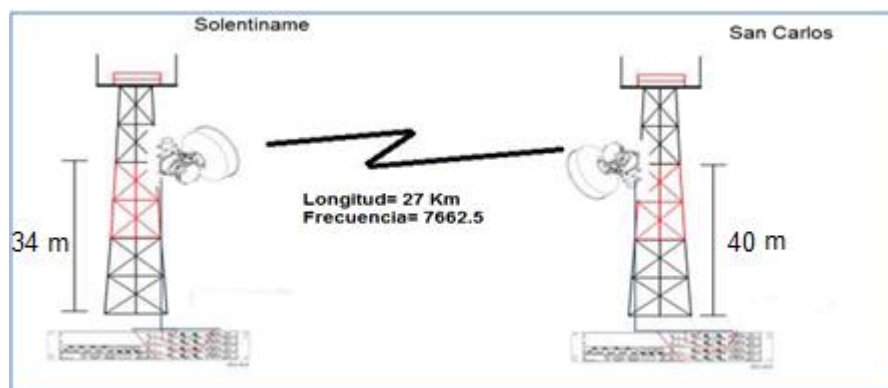


Figura 4.4 Diagrama del enlace punto a punto

4.2.1 Descripción del Pathloss Versión 5

Pathloss es una herramienta completa para el diseño de radioenlaces punto a punto o punto multipunto, que operan en la gama de frecuencias de 30 MHz a 100GHz (VHF, SHF, UHF), esta herramienta está conformada por cinco módulos para el diseño del radioenlace y todas las condiciones asociadas al mismo. Los módulos de este programa son los siguientes:

1. Terrain Data: Permite obtener el perfil topográfico, el cual es un requisito previo para acceder a los siguientes módulos de diseño del programa. Consiste de una tabla de distancias y alturas entre los dos sitios. Dentro de este módulo puede modificarse el terreno mediante la inclusión de obstáculos los cuales pueden ser: árboles, edificios y agua.

2. Antenna Heights: Permite determinar la altura que deben tener las antenas del enlace.
3. Diffraction: Permite realizar cálculos de las pérdidas producidas por difracciones en el terreno.
4. Multipath reflection: Permite realizar una simulación de cómo afecta las superficies reflexivas sobre la señal de radio a transmitir. También utilizado para simular condiciones de propagación anormal, mediante técnicas de trazado de rayos.
5. Print Profile: Permite imprimir el perfil topográfico del terreno.

4.3 Procedimiento para el diseño del radioenlace con el simulador

Iniciando el diseño del radio enlace Solentiname-San Carlos se abordan parámetros como son la distancia entre los dos sitios cuyo valor es de 27 Km, la frecuencia central del enlace que es 7662.5 MHz, el tipo de guía de onda EW77 con una atenuación de 5.98 dB por cada 100 metros, la antena con una Ganancia de 40.4 dBi y un diámetro de 1.8m y el radio transmisor. Los equipos requeridos en el diseño se explicaron en el capítulo anterior.

4.3.1 Configurar el perfil del terreno

Lo primero que se debe realizar es introducir los valores de las coordenadas de ambos sitios dentro del programa para iniciar con la configuración del diseño. Ya que mediante la utilización de este software se facilita la realización de cálculos y diseño de ingeniería para enlaces microondas, adicionalmente esta herramienta emite los reportes de perfil del terreno, Zona de Fresnel, Multitrayectoria y Reflexiones, parámetros explicados anteriormente en la descripción del Pathloss. (Ver figura 4.5)

Import Export Edit Mark sites Create Group Update PL5 files Thematic mapping				
	Site name	Latitude	Longitude	Elevation (m)
1	San Carlos	11 08 05.00 N	084 45 38.19 W	61.4
2	Solentiname	11 10 26.50 N	085 00 16.05 W	52.8

Figura 4.5 Recuadro para introducir coordenadas dentro del Pathloss

Introducidas las coordenadas se procede a seleccionar la base de datos del terreno para poder generar el perfil topográfico donde se requiere hacer el enlace. La base de datos utilizada es la Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) ya que se encuentran plataformas cuya información está disponible de manera gratuita, de fácil acceso y con una disponibilidad a nivel global, por consiguiente se mostrará el perfil topográfico y las elevaciones de los sitios (Ver figura 4.6)

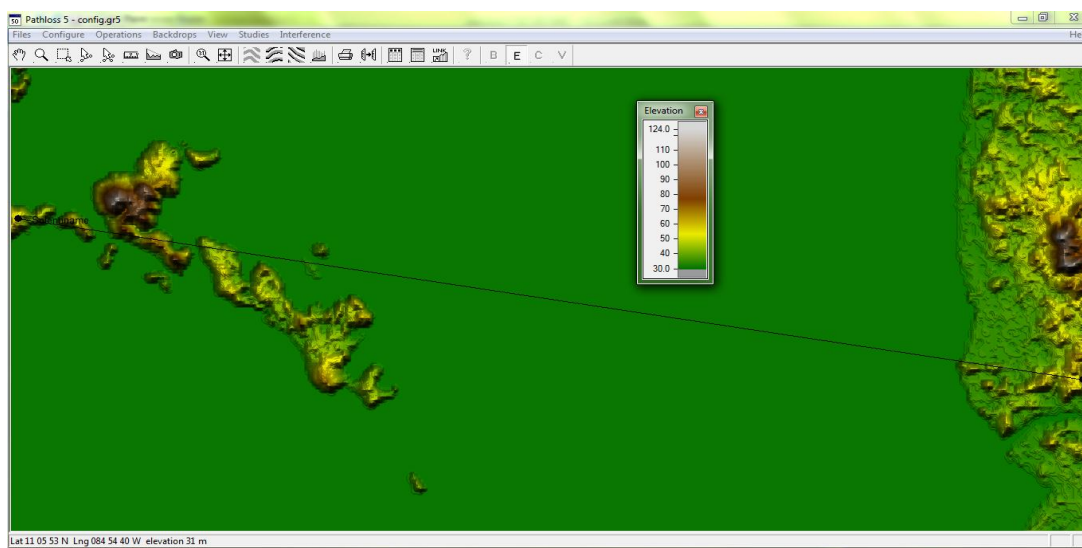


Figura 4.6 Perfil topográfico de la base de datos SRTM

Luego de unir las dos estaciones se selecciona el módulo de datos del terreno (Terrain Data), a continuación en la barra del menú seleccionar Operations (operaciones) y dentro de esta, marcar la opción generar perfil. Una vez generado el perfil se muestra una tabla en el casillero de estructura, dar doble click y seleccionar Range of Structures (Rango de estructuras), mover el cursor de la barra de desplazamiento hasta que el margen de las estructuras este cerca de los extremos del dibujo. (Ver figura 4.7)

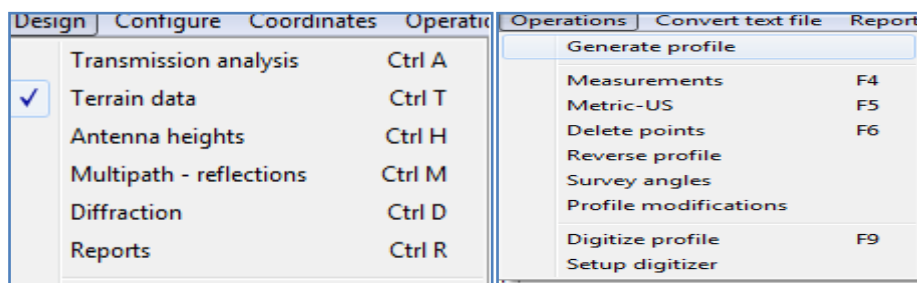


Figura 4.7 Recuadro para configurar el perfil del terreno

Una vez seleccionado el rango de estructuras, seleccionar la altura en la que se ubicará la antena (Explicado mas adelante). En la barra de menú dar clip en módulo Antena Height (altura de antena), seleccionar resumen y en esta opción ingresar la altura de las antenas. Hecho lo anterior ir a la barra de menú en Report (Reportes), marcar imprimir perfil y verificar que exista el despeje completo de la primera zona de Fresnel antes de empezar la asignación de equipos. (Ver figura 4.8) y (figura 4.9)

