



REPÚBLICA DEL ECUADOR

Escuela Politécnica Nacional

" E S C I E N T I A H O M I N I S S A L U S "

La versión digital de esta tesis está protegida por la Ley de Derechos de Autor del Ecuador.

Los derechos de autor han sido entregados a la "ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL" bajo el libre consentimiento del (los) autor(es).

Al consultar esta tesis deberá acatar con las disposiciones de la Ley y las siguientes condiciones de uso:

- Cualquier uso que haga de estos documentos o imágenes deben ser sólo para efectos de investigación o estudio académico, y usted no puede ponerlos a disposición de otra persona.
- Usted deberá reconocer el derecho del autor a ser identificado y citado como el autor de esta tesis.
- No se podrá obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

El Libre Acceso a la información, promueve el reconocimiento de la originalidad de las ideas de los demás, respetando las normas de presentación y de citación de autores con el fin de no incurrir en actos ilegítimos de copiar y hacer pasar como propias las creaciones de terceras personas.

Respeto hacia sí mismo y hacia los demás.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**RE-DISEÑO DEL ARREGLO DE ANTENAS “BACK-TO-BACK” DEL
RADIOENLACE DE MICROONDA ENTRE LAS ESTACIONES DE SAN
JUAN Y CHIRIBOGA, DEL S.O.T.E. EN LA BANDA DE 7 GHZ**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA EN
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**AUTORA: Paola Patricia Chicaiza Morocho
pao.paty.chicaiza@gmail.com**

**DIRECTOR: Ing. Tarquino Fabián Sánchez Almeida, MBA.
tarquino.sanchez@epn.edu.ec**

Quito, Febrero 2012

DECLARACIÓN

Yo, Paola Patricia Chicaiza Morocho, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Paola Patricia Chicaiza Morocho

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Paola Patricia Chicaiza Morocho, bajo mi supervisión.

Ing. Tarquino Sánchez Almeida, MBA

DIRECTOR DEL PROYECTO

DEDICATORIA

A ti mi Señor, padre del cielo, por concederme la oportunidad de la vida y por sostenerme en tus brazos cuando más lo necesité, porque aunque perdí el amor de un padre terrenal tú me acogiste y me diste más allá de lo que pude merecer.

A ti mi pequeña bella, mi hija Deyaneira por ser la luz de mis ojos, mi alegría y mi más grande amor, a mi madre por su paciencia y oraciones, a mi padre que aunque se adelantó a la eternidad supo darme ejemplo de trabajo y superación, a mi hermanos por todo su amor, apoyo y comprensión de forma muy especial a Dayta por ser más que una hermana, una amiga y apoyarme desinteresadamente siempre que la necesité, a mi tía Rebeca que más allá de darme abrigo me brindó su corazón convirtiéndose en mi segunda madre, a usted Hugo por ser un ángel en todos los momentos, porque parte de esto es suyo.

A ti Juanka mi compañero, mi amigo, con quien caminé por muchos años de la mano, te dedico el camino recorrido, aprendiendo de las lágrimas y atesorando las bendiciones y bellos momentos.

Y a todas las personas que de una u otra forma aportaron para este sueño.

Paola

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ponerme en el lugar adecuado en el tiempo indicado.

Agradezco a la Poli y todos mis maestros, quienes en su momento compartieron sin egoísmo su conocimiento, y a quienes fueron más allá brindándome su afecto y amistad, a usted Carlitos Herrera, por ser un gran amigo.

A toda mi familia por su apoyo, cariño y comprensión, a Hugo, gracias, mil gracias sin su apoyo y aliento nada se habría cristalizado, a ti Juanka por tantas malas noches, y por tantas alegrías, porque peldaño a peldaño caminamos por nuestros sueños.

A mis ex - compañeros de Petroecuador, y con un cariño muy especial a usted Rigo Rivera, Oscarito Enríquez y Don Byron gracias, porque me brindaron no solo sus conocimientos, también su mano y su amistad.

A mis queridos compañeros de la SENATEL, que más que compañeros son mis entrañables amigos, de una forma muy especial a mis estimados Inges Cris Rivera, Pablito López y Andrés Vallejo, mis queridos jefes, por su comprensión, su apoyo y esas palabras de aliento cuando creía no poder con la montaña, y por supuesto gracias por los permisos.

De manera muy especial a mi querido director de proyecto Ing. Tarquino Sánchez, gracias por sus conocimientos, por su paciencia, por su tiempo y todo cuanto me brindó.

A ustedes gracias mil gracias, y aunque yo no tenga como retribuirles, que el Señor les recompense todo cuanto me han brindado.

Paola

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1

1. FUNDAMENTOS DE REPETIDORES PASIVOS CON ANTENAS “BACK TO BACK” PARA LA BANDA DE 7 GHZ

1.1.	RADIOCOMUNICACIÓN	1
1.1.1.	ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO	5
1.1.2.	TRANSMISIÓN EN MEDIOS NO GUIADOS	7
1.1.3.	MICROONDAS	8
1.1.3.1.	Microonda analógicas.....	9
1.1.3.2.	Microonda digitales	9
1.1.3.3.	Planificación y asignación de bandas de frecuencia.....	10
1.1.4.	PROPIEDADES ÓPTICAS DE LAS ONDAS	12
1.1.4.1.	Reflexión	12
1.1.4.2.	Difracción y Principio de Huygens	13
1.1.4.3.	Refracción.....	14
1.1.4.4.	Absorción	14
1.1.5.	MODOS DE PROPAGACIÓN	15
1.1.5.1.	Propagación por onda terrestre	15
1.1.5.2.	Propagación por onda espacial ionosférica	15
1.1.5.3.	Propagación en línea recta.....	16
1.1.6.	LÍNEA DE VISTA	18
1.1.7.	ZONA DE FRESNEL	18
1.1.8.	LIMITACIONES EN LA PROPAGACIÓN.....	19
1.1.8.1.	Interferencia.....	19
1.1.8.2.	Atenuación.....	20
1.1.8.3.	Desvanecimiento	20
1.2.	RADIOENLACES	20
1.2.1.	LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	21
1.2.1.1.	Líneas coaxiales.....	21
1.2.1.2.	Guía de onda.....	22
1.2.2.	ANTENAS.....	23
1.2.3.	TIPOS DE REPETIDORES	27

1.2.3.1.	Repetidos activo	27
1.2.3.2.	Repetidor portátil.....	28
1.2.3.3.	Repetidores pasivo.....	28
1.2.4.	DISEÑO DE RADIOENLACE	31
1.2.4.1.	Geometría del perfil del terreno.....	31
1.2.4.2.	Determinación de las frecuencias de trabajo	34
1.2.4.3.	Radio de la primera zona de fresnel	34
1.2.4.4.	Cálculo de altura de despeje	35
1.2.4.5.	Atenuaciones de la señal.....	36
1.2.4.6.	Potencia de recepción	44
1.2.4.7.	Margen de umbral.....	45
1.2.4.8.	Margen de desvanecimiento	45
1.2.4.9.	Confiabilidad	47
1.3.	CRITERIOS Y OBJETIVOS DE INDISPONIBILIDAD	48
1.3.1.	CRITERIOS DE INDISPONIBILIDAD.....	48
1.3.2.	OBJETIVOS DE INDISPONIBILIDAD	49

CAPÍTULO 2

2. DIAGNÓSTICO SOBRE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL RADIOENLACE SAN JUAN CON DIRECCIÓN CHIRIBOGA

2.1.	SISTEMA OLEODUCTO DE TRANSECUTORIANO	51
2.1.1.	HISTORIA DEL S.O.T.E	51
2.1.2.	DESCRIPCIÓN DEL S.O.T.E	52
2.1.3.	SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES DEL S.O.T.E	53
2.1.4.	DESCRIPCIÓN DE LOS ENLACES DE RADIO EXISTENTES	54
2.2.	ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACTUAL.....	55
2.2.1.	EQUIPAMIENTO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES	61
2.2.1.1.	Outdoor Unit (ODU)	61
2.2.1.2.	Indoor Unit (IDU).....	62
2.2.1.3.	Bus de datos.....	62
2.2.2.	ESTACIONES DE SAN JUAN Y CHIRIBOGA.....	62

2.2.3.	RADIOENLACE SAN JUAN – CHIRIBOGA.....	63
2.2.3.1.	Distancia entre los dos puntos	64
2.2.3.2.	Perfil del terreno	65
2.2.3.3.	Cálculo del abultamiento de la Tierra.....	67
2.2.3.4.	Perfil del terreno corregido.....	68
2.2.3.5.	Cálculo del radio de la primera zona de Fresnel	68
2.2.3.6.	Despeje de la zona de fresnel	69
2.2.3.7.	Análisis del trayecto San Juan – Chiriboga.....	70
2.3.	REQUERIMIENTOS.....	74
2.3.1.	OBJETIVOS DE DISPONIBILIDAD	74
2.3.2.	OTROS REQUERIMIENTOS.....	74

CAPÍTULO 3

3. RE-DISEÑO DEL RADIOENLACE SAN JUAN CON DIRECCIÓN CHIRIBOGA

3.1.	CANALIZACIÓN DE LA FRECUENCIA.....	79
3.2.	MEJORA DE SISTEMAS DE COMUNICACIÓN VÍA MICROONDAS MEDIANTE TÉCNICAS DE DIVERSIDAD.....	80
3.3.	CÁLCULOS DE RADIOENLACE CON REPETIDORES PASIVOS.....	95
3.3.1.	CÁLCULO DEL RADIOENLACE SAN JUAN – CHIRIBOGA.....	95
3.3.1.1.	Mapa de la región	96
3.3.1.2.	Levantamiento del perfil topográfico.....	99
3.3.1.3.	Cálculo del abultamiento de la Tierra.....	102
3.3.1.4.	Perfil del terreno corregido.....	103
3.3.1.5.	Cálculo del radio de la primera zona de Fresnel	104
3.3.1.6.	Despeje de la zona de fresnel	105
3.3.2.	SIMULACIÓN EN EL SOFTWARE RADIO MOBILE	108
3.3.3.	CÁLCULO DE ATENUACIÓN DE LA SEÑAL	110
3.3.4.	REPETIDORES PASIVOS	114
3.3.4.1.	Cálculo de diseño utilizando un repetidor pasivo tipo espejo	115
3.3.4.2.	Cálculo de diseño utilizando un repetidor pasivo tipo back – to – back ..	121
3.3.5.	POTENCIA DE RECEPCIÓN.....	125

3.3.6.	MARGEN DE UMBRAL.....	125
3.3.7.	MARGEN DE DESVANECIMIENTO	126
3.3.8.	CONFIABILIDAD	127
3.3.9.	ALINEACIÓN DE ANTENAS.....	129
3.3.10.	ANTENA DE MICROONDAS	132
3.3.10.1.	Antenas Estándar	132
3.3.10.2.	Antenas de alto rendimiento.....	133
3.3.10.3.	Antenas Andrew ValuLine	133
3.3.11.	RADIO DE MICROONDAS.....	135
3.3.12.	GUÍA DE ONDA.....	140
3.3.13.	SISTEMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	141

CAPÍTULO 4

4. PRESUPUESTO PARA IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN

4.1.	COSTOS REFERENCIALES DE IMPLEMENTACIÓN DE RADIOENLACE.....	142
4.1.1.	COSTOS DE INVERSIÓN	142
4.1.1.1.	Activos Fijos.....	142
4.1.1.2.	Activos Nominales *	143
4.1.1.3.	Concesión de frecuencias	144
4.1.2.	COSTOS DE OPERACIÓN.....	145
4.2.	ESTUDIO REGULATORIO	145
4.2.1.	INFORMACIÓN LEGAL	145
4.2.2.	INFORMACIÓN TÉCNICA.....	146
4.2.3.	FORMULARIOS.....	146

CAPÍTULO 5**5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1.	CONCLUSIONES	153
5.2.	RECOMENDACIONES	155
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA	157
	ANEXOS	159

Índice de Figuras

Figura 1.1 Sistema básico de radiocomunicación	3
Figura 1.2 Espectro electromagnético y su uso en las comunicaciones	8
Figura 1.3 Reflexión de ondas de radio	13
Figura 1.4 Difracción en la cima de una montaña	14
Figura 1.5 Refracción ionosférica	16
Figura 1.6 Distancia de alcance visual y distancia al horizonte	17
Figura 1.7 Zona de fresnel	19
Figura 1.8 Ancho de haz	24
Figura 1.9 Diagrama de radiación	25
Figura 1.10 Reflector plano tipo espejo	29
Figura 1.11 Antenas back-to-back	31
Figura 1.12 Geometría del terreno	32
Figura 1.13 Radio de la primera zona de fresnel	35
Figura 1.14 Difracción filo de cuchillo	38
Figura 1.15 Atenuación específica en zona boscosa	43
Figura 1.16 Atenuación específica debido a los gases	44
Figura 1.17 Determinación de indisponibilidad	49
Figura 2.1 Oleoducto Transecuatoriano	53
Figura 2.2 Equipamiento de estación base de comunicaciones	61
Figura 2.3 Transmisión de datos	64
Figura 2.4 San Juan - Chiriboga	73
Figura 2.5 Producción promedio diaria de petróleo	76
Figura 2.6 Precios mensuales del crudo	75
Figura 3.1 Disposición de radiocanales para la banda de 7Ghz	78
Figura 3.2 Técnicas de Diversidad	81
Figura 3.3 Técnicas de Diversidad por espacio y frecuencia	82
Figura 3.4 Esquema de diversidad espacial	83
Figura 3.5 Diversidad de espacio utilizando doble antena de recepción	83
Figura 3.6 Diversidad de frecuencia	87

Figura 3.7 Diversidad por conmutación	91
Figura 3.8 Diversidad de combinación por selección con M antenas	92
Figura 3.9 Diversidad de combinación por igual ganancia con M antenas	93
Figura 3.10 Maximum Ratio Diversity	94
Figura 3.11 Enlace San Juan - Chiriboga	98
Figura 3.12 Vista aérea de los sitios	100
Figura 3.13 Resultados de Funciones Enlace 1 y Enlace 2	107
Figura 3.14 Simulación Enlace 1	108
Figura 3.15 Simulación Enlace 2	109
Figura 3.16 Trayectorias del Enlace	110
Figura 3.17 Repetidor tipo espejo	116
Figura 3.18 Angulo de reflexión	117
Figura 3.219 Reflectores pasivos	118
Figura 3.20 Enlace San Juan - Chiriboga utilizando un repetidor tipo espejo ...	119
Figura 3.21 Enlace back-to-back	121
Figura 3.22 Enlace San Juan - Chiriboga utilizando un arreglo de antenas back-to-back	123
Figura 3.23 Esquema enlace San Juan Chiriboga	124
Figura 3.24 Ángulo de elevación	129
Figura 3.25 Ángulo de apuntamiento y acimut	130
Figura 3.26 Antenas Andrew	134
Figura 3.27 Radio microondas	135
Figura 3.28 Desprotegido 1+0	137
Figura 3.29 Protección 1+1 con combinador de Radio Frecuencia	137
Figura 3.30 Protección 1+1 con diversidad de espacio	138
Figura 3.31 Protección 1+1 con diversidad de frecuencia y combinador de Radio Frecuencia	138
Figura 3.32 Protección 1+1 con diversidad de frecuencia y combinador de Radio Frecuencia / espacio	138
Figura 3.33 Guía de onda.....	140

Índice de Tablas

Tabla 1.1 Designación de bandas CCIR	7
Tabla 1.2 Plan de Frecuencias	11
Tabla 1.3 Valores de K	33
Tabla 1.4 Coeficientes para determinar la atenuación específica	42
Tabla 1.5 Factor climático A	46
Tabla 1.6 Factor climático B	46
Tabla 2.1 Descripción de la línea principal del Oleoducto Transecuatoriano	52
Tabla 2.2 Características generales de los enlaces	58
Tabla 2.3 Sistema de microondas del S.O.T.E	60
Tabla 2.4 Coordenadas de las estaciones	64
Tabla 2.5 Puntos tomados en base a la carta topográfica Quito CT-ÑIII-A4, 3893-II y el programa Google Earth en el trayecto San Juan-Chiriboga	66
Tabla 2.6 Resumen enlace San Juan - Chiriboga	72
Tabla 2.7 Estimación de pérdidas	76
Tabla 3.1 Canalización de frecuencias para la banda de 7 Ghz	79
Tabla 3.2 Frecuencias de trabajo	80
Tabla 3.3 Frecuencias de transmisión y recepción	88
Tabla 3.4 Perfil topográfico	101
Tabla 3.5 Matriz de comparación	135
Tabla 4.1 Activos Fijo	143
Tabla 4.2 Activos Nominales	145
Tabla 4.3 Costo de operación	145

RESUMEN

El capítulo uno tiene como objetivo el estudio de la radiocomunicación, se explican conceptos sobre espectro electromagnético, microondas, antenas, presentando un esquema de diseño de radioenlace que incluirá criterios y objetivos de indisponibilidad.

El capítulo dos constituye una introducción a la operación del Sistema Oleoducto transecuatoriano, se da una descripción del sistema de telecomunicaciones, y un diagnóstico de la situación actual del enlace San Juan – Chiriboga.

El capítulo tres presenta tres propuestas de optimización del enlace: mejoramiento por diversidad, diseño del enlace San Juan – Chiriboga utilizando un repetidor pasivo tipo espejo y diseño del radioenlace utilizando un arreglo de antenas “back-to-back”. Una vez detalladas las propuestas se presentará el enlace San Juan - Chiriboga, elaborando un análisis de los equipos y antenas en el enlace de microondas.

En el capítulo cuatro se muestra la factibilidad de la puesta en operación del enlace, en base a aspectos de inversión y la concesión de frecuencias otorgada por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones, se elabora un análisis de costos de inversión y operación del enlace, se adjuntan adicionalmente los formularios de Concesión de Frecuencias que se deberán presentar a la SENATEL, así como el respectivo cálculo de los valores que se deberá cancelar a esta entidad por el uso del espectro radioeléctrico.

El capítulo cinco constituye el capítulo final de la presente, aquí se recopila varias conclusiones y sus respectivas recomendaciones.