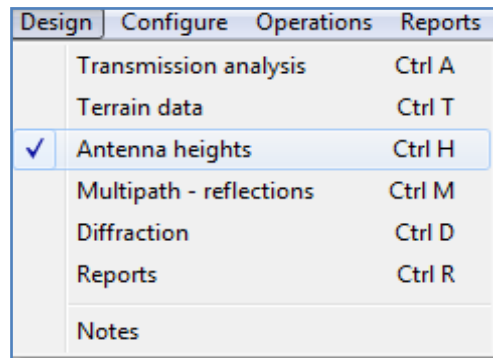


Figura 4.8 Recuadro para configurar la altura de las antenas

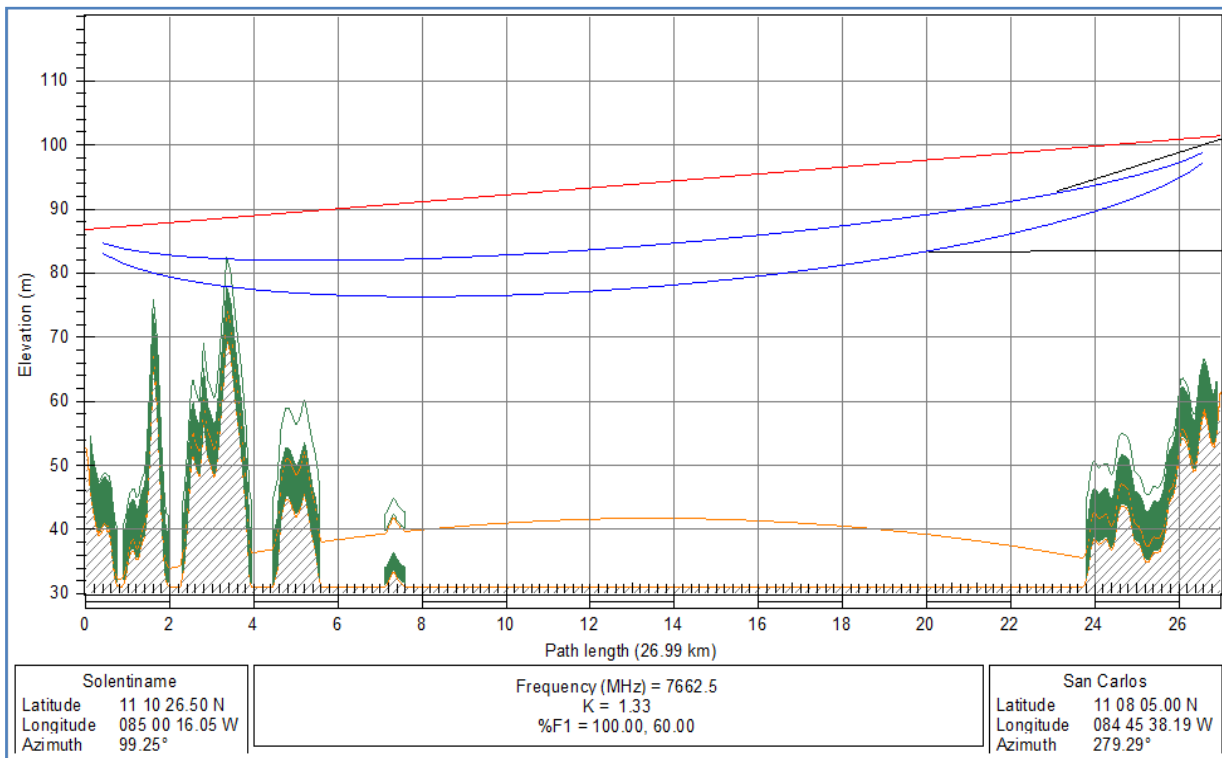


Figura 4.9 Despeje de la primera zona de fresnel

4.3.2 Configuración de los cálculos de lluvia según la 838-3UIT

Ir a la barra del menú, dar click en Design y marcar Transmission analysis, que en la pantalla se despliega, dar click en la figura de una nube, existen varias zonas que la herramienta tiene marcadas según la UIT. Para la zona del ecuador que es donde se sitúa Nicaragua se usan dos regiones N y P, N para la región sierra y Oriente, la P para la región de la Costa. El sector donde se encuentra el enlace es la región de la costa por eso se selecciona la P. (ver figura 4.10) y (Figura 4.11)

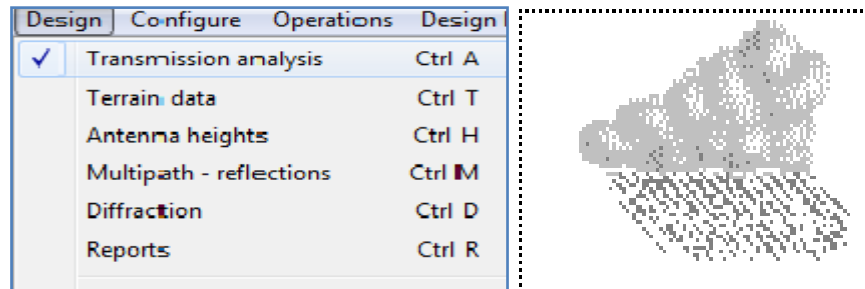


Figura 4.10 Recuadro de configuración de lluvia

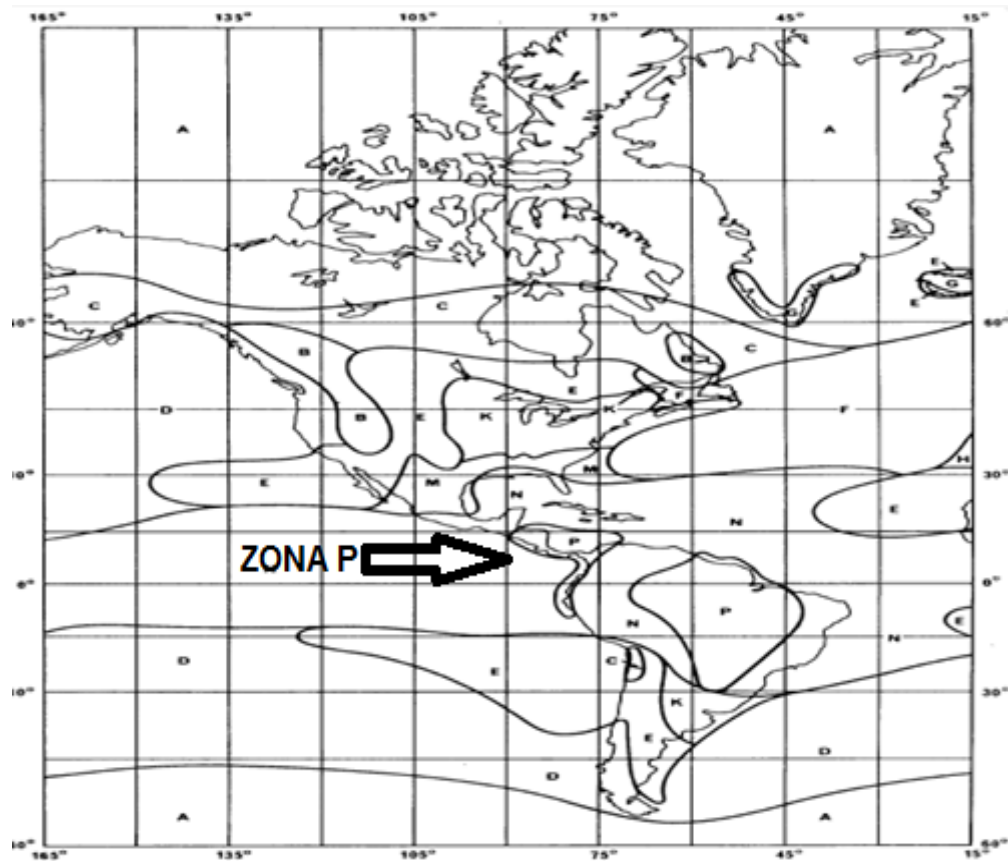


Figura 4.11 División de América por zonas de lluvia 838-3UIT

4.3.3 Configuración de los equipos

Para seleccionar la antena y la altura de la misma, dar clip sobre el dibujo de la antena, luego clip en index file y cargar el modelo de antena que se usará para este enlace. El tipo de antena a seleccionar es la HPX6-74GA de doble polarización de alto rendimiento (high performance cross polarization). Para las pérdidas de este enlace se considerará la de la guía de onda que ente caso es la interfaz entre la antena y la ODU. Por lo tanto en este diseño se usará la misma guía de ondas en ambas estaciones ya que la banda de frecuencias en la que trabaja es de 6, 7 y 8 GHz.

Se prosigue dando clip en el recuadro que tiene una flecha en sentido horario, escribir las pérdidas de misceláneas, estas son pérdidas en los conectores y filtros del radio a la antena. Luego Dar clip en el recuadro TR y a continuación llenar los datos requeridos, primero seleccionar el modelo del radio en relación a las frecuencias que se usarán en este caso seleccionar el modelo AMT/07/IP/HT/10M. (Ver figura 4.12)

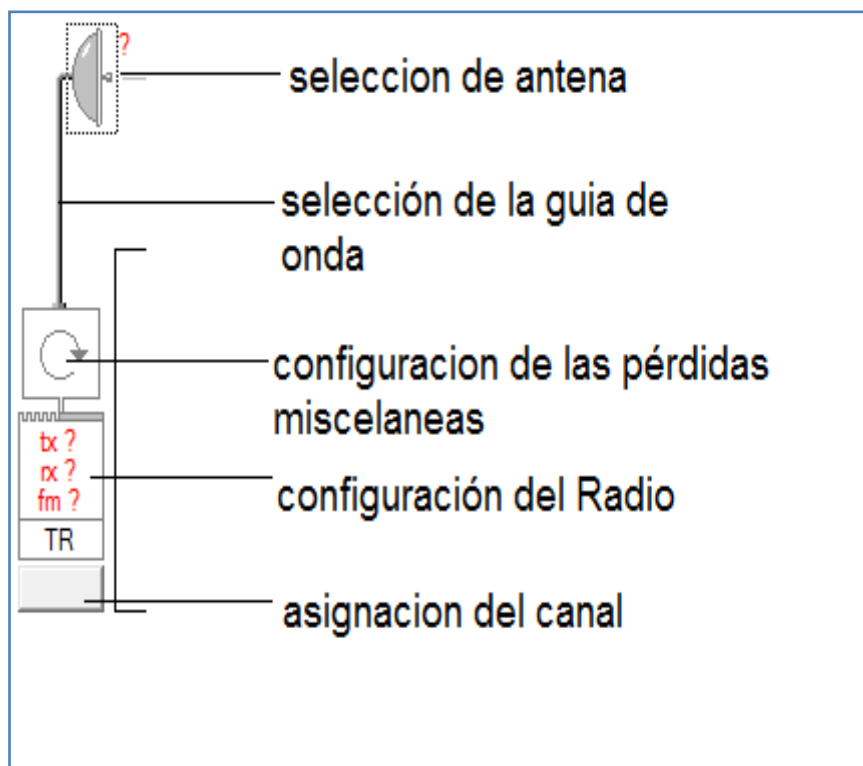


Figura 4.12 Selección de los equipos a emplear

A continuación se escoge el canal sobre el cual se va a operar, en el recuadro de CH, cargar la tabla según la frecuencia canalizada que se va a usar, en este caso para el archipiélago de Solentiname 7457 MHz y para San Carlos 7792 MHz, se escoge polarización vertical. Para ello se asigna la frecuencia alta al emplazamiento de San Carlos y la baja al Archipiélago de Solentiname. (Ver figura 4.13)

Solentiname TX					San Carlos TX					
	Ch ID	TX (MHz)	ATPC	Pwr.Rd.	Pol	Ch ID	TX (MHz)	ATPC	Pwr.Rd.	Pol
1	1L	7547	10.0		V	1H	7792	10.0		V
2					V					V
3					V					V
4					V					V
5					V					V
6					V					V
7					V					V
8					V					V
9					V					V
10					V					V
11					V					V
12					V					V

Figura 4.13 Asignación del canal de transmisión

4.3.4 Análisis de multitrayectos Y reflexiones

Una vez concluida la selección de los equipos dentro del programa y la asignación de frecuencias, se procede a hacer el análisis de reflexiones en el trayecto del enlace, este análisis es un parámetro muy importante ya que es el que determina si el radioenlace es viable o no, porque debido a las reflexiones pueden haber pérdidas graves de la señal microonda durante su trayectoria, por lo que atravesará una distancia de 12 Km de agua sobre el lago Cocibolca.

Para dar inicio al análisis de reflexiones, primeramente dar clip en el menú del programa en Design seguido de Multipath-reflections (reflexiones de multitrayectos), dentro de esa interfaz dar clip en method y luego dar clip en constant gradient ray trace, aparecerá un recuadro donde se introducen las alturas que tendrán las torres, donde se ingresa el valor de 34 m para Solentiname y 40 m para san Carlos.

Estas alturas se seleccionaron ya que son exactas para que las antenas no tengan grandes pérdidas por reflexión. (Ver figura 4.14)

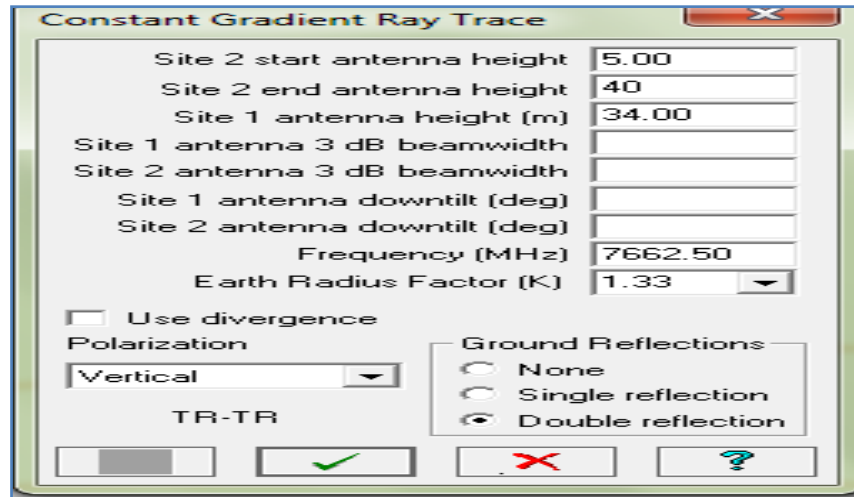


Figura 4.14 Recuadro de datos para ingresar la altura de las antenas

Luego dar clip en el chec del recuadro, por consiguiente aparecerán todas las reflexiones que afectarán el enlace, estas se reflejan en el agua y en las elevaciones cercanas a los sitios, haciendo que la transmisión llegue a la otra antena con múltiples rayos desfasados. Estos rayos se suman y pueden anular la señal al llegar a la antena de destino, todo lo referente a reflexiones se explico en el capítulo I. (Ver figura 4.15)