CAPÍTULO 1

1. FUNDAMENTOS DE REPETIDORES PASIVOS CON ANTENAS “BACK TO BACK” PARA LA BANDA DE 7 GHZ

El presente capítulo tiene como objetivo el conocimiento de la radiocomunicación, la familiarización con Recomendaciones del sector de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, UIT-R, se ubicarán conceptos referentes al espectro electromagnético, microondas, antenas, colocando especial detalle al tema de repetidores pasivos y finalmente un esquema de diseño de radioenlace que incluirá criterios y objetivos de indisponibilidad.

1.1. RADIOCOMUNICACIÓN ¹

La radiocomunicación puede definirse como telecomunicación que se realiza por medio de ondas radioeléctricas, las mismas que son definidas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) como las ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio sin guía artificial y cuya frecuencia límite es convencionalmente 3.000 GHz.

La técnica de radiocomunicación consiste en superponer la información que se desea transmitir sobre una onda electromagnética denominada portadora, éste proceso se denominada modulación y genera una onda llamada modulada, cuyo espectro contiene un conjunto de frecuencias en torno a la frecuencia portadora. La onda modulada es propagada a través de una antena, la misma que constituye un dispositivo de acoplamiento con el medio, que generalmente es el aire. Dentro del proceso de radiocomunicación existen dispositivos de

¹ Hernando, José María (2008). *Transmisión por Radio (4ta ed)*. Madrid: Editorial Universitaria Ramón Areces. Páginas 21 - 25.

transmisión, recepción y antenas, que se encuentran dispuestas en las estaciones de emisión y de recepción. Por emisión se entiende la radiación de energía desde una fuente en forma de ondas electromagnéticas ésta fuente es denominada estación transmisora radioeléctrica, ya que la emisión de la información no se realiza de forma ideal existen ondas parásitas o no deseadas, por lo que se habla de radiaciones parásitas, para eliminar éste efecto no deseado se colocan filtros que eliminarán las señales extrañas que interfieran con la comunicación deseada. Regresando al proceso, la onda modulada emitida al medio a través de la estación trasmisora con la ayuda de una antena transmisora recorre el espacio y alcanza el punto o los puntos deseados, llegando de ésta manera al sistema receptor el cual por medio de una antena de recepción recoge una fracción de la energía radioeléctrica transmitida. Tanto las estaciones de transmisión como recepción poseen un conjunto de equipos que les permite tratar a la señal según el requerimiento, así, la estación radioeléctrica transmisora está constituida por: moduladores, filtros, antenas; la estación receptora a su vez posee: antena, amplificadores, demoduladores, filtros. Un modelo básico de sistema de radiocomunicación se puede apreciar en la figura 1.1, y sobre la cual se deben resaltar los siguientes puntos:

- 1) Entrada de la señal de información al modulador.
- 2) Salida de la señal modulada.
- 3) Salida de la señal amplificada y filtrada del transmisor con destino a la antena o sistema radiante de transmisión.
- 4) Emisión de la portadora modulada
- 5) Llegada de las señales (deseada y no deseadas) al receptor.
- 6) Entrada al modulador del receptor.
- 7) Recuperación de la información.
- 8) Actuación del ruido sobre el receptor.

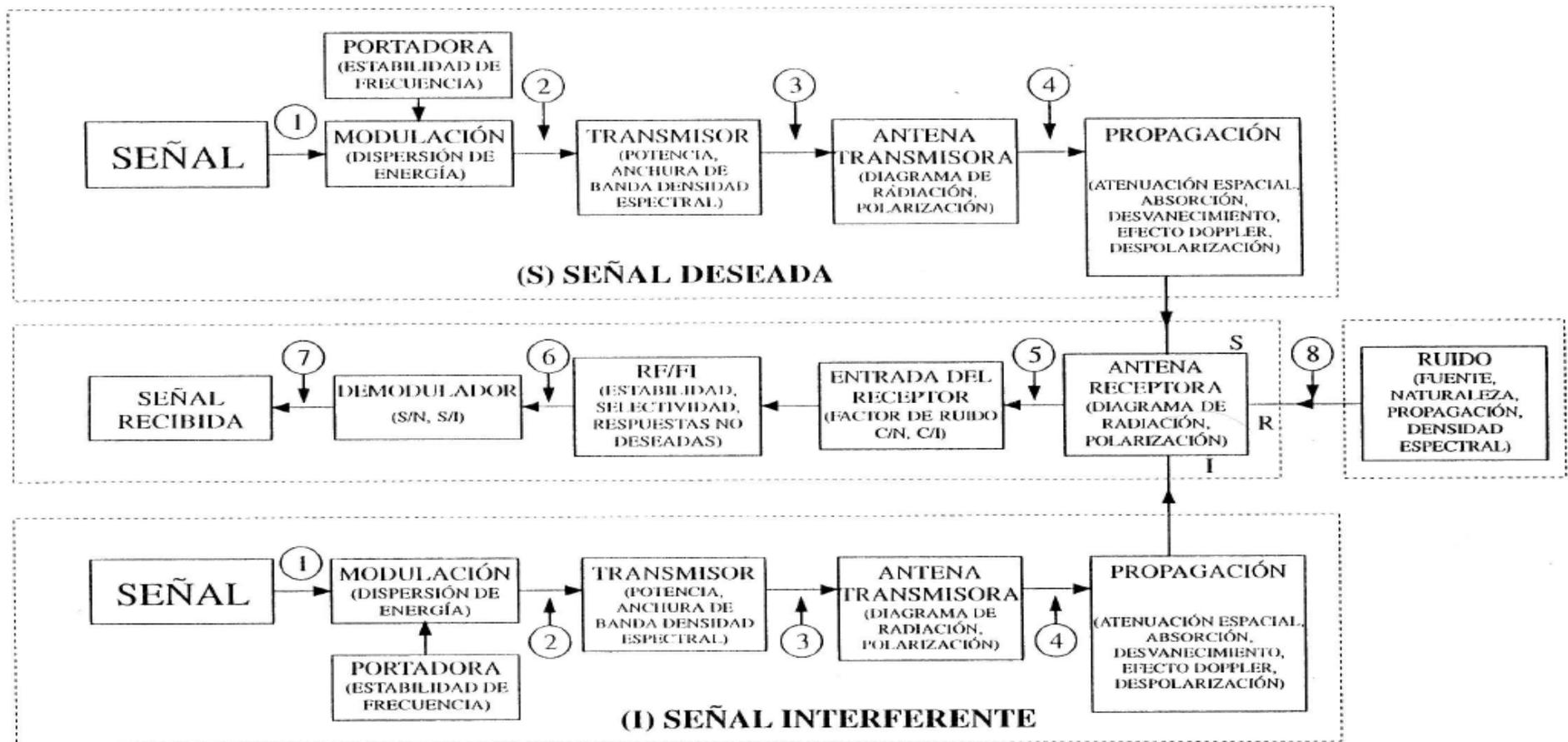


Figura 1.1 Sistema básico de radiocomunicación ²

² Fuente: Hernando, José María (2008). *Transmisión por Radio (4ta ed)*. Madrid: Editorial Universitaria Ramón Areces. Página 24.

Se denomina servicio de radiocomunicación al servicio que implica la emisión y/o recepción de ondas radioeléctricas con el fin de transmitir o receptor información, que cubra necesidades con el carácter de: telecomunicaciones, científico o industrial. Los denominados servicios de radiocomunicación suelen ser clasificados según el tipo de radiocomunicación, así tenemos:

- a) Servicio Fijo: Este constituye un servicio de tipo punto a punto, y presta su servicio en puntos fijos determinados.
- b) Servicio Móvil: En este caso los servicios son prestados utilizando estaciones móviles comunicadas entres sí, o con una o más estaciones fijas. El Servicio Móvil a su vez se subdivide en: Servicio móvil terrestre, Servicio móvil marítimo, Servicio aeronáutico.
- c) Servicio de Radiodifusión: Este servicio se caracteriza por emisiones que son destinadas a la recepción directa por el público en general.

Existen además otras formas de clasificar los servicios, en base a sus aplicaciones tenemos:

- a) Servicios de radiodeterminación: Estos servicios son referidos a la radiolocalización y la radionavegación.
- b) Servicios de exploración de la Tierra por satélite.
- c) Servicios de radioastronomía e investigación espacial.
- d) Servicio de frecuencia patrón y señales horarias
- e) Servicios de aficionados

Todos los servicios pueden ser explotados según sea la conveniencia de las diversas aplicaciones, de esta manera los servicios de radiocomunicación pueden ser explotados con la modalidad terrenal o satelital.

1.1.1. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO ³

El objetivo de un sistema de comunicaciones es transportar información entre dos o más lugares, estos lugares son conocidos como estaciones; la comunicación entre las diferentes estaciones se realiza mediante la conversión de la información original a energía electromagnética, ésta energía se propaga en forma de voltaje o corriente a través de un conductor o hilo metálico, en forma de ondas radioeléctricas emitidas hacia el espacio libre o en forma de haz luminoso transmitido a través de fibra óptica.

El espectro electromagnético de frecuencias total contiene frecuencias que van desde las subsónicas hasta los rayos cósmicos. El espectro total útil de radiofrecuencia (RF) se divide en bandas de frecuencia, a las cuales se les da nombres y números descriptivos, algunas bandas se subdividen en diversos tipos de servicios, dichas designaciones están dadas por el Comité Consultivo Internacional de Radio (CCIR) y se las resume en la tabla 1.1 que se encuentra a continuación.

Banda No.	Intervalo de Frecuencias	Designacion	Uso
2	30 Hz - 300 Hz	ELF (extremely low frequency)	Comprenden señales de distribución eléctrica y de telemetría de baja frecuencia.
3	0.3 KHz - 3 KHz	VF (voice frequencies)	Son señales asociadas a la voz humana y a los canales telefónicos
4	3 KHz - 30 KHz	VLF (very low frequency)	Son señales que contienen el extremo superior del rango audible humano, se suele utilizar en comunicaciones especiales gubernamentales como las submarinas.
5	30 KHz - 300 KHz	LF (low frequency)	Usadas principalmente en navegación marítima y aeronáutica.
6	0.3 Mhz - 3 Mhz	MF (médium frequency)	Señales usadas principalmente en emisiones de radio AM.

³ Tomasi, Wayne (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas (4ta ed)*. México: Pearson Educación. Página 4.

7	3 Mhz - 30 Mhz	HF (high frequency)	Frecuencias denominadas onda corta. Éste intervalo de frecuencias suele utilizarse para radiocomunicaciones full dúplex.
8	30 Mhz - 300 Mhz	VHF (very high frequency)	Se usa en radios móviles, comunicaciones marinas y aeronáuticas, emisión comercial de FM y en la emisión de televisión para canales de 2 a 13.
9	300 Mhz - 3 Ghz	UHF (ultra high frequency)	Se usa para la emisión de televisión en los canales de 14 a 83, para servicios móviles de comunicaciones terrestres, teléfonos celulares, algunos sistemas de radar y navegación
10	3 Ghz - 30 Ghz	SHF (super high frequency)	Aquí se encuentran la mayoría de las frecuencias que se usan en sistemas de radiocomunicaciones por microondas y satelitales.
11	30 Ghz - 300 Ghz	EHf (extremely high frequency)	Casi no se usan en radiocomunicaciones excepto en aplicaciones muy complicadas, costosas y especializadas.
12	0.3 Thz - 3 Thz	Luz infrarroja	Una señal infrarroja indica radiación electromagnética asociada al calor, estas señales son usadas en sistemas de guía de proyectiles con blancos térmicos, en fotografía electrónica y astronomía.
13	3 Thz - 30 Thz	Luz infrarroja	
14	30 Thz - 300 Thz	Luz infrarroja	
15	0.3 Phz - 3 Phz	Luz visible	Estas son las frecuencias electromagnéticas captadas por el ojo humano. Las comunicaciones por medio de ondas luminosas son usadas sobre fibra óptica, que en las últimas décadas se ha convertido en uno de los medios principales de los sistemas electrónicos de comunicaciones.
16	3 Phz - 30 Phz	Luz ultravioleta	Estos son escasamente utilizados en comunicaciones electrónicas por lo que no se describirán.
17	30 Phz - 300 Phz	Rayos X	

18	0.3 Ehz - 3 Ehz	Rayos gamma	
19	3 Ehz - 30 Ehz	Rayos cósmicos	

Tabla 1.1. Designación de bandas CCIR ⁴

1.1.2. TRANSMISIÓN EN MEDIOS NO GUIADOS

Se considera como un medio de transmisión al camino físico que basado en sus propiedades eléctricas, mecánicas, ópticas u otras transporta información entre terminales de recepción y transmisión, en donde la comunicación se da por medio de la propagación de ondas electromagnéticas ya sea por medios de transmisión guiados o no guiados. La comunicación tendrá diferentes características y calidad en su transmisión según el tipo de señal y las características particulares del medio sobre el cual se va a propagar.

Cuando estamos frente al diseño de un sistema de transmisión existen diversos factores que intervienen al escoger el medio sobre el cual se va transmitir, en la figura 1.2 se presenta el Espectro electromagnético para las diversas comunicaciones y el medio sobre el cual se debería transmitir los datos.

En medios de transmisión no guiados el proceso de comunicación se realiza mediante el uso de antenas, la antena transmisora radia energía electromagnética en el medio que en su mayoría de casos es aire las ondas viajan y la antena receptora las capta.

⁴ Tomasi, Wayne (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas (4ta ed)*. México: Pearson Educación. Páginas 5 y 6.

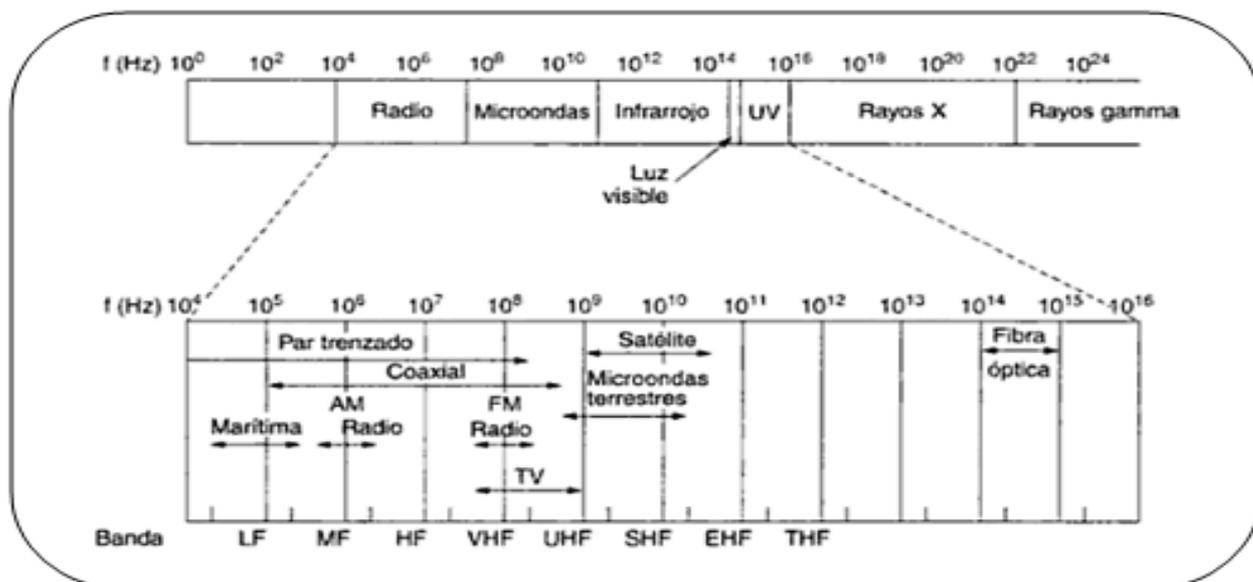


Figura 1.2. Espectro electromagnético y su uso en las comunicaciones ⁵

1.1.3. MICROONDAS ⁶

Un sistema de comunicación por microonda trabaja en la banda de frecuencia UHF (frecuencias ultra elevadas) e incluso a frecuencias más elevadas, el sistema establece comunicaciones punto a punto entre dos estaciones transceptoras utilizando un haz radioeléctrico como si éste fuera un rayo de luz. Las estaciones entre las cuales se desea establecer la comunicación deben estar en la misma línea visual, en caso de no existir una misma línea visual se utilizará repetidores intermedios, dentro de los limitantes para el establecimiento de la línea de vista se encuentran: la curvatura de la Tierra y topografía del terreno; sin embargo con la utilización de repetidores intermedios se obtienen circuitos de varios miles de kilómetros.

⁵ Fuente: Tanenbaum, Andrew (2003). *Redes de Computadoras (4ta ed)*. México: Pearson Educación. Página 101.

⁶ Castro, Antonio y Fusario, Rubén (1999). *Teleinformática para ingenieros en sistemas de información 2 (2da ed)*. Barcelona:Editorial Reverté. Páginas 478 – 484.

Los enlaces de muy largo alcance necesitan en su trayectoria varias repetidoras, a cada tramo que es parte del trayecto completo se le conoce como salto y la unión de todos los saltos cubren la distancia total. Las estaciones repetidoras pueden ser activas o pasivas y las características particulares de cada una de ellas se las detallará en lo posterior de éste mismo capítulo, pero en general una estación repetidora es la encargada de recibir la señal, amplificarla o regenerarla según la necesidad de comunicación y finalmente retransmitirla hasta la siguiente estación. Según el tipo de señal que transportan, los sistemas de comunicaciones vía microondas se pueden clasificar en: Microondas analógicas, Microondas digitales.

1.1.3.1. Microonda analógicas

Las primeras microondas en ser utilizadas fueron las analógicas y fueron diseñadas con la finalidad de transmitir canales telefónicos y de televisión, y aunque éste tipo de microondas ya no se fabrican una gran parte de las redes de telecomunicaciones se encuentran operando con éste tipo de microondas.