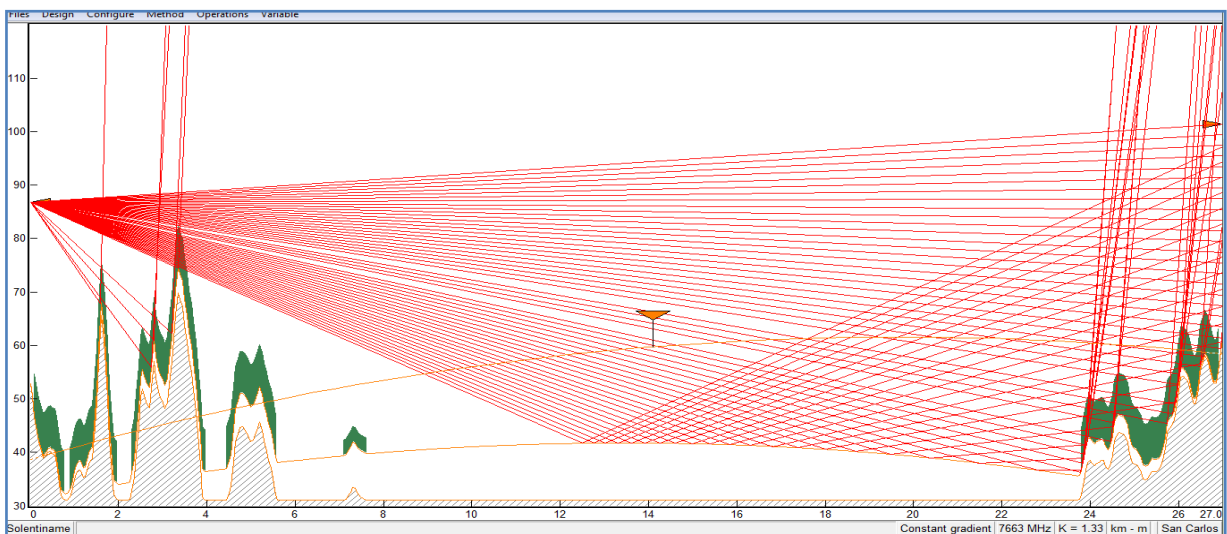


Figura 4.15 Análisis de reflexiones en San Carlos

Por consiguiente para poder visualizar todas las pérdidas de la señal dar clip en Method y luego clip en Site 2 Height Gain (Ganancia de altura del sitio 2), se mostrarán las pérdidas de la señal y desde que altura el radio enlace tiene cero pérdidas por reflexiones, en este caso la antena ya no sufrirá pérdidas desde una altura de 36 m, pero se dejará un margen de 40 m en la torre de san Carlos para tener mejor recepción. (Ver figura 4.16)

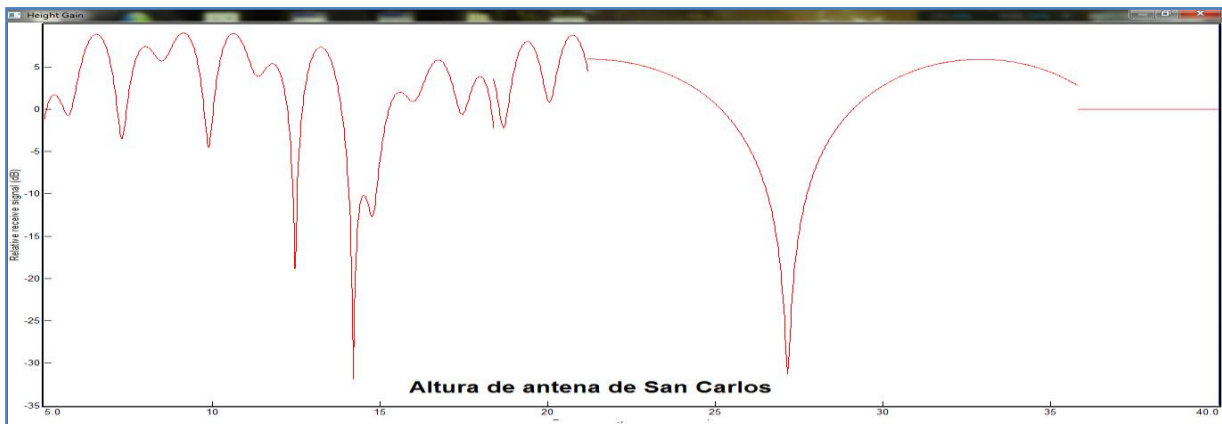


Figura 4.16 Altura ideal para que no hallan pérdidas en la señal

Para el análisis en Solentiname se repiten los pasos anteriores pero antes de eso se da clip en el botón del menú operations y después clip en Reverse Profile (Revertir el perfil), para cambiar de posición el análisis de reflexión y asignando una altura de 34 m para el emplazamiento de Solentiname, ya que esta es la altura ideal donde la señal no tendrá ninguna pérdida en la recepción ni envió de información. (Ver figura 4.17)

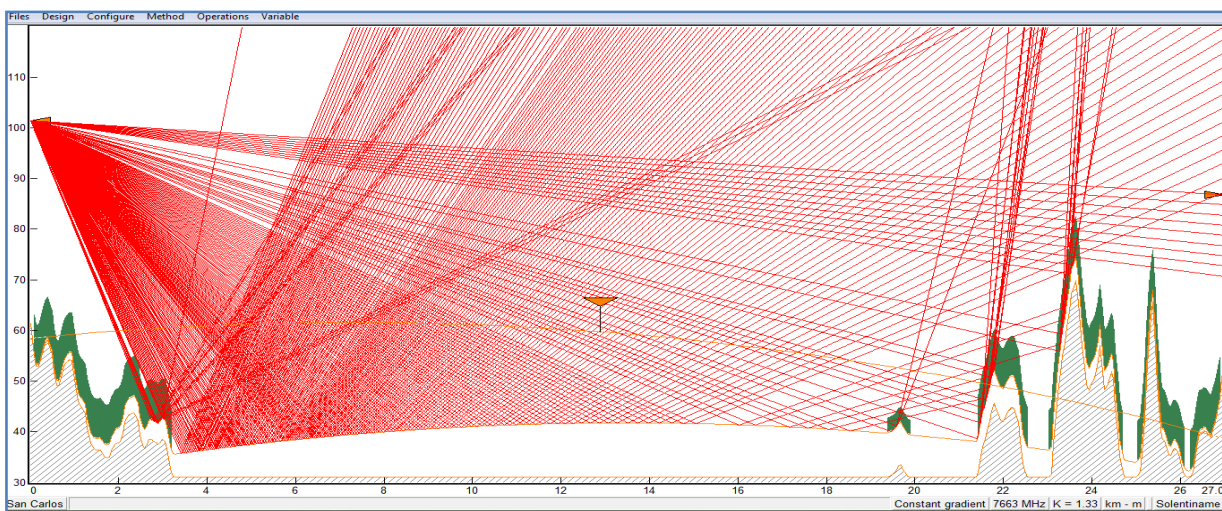


Figura 4.17 Análisis de reflexiones en Solentiname

Como se puede apreciar en la figura anterior no le llega ningún tipo de reflexión a la antena del Archipiélago de Solentiname, por lo tanto no habrá pérdida ni anulación de la señal debido a este factor. Por lo tanto se apreciará en la siguiente figura la ganancia que tendrá la estación de ese emplazamiento con respecto a la altura asignada. (Ver figura 4.18)

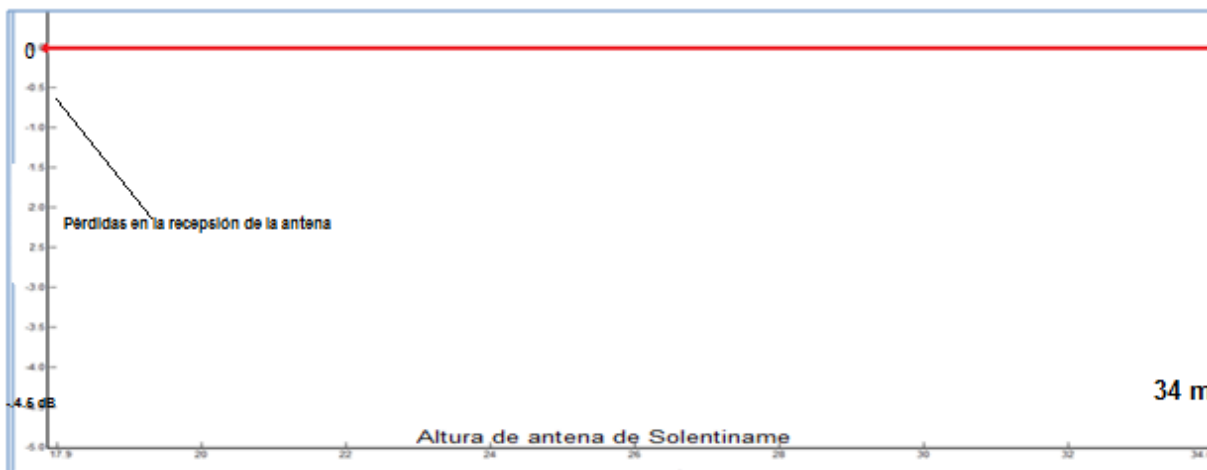


Figura 4.18 Altura ideal para que no hallan pérdidas

4.4 Tamaño de las torres

Para el caso de las torres del enlace San Carlos a Solentiname se analizaron todas las elevaciones que presenta el trayecto del enlace, todo esto se realizó gracias al software antes mencionado. En el análisis de reflexiones se llegó a obtener la altura ideal haciendo varias pruebas de diferentes alturas, donde las ondas reflejadas no tuvieran contacto con las antenas de estos dos sitios, En base a este dato muy importante se logró calcular las alturas ideales para ambas antenas.

La elevación del terreno del Archipiélago de Solentiname tiene una altura de 53 m sobre el nivel del mar, más la altura de la torre de 34 m. Para San Carlos la elevación del terreno es de 62 m, de acuerdo a esto se eligió una altura de 40 m para la torre de este emplazamiento. Se verificó a través del simulador si la altura respeta la primera zona de Fresnel¹ y el análisis de las reflexiones explicado anteriormente, donde ambas torres estarán fijas con una línea de vista de 27 Km de distancia.

¹Ver cálculo de la primera zona de Fresnel en la pagina 55 del capítulo de este capítulo

Diseño de interconexión para enlace de microondas punto a punto entre las comunidades de San Carlos y Solentiname

En la tabla 4.2 se aprecia de una mejor manera el cálculo de la altura de dichas torres. (Ver figura 4.19 y 4.20)

Sitio	Elevación del terreno(m)	Altura de la torre(m)	Altura total (m)
Solentiname	53	34	87
San Carlos	62	40	102

Tabla 4.2 Alturas de las torres

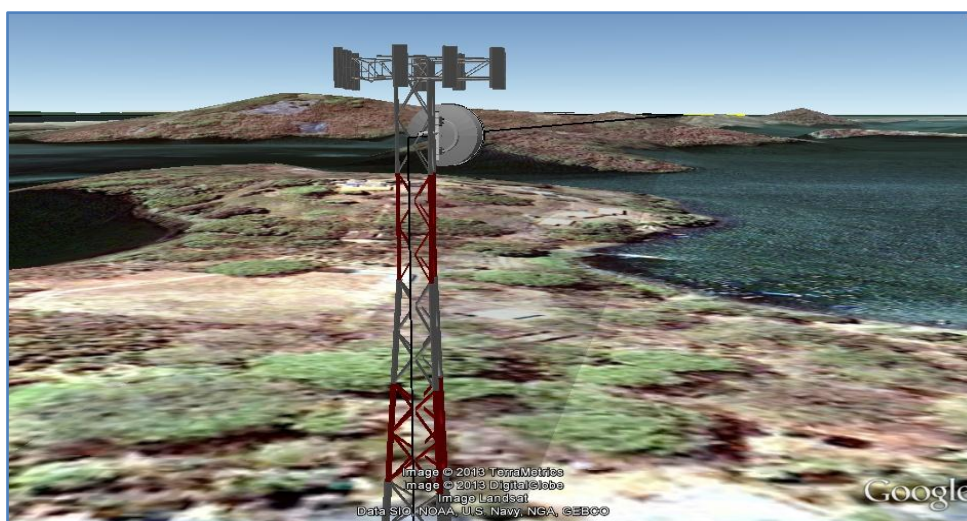


Figura 4.19 Altura de torre Solentiname a 34 m de altura

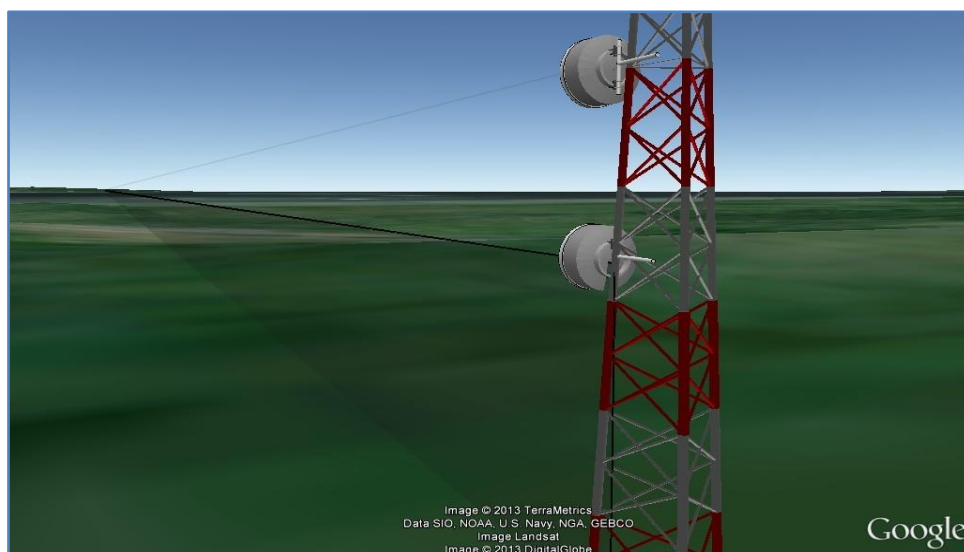


Figura 4.20 Altura de torre san Carlos a 40 m de altura

4.3.5 Visualización del enlace a través de Google Earth

Después de haber realizado el diseño del enlace con la herramienta Pathloss se procede a visualizar los puntos en una escala de tres dimensiones, esto gracias al software gratuito de google Earth. Para ello se procedió a investigar la comandaría para generar un archivo KML. Este tipo de archivo es un fichero que contiene datos geográficos. Mediante los archivos KML se pueden situar en un mapa distintos lugares que estén relacionados y por ello han sido desarrollados para ser manejados con el programa Google Earth.