1.1.3.2. Microonda digitales

Con la aparición de la transmisión de datos surge la necesidad de adaptar las microondas que en un principio fueron diseñadas para transmitir señales analógicas a microondas capaces de transportar señales digitales. Para conseguir dicha transmisión se utilizan métodos de modulación para señales digitales que son los siguientes: 2 PSK, 4 PSK, 8 PSK, 16 QAM Y 64 QAM, también se tienen modulaciones más recientes como: 128 QAM, 256 QAM Y 512 QAM. Las microondas digitales al igual que todos los sistemas de éste tipo, tiene la ventaja de permitir la regeneración de los pulsos que son transmitidos por el sistema de radiocomunicación, esto se traduce en mayor tolerancia al ruido y a las interferencias ya que en cada repetidora de microonda se regenera nuevamente la señal digital, lo que es una ventaja sobre los sistemas analógicos en donde la señal solo puede ser amplificada más no regenerada.

1.1.3.3. Planificación y asignación de bandas de frecuencia

Existe una gran demanda de servicios de radiocomunicación, con la necesidad de una frecuencia para cada enlace y de evitar al máximo los problemas de interferencia, por lo que la asignación de frecuencias se convierte en una labor que necesariamente deberá estar sujeta a una cuidadosa planificación, por lo que en la actualidad existe una nueva disciplina en el área de las radiocomunicaciones denominada Ingeniería del Espectro, la misma que se ocupa de la planificación y gestión de las frecuencias, ésta gestión tiene alcance internacional en la competencia de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (U.I.T), regulada por el Reglamento de Radiocomunicaciones, en el cual se establecen ítems para la coordinación internacional de utilización de frecuencias. Como se pudo apreciar en el literal 1.1.1 con referencia al espectro electromagnético, este se encuentra subdividido en bandas de frecuencia, las mismas que antes de su uso deben pasar por el proceso de atribución, adjudicación y asignación.

En el Ecuador la administración del espectro radioeléctrico se encuentra a cargo del organismo gubernamental denominado Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL), quien dispone del Plan Nacional de Frecuencias en el cual se designa las distintas bandas de frecuencia para los diferentes tipos de servicios que así lo requieran. El Plan Nacional de Frecuencias ⁷ se encuentra disponible en la página de Internet de CONATEL, en el cual se encuentra como parte del capítulo II el CUADRO NACIONAL DE ATRIBUCIÓN DE BANDAS DE FRECUENCIAS. Del mismo que por motivos referentes a la presente tesis se hará referencia solamente a un extracto del cuadro, tomando las bandas que se encuentren en los 7 Gh.

⁷El Plan Nacional de Frecuencias se encuentra disponible en el enlace http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/index.php?option=com_content&view=article&id=152:espectro&catid=39:frecuencias&Itemid=164

REGIÓN 2	ECUADOR	
Banda MHz	Banda MHz	NOTAS
6700 - 7075 FIJO FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) (espacio-Tierra) 5.441 MÓVIL 5.458 5.458A 5.458B 5.458C	6700 - 7075 FIJO 5.458	EOA.110
7075 - 7145 FIJO MÓVIL 5.458	7075 - 7145 FIJO 5.458	EOA.50 EOA.110
7145 - 7235 FIJO MÓVIL INVESTIGACIÓN ESPACIAL (Tierra-espacio) 5.460 5.458	7145 - 7235 FIJO 5.458	EOA.50
7235 - 7250 FIJO MÓVIL 5.458	7235 - 7250 FIJO 5.458	EOA.50
7250 - 7300 FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL 5.461	7250 - 7300 FIJO	EOA.50
7300 - 7450 FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL salvo móvil aeronáutico 5.461	7300 - 7450 FIJO	EOA.50
7450 - 7550 FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) METEOROLOGÍA POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL salvo móvil aeronáutico 5.461A	7450 - 7550 FIJO	EOA.50
7550 - 7750 FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL salvo móvil aeronáutico	7550 - 7750 FIJO	EOA.50
7750 - 7850 FIJO METEOROLOGÍA POR SATÉLITE (espacio-Tierra) 5.461B MÓVIL salvo móvil aeronáutico	7750 - 7850 FIJO	EOA.50
7850 - 7950 FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico	7850 - 7950 FIJO	EOA.50
7900 - 8025 FIJO FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) MÓVIL 5.461	7900 - 8025 FIJO	EOA.50

Tabla 1.2. Plan de Frecuencias

1.1.4. PROPIEDADES ÓPTICAS DE LAS ONDAS ⁸

Las propiedades más características de las ondas electromagnéticas.

1.1.4.1. Reflexión

Las ondas de radio de igual forma que las ondas de luz visible son reflejadas al momento que entran en contacto con materiales que produzcan dicha reflexión, para el caso particular de las ondas de radio se tiene que las fuentes principales para que la reflexión se produzca son las superficies metálicas y de agua. Comprender éste fenómeno no es complicado, la onda viaja y al chocar con una superficie se produce la reflexión, dependiendo del ángulo con el cual la onda incide en la superficie se tendrá el ángulo con el cual la onda es desviada. Sin embargo a pesar de que como se ha visto éste fenómeno es bastante simple se puede complicar cuando estamos en un espacio cerrado en el cual la reflexión no está limitada a una sola superficie, a éste fenómeno se le denomina efecto multitrayectoria o también conocida como (multipath), si la onda emitida por el transmisor se refleja sobre diferentes superficies, entonces al receptor llegan señales a través de diferentes caminos y en tiempos distintos. Como aplicación práctica se puede utilizar la reflexión como una ventaja en la construcción de antenas, colocando grandes parábolas detrás del transmisor o receptor para recoger las ondas de radio y concentrarlas en un punto, como se puede apreciar en la Figura 1.3.

Como se puede apreciar en el gráfico el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión, en el caso de la antena parabólica se utiliza este efecto para concentrar las ondas de radio que chocan contra la una superficie común a todas las ondas.

⁸ Flickenger, Rob (2006). *Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo (1er ed)*. Limehouse Book Sprint Team. Páginas 18 – 23.

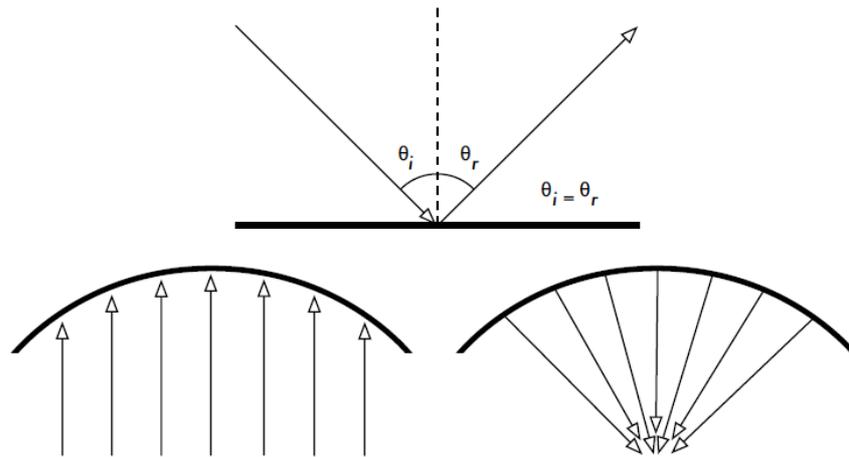


Figura 1.3. Reflexión de ondas de radio ⁹

1.1.4.2. Difracción y Principio de Huygens

El fenómeno de difracción consiste en la característica de las ondas que al incidir sobre la superficie de un objeto pareciera que la onda se doblara. El Principio de Huygens nos ayuda a comprender este particular comportamiento de las ondas; imaginemos que cierto instante determinado, cada punto del frente de onda se considera como el punto de inicio de otra onda esférica, si la onda incide sobre una superficie y la atraviesa por alguna imperfección de la misma, es pues por medio de la difracción que las ondas se doblarán en sus esquinas y atravesarán la barrera, claro que éste efecto no es visible para el ojo humano. En el caso de las microondas el fenómeno de difracción se produce cuando la onda choca contra superficies como paredes, picos de elevaciones y otros obstáculos, cuando la onda colisiona con la obstrucción cualquiera que fuere cambia de dirección y dobla sus esquinas, como se puede apreciar en la figura 1.4.

⁹ Fuente: Flickenger, Rob (2006). *Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo (1er ed)*. Limehouse Book Sprint Team. Página 20.

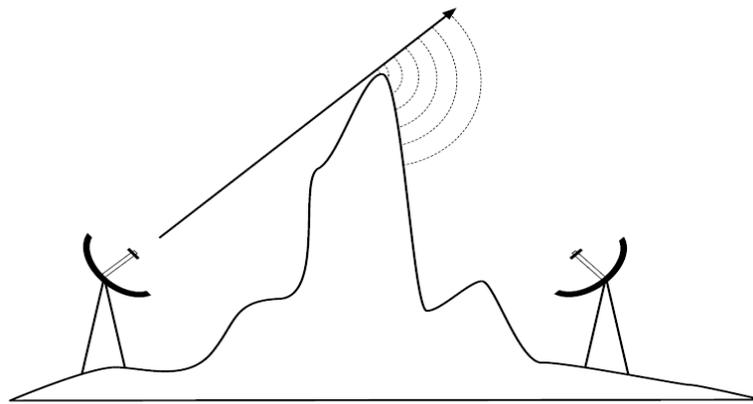


Figura 1.4. Difracción en la cima de una montaña ¹⁰

En el caso de la radiocomunicación, el fenómeno de la difracción genera pérdida de potencia, aunque en algunos casos específicos éste fenómeno puede ser utilizado en beneficio de la comunicación al utilizar la difracción como un elemento para rodear obstáculos. Sobre esto se hablará más adelante en éste mismo capítulo.

1.1.4.3. Refracción

El fenómeno conocido como refracción es la desviación de una onda cuando esta se propaga de un medio hacia otro, la velocidad a la cual una onda electromagnética viaja es inversamente proporcional a la densidad del medio en cual se propaga, por tanto si una onda se encuentra viajando y pasa de un medio a otro menos denso la velocidad de la misma aumenta y viceversa, una onda viajando de un medio con cierta densidad que pasa a otro con una densidad mayor tendrá una disminución en su velocidad de propagación.

1.1.4.4. Absorción

¹⁰ **Fuente:** Flickenger, Rob (2006). *Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo (1er ed)*. Limehouse Book Sprint Team. Página 22.

La atmósfera tiene varias capas y en las más bajas se produce el fenómeno conocido como absorción, el cual produce pérdidas en la energía en la onda que se encuentra propagándose, aunque las pérdidas producidas por éste fenómeno son pequeñas y por tanto suelen ignorarse para frecuencias que mayores a 10 Ghz suelen tomarse en cuenta y su cálculo depende de varios factores: frecuencia, altura sobre el nivel del mar de los lugares de transmisión y recepción, altura de las antenas transmisora y receptora, densidad de vapor de agua y temperatura.

1.1.5. MODOS DE PROPAGACIÓN ¹¹

Como se mencionó anteriormente existen diversos modos de propagación de las ondas de radio y se los detalla a continuación.

1.1.5.1. Propagación por onda terrestre

Este tipo de propagación hace alusión a su nombre, las ondas terrestres se encuentran en contacto con la superficie terrestre. En consecuencia el movimiento sobre el terreno producen corrientes eléctricas que atenúan la señal original conforme ésta se propaga y se aleja de la antena transmisora, por tanto existirá una distancia a la cual la amplitud de la onda terrestre disminuye hasta ser anulada, ésta distancia dependerá de la potencia emitida y la frecuencia. Este tipo de propagación es exclusivamente usado en frecuencias medias y altas.

1.1.5.2. Propagación por onda espacial ionosférica

La mayoría de las comunicaciones que se encuentran en las bandas de frecuencias entre 3 a 30 Mhz, o incluso bandas con frecuencias más elevadas, se propagan por onda espacial ionosférica. La ionósfera es una zona que se encuentra formada por ondas electromagnéticas que cuyo origen es el sol, posee

¹¹ Castro, Antonio y Fusario, Rubén (1999). *Teleinformática para ingenieros en sistemas de información 2 (2da ed)*. Barcelona:Editorial Reverté. Páginas 470 – 476.

cuatro capas también conocidas como regiones: Región D, Capa E, Capa R1 y Capa F2. Al establecer una comunicación de larga distancia utilizando

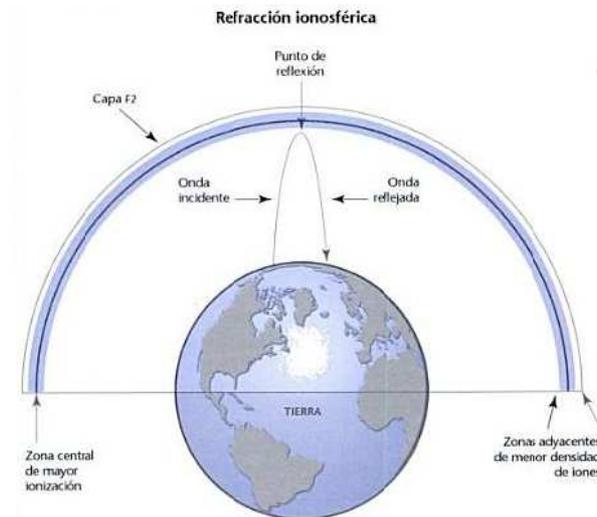


Figura 1.5. Refracción ionosférica¹²

propagación de onda espacial, sucede lo siguiente: la onda que se propaga viaja hasta que incide sobre las capas ionizadas de ionósfera y es reflejada con dirección a la tierra; del ángulo de incidencia dependerá que exista o no reflexión, en caso de existir dicha reflexión se dice que la onda es reflejada por la ionósfera y de no existir reflexión se dice que la onda es refractada y ya que no retorna a la Tierra, la onda se pierde en el espacio exterior de una forma más ilustrativa tenemos la figura 1.5.

1.1.5.3. Propagación en línea recta

En la propagación en línea recta, también conocida como onda directa la onda que se emite desde la antena transmisora viaja de forma directa a la antena receptora sin que tocar ni el suelo ni la ionósfera. Esta propagación se la realiza en frecuencias muy elevadas (Very High Frequency) y frecuencias ultra elevadas

¹² **Fuente:** Castro, Antonio y Fusario, Rubén (1999). *Teleinformática para ingenieros en sistemas de información 2 (2da ed)*. Barcelona: Editorial Reverté. Página 475.

(Ultra High Frequency) e incluso superiores. Los servicios de televisión (TV) y de Radiodifusión de frecuencia modulada (FM) utilización como modo de propagación la onda directa.

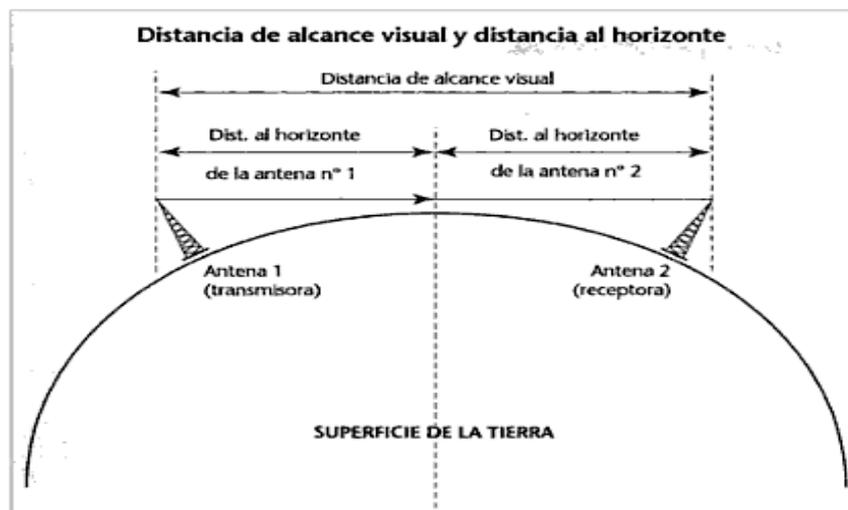
Para entender la transmisión en línea recta se necesita tener claros algunos conceptos:

- Distancia al horizonte:

Esta distancia cubre el recorrido de la onda, desde que es emitida por la antena transmisora hasta el primer roce tangencial con la superficie terrestre.

- Distancia de alcance visual:

El alcance visual es la distancia que como máximo puede existir entre la antena transmisora y la receptora para que exista comunicación por onda directa. En la figura 1.6. Se puede distinguir entre la distancia al horizonte y la distancia de alcance visual.



$$\text{Distancia al horizonte} = 3.61\sqrt{\text{Altura de la Antena}}$$

Figura 1.6. Distancia de alcance visual y distancia al horizonte ¹³

¹³ **Fuente:** Castro, Antonio y Fusario, Rubén (1999). *Teleinformática para ingenieros en sistemas de información 2 (2da ed)*. Barcelona:Editorial Reverté. Página 475.

1.1.6. LÍNEA DE VISTA ¹⁴

La línea visual es un concepto de fácil comprensión, si nos colocamos en un punto determinado al que llamaremos A y podemos visualizar un punto al que denominaremos B, se dice que existe línea de vista, si podemos dibujar una simple línea desde A hacia B sin ninguna interrupción, se dice que existe línea visual o también conocida como LOS por sus siglas en inglés Line of sight. Al hablar de microondas tenemos que la onda de radio se ensancha según se va propagando, para obtener una óptima radiocomunicación hace falta más que una línea visual entre el punto A y B, ya que la forma de la onda sería más bien un elipsoide, esta idea será mejor comprendida con el concepto de Zona de Fresnel.

1.1.7. ZONA DE FRESNEL

La teoría sobre la zona de Fresnel examina la línea desde el punto A hacia B mencionados en la teoría sobre línea de vista, ya que las ondas electromagnéticas viajan básicamente en línea recta la teoría sobre la zona de Fresnel examina la línea existente desde un punto hacia otro y el espacio formado alrededor de ésta, puesto que no todas las ondas viajan de la manera descrita existen otras que viajan de un punto a otro de manera indirecta y evidentemente el camino de éstas últimas ondas es más largo, por lo que se requiere calcular la atenuación que sufrirá la señal por obstrucciones dentro de la línea de vista, éste cálculo se detallará en lo posterior de éste capítulo. Para una mejor comprensión se propone figura 1.7, en la cual se aprecia la línea visual y la zona de fresnel, como se puede observar en la figura existe línea de vista y sin embargo la zona de fresnel se encuentra obstruida.

¹⁴ Flickenger, Rob (2006). *Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo (1er ed)*. Limehouse Book Sprint Team. Páginas 23 y 24.