Primeramente se procede a abrir un documento de texto para poder editar el archivo KML. Se escribe el código¹del programa y luego dar clip en guardar como, allí se le asigna un nombre y se guarda con la extensión KML, por ejemplo Enlace.KML. Después de editar el código y guardarlo con la extensión antes mencionada, se generará un archivo con los sitios e información del enlace diseñado, a continuación se mostrará la imagen del perfil del terreno y de la ubicación de las estaciones microondas. Gracias a esta herramienta se pudo ver por donde pasa el enlace e interpretar de una mejor manera el trayecto que recorrerá toda la transmisión.. (Ver figura 4.21) y (figura 4.22)



Figura 4.21 Ubicación de la estación Solentiname, visualizada por Google Earth

¹Obtención y referencia del código en https://developers.google.com/kml/documentation/kml_tut (Developers, 2013)

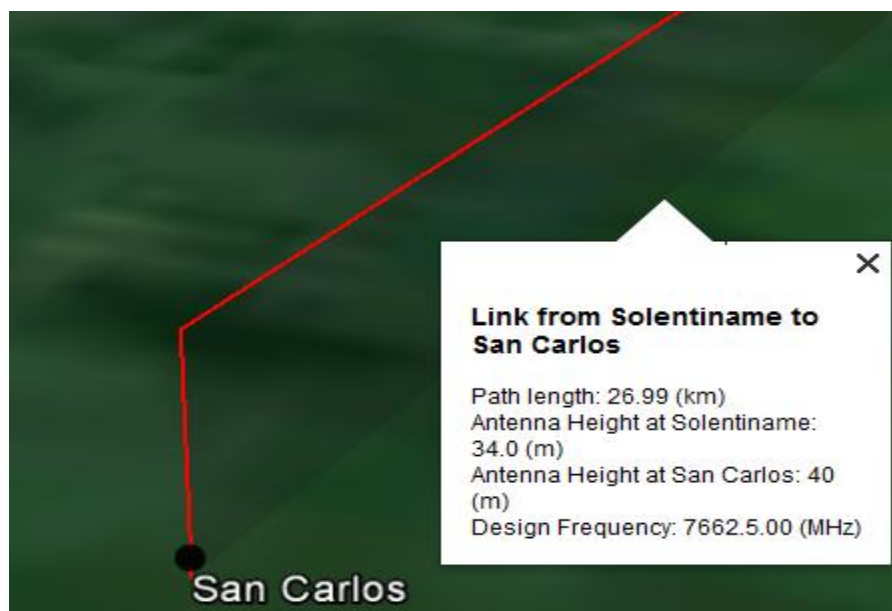


Figura 4.22 Ubicación de la estación San Carlos, visualizada por Google Earth

4.3.6 Resultados de los cálculos del radioenlace con el simulador

Una vez concluida la selección de frecuencias, canales, selección y configuración de los equipos y el análisis de reflexiones, se procede a verificar que el enlace cumpla con todos los requerimientos de margen de desvanecimiento, señal recibida, disponibilidad, etc. A continuación se muestra en la siguiente tabla un resumen del enlace Solentiname-San Carlos calculado por la herramienta pathloss 5. (Ver tabla 4.3)

	Solentiname	San Carlos
Elevación del terreno (m)	53	62
Latitud	11 10 26.50 N	11 08 05.39 N
Longitud	085 00 16.05 W	084 45 38.19 W
Azimut (°)	99.25	279.27
Modelo de antena	HPx6-74GA	HPx6-74GA
Altura de antena (m)	34	40
Ganancia de antena (dBi)	40.4	40.4
Tipo de guía de onda	EW77	EW77
Pérdidas de la guía de onda (dB/100m)	5.9	5.9

Diseño de interconexión para enlace de microondas punto a punto entre las comunidades de San Carlos y Solentiname

Frecuencia (MHz)	7547	7792
Polarización	Vertical	Vertical
Longitud de trayectoria (Km)	27	27
Pérdidas de espacio libre (dB)	138.78	138.78
Pérdidas de absorción atmosférica (dB)	0.27	0.27
Pérdidas netas del enlace (dB)	65.25	65.25
Modelo de radio	AMT/07/IP/HT/10M	AMT/07/IP/HT/10M
Potencia de transmisión (W)	0.10	0.10
Potencia de transmisión (dBm)	20	20
EIRP (dBm)	55.4	55.4
Designador de emisor	10M0D7W	10M0D7W
Criterio de umbral de recepción	1E-6 BER	1E-6 BER
Nivel de umbral (dBm)	-20	-20
Señal recibida (dBm)	-45.25	-45.25
Margen de desv-termico (dB)	30.25	30.25
Margen de desv-efectivo (dB)	30.14	30.14
Factor agroclimático	2.635E-003	2.635E-003
Inclinación del Trayecto	1.411	1.411
Temperatura anual promedio (°c)	24.30	24.30
Atenuación debido a la lluvia (dB)	7	7
Disponibilidad del enlace anual (%)	99.99903	99.99903

Tabla 4.3 Cálculos del radioenlace con el simulador

4.3.7 Comparación de los cálculos del simulador los con cálculos teóricos del radioenlace

Gracias a la realización de los cálculos teóricos se pudo comprobar la validez de este enlace, haciendo una comparación de los resultados arrojados por el Pathloss y los resultados echos y calculados en este documento, dando como resultado pequeñas variaciones prácticamente insignificantes entre la comparación de ambos cálculos. A continuación se podrá apreciar una tabla comparativa con dichos resultados. (Ver tabla 4.4)

	Cálculos del software	Cálculos teóricos
Pérdidas de espacio libre (dB)	138.78	138.75
Pérdidas netas del enlace (dB)	65.25	65.51
Pérdidas en la potencia de recepción (dB)	-45.25	-45.5
Margen de desv. Efectivo (dB)	30.14	29.8
Primera zona de fresnel (m)	10.8	10.85
Pérdidas en la guía de onda (dB)	0.02	0.02
Disponibilidad calculada (%)	99.99903	99.99981

Tabla 4.4 Comparacion de cálculos teóricos con los resultados del Pathloss

CONCLUSIONES

El diseño propuesto cumple teóricamente con los requerimientos específicos de la Union Internacional de Telecomunicaciones, la cual indica que para enlaces de trayectorias menores de 280Km, la confiabilidad del sistema debe ser del 99.9664%, valor que de acuerdo con los cálculos realizados en el diseño, es superior con el 99.999% de confiabilidad lo que indica que el enlace entre el Archipiélago de Solentiname y San Carlos es viable.

Parafinalizar el diseño de radio enlace, primeramente se procedió a realizar cálculos matemáticos para demostrar un fundamento teórico de los resultados que da el programa pathloss. Y por ello se concluye que el radio enlace en esa zona es viable debido a que no tiene gran afectación por las reflexiones del agua ya que esta es la principal razón que daña la comunicación microondas.

Por lo tanto la planificación de radioenlaces apoyados en programas computacionales como el Pathloss, es una opción muy útil ya que facilita el desarrollo de los cálculos. Pero lo que debe tomarse en cuenta es que quienes hagan uso de esta herramienta tengan un conocimiento adecuado de los valores que genera el programa, es decir tener una idea clara de la planificación y poder dar un tratamiento adecuado y lógico al desarrollo de todo diseño.

En la comprobación de los datos obtenidos manualmente para el diseño del radio enlace se notó que, aunque realizar los cálculos puede ser tedioso, brinda a los diseñadores libertad de hacer una planeación bastante completa, también la oportunidad de entender que es lo que la herramienta Pathloss realiza antes de presentar la tabla de análisis.

El estudio y diseño de este radioenlace fue elaborado para dar una propuesta a futuro a la implementación del mismo, ya que la zona del Archipiélago de Solentiname es un área protegida por el gobierno de Nicaragua, declarada como patrimonio Nacional porque posee gran cantidad de vegetación y fauna silvestre. Pero ahora, gracias a este diseño se sabe que un radio enlace de esta índole se puede implementar para llevar desarrollo tecnológico a la zona interconectada con san Carlos.

RECOMENDACIONES

De la experiencia al realizar el diseño de este enlace se extraen las siguientes recomendaciones:

- Es importante tener en cuenta todas las recomendaciones de la UIT que garantizan la operación de un radioenlace punto a punto de microondas entre dos o más sitios.
- Antes de iniciar con la implementación a futuro de este diseño, es necesario desarrollar un estudio financiero que garantice calcular todos los costos monetarios, teniendo en cuenta el proveedor del servicio, hasta la construcción de los lugares para establecer el enlace, ya sin estudio adecuado durante la implementación pueden llegar a surgir problemas difíciles de solucionar.
- Cuando se realizan las configuraciones de los equipos del radioenlace, uno de los parámetros a los que se le debe dar mayor importancia, es el canal por el cual se va a difundir, ya que las interferencias ocasionadas por el uso de un canal ocupado ocasiona que el enlace sea inestable, por esta razón es preferible adquirir una frecuencia licenciada exclusiva para la transmisión privada y sin interferencias.
- Es importante tener en cuenta que apegarse a las recomendaciones de la UIT garantizan la operación del enlace, sin embargo existen varios parámetros que no aportan significativamente en el diseño. Para la presente es el caso del parámetro denominado atenuación por lluvia ya que el valor calculado en decibelios es muy bajo.
- Se recomienda realizar los estudios de ingeniería pertinentes y sus respectivas visitas de campo, ya que cada municipio donde se realizó el diseño tendrá diferentes relieves, diverso clima y posibles obstáculos en las diferentes áreas.

BIBLIOGRAFÍA

- Buenas Tareas. (06 de 2011). BuenasTareas. Recuperado el 03 de 10 de 2013, de <http://www.buenastareas.com/ensayos/Pathloss/2440994.html>
- Cálculo de Radio enlace terrestre. (01 de 07 de 2010). Recuperado el 25 de 08 de 2013, de <http://www.4shared.com/office/Xta0ozey/radioenlace.html>
- CONNSCOPE. (2013). Recuperado el 26 de 09 de 2013, de http://www.commscope.com/catalog/solution_wi_backhaul_microwavesystems/2147485600/product_details.aspx?id=1396
- Costanini, S. (s.f.). *Guia Telecomunicaciones-1*. Recuperado el 26 de 09 de 2013, de <ftp://neutron.ing.ucv.ve/pub/.../GUIA03TELECOMUNICACIONES.pdf>
- Developers, G. (30 de 09 de 2013). Keyhole Markup Language. Recuperado el 09 de 10 de 2013, de https://developers.google.com/kml/documentation/kml_tut
- Microwave Networks Incorporated. (s.f.). AIRLINX. Recuperado el 27 de 09 de 2013, de <http://www.airlinx.com/products.cfm/product/2-26-325.htm>
- Morocho, P. P. (febrero del 2012). Rediseño de Radioenlace. Quito.
- Mundo Teleco.(01 de 08 de 2013). Recuperado el 26 de 08 de 2013, de <http://mundotelecomunicaciones.blogspot.com/2013/08/calculo-el-radio-de-la-primera-zona-de.html>
- MUNICIPIO, N.-C. (s.f.). Solentiname antesala del paraíso. Recuperado el 26 de 08 de 2013, de <http://www.manfut.org/juan/solentiname.html>
- Nika-Cibermunicipio. (s.f.). Recuperado el 20 de 08 de 2013, de <http://www.manfut.org/juan/solentiname.html>
- Thorvaldsen, I. E. (2002). Planificación de radioenlaces de visibilidad directa. Bergen: Nera.
- UIT-R, F.-1. R. (s.f.). Recuperado el 27 de 08 de 2013, de www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/.../R-REC-F.1093-1-199709-S!!PDF-S.pdf
- WEBOPEDIA. (s.f.). Recuperado el 01 de 10 de 2013, de http://www.webopedia.com/TERM/F/full_duplex.html

ANEXOS

Anexo-I Tabla de costos

Producto	Unidades	Precio	Precio total
Guia de onda EW77	2	\$ 50	\$ 100
Antena Andrew	2	\$ 3000	\$ 6000
Radio Proteus	2	\$ 6000	\$ 12000
IDU	2	\$ 4000	\$ 8000
ODU	2	\$ 2000	\$ 4000
Acoplamiento	2	\$ 300	\$600
Cable Coaxial	2	\$ 65	\$ 130
Cable tierra	2	\$ 15	\$ 30
		Total	\$ 30860

Anexo-II Cálculo de atenuación debido la lluvia

El cálculo del efecto de atenuación que provoca la lluvia sobre la potencia de la señal transmitida se calculó por medio de la recomendación UIT-R P.838-3 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) por medio de la cual se obtuvo la intensidad promedio de lluvia del 0.01% para Nicaragua que es 145mm/h con esta intensidad se procede entonces a calcular el nivel de atenuación total debido a la lluvia de acuerdo a las recomendaciones UIT-R P.838-3 y UIT-R P.530 ubicado en la zona P, el valor se toma del mapa proporcionado por la UIT el cual se muestra en las siguientes figuras y se podrá apreciar en la tabla 1.1. (Ver figura 1.9 y 1.10)

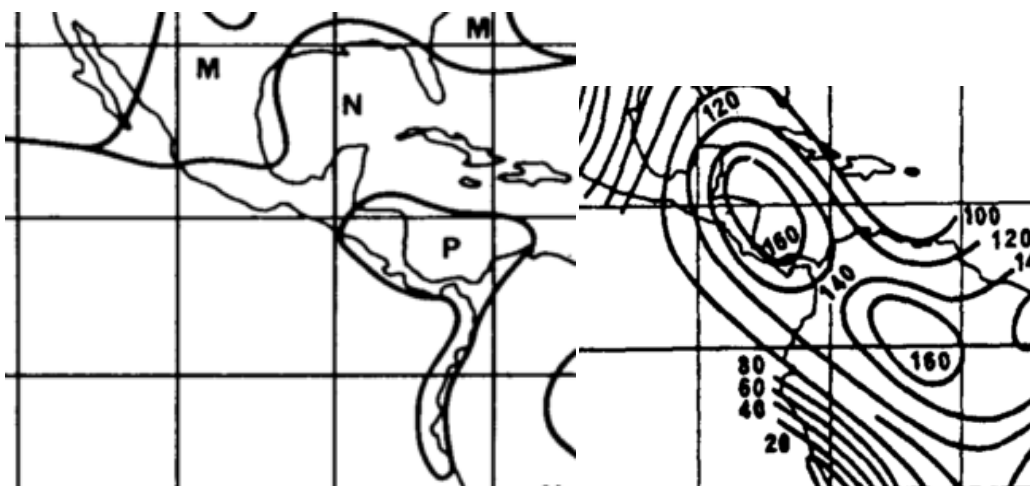


Figura 1.9 Zona de lluvia de Centroamérica
Figura 1.10 Intensidad de lluvia para el 0.01% Del tiempo