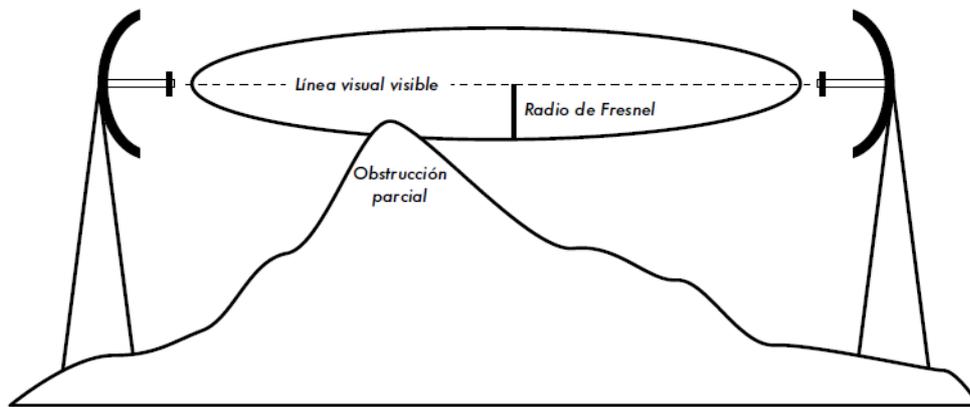


Figura 1.7. Zona de Fresnel ¹⁵

1.1.8. LIMITACIONES EN LA PROPAGACIÓN

La propagación de ondas electromagnéticas por no ser ideal está sometida a múltiples limitaciones que se la resume a continuación.

1.1.8.1. Interferencia

La interferencia entre ondas de radio se da cuando dos o más ondas se superponen de manera que el sistema de comunicación se degrada; existe una de sumatoria lineal entre las ondas de radio que coinciden en el tiempo y espacio. En las radiocomunicaciones el término interferencia se usa en el sentido de perturbaciones a la comunicación por señales provenientes de fuentes ajenas al sistema, como canales con frecuencias adyacentes. La interferencia es una de las mayores dificultades que se debe enfrentar en un sistema de radiocomunicación, sobretodo en ambientes urbanos en donde las múltiples señales provenientes de diferentes servicios de comunicación compiten por la utilización del espectro.

¹⁵ **Fuente:** Flickenger, Rob (2006). *Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo (1er ed)*. Limehouse Book Sprint Team. Páginas 25.

1.1.8.2. Atenuación

La energía radiada por el transmisor hacia el receptor suele sufrir atenuaciones durante la trayectoria de la onda, la atenuación es la disminución de potencia de una señal a medida que se propaga por su trayectoria, este parámetro incluye la absorción de árboles, construcciones y otros objetos de la señal según la onda viaja pasa por diferentes objetos que constituyen un obstáculo para la señal, evidentemente dependiendo del tipo de obstáculo la atenuación hacia la señal variará, esto se analizará posteriormente en éste mismo capítulo.

1.1.8.3. Desvanecimiento

Cuando las ondas de radio se propagan a través de distintos medios están expuestas a variabilidades físicas, se conoce como desvanecimiento a la disminución de la potencia recibida en el receptor con respecto a la potencia que fue emitida por el transmisor. El desvanecimiento será abordado en este capítulo y se detallará las expresiones con las cuales podrá ser calculado.

1.2. RADIOENLACES ¹⁶

Se considera como radioenlace a la interconexión entre terminales de telecomunicaciones, de forma general los sistemas de radioenlaces son explotados entre 2 Ghz y 50 Ghz, los enlaces que utilizan frecuencias de microondas son denominados radioenlaces de microondas.

Cuando los radioenlaces se efectúan utilizando terminales fijos, se habla de radioenlaces de servicio fijo, y es precisamente el radioenlace que utilizaremos en la tesis en cuestión, puesto que las estaciones se encuentran en sitios fijos de la Tierra. Se puede definir a un sistema a un radioenlace terrenal de servicio fijo

¹⁶ Hernando, José María (2008). *Transmisión por Radio (4ta ed)*. Madrid: Editorial Universitaria Ramón Areces. Página 319.

como un sistema de radiocomunicación entre puntos fijos que se encuentren ubicados sobre la superficie terrestre y que proveen una capacidad de transmitir información con características específicas de disponibilidad y calidad.

Un sistema de comunicación de servicio fijo utiliza el método de propagación troposférica o propagación por onda directa, en condiciones de visibilidad directa, por tanto para librar las limitaciones referentes a la redondez de la Tierra y los obstáculos geográficos de la misma, normalmente se requiere el uso de repetidores ubicados en estaciones a lo largo del trayecto, de esta forma el sistema de comunicación estará constituido por dos estaciones terminales y una o varias repetidoras intermedias.

A la distancia del trayecto comprendido entre una estación terminal y una estación repetidora se le conoce como distancia del vano y por cuestiones de optimización

económica el sistema de comunicación deberá tener la menor cantidad de vanos es decir que cada uno de estos tenga la mayor longitud posible, por este motivo uno de los aspectos más importantes de la ingeniería de radioenlaces es precisar la longitud óptima de los vanos.

1.2.1. LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Las líneas de transmisión son alimentadores que transportan las señales hasta las antenas. Existen de dos tipos: líneas coaxiales y guías de onda.

1.2.1.1. Líneas coaxiales

El cable coaxial está construido por dos conductores, posee forma cilíndrica y en su interior se encuentra un cable conductor a largo del eje coaxial, que está cubierto con un envoltura protectora dieléctrica de espuma o aire con separadores de polietileno y un conductor exterior corrugado, el diámetro del coaxial tiene una dimensión de entre 1 y 2.5 cm, la menor susceptibilidad a interferencias del cable

coaxial se lo aprovecha utilizándolo para cubrir lugares geográficas de mayor cobertura y usar la línea con mayores comparticiones.

Las aplicaciones del cable coaxial son muy diversas entre las más significativas se encuentran la distribución de Televisión por cable, en la telefonía a larga distancia tiene posición tradicional aunque tenga en la actualidad como competencia a la fibra óptica, las comunicaciones vía microonda o vía satélite, también se utiliza el coaxial para la conexión de periféricos a distancias cortas o en redes de área local aunque éste uso está casi extinto, se lo usa para conexiones entre antenas y radios.

El cable coaxial transmite señales analógicas y digitales, los principales inconvenientes de éste medio son la atenuación, el ruido térmico y el ruido de intermodulación en caso de usar modulación. Suelen emplearse dos tipos de cable coaxial:

- Cable coaxial de 50 ohm para señales digitales, en éste caso se necesita un repetidor cada 1 km
- Cable coaxial de 75 ohm analógicas que requieren velocidades mayores, para éste caso es necesario un amplificador cada.

Las líneas coaxiales suelen ser flexibles y de fácil instalación y se utilizan en frecuencias de hasta 3 Ghz.

1.2.1.2. Guía de Onda

Por encima de los 2 GHz las ondas poseen longitudes de onda lo suficientemente cortas como para poder viajar eficientemente por diferentes medios. Una guía de onda se constituye en un tubo conductor por el cual se transmite la energía en forma de ondas electromagnéticas, la guía de onda actúa como un contenedor que limita las ondas en un espacio cerrado, el campo magnético es propagado en medio del tubo gracias a las reflexiones ocasionadas por la colisión de las ondas en sus paredes internas.

Fundamentalmente el uso de guías de ondas está destinado para frecuencias superiores a los 3 Ghz, puesto que la atenuación para estas frecuencias en las líneas coaxiales es excesiva.

1.2.2. ANTENAS

Las antenas son dispositivos que emiten energía electromagnética concentrándola en un haz, el objetivo es que la antena transfiera la mayor cantidad de energía provenientes desde el cable o guía de onda y que a su vez es la energía procedente del transmisor. Desde el punto de vista de de ingeniería de sistemas de radioenlaces existen tres principales características de las antenas que se encuentran mencionadas a continuación.

1.2.2.1. Características fundamentales de las antenas

1.2.2.1.1. Ganancia de la antena

Para comprender el concepto de ganancia en una antena es necesario conocer de antemano la definición de antena isotrópica, ésta es una antena con características ideales en cuanto a la radiación de energía que emite o que recibe, la energía va o viene desde todas las direcciones con la misma intensidad. El concepto de antena isotrópica se usa como modelo de comparación con antenas reales; la antena isotrópica posee un patrón de radiación esférico, como la luz que irradia un bombillo encendido, que proyecta la luz en todas las direcciones con la misma intensidad. La ganancia de una antena está dada como el cociente entre la cantidad de energía irradiada por una antena en la dirección que se requiera por la cantidad de energía irradiada por una antena isotrópica en la misma dirección y alimentada por el mismo transmisor, este cociente se expresa en dBi, la ganancia también se expresa en dBd, en donde 0 dBd equivalen a 2.14 dBi, por lo que para convertir una ganancia en dBd a dBi se añade 2.14. En conclusión la ganancia de una antena es una forma de medir cuan directiva es una antena en comparación con una antena isotrópica.

Un aspecto importante es comprender que la antena constituye un elemento pasivo que de ninguna manera amplifica la señal de radio, las antenas tan solo concentran la señal en una determinada dirección, si actúa como transmisora dirige la potencia proveniente del radiotransmisor en la dirección requerida, si actúa como receptora recoge la potencia que fue enviada por la antena transmisora.

1.2.2.1.2. Ancho del haz

El ancho de haz también conocido por su nombre en inglés como beamwidth es el ángulo comprendido entre los puntos de media potencia, es decir el ángulo subtendido por la radiación que emite la antena entre los puntos en los cuales la potencia se disminuye a la mitad, (3 dB) respecto a la radiación máxima.

Entre mayor sea la ganancia de una antena, la misma es más directiva y el haz de radiación es más angosto. Las antenas que se usan para radioenlaces poseen generalmente el haz angosto, y para aprovechar la ganancia de la antena se requiere una elevada precisión en cuanto a la puntería u orientación. Para una mejor comprensión de éste concepto se presenta la figura 1.8.



Figura 1.8. Ancho del haz¹⁷

¹⁷Fuente:

http://wilac.net/doc/tricalcar/materiales_abril2008/PDF_es/08_es_antenas_y_cables_guia_v02.pdf

1.2.2.1.3. Diagrama de radiación o patrón de radiación

El diagrama de radiación es una gráfica de la potencia de la señal transmitida en función del ángulo espacial, en el que se pueden apreciar los lóbulos laterales y traseros, los puntos de media potencia y los puntos en los cuales no se irradia potencia llamados puntos nulos, como se aprecia en la figura 1.9. Uno de los objetivos de los diseñadores de antenas es reducir al mínimo los lóbulos secundarios, es decir laterales y traseros, que en general perjudican la transmisión, ya que es allí en donde se disipa la energía que la antena debe radiar. Existen dos tipos de Diagramas: diagrama de radiación y diagrama de envolvente.

- **Diagrama de radiación**

En general los diagramas de radiación se representan en dos dimensiones, presentados en coordenadas polares. El diagrama de radiación se presenta de forma convencional asignando 0 dB a la dirección de máxima radiación e indicando niveles de 10, 20, 30 dB por debajo de éste máximo de radiación. El diagrama polar contiene un lóbulo principal, centrado en el eje de la antena que contiene un máximo de radiación y una serie de lóbulos laterales con menos intensidad de radiación, como se puede apreciar en la figura 1.9.

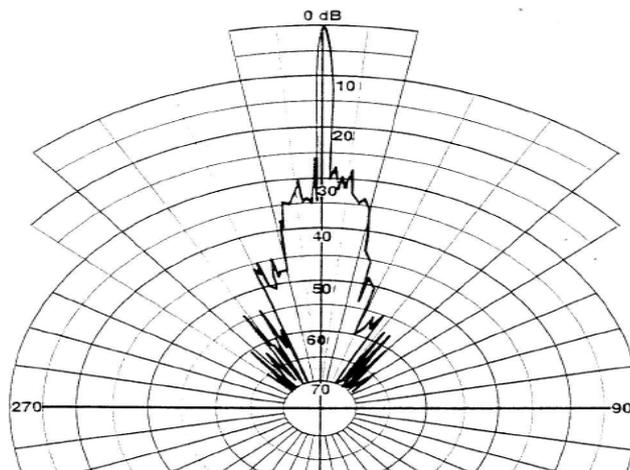


Figura 1.9. Diagrama de radiación ¹⁸

¹⁸ Fuente: Hernando, José María (2008). *Transmisión por Radio (4ta ed)*. Madrid: Editorial Universitaria Ramón Areces. Página 335.

1.2.2.1.4. Polarización

Una onda electromagnética se constituye de campos eléctricos y magnéticos, los cuales se encuentran íntimamente ligados de tal forma que son perpendiculares entre sí y la combinación de estos dos campos es el campo electromagnético. La trayectoria que describe el campo eléctrico (o magnético) al ser observado en el sentido de propagación de la onda es la correspondiente a la polarización de la onda. La posición y dirección del campo eléctrico tomando como referencia la superficie de la Tierra determina la polarización de la onda.

- ***Polarización vertical***

En el caso que el campo eléctrico permanezca en dirección perpendicular al plano terrestre durante toda la trayectoria se dice que nos encontramos frente a un caso de polarización vertical.

- ***Polarización horizontal***

En este caso el campo eléctrico es paralelo a la Tierra.

- ***Polarización elíptica***

Es cuando el campo eléctrico va girando en el plano perpendicular a la dirección de propagación (como si fuese un sacacorchos), se utiliza principalmente en transmisión satelital, la polarización elíptica se particulariza en tipos de polarizaciones circulares: a la derecha o izquierda.

- ***Polarización cruzada***

Cuando se trata de un sistema de radiofrecuencia todas las antenas deben tener la misma polarización (cualquiera que haya sido escogida). La polarización cruzada tiene lugar cuando un extremo del enlace posee diferente polarización que la del otro extremo, este principio puede utilizarse para que dos señales que se encuentran en el mismo lugar geográfico utilicen la misma frecuencia sin interferirse entre ellas.

1.2.3. TIPOS DE REPETIDORES ¹⁹

Los repetidores son estaciones fijas que transmiten las señales que son recibidas, poseen características técnicas particulares y están ubicadas en lugares geográficos estratégicos que les permiten cubrir determinada área del sistema de comunicación, generalmente las estaciones repetidoras funcionan controlándose de forma no permanente, tele-controlándose desde otros puntos o realizando visitas periódicas con espacios de tiempo largos, puesto que en la mayoría de los casos son lugares de difícil acceso.

En los casos en que una ruta de acceso de microondas directa no se pueda establecer, es decir que no hay línea de vista entre dos puntos, es posible establecer una ruta con un repetidor. La función de este repetidor es redirigir la señal con el fin de pasar el haz de microondas por encima del obstáculo, obviamente el principal requisito es que debe haber una clara línea de visión directa entre el repetidor y ambos lados del enlace de microondas.

1.2.3.1. Repetidor activo

Este tipo de repetidores son los más comunes, están constituidos en su mayoría por un espacio para albergar equipos de radio, baterías, rectificadores y demás

equipos, poseerá también la torre necesaria para colocar la o las antenas, por su constitución deberá ser necesariamente un lugar en el cual se cuente con energía eléctrica. La principal función del repetidor activo es tomar la señal en la frecuencia de llegada, trasladarla a una frecuencia intermedia, amplificar la señal y retransmitir en la frecuencia de salida, aquí no existe demodulación de la señal por lo que la información que lleva la señal no es procesada constituyendo a este

¹⁹ Lehpamer, Harvey (2010). *Microwave Transmission Networks: planning, design, and deployment (second edition)*. Harvey. Mc Graw Hill. Página 150.

tipo de repetidor un conjunto de equipos de transmisión-receptor para cada sentido de transmisión.

Un sitio con un repetidor activo contiene dos terminales completas de radio de microondas: antenas, cables coaxiales o guías de onda, y otros componentes, y es una solución mucho más costosa que el repetidor pasivo se describe en el siguiente numeral, puesto que se requiere un recinto para el equipo, planta eléctrica, una estructura de la antena de montaje de algún tipo.

La mejor manera de evitar el uso de repetidores en los enlaces de microondas es cuidar exhaustivamente la planificación del radioenlace y ejecutar el diseño de la red de microondas y estratégicamente, sin embargo hay ocasiones en que el uso de repetidores es imprescindible.

1.2.3.2. Repetidor portátil

El concepto de repetidor portátil define un repetidor que es transportable con el usuario del sistema de comunicación, los equipos son denominados porta móviles y son instalados en vehículos o llevados temporalmente a mano.

1.2.3.3. Repetidor pasivo

Suelen darse situaciones en las que es necesario colocar un repetidor en lugares de difícil acceso en donde es imposible por razones técnicas o económicas llevar alimentación eléctrica, estos lugares pueden ser la cima de una montaña, una zona protegida por motivos ambientales o que las líneas de transmisión eléctrica deban atravesar un terreno particular con cuyos propietarios no se puedan llegar a un acuerdo.

Los repetidores pasivos se utilizan para cambiar la dirección de la señal de radio con el fin de superar los obstáculos de visión directa entre dos estaciones de microondas, su misión es cambiar la dirección del haz radioeléctrico sin regenerar

ni amplificador la ganancia de la señal. También se emplean cuando el costo en comparación con un repetidor activo es demasiado alto.

Utilizar un repetidor pasivo no sólo es más barato de hacer uso de un repetidor activo, el costo de operación también se reduce sustancialmente. Además los repetidores pasivos tienen una gran ventaja sobre los repetidores activos desde el punto de vista de la ecología, ya que no es necesario construir vías de acceso, ni implementar líneas de alimentación eléctrica hacia el sitio del repetidor, este tipo de repetidores requieren un mantenimiento mínimo y cuando es necesario visitarlo se lo puede hacer a caballo, a pie, o helicóptero, su instalación es menos costosa, al igual que su operación, al tiempo que ofrece una alta fiabilidad.

Hay dos tipos de repetidores pasivos en uso. Uno consiste en dos antenas parabólicas conectadas espalda con espalda a través de un pequeño trozo de línea de transmisión. La otra, es un reflector plano que actúa como un espejo de microondas.

1.2.3.3.1. Repetidores Espejo

El repetidor espejo o también conocido como reflector es una plancha metálica que refleja la señal entre las antenas de las estaciones receptor y transmisora para salvar los obstáculos que se presenten en la trayectoria cambiando la dirección del campo electromagnético. El repetidor pasivo tipo espejo es el más utilizado y su ganancia corresponde al cociente entre el área del espejo en la dirección de propagación y el área eficaz de la antena isotrópica, conceptos que se explicarán de mejor manera en el diseño del radioenlace presente en el capítulo 3. La figura 1.10 se aprecia el repetidor espejo.

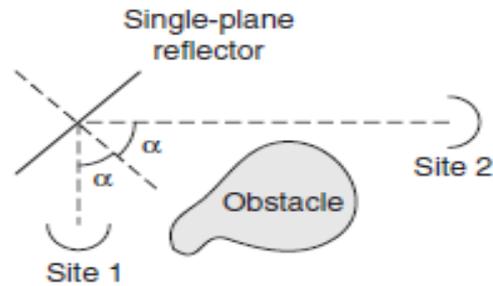


Figura 1.10. Reflector plano tipo espejo²⁰

1.2.3.3.2. Repetidores “Back-to-Back” o “Espalda-Espalda”

El repetidor pasivo espalda-espalda o más conocido como “back-to-back” dispone de líneas de transmisión como el cable coaxial o guía de ondas que conectan una antena a la otra, con unos pocos metros de distancia. Aquí la ganancia total es la cercana a la suma de las ganancias individuales de las antenas.

Puede existir una interferencia entre antenas debido a la emisión frente-espalda de cada antena, que en estos casos es despreciable, la instalación y la orientación en el repetidor espalda-espalda es más simple que en el tipo espejo, sin embargo un espejo de gran tamaño puede tener una ganancia mayor. Los repetidores back-to-back y en general lo repetidores pasivos solo son útiles cerca de una de las antenas y para enlaces relativamente cortos debido a la suma de atenuaciones que sufre la señal en la trayectoria. Un estudio más profundo de los repetidores pasivos incluyendo sus respectivas fórmulas para cálculos de ganancias y atenuaciones se

verá con profundidad en el cálculo del radioenlace propuesto en el capítulo 3. Un gráfico de un reflector pasivo tipo espejo-espejo se puede apreciar en la figura 1.11.

²⁰ **Fuente:** Lehpamer, Harvey (2010). *Microwave Transmission Networks: planning, design, and deployment (second edition)*. Harvey. Mc Graw Hill. Página 151.

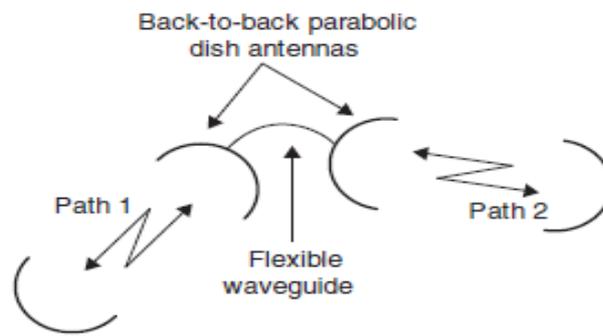


Figura 1.11. Antenas back-to-back ²¹

1.2.4. DISEÑO DE RADIOENLACE

²²

En el proceso de diseño de un radioenlace se debe considerar las etapas descritas a continuación.

1.2.4.1. Geometría del perfil del terreno

Estudiaremos la influencia de la refractividad en la trayectoria comprendida entre dos estaciones consecutivas del radioenlace.

En el siguiente gráfico los puntos **P** y **T** representan las estaciones del radioenlace, para realizar el análisis tomaremos como referencia un suelo plano y lo que buscaremos es el valor numérico del abultamiento de la tierra, que es la altura comprendida entre la superficie terrestre para un punto **P** cualquiera ubicado a **x** km de una de las estaciones como se observa en el gráfico.

²¹ Lehpamer, Harvey (2010). *Microwave Transmission Networks: planning, design, and deployment (second edition)*. Harvey. Mc Graw Hill. Página 155.

²² Hernando, José María (2008). *Transmisión por Radio (4ta ed)*. Madrid: Editorial Universitaria Ramón Areces. Página 115.

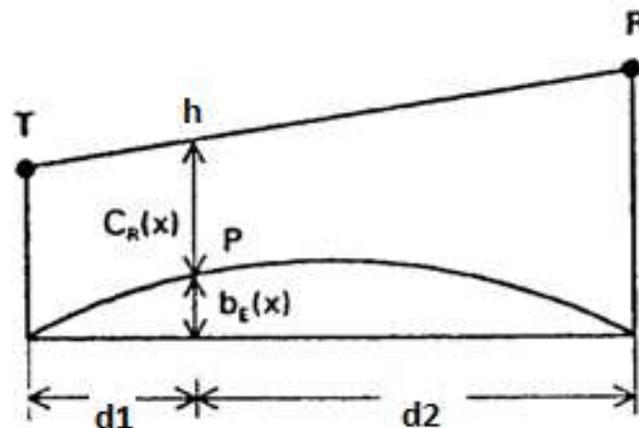


Figura 1.12. Geometría del terreno ²³

El cálculo del abultamiento se puede efectuar considerando que la tierra tiene una curvatura modificada, la cual se representa por el producto del factor de curvatura terrestre equivalente k y el radio de la tierra R_0 y a éste producto $k \cdot R_0$ se le denomina "Tierra ficticia", de ésta manera se puede delinear la trayectoria como una línea recta, la protuberancia terrestre o abultamiento de la Tierra se puede calcular de la siguiente forma:

$$b_E [m] = \frac{d_1 [Km] * d_2 [Km]}{2 * k * R_0 [Km]} \times \frac{1\ 000 [m]}{1 [Km]} \quad \text{Ecuación 1.1}$$

En donde:

b_E : Es el abultamiento de la Tierra en el punto P

d_1 : Distancia desde una estación al punto P.

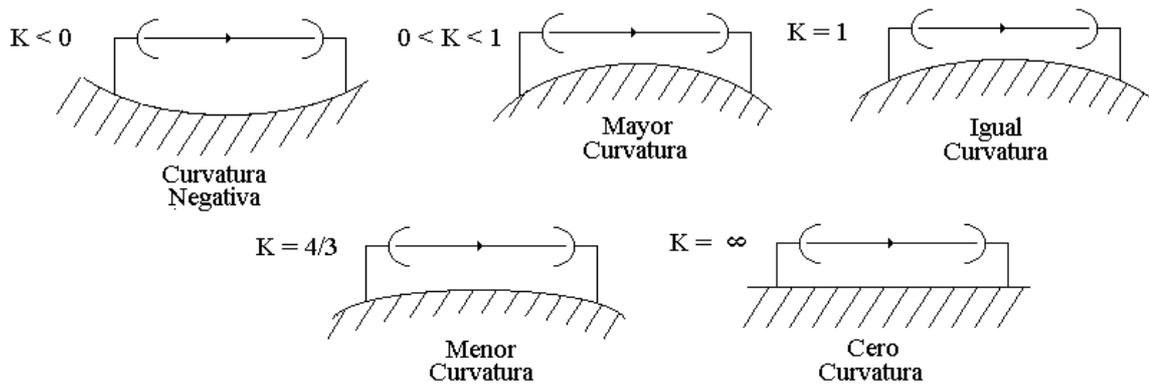
d_2 : Distancia desde la otra estación al punto P.

k : Factor de curvatura terrestre equivalente.

R_0 : Es el radio de la Tierra, trabajaremos con un valor de 6378 Km.

²³ **Fuente:** Gráfico realizado por la autora.

Para el cálculo del valor del abultamiento necesitamos utilizar un valor estimado de factor de curvatura terrestre, para lo cual se tiene el siguiente cuadro con valores de k para cada clasificación de la tropósfera.



Tipo de tropósfera	Valor de k	Característica
Conductiva	$K < 0$	Se considera a la tierra con curvatura negativa.
Sub-refractiva intensa	$0 < k < 1$	Tierra con mayor curvatura que la del rayo.
Sub-refractiva	$1 < k < 4/3$	Tierra con curvatura entre igual y menor que la del rayo.
Standard	$K=4/3$	Tierra con menor curvatura que la del rayo.
Super-refractiva	$K > 4/3$	Tierra con menor curvatura que la del rayo, con curvatura tendiendo a cero.

Tabla 1.3. Valores de K

Obteniendo el valor del abultamiento de la Tierra se puede corregir el perfil topográfico de la zona, siendo éste la suma de la altitud del terreno y el valor del abultamiento de la Tierra en cada punto del perfil.

1.2.4.2. Determinación de las frecuencias de trabajo

Se determina el rango de frecuencias sobre el cual trabajaremos tomando como referencia el Plan Nacional de Frecuencias.

1.3.4.1.1. Cálculo de la frecuencia central

Con la siguiente ecuación calculamos la frecuencia central de trabajo:

$$f_{(\text{Ghz})} = \frac{f_{(\text{mín})} + f_{(\text{máx})}}{2} \quad \text{Ecuación 1.2}$$

En donde:

f (mín): Frecuencia mínima.

f (máx): Frecuencia máxima.

1.2.4.3. Radio de la primera zona de fresnel

Se debe tomar en cuenta que existen varias zonas de fresnel, pero el mayor interés se le da a la primera zona de fresnel, si esta fuera bloqueada por un obstáculo cualquiera que éste fuere la onda que se propaga sufriría atenuación, sin embargo no se requiere el despeje completo de la primera zona de fresnel, se ha determinado que con un despeje 60% del radio de la zona de fresnel existe un buen libramiento, y por tanto una buena comunicación.

Para calcular el tamaño de la primera zona de fresnel se utiliza la siguiente fórmula:

$$R_{F1} [m] = 17.32 \sqrt{\frac{d_1 [Km] * d_2 [Km]}{D [Km] * f [GHz]}} \quad \text{Ecuación 1.3}$$

En donde:

d1: Distancia en kilómetros desde el transmisor hacia el obstáculo.

d2: Distancia en kilómetros desde el receptor hacia el obstáculo.

D: Distancia en kilómetros entre transmisor y receptor.

f: frecuencia central en Ghz.

R_{F1}: Radio de la primera zona de Fresnel en metros.

Para lo cual se presenta la siguiente figura:

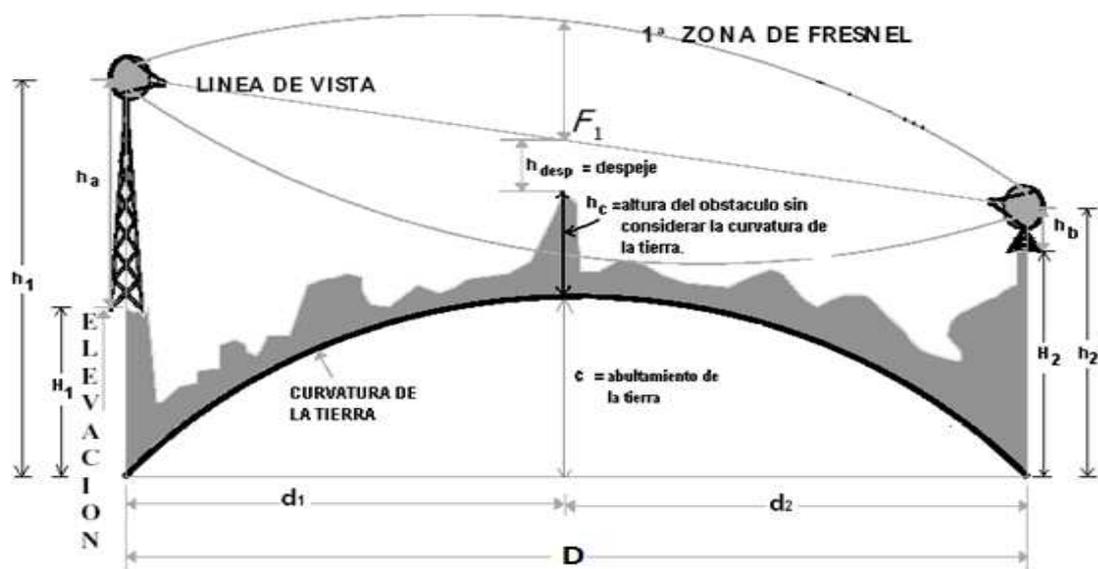


Figura 1.13. Radio de la primera zona de fresnel ²⁴

1.2.4.4. Cálculo de altura de despeje

El despeje es la distancia comprendida entre el perfil del terreno y la línea de vista entre un extremo y el otro del enlace. El obstáculo determinado en el perfil debe permitir el libramiento de al menos el 60 % de la primera zona de Fresnel, la ecuación a utilizarse es la siguiente, observar la figura 1.13.

$$H_{des}[m] =$$

$$\frac{H_1[m]*d_2[Km] + H_2[Km]*d_1[Km]}{D[Km]} - H_{obs}[m] - \frac{d_1[Km]*d_2[Km]}{2*k*R_o[Km]} \times \frac{1\ 000\ [m]}{1[Km]}$$

Ecuación 1.4

²⁴ Fuente:

http://www.uaz.edu.mx/cippublicaciones/eninvie/Corr1_CITEDI.pdf

En donde:

H_{des} : Altura de despeje.

H_1 : Altura del terreno en la estación A sumada a la altura de la antena de la misma estación, en metros.

H_2 : Altura del terreno en la estación B sumada a la altura de la antena sumada a la altura de la antena, en metros.

H_{obs} : Altura del obstáculo o cumbre.

d_1 : Distancia desde la estación A hacia el obstáculo.

d_2 : Distancia desde la estación B hacia el obstáculo.

D : Distancia desde la estación A a la estación B.

k : Factor de corrección de curvatura terrestre equivalente a 4/3.

R_o : Radio de la Tierra, 6378 Km.

1.2.4.5. Atenuaciones de la señal*1.2.4.5.1. Difracción*

La teoría sobre el fenómeno de difracción se encuentra detallada en la sección 1.2.1.2., sin embargo por el requerimiento del cálculo de pérdidas se hará una breve explicación de lo que constituye las pérdidas por difracción y como calcularlas. Para determinar si existe pérdidas por difracción en algún punto del vano se debe verificar el libramiento del 60 % de la zona de fresnel, en el punto en que la primera zona de fresnel no cumpla este libramiento existe pérdida por difracción, se discriminan básicamente dos tipos de la misma: clearance y filo de cuchillo. Tómese en consideración que puede existir pérdidas por difracción incluso si el rayo de vista pasa por encima del obstáculo, cuando el despeje es insuficiente (libramiento del radio de la primera zona de fresnel menor al 60%).

1.2.4.5.2. Difracción por curvatura de la Tierra

A éste tipo de pérdidas también se la conoce como difracción producida por clearance, y se da cuando la altura del rayo de vista entre las estaciones es

mayor que la altura de la elevación del terreno, una vez que éste ha sido corregido.

1.2.4.5.3. Difracción por obstáculo aislado agudo o “filo de cuchillo”

Los obstáculos que se presentan a través del vano del radioenlace constituyen pérdidas al mismo, la UIT presenta la Recomendación UIT-R P.526 en la cual establece los parámetros con los cuales calcularemos las pérdidas por difracción por obstáculo.

Se considera un obstáculo aislado filo de cuchillo a aquel que obstruye la línea directa del rayo de vista entre las estaciones que interviene en el radioenlace, es decir que salvo esta obstrucción el enlace tendría línea de vista directa. A continuación se ilustran los parámetros geométricos que existen en la representación de un obstáculo agudo.

1.2.4.5.4. Atenuación producida por obstáculo

La UIT en su Recomendación 526 facilita una manera de calcular la atenuación producida por un obstáculo, dando el parámetro adimensional v definido en la ecuación 1.5.

$$v = \sqrt{2} \left(\frac{-H_{des}}{R_{F1}} \right) \quad \text{Ecuación 1.5}$$

Para evaluar la difracción en radiocomunicaciones se tiene dos consideraciones:

- Para $v < -0.7$ la atenuación es considerada nula.

$$L_{D(v)} = 0 \quad \text{Ecuación 1.6}$$

- Para $v > -0.7$ se tiene la siguiente expresión:

$$L_{D(v)} = 6.9 + 20 \log \left(\sqrt{((v - 0.1)^2 + 1)} + v - 0.1 \right) \text{ dB} \quad \text{Ecuación 1.7}$$

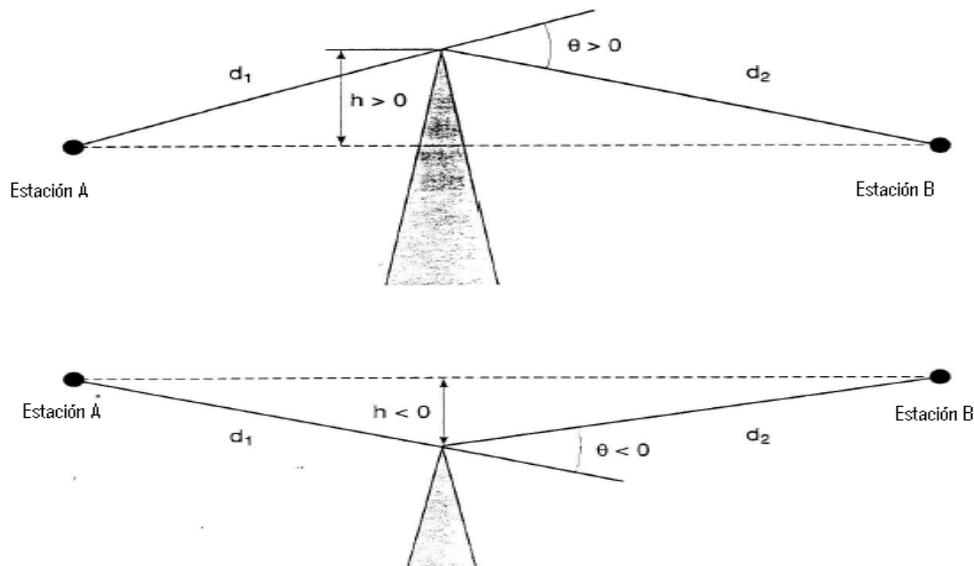


Figura 1.14. Difracción filo de cuchillo ²⁵

1.2.4.5.5. Atenuación por propagación

En las pérdidas de propagación se toman las pérdidas en espacio libre, pérdidas por líneas de transmisión y pérdidas en conectores.