% de tiempo	A	B	C	M	N	P	Q
0.01	8	12	15	63	95	145	115

Tabla 1.1 Zonas de lluvia establecida por la UIT

Además de la intensidad de lluvia promedio anual brindada por al UIT que de Nicaragua es de 145mm³/h, se accedió a la información que posee el Instituto nicaragüense de estudios territoriales (INETER), sin embargo esta institución no posee las estadísticas de todos los sitios requeridos para el estudio, por lo cual se decidió emplear la información proporcionada por la recomendación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

Recomendación UIT-R P.530

Para predecir la interrupción del enlace debido a efectos de la lluvia se considera el método que consta en la recomendación UIT-R P.530 es una de las normas más utilizadas a nivel mundial con el objetivo de regular un radioenlace debido a atenuaciones que son producidas por la lluvia. El procedimiento para el cálculo de las atenuaciones totales producidas por la lluvia durante un porcentaje de tiempo al p%, la establece la recomendación UIT-R P.530, tal atenuación es:

$$A_{\text{total}} = \gamma_R * d_{\text{eff}} \text{ [dB]} \text{ ECA1}$$

Donde:

A_{total} = pérdidas totales que se producen por la lluvia. [dB]

γ_R = Atenuación específica debido a la lluvia [dB/km]

d_{eff} = distancia efectiva del enlace [km]

3.1.2.1 Atenuación específica

Atenuación específica debido a la lluvia (γ_R), se obtiene a partir de la intensidad de la lluvia R^* (mm³/h) mediante la siguiente ecuación que se muestra a continuación.

$$\gamma_R = k * R^\alpha \text{ (dB/km)} \text{ EC A2}$$

Donde

γ_R = atenuación específica debido a la lluvia

R = parámetro de la intensidad de la lluvia anual

k y α son constantes que dependen de la frecuencia y la polarización de la señal y se obtienen en la siguiente tabla según la "Recomendación UIT-R P.838-3

Frecuencia	K_H	α_H	K_V	α_V
1	0,0000259	0,9691	0,0000308	0,8592
5	0,0002162	1,6969	0,0002428	1,5317
7	0,001915	1,481	0,001425	1,4745
10	0,01217	1,2571	0,01129	1,2156

Tabla 3.2 constantes establecida por la UIT

La polarización del enlace es vertical y la frecuencia en el rango de los 7GHz, por lo tanto en base a la tabla los valores de K y α son:

$$K = 0,001425 \quad \alpha = 1,4745$$

Una vez ubicado el valor de R, el valor de K y α se aplicará la ecuación 8 y así se determinará la atenuación específica de la lluvia, se empleará la ecuación 8, para el cálculo de la atenuación específica debido a la lluvia

$$\gamma_R = 0,001425 * 0.128^{1,4745}$$

$$\gamma_R = 0,001425 * 0.048$$

$$\gamma_R = 6.87 e^{-5} (\text{dB/km})$$

Ahora se procede a calcular la distancia efectiva del enlace el cual se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$d_{\text{eff}} = d * r (\text{km})^{A3}$$

Donde:

d_{eff} = Distancia efectiva

d = Distancia real del enlace

r = Factor de reducción

El factor de reducción se obtiene utilizando los valores de precipitación de la región en la cual se desarrollará el enlace, por lo que el factor de distancia viene dado por:

$$r = \frac{1}{1 + d/d_0} \quad \text{EC A4}$$

Para el cálculo de factor de reducción se procede primero a calcular el factor d_0 el cual se obtiene utilizando como referencia el nivel de precipitación del país. Para precipitaciones mayores o iguales a 100mm/h el valor de d_0 viene dado por:

$$d_0 = 35e^{-0.015R}$$

$$d_0 = 35e^{-0.015(145)} \quad d_0 = 35e^{-2.17} \quad d_0 = 3,976 \text{ km}$$

Luego del cálculo de la constante d_0 se procede a realizar el cálculo del factor de reducción por medio de la ecuación 6. Que en el lado del enlace entre el archipiélago de Solentiname y San Carlos la distancia es de 27 km por lo que el cálculo del factor de reducción es el siguiente:

$$r = \frac{1}{1 + \frac{27 \text{ km}}{3.976 \text{ km}}}$$

$$r = \frac{1}{7.80}$$

$$r = 0.128$$

Calculando la distancia efectiva por medio de la ecuación 9 se obtuvo el siguiente valor:

$$d_{\text{eff}} = 27 \text{ km} * 0.128$$

$$d_{\text{eff}} = 3.456 \text{ km}$$

Por último el cálculo de la atenuación total provocada por la lluvia para el enlace entre el archipiélago de Solentiname y san Carlos viene dado por la siguiente ecuación:

$$A_{\text{total}} = \gamma_R * d_{\text{eff}} \text{ [dB]}$$

$$A_{\text{total}} = 6.87 \text{ e}^{-5} \text{ dB/km} * 3.456 \text{ km}$$

$$A_{\text{total}} = 2.37 \text{ e}^{-4} \text{ dB}$$

La atenuación total debido a la lluvia, en el enlace entre el Archipiélago de Solentiname y San Carlos es de $2.37 \text{ e}^{-4} \text{ dB}$

Anexo III-Detalles de la transmisión

Solentiname	San Carlos	
Latitude	11 10 26.50 N	11 08 05.00 N
Longitude	085 00 16.05 W	084 45 38.19 W
True azimuth (°)	99.25	279.29
Vertical angle (°)	-0.06	-0.12
Elevation (m)	52.82	61.43
Antenna model	HP6-74GA (TR)	HP6-74GA (TR)
Antenna code	a3691	a3691
Antenna gain (dBi)	40.40	40.40
Antenna height (m)	34.00	40.00
Orientation loss (dB)	0.00	0.00
TX line model	EW77	EW77
TX line unit loss (dB/100 m)	5.91	5.91
TX line length (m)	0.30	0.30
TX line loss (dB)	0.02	0.02
Miscellaneous loss (dB)	1.00	1.00
Circulator branching loss (dB)	1.00	1.00
TX switch loss (dB)	1.00	1.00
TX filter loss (dB)	1.00	1.00
Other TX loss (dB)	1.00	1.00
RX hybrid loss (dB)	0.00	0.00
Frequency (MHz)		7662.50
Polarization		Vertical
Path length (km)		26.99
Free space loss (dB)		138.78
Atmospheric absorption loss (dB)		0.27
Net path loss (dB)	65.29	65.29
Radio model	AMT/07/IP/HT/10M	AMT/07/IP/HT/10M
Radio code	amt07-ip-10-ht	amt07-ip-10-ht
TX power (dBm)	20.00	20.00
Emission designator	10M0D7W	10M0D7W
EIRP (dBm)	55.38	55.38
TX channel assignments	1L 7547V	1H 7792V
RX threshold criteria	1E-6 BER	1E-6 BER
RX threshold level (dBm)	-75.50	-75.50
Receive signal (dBm)	-45.29	-45.29
Thermal fade margin (dB)	30.21	30.21
Dispersive fade margin (dB)	51.00	51.00
Effective fade margin (dB)	30.10	30.10
Geoclimatic factor		2.802E-006
Average annual temperature (°C)		24.30
Fade occurrence factor (Po)		1.329E-002
Worst month multipath availability (%)	99.99870	99.99870
Worst month multipath unavailability (sec)	34.11	34.11
Annual multipath availability (%)	99.99951	99.99951
Annual multipath unavailability (sec)	153.48	153.48
Annual 2 way multipath availability (%)		99.99903
Annual 2 way multipath unavailability (sec)		306.95
Polarization		Vertical
0.01% rain rate (mm/hr)		85.14
Flat fade margin - rain (dB)		30.21
Rain attenuation (dB)		30.21
Annual rain availability (%)		100.00000
Annual rain unavailability (min)		0.00
Annual rain + multipath availability (%)		99.99903