1.2.4.5.6. Pérdida por propagación en el espacio libre

La pérdida de propagación en espacio libre es aquella pérdida que sufre la señal electromagnética al propagarse en una trayectoria recta asumiendo circunstancias ideales: la onda viaja a través del vacío, no sufre absorción ni reflexión de energía por presencia de objetos cercanos. La siguiente expresión predice ésta pérdida:

$$L_p = \left(\frac{4\pi D}{\lambda} \right)^2 = \left(\frac{4\pi f D}{c} \right)^2 \quad \text{Ecuación 1.8}$$

²⁵ Fuente: Hernando, José María (2008). *Transmisión por Radio (4ta ed)*. Madrid: Editorial Universitaria Ramón Areces. Página 162.

En donde:

L_p : Pérdida de propagación en espacio libre

D : Distancia que separa el transmisor del receptor

f : Frecuencia de trabajo

λ : Longitud de onda de la señal

c : Velocidad de la luz

La atenuación de la señal por pérdidas en espacio libre se la calcula con la ecuación 1.9 y es cantidad positiva en dB, observar la figura 1.13.

$$L_p = 32.4 + 20 \log f + 20 \log D \quad \text{dB} \quad \text{Ecuación 1.9}$$

En donde:

D : Distancia que separa el transmisor del receptor, está dada en kilómetros.

f : Frecuencia de trabajo, está dada en Mhz.

1.2.4.5.7. Pérdida en líneas de transmisión

Son las pérdidas en los cables que conectan el radio con la antena, dependiendo del tipo de cable utilizado se calcula la pérdida en cada lugar de conexión multiplicando el valor de atenuación dado en dB/metro por la longitud de cable utilizada.

1.2.4.5.8. Pérdida en conectores

Se asumen valores típicos de 1 dB en cada sito de conexión, o dependiendo del tipo de conector.

1.2.4.5.9. Atenuación por vegetación

En el caso en el que la recepción de un sistema de comunicaciones se encuentre en un lugar con flora espesa existen pérdidas adicionales que afectan a la señal cuando está atravesada la vegetación. Para ello la UIT en su Recomendación UIT-R P.833-6 denominada "Atenuación debida a la vegetación" proporciona las curvas con la atenuación específica (dB de pérdida por metro) en función de la frecuencia de trabajo siempre que éstas se encuentren comprendidas entre 30 Mhz y 60 Ghz, otro factor es el tipo de polarización usado. En la figura 1.15 se muestra los valores de atenuación específica en zona boscosa.

1.2.4.5.10. Atenuación por gases y vapores atmosféricos

Las moléculas de O_2 y H_2O , oxígeno gaseoso y agua respectivamente atenúan la señal puesto que absorben energía electromagnética, ésta atenuación suele ser despreciable para frecuencias menores a 10Ghz, sin embargo para frecuencias de mayor la atenuación suele ser también más elevada.

Las atenuaciones específicas para oxígeno y vapor de agua se han representado en la figura 1.16, la misma que se encuentra en la Recomendación UIT-R P.676 denominada "Atenuación debida a los gases atmosféricos".

1.2.4.5.11. Atenuación por lluvia

La atenuación debida a la absorción y dispersión de hidrometeoros como lluvia, nieve, granizo también se la considera en el cálculo de radioenlaces, siendo dicha atenuación considerada para lluvia en porcentajes pequeños de tiempo y en frecuencias superiores 6 GHz.

La atenuación específica se calcula en base a la recomendación UIT-R. 838-3 denominada "Modelo de la atenuación específica debida a la lluvia para los métodos de predicción", la misma que nos presenta ecuaciones y una tabla de coeficientes que nos permitirá estimar la atenuación específica debido a la lluvia,

el procedimiento para el cálculo de atenuación por lluvia en un radioenlace es el siguiente:

Ecuación 1.10

En donde:

γ : Atenuación específica, dB/Km

k , α : Son constantes que depende la frecuencia y la polarización y se las puede obtener de la tabla 1.4.

El parámetro R es la intensidad de lluvia en determinado porcentaje de tiempo p (R_p), la Recomendación UIT-R P.837.5 “Características de la precipitación para establecer modelos de propagación”, aquí se facilitan seis figuras en las que se puede ubicar el índice de pluviosidad (mm/h) sobrepasado durante el 0.01% del año medio, es decir para un $p=0.01\%$ para cualquier parte del mundo, ubicando el punto requerido en latitud y longitud en grados, los gráficos de pérdidas por lluvias se encuentran en la recomendación, la comprensión del cálculo de éste parámetro se verá más claramente en lo posterior de la presente en el capítulo 3, en la sección de cálculo de atenuación por lluvia, como parte del diseño el radioenlace.

Una vez ubicado el valor de R, el valor de k y α aplicamos la ecuación 1.10 y determinamos la atenuación específica por lluvia γ .

Calculamos el denominado factor reductor R_p con la siguiente ecuación:

$$\frac{\gamma}{R_p}$$

Ecuación 1.11

Frecuencia (GHz)	k_H	α_H	k_V	α_V
1	0,0000259	0,9691	0,0000308	0,8592
1,5	0,0000443	1,0185	0,0000574	0,8957
2	0,0000847	1,0664	0,0000998	0,9490
2,5	0,0001321	1,1209	0,0001464	1,0085
3	0,0001390	1,2322	0,0001942	1,0688
3,5	0,0001155	1,4189	0,0002346	1,1387
4	0,0001071	1,6009	0,0002461	1,2476
4,5	0,0001340	1,6948	0,0002347	1,3987
5	0,0002162	1,6969	0,0002428	1,5317
5,5	0,0003909	1,6499	0,0003115	1,5882
6	0,0007056	1,5900	0,0004878	1,5728
7	0,001915	1,4810	0,001425	1,4745
8	0,004115	1,3905	0,003450	1,3797
9	0,007535	1,3155	0,006691	1,2895

Tabla 1.4 Coeficientes para determinar la atenuación específica ²⁶

En donde:

D: Longitud del vano del radioenlace

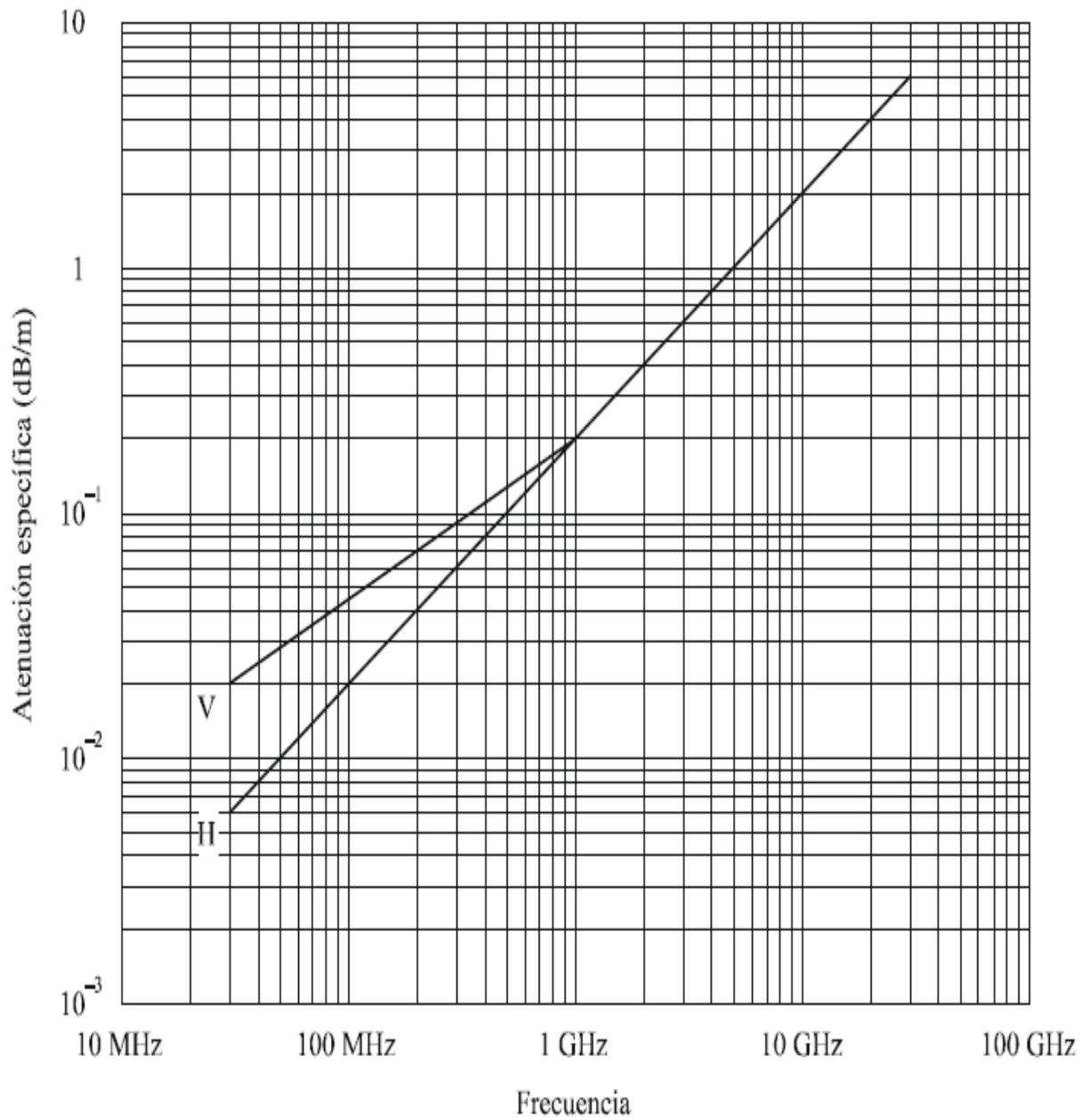
Calculamos la longitud efectiva L_E :

Ecuación 1.12

Finalmente la atenuación por lluvia es:

$A_p = \gamma \cdot L_E$ **Ecuación 1.13**

²⁶ **Fuente:** Recomendación UIT-R P.837.4. Características de la precipitación para establecer modelos de propagación.



V: Polarización vertical
H: Polarización horizontal

Figura 1.15 Atenuación específica en zona boscosa ²⁷

²⁷ Fuente: Recomendación UIT-R P.833-6. Atenuación debida a la vegetación.

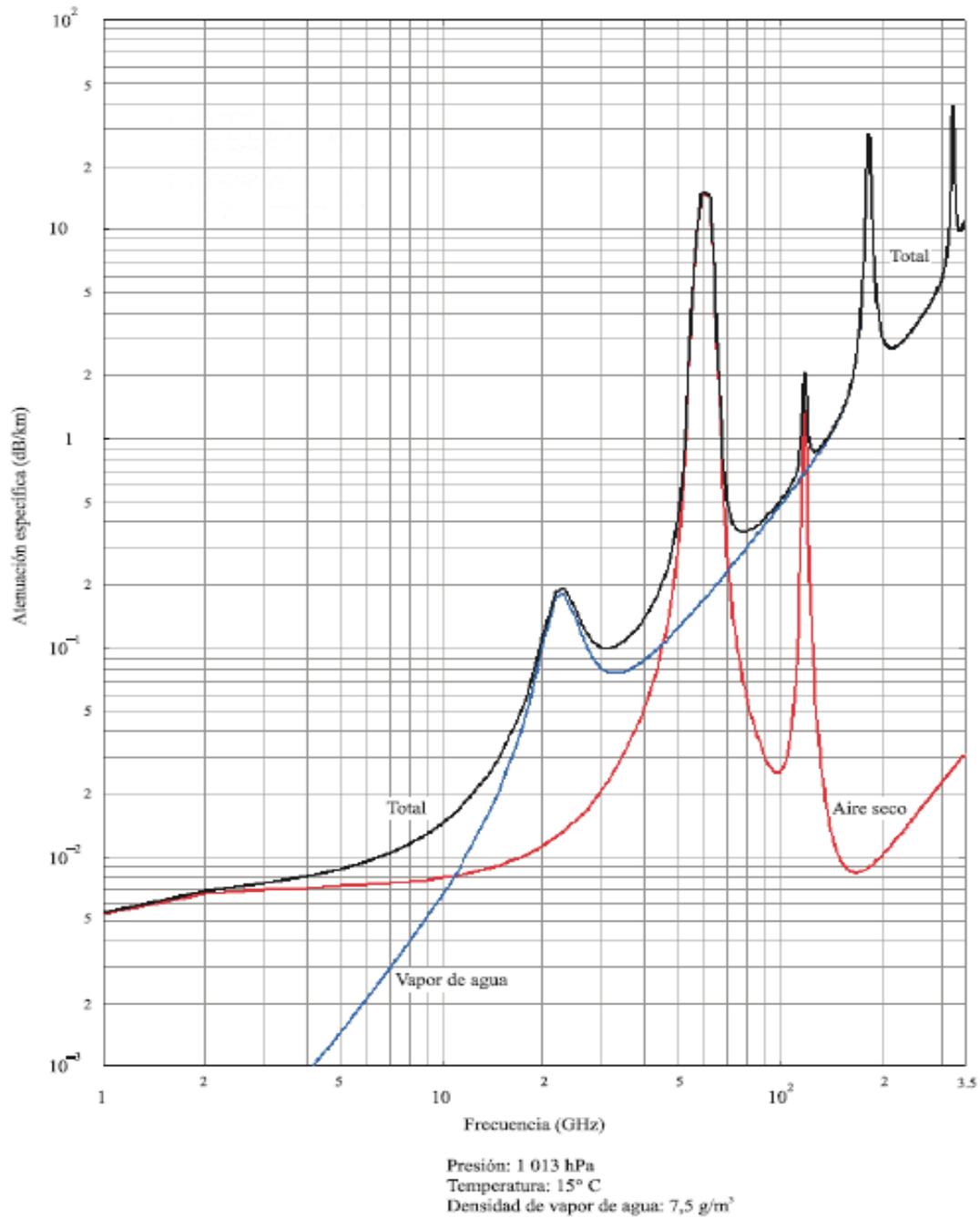


Figura 1.16 Atenuación específica debido a los gases²⁸

1.2.4.6. Potencia de recepción

Para el cálculo de la potencia de recepción se utiliza la ecuación de balance.

²⁸ **Fuente:** Recomendación UIT-R P.676. Atenuación debida a los gases atmosféricos.

$$P_r = P_{tx} + G_t + G_r - L_t - L_p - L_r \quad \text{Ecuación 1.14}$$

En donde:

Pr: Potencia recibida en el lugar de recepción, en dBm

Ptx: Potencia de transmisión, en dBm

Gt: Ganancia de la antena de transmisión, en dBi

Gr: Ganancia de la antena de recepción, en dBi

Lt: Pérdida en líneas de transmisión de transmisor, en dB

Lp: Pérdida en espacio libre, en dB

Lr: Pérdida en líneas de transmisión de receptor, en dB

1.2.4.7. Margen de umbral

El margen de umbral de un sistema es la diferencia existente entre la potencia recibida en el receptor y el umbral de sensibilidad del receptor. La ecuación 1.15 se utiliza para el cálculo del umbral.

$$MU = P_{RX} - U_{RX} \quad \text{Ecuación 1.15}$$

En donde:

MU: Margen de umbral, en dB

P_{RX}: Potencia de recepción, en dB

U_{RX}: Umbral de recepción o sensibilidad del equipo receptor

1.2.4.8. Margen de desvanecimiento

El margen de desvanecimiento relaciona la confiabilidad del enlace con otros parámetros como distancia entre estaciones, factores climáticos y geográficos, frecuencia de trabajo, es factor que considera los parámetros no ideales de la propagación de la señal, como el efecto de propagación por múltiples trayectorias,

sensibilidad por geografía del terreno, objetivo de confiabilidad el margen se calcula utilizando la expresión detallada en la ecuación 1.16.

$$FM = \underbrace{30 \log D}_{\text{Múltiples Trayectorias}} + \underbrace{10 \log(6 \cdot A \cdot B \cdot f)}_{\text{Sensibilidad Geográfica}} - \underbrace{10 \log(1 - R)}_{\text{Objetivo de Confiabilidad}} - 70$$

Ecuación 1.16

En donde:

FM: Margen de desvanecimiento

D: Distancia que separa el transmisor del receptor, está dada en kilómetros

A: Factor geográfico o de aspereza

B: Factor climático

f: frecuencia del enlace, en Ghz

R: Confiabilidad

Los valores de A y B se dan en las tablas 3.3 y 3.4 respectivamente.

Factor geográfico A	Tipo de suelo
A = 4	Agua o terreno muy liso
A = 1	Terreno promedio
A = 0.25	Terreno áspero y montañoso

Tabla 1.5. Factor climático A

Factor climático B	Tipo de clima
B = 0.5	Áreas cálidas o húmedas
B = 0.25	Áreas continentales promedio
B = 0.125	Áreas muy secas o montañosas

Tabla 1.6. Factor climático B

Una vez calculado el margen de desvanecimiento se lo compara con el margen de umbral calculado anteriormente, para saber si el objetivo de confiabilidad **R** ha sido satisfecho se debe cumplir que:

$$MU \geq FM \quad \text{Ecuación 1.17}$$

De ésta forma se garantiza la disponibilidad del enlace.

1.2.4.9. Confiabilidad

La confiabilidad es referida al sistema, corresponde al tiempo probabilístico en el cual un radioenlace se mantiene trabajando de manera satisfactoria sin ser afectado por el desvanecimiento, por lo tanto la confiabilidad de un sistema es calculada en función del margen de desvanecimiento utilizando la siguiente expresión:

$$P = 6 \times 10^{-7} (A \cdot B) f D^3 10^{-FM/10} \quad \text{Ecuación 1.18}$$

$$R = (1 - P) * 100 \quad \text{Ecuación 1.19}$$

En donde:

P: Indisponibilidad

R: Confiabilidad

f: Frecuencia de trabajo, en Ghz

D: Distancia que separa el transmisor del receptor, está dada en kilómetros

MF: Margen de desvanecimiento, en dB

A: Factor geográfico o de aspereza

B: Factor climático

1.3. CRITERIOS Y OBJETIVOS DE INDISPONIBILIDAD ²⁹

1.3.1. Criterios de Indisponibilidad

La Recomendación UIT-T G.827 referente a objetivos de calidad y disponibilidad, define los criterios de entrada y salida en un estado de indisponibilidad de un sistema de comunicación, así en cada sentido de una trayectoria se puede encontrar dos estados: disponible o indisponible. Adicional a la Recomendación citada anteriormente se tiene la Recomendación UIT-R F.557 en el cual se establece que el período de indisponibilidad tiene su inicio cuando en al menos en un sentido de la trayectoria se registran transmisiones con muchos errores (SES, severely errors second) durante no menos 10 segundo consecutivos. Así mismo, ésta Recomendación dispone que el período de indisponibilidad concluye cuando en los dos sentidos de la trayectoria y durante un tiempo no menor a 10 segundos no se registren muchos errores (no-SES, es un evento que está exento d errores o si los tiene, estos no son suficientemente numerosos para constituir un SES), éste período es considerado como el tiempo disponible. Los períodos de tiempo menores a 10 segundos que poseen errores en la transmisión no son considerados dentro del criterio de disponibilidad, sin embargo afectan la calidad y fidelidad de la comunicación. La figura 1.16 tomada de la Recomendación UIT-T G.827 ilustra lo explicado.

²⁹ Hernando, José María (2008). *Transmisión por Radio (4ta ed)*. Madrid: Editorial Universitaria Ramón Areces. Página 372

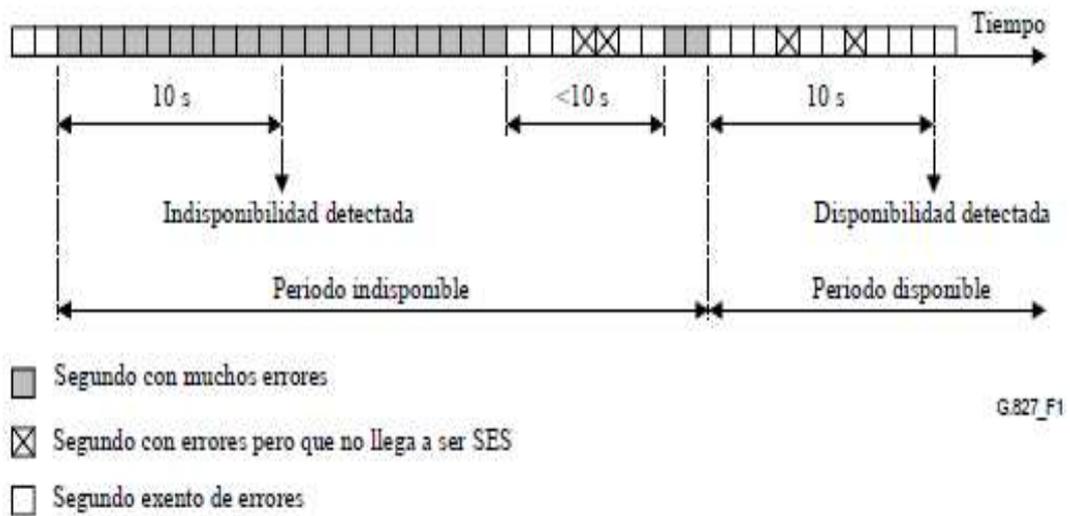


Figura 1.17. Determinación de indisponibilidad ³⁰

1.3.2. Objetivos de Indisponibilidad

Los objetivos de calidad para los radioenlaces digitales se definen en las Recomendaciones UIT-R F.557 y F.695. Se propone que como valor provisional una indisponibilidad del 0.3%, aunque también se señala que en la práctica los valores puede estar comprendidos entre el 0.1% y el 0.95%, los porcentaje debe ser evaluado durante un tiempo lo suficientemente extenso, que probablemente será superior a un año, para que sea válido estadísticamente. La Recomendación UIT-R F.695 recomienda que el objetivo de de disponibilidad para un radioenlace digital real de una longitud L, tendrá las siguientes consideraciones, las mismas que están basadas en la longitud del enlace, presentando como fórmulas para el cálculo de objetivo de indisponibilidad lo siguiente:

Trayectos menores a 280 Km ($L \leq 280$ Km):

$$U_T = \frac{0.3 * 280}{2500} \% = 0.0336\% \quad \text{Ecuación 1.19}$$

³⁰ Fuente: Recomendación UIT-T G.827. Redes digitales –Objetivos de calidad y disponibilidad.

Trayectos mayores a 280 Km ($280 < L \leq 2500$ Km):

$$U_T = \frac{0.3 * L}{2500} \% \quad \text{Ecuación 1.20}$$

CAPÍTULO 2

2. DIAGNÓSTICO SOBRE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL RADIOENLACE SAN JUAN CON DIRECCIÓN CHIRIBOGA

2.1. SISTEMA OLEODUCTO DE TRANSECUTORIANO

En el presente capítulo se elabora en un principio una introducción acerca del Sistema Oleoducto transecuatoriano, historia, operación, descripción del sistema de telecomunicaciones, también se realiza un diagnóstico de la situación actual del enlace San Juan – Chiriboga, así como el levantamiento de los requerimientos del enlace actual.

2.1.1. HISTORIA DEL S.O.T.E ³¹

El Sistema Oleoducto Transecuatoriano fue diseñado por Williams Brother Engineering Company, obra que fue supervisada por Texas Petroleum Company, subsidiaria de Texaco Petroleum Company y construido para TEXACO DE PETRÓLEOS DEL ECUADOR C.A. Y GULF ECUATORIANA DE PETRÓLEOS S.A. El diseño comienza en agosto de 1969 y su construcción en 1970, bajo las especificaciones de: "Último suplemento USAS B31.4 1966 para Tuberías de presión de transporte de petróleo líquido y sistemas de oleoducto."

El S.O.T.E en su primera etapa de construcción entre los años de 1970 y 1972 transportaba 250.000 bpd (barriles por día), con 3 unidades de bombeo y una de reserva, incrementándose la capacidad a 300.000 bpd en 1985, con la instalación de 1 unidad de bombeo adicional por cada una de las estaciones, más tarde en 1991 se incrementa la capacidad a 325.000 bbl por día (barriles brutos por día),

³¹ Basado en la página de INTRANET de la Empresa Pública PETROECUADOR, Gerencia de Transporte y Almacenamiento, Superintendencia de Oleoducto.

actualmente el Oleoducto inicia su operación en la estación de bombeo No. 1 en Lago Agrio y culmina en las bridas de conexión a los buques del terminal de Balao ubicado en el océano Pacífico en la provincia de Esmeraldas, teniendo en la línea principal desde Lago Agrio hasta Balao tubería de 26" de diámetro exterior sobre una distancia de 429 km de y tubería de 20" igualmente de diámetro exterior en 69 km, constituyendo 497,7 Km de línea principal tanto área como subterránea, contando con 6 estaciones de bombeo, 4 estaciones reductoras de presión, 3 líneas submarinas y 1 terminal de carga.

2.1.2. DESCRIPCIÓN DEL S.O.T.E

El siguiente es un resumen del trayecto que recorre el crudo desde Lago Agrio hasta Balao, indicando el diámetro exterior de la tubería en cada tramo, la distancia del tramo y el volumen de llenado del mismo.

Tramo	Diámetro	Distancia	Volumen de llenado
Lago Agrio – Lumbaqui	26"	66.570 km	133981.22 bbl
Lumbaqui – Salado	26"	45.1515 km	91961.25 bbl
Salado – Baeza	26"	52.3538 km	106264.56 bbl
Baeza – Papallacta	26"	25.2092 km	51053.86 bbl
Papallacta – San Juan	26"	72.3979 km	142717.37 bbl
San Juan - Chiriboga	20"	11.9329 Km	14017.60 bbl
Chiriboga – La Palma	20"	22.3404 km	25358.91 bbl
La Palma – Santo Domingo	20"	33.9170 km	39793.35 bbl
Santo Domingo - Quinindé	26"	90.3743 km	184538.22 bbl
Quinindé - Balao	26"	77.3746 km	157993.80 bbl

Tabla 2.1. Descripción de la línea principal del Oleoducto Transecuatoriano

De la descripción del recorrido del crudo a través del Oleoducto Transecuatoriano detallada en la tabla 1.1 se tiene que el total de crudo empacado en el S.O.T.E es de 947.680,14 bbl. En el siguiente gráfico se puede apreciar del Oleoducto Transecuatoriano.

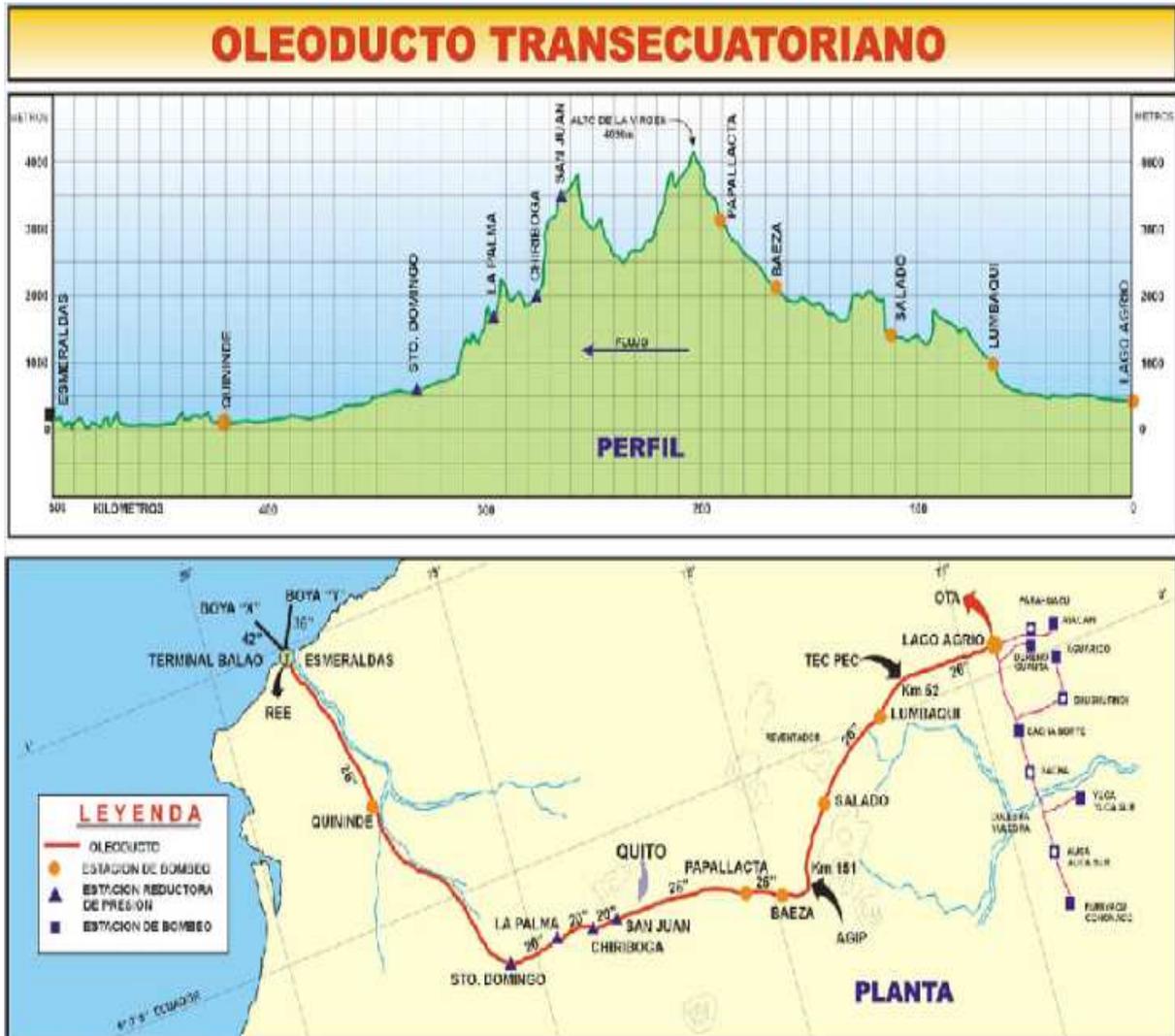


Figura 2.1. Oleoducto Transecuatoriano ³²

2.1.3. SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES DEL S.O.T.E ³³

Desde el inicio de sus operaciones el Oleoducto Transecuatoriano, cuenta con un sistema de telecomunicaciones propio, el mismo que se ha mantenido acorde con las necesidades y requerimientos de la operación. El objetivo del sistema de

³² **Fuente:** Manual de Operaciones Oleoducto Transecuatoriano S.O.T.E el cual puede ser descargado de la página de INTRANET de la Empresa Pública PETROECUADOR, Gerencia de Transporte y Almacenamiento - Superintendencia de Oleoducto.

³³ Basado en la página de INTRANET de la Empresa Pública PETROECUADOR, Gerencia de Transporte y Almacenamiento - Superintendencia de Oleoducto.

comunicaciones es proporcionar al S.O.T.E transmisión de voz, datos, facsímiles, teleconferencia y otros servicios integrados (ISDN) como Frame Relay, A.T.M. etc.

El sistema se constituye de 21 enlaces de microondas cubriendo una gran extensión del territorio ecuatoriano, proporcionando comunicación a las áreas tanto operativas como administrativas de Petroecuador.

El sistema permite el correcto manejo de la información de la parte operativa del S.O.T.E, intercomunicando las estaciones de bombeo, estaciones reductoras y el terminal de Balao; teniendo el sistema de telecomunicaciones su origen en Quito en la estación de Guajaló y extendiéndose hasta Lago Agrio, Shushufindi y Payamino en el oriente ecuatoriano, hacia Balao en Esmeraldas y en el Guayas hasta Guayaquil y la Libertad.

También existe la interconexión con el sistema de radio de Petroproducción en el oriente, con el sistema de radio de los poliductos de Petrocomercial, con las refinerías de Petroindustrial en el oriente y la costa ecuatoriana, interconecta además las plantas telefónicas del Oleoducto y Petrocomercial en Quito con Petrocomercial ubicado en Guayaquil y con Petroproducción en Quito y el Oriente. El sistema de telecomunicaciones se complementa con centrales telefónicas, fax, terminales computacionales y aparatos telefónicos.

2.1.4. DESCRICIÓN DE LOS ENLACES DE RADIO EXISTENTES

En las tablas 2.2 y 2.3 se presentan los enlaces que forman parte del sistema de comunicaciones del S.O.T.E, describiendo las características principales de los enlaces, los mismos que se encuentran en “LOS DATOS TÉCNICOS PARA LA SUSCRIPCIÓN DEL CONTRATO DE CONCESIÓN DE ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS PARA EL SERVICIO FIJO Y MÓVIL TERRESTRE (PRIVADO)”. El contrato de concesión para uso privado de frecuencias fue suscrito el 20 de abril de 2006, con una vigencia de cinco años contados a partir de la fecha de suscripción y registro, comparecieron para el contrato de Concesión: La

Secretaría Nacional de Telecomunicaciones representada por el Dr. Hernán León Guarderas, en su calidad de Secretario Nacional de Telecomunicaciones y la Gerencia de Oleoducto de PETROECUADOR legalmente representada por el Ing. José Augusto Sánchez Núñez, en su calidad de Gerente, el contrato está inscrito en el Tomo 59 a fojas 5941 del Registro Público de Telecomunicaciones a cargo de la Dirección General Jurídica de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones.

2.2. ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACTUAL

Un radioenlace digital posee básicamente tres componentes: IDU, cable de datos en banda base y ODU, partes que se detallarán más adelante en éste mismo capítulo. En cada estación existe un cuarto de comunicaciones en el cual se encuentran los equipos que permiten poner en operación el radioenlace y una torre en la cual se encuentran instaladas las antenas.

En el siguiente esquema se muestran los equipos y accesorios usados en cada una de las estaciones que intervienen en los radioenlaces digitales.

Enlace		Estación Fija 1	Estación Fija 2	Distancia (Km)	Frecuencia Tx (Mhz)	Frecuencia Rx (Mhz)	AB (MHz)
E1	ATACAZO-GUAJALÓ	Pichincha, Quito, Cerro Atacazo 00° 18' 54.50" S 78° 36' 37.00" W	Pichincha, Quito, Guajaló 00° 18' 03.00" S 78° 33' 05.00" W	6,73	7.205,000	7.366,000	14
E2	ATACAZO-GUAMANÍ	Pichincha, Quito, Cerro Atacazo 00° 18' 54.50" S 78° 36' 37.00" W	Pichincha, Quito, Cerro Guamaní 00° 19' 01.00" S 78° 11' 22.00" W	46,76	7.866,300	8.177,620	29,65
E3	ATACAZO-SAN JUAN	Pichincha, Quito, Cerro Atacazo 00° 18' 54.50" S 78° 36' 37.00" W	Pichincha, Quito, San Juan 00° 17' 13.00" S 78° 38' 51.00" W	5,19	7.163,000	7.324,000	7
E4	ATACAZO-LA PALMA	Pichincha, Quito, Cerro Atacazo 00° 18' 54.50" S 78° 36' 37.00" W	Pichincha, Santo Domingo, La Palma 00° 17' 11.00" S 78° 51' 17.00" W	27,35	7.317,000	7.156,000	7
E5	ATACAZO-SANTO DOMINGO	Pichincha, Quito, Cerro Atacazo 00° 18' 54.50" S 78° 36' 37.00" W	Pichincha, Santo Domingo, Santo Domingo 00° 15' 50.00" S 79° 05' 24.00" W	53,61	7.163,000	7.324,000	7
E6	ATACAZO-QUININDÉ	Pichincha, Quito, Cerro Atacazo 00° 18' 54.50" S 78° 36' 37.00" W	Esmeraldas, Quinindé, Cerro Cupa 00° 21' 52.00" S 79° 30' 10.00" W	124,64	7.442,000	7.603,000	7
E7	ATACAZO-BALAO	Pichincha, Quito, Cerro Atacazo 00° 18' 54.50" S 78° 36' 37.00" W	Esmeraldas, Esmeraldas, Balao 00° 58' 35.00" N 79° 40' 12.00" W	185,62	6.315,840	6.063,800	29,65

Enlace		Estación Fija 1	Estación Fija 2	Distancia (Km)	Frecuencia Tx (Mhz)	Frecuencia Rx (Mhz)	AB (MHz)
E8	SAN JUAN-CHIRIBOGA	Pichincha, Quito, San Juan 00° 17' 13.00'' S 78° 38' 51.00'' W	Pichincha, Quito, Chiriboga 00° 14' 35.00'' S 78° 43' 27.00'' W	9,82	7.142,000	7.303,000	7
E9	GUAMANI-PICHINCHA	Pichincha, Quito, Cerro Guamaní 00° 19' 01.00'' S 78° 11' 22.00'' W	Pichincha, Quito, Cerro Pichincha 00° 10' 05.00'' S 78° 31' 36.00'' W	40,96	7.177,000	7.338,000	14
E10	GUAMANI-CONDIJUA	Pichincha, Quito, Cerro Guamaní 00° 19' 01.00'' S 78° 11' 22.00'' W	Napo, Quijos, Condijsua 00° 28' 50.00'' S 77° 54' 00.00'' W	36,94	7.219,000	7.380,000	14
E11	GUAMANI-PAPALLACTA	Pichincha, Quito, Cerro Guamaní 00° 19' 01.00'' S 78° 11' 22.00'' W	Napo, Quijos, Papallacta 00° 22' 37.00'' S 78° 07' 33.00'' W	9,72	7.156,000	7.317,000	7
E12	CONDIJUA-TRES CRUCES	Napo, Quijos, Condijsua 00° 28' 50.00'' S 77° 54' 00.00'' W	Napo, Quijos, Tres Cruces 00° 16' 04.00'' S 77° 45' 47.00'' W	28,12	7.184,000	7.345,000	14
E13	CONDIJUA-BAEZA	Napo, Quijos, Condijsua 00° 28' 50.00'' S 77° 54' 00.00'' W	Napo, Quijos, Baeza 00° 26' 44.00'' S 77° 57' 14.00'' W	7,14	7.156,000	7.317,000	7
E14	TRES CRUCES - REVENTADOR	Napo, Quijos, Tres Cruces 00° 16' 04.00'' S 77° 45' 47.00'' W	Napo, Reeventador, El Reventador 00° 02' 31.00'' S 77° 31' 25.00'' W	36,57	7.212,000	7.373,000	14
E15	TRES CRUCES -EL SALADO	Napo, Quijos, Tres Cruces 00° 16' 04.00'' S 77° 45' 47.00'' W	Napo, Quijos, El Salado 00° 11' 59.00'' S 77° 40' 06.00'' W	12,96	7.142,000	7.303,000	7

Enlace		Estación Fija 1	Estación Fija 2	Distancia (Km)	Frecuencia Tx (Mhz)	Frecuencia Rx (Mhz)	AB (MHz)
E16	TRES CRUCES -EL CHACO	Napo, Quijos, Tres Cruces 00° 16' 04.00'' S 77° 45' 47.00'' W	Napo, Quijos, El Chaco 00° 20' 14.00'' S 77° 48' 13.00'' W	8,94	7.149,000	7.310,000	7
E17	REVENTADOR-LUMBAQUI ALTO	Napo, Reventador, El Reventador 00° 02' 31.00'' S 77° 31' 25.00'' W	Sucumbíos, Lumbaqui, Lumbaqui RPTR 00° 01' 08.00'' S 77° 19' 11.00'' W	22,8	7.156,000	7.317,000	14
E18	REVENTADOR-LAGO AGRÍO	Napo, Reventador, El Reventador 00° 02' 31.00'' S 77° 31' 25.00'' W	Sucumbíos, Nueva Loja, Lago Agrío 00° 05' 10.00'' S 76° 52' 06.00'' W	74,19	7.184,000	7.345,000	14
E19	LUMBAQUI ALTO-LUMBAQUI STA2	Sucumbíos, Lumbaqui, Lumbaqui RPTR 00° 01' 08.00'' S 77° 19' 11.00'' W	Napo, Reventador, estación 2 S.O.T.E 00° 03' 12.00'' S 77° 31' 25.00'' W	22,98	7.184,000	7.345,000	7
E20	EL CHACO-SANTA ROSA	Napo, Quijos, El Chaco 00° 20' 14.00'' S 77° 48' 13.00'' W	Napo, Quijos, Santa Rosa 00° 21' 14.00'' S 77° 48' 32.00'' W	1,94	17.708,250	18.718,250	3,5
E21	BALAO-CRT ESMERALDAS	Esmeraldas, Esmeraldas, Balao 00° 58' 35.00'' S 79° 40' 12.00'' W	Esmeraldas, Esmeraldas, CRT Esmeraldas 00° 59' 00.00'' S 79° 38' 20.00'' W	3,54	17.710,000	18.720,000	7

Tabla 2.2. Características generales de los enlaces

ENLACE	EQUIPOS DE RADIO		ANTENAS						Diversidad de Espacio	Capacidad (E1's)	AB (MHz)	Modulación
	Marca	Modelo	Marca	Modelo	Diámetro (pies)	Potencia (W)	Ganancia (dB)	Polari				
E1	SIEMENS	SRAL XD	Andrew	Valuline	2	0.063	34.05	V	No	16	14	16QAM
E2	SIEMENS	SRAL	Andrew	Valuline	6	0.25	40.35	V	No	16	28	CPM
E3	SIEMENS	SRAL XD	Andrew	High Performance	2	0.16	27.95	V	No	2	7	CPM
E4	SIEMENS	SRAL XD	Andrew	High Performance	2	0.16	40.35	V	No	2	7	TCM
E5	SIEMENS	SRAL	Andrew	Valuline	4	0.25	34.05	V	No	2	7	CPM
E6	HARRIS	MICROSTAR M/H	Andrew	High Performance	8,6	0.63	40.35	V	Sí	2	7	QPSK
E7	HARRIS	TRUEPOINT 5000	Andrew	High Performance	8,8	1.258	39.35	V	Sí	4	14	16QAM
E8	SIEMENS	SRAL	Andrew	Plato	10,4,4,10	0.03	40.35	V	No	2	7	CPM
E9	ALCATEL	AWY9400	Andrew	Valuline	6	0.06	37.85	V	No	16	14	16QAM
E10	SIEMENS	SRAL XD	Andrew	High Performance	6	0.06	37.85	V	No	16	14	16QAM

E11	SIEMENS	SRAL	Andrew	Plato	6,6,4,4	0.25	34.05	V	No	2	7	CPM
E12	SIEMENS	SRAL XD	Andrew	High Performance	8	0.25	37.85	V	No	16	14	16QAM
E13	ALCATEL	AWY9400	Andrew	Valuline	2	0.25	27.95	V	No	2	3,5	16QAM
E14	SIEMENS	SRAL XD	Andrew	High Performance	8	0.16	37.85	V	No	16	14	16QAM
E15	ALCATEL	AWY9400	Andrew	High Performance	6,6,6,6	0.10	37.85	V	No	2	3,5	16QAM
E16	SIEMENS	SRAL	Andrew	Valuline	4	0.25	34.05	V	No	2	7	CPM
E17	ALCATEL	AWY9400	Andrew	High Performance	6	0.25	34.05	V	No	16	3,5	16QAM
E18	SIEMENS	SRAL XD	Andrew	High Performance	8,6	0.10	40.35	V	Sí	16	14	16QAM
E19	ALCATEL	AWY9400	Andrew	High Performance	6,6,6,6	0.25	34.05	V	No	2	3,5	TCM
E20	SIEMENS	SRAL	Andrew	Valuline	2	0.06	36.55	V	No	2	3,5	CPM
E21	SIEMENS	SRAL	Andrew	Valuline	2	0.06	36.55	V	No	4	7	CPM

Tabla 2.3. Sistema de microondas del S.O.T.E

2.2.1. EQUIPAMIENTO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES

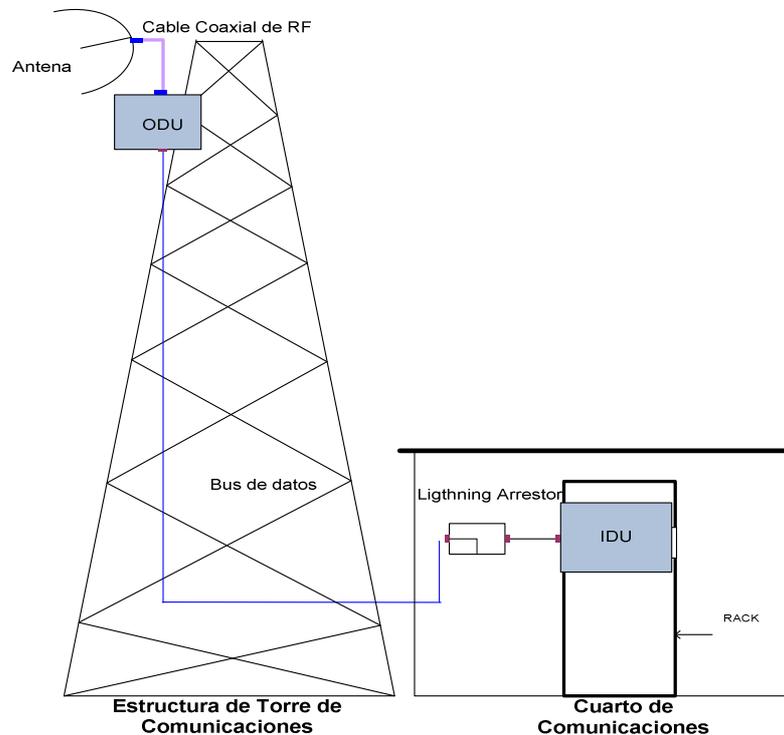


Figura 2.2. Equipamiento de estación base de comunicaciones³⁴

2.2.1.1. Outdoor Unit (ODU)

El módulo denominado Outdoor Unit es el dispositivo que se encuentra en el exterior del sistema y que va acoplado a la antena por medio de cable coaxial, que es el elemento pasivo encargado de recibir y transmitir los datos modulados, la ODU como se la conoce dispone funciones de radiofrecuencia, es la encargada de modular la señal a la frecuencia deseada, amplificarla, filtrarla y enviarla a la antena para ser transmitida, tiene integrado un transceiver, un módulo de radio frecuencia, un modem e interfaces.

³⁴ Fuente: Gráfico realizado por la autora

2.2.1.2. Indoor Unit (IDU)

La Indoor Unit se encuentra montada en un rack en el interior del cuarto de equipos o cuarto de radio quedando protegido de condiciones climáticas que podrían dañar el equipo, la IDU procesa y prepara la información y entrega la misma a la ODU en donde la señal es modulada a la frecuencia requerida.

2.2.1.3. Bus de datos

Para la interconexión entre ODU e IDU es necesario tener un bus de datos que suele ser básicamente un cable coaxial por el cual se recibe y transmite información entre las dos unidades, siendo ésta información en banda base, es decir antes que la señal sea modulada, por éste mismo conductor la unidad Outdoor Unit es alimentada con voltaje DC.

2.2.2. ESTACIONES DE SAN JUAN Y CHIRIBOGA

Las estaciones reductoras de presión se encuentran ubicadas en lugares estratégicos de la cordillera occidental y su misión es controlar las presiones en los tramos de tubería del Oleoducto. Se opera de la siguiente forma: cuando incrementa la presión del crudo que se encuentra en la línea occidental, actúan inmediatamente los controles electrónicos e hidráulicos que controlan las válvulas encargadas de regular la presión de salida de las estaciones impidiendo que la presión del crudo sobrepase los valores fijados como normales.

Los puntos fijos de operación son las estaciones reductores de presión de: San Juan, Chiriboga, La Palma y Santo Domingo. La estación reductora de San Juan se encuentra ubicada en la provincia de Pichincha, en la periferia de la ciudad de Quito en el kilómetro 261 + 718 del derecho de vía del Oleoducto Transecuatoriano, los datos se transmiten según el siguiente esquema:

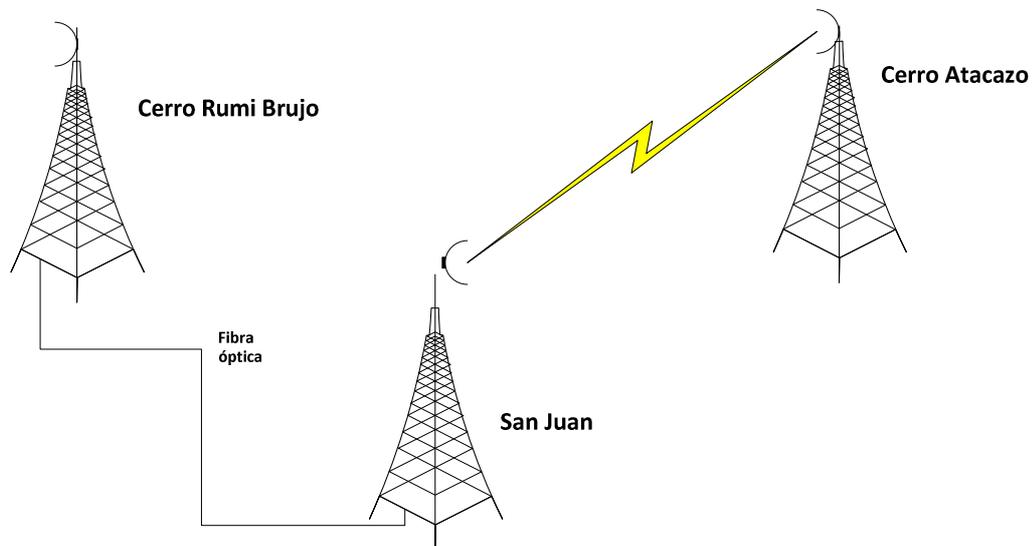


Figura 2.3. Transmisión de datos ³⁵

Existe el enlace de radio cerro Atacazo - Estación San Juan, luego desde la estación hacia el cerro Rumi Brujo se transmiten los datos por medio de fibra óptica con una distancia de 600 metros.

2.2.3. RADIOENLACE SAN JUAN – CHIRIBOGA

Actualmente el S.O.T.E. no cuenta con un enlace que comunique directamente la estación Chiriboga con la estación San Juan, a continuación se realizará el cálculo de radioenlace San Juan – Chiriboga, basándose en la metodología de realización de radioenlaces detallada en el capítulo 1, el vano comprende la torre San Juan ubicada en el cerro Rumi Brujo hacia la estación de Chiriboga. Gracias a la información y proporcionada por Oleoducto en la visita hacia los lugares mencionados se puede contar con los datos de la ubicación geográfica de la tabla 2.4.

³⁵ **Fuente:** Gráfico realizado por la autora

San Juan (Cerro Brujo Rumi)	Ubicación	Coordenadas Geográficas		Altura	
	Pichincha, Quito, San Juan	Latitud:	00°17'14.15"S		3.614,00 m
		Longitud:	78°38'49.51"O		
Estación Chiriboga	Ubicación	Coordenadas Geográficas		Altura	
	Pichincha, Quito, Chiriboga	Latitud:	00°15'00.89"S		2066.00 m
		Longitud:	78°43'29.13"O		

Tabla 2.4. Coordenadas de las estaciones

Para la obtención de los parámetros requeridos en el cálculo del radioenlace se realizó una función programada en Matlab denominada **Radio_Enlace**, cuyas líneas de programación se encuentran en el anexo 2 de la presente.

2.2.3.1. Distancia entre los dos puntos

En éste paso debemos determinar la distancia existente entre los dos sitios, para lo cual utilizamos la siguiente ecuación:

$$D = \sqrt{(\Delta longitud * 111)^2 + (\Delta latitud * 111)^2 + (\Delta h)^2} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

En donde:

D: Distancia en kilómetros entre los puntos en donde se encuentran ubicados los repetidores.

Δ longitud: Diferencia entre las longitudes de las coordenadas geográficas de cada punto, en grados.

Δ latitud: Diferencia entre las latitudes de las coordenadas geográficas de cada punto, en grados.

Δ h: Diferencia entre las altitudes de las estaciones, en kilómetros.

111: Esta cifra representa un factor de transformación a kilómetros, teniendo que 1° es aproximadamente 111 km.

Ejemplo de cálculo

$$\Delta \text{ longitud} = 00^{\circ}17'14.15''\text{S} - 00^{\circ}15'00.89''\text{S} = 0.287264 - 0.250247 = 0.037017$$

$$\Delta \text{ latitud} = 78^{\circ}38'49.51''\text{O} - 78^{\circ}43'29.13''\text{O} = 78.6471 - 78.7248 = -0.077672$$

$$\Delta h = 3.614 - 2.066 = 1.548 \text{ [Km]}$$

$$D = \sqrt{(\Delta \text{longitud} * 111)^2 + (\Delta \text{latitud} * 111)^2 + (\Delta h)^2}$$

$$D = \sqrt{(0.037017 * 111)^2 + (0.077672 * 111)^2 + (1.548)^2}$$

$$D = 9.67 \text{ [Km]}$$

La distancia entre la Estación Chiriboga y la Torre San Juan es de 9.67 Km.

2.2.3.2. Perfil del terreno

En base a la carta topográfica Quito CT-ÑIII-A4, 3893-II obtenida en el Instituto Geográfico Militar y que se encuentra en el anexo 1 de la presente y con la ayuda del programa Google Earth, se han tomado en total 26 puntos que en lo posterior servirán para levantar el perfil topográfico del terreno, estos datos se encuentran en la tabla 2.4.

PERFIL TOPOGRÁFICO		
Punto	Distancia (Km)	Altura (m)
1	0.00	3614
2	0.16	3594
3	0.65	3338
4	0.97	3356
5	1.62	3104
6	1.86	3183
7	2.35	3076
8	2.84	3060
9	3.16	2966
10	3.48	2949

PERFIL TOPOGRÁFICO		
Punto	Distancia (Km)	Altura (m)
11	4.05	2735
12	4.38	2775
13	4.86	2605
14	5.35	2675
15	5.83	2697
16	6.08	2610
17	6.40	2576
18	6.89	2392
19	7.29	2454
20	7.54	2562
21	7.94	2396
22	8.27	2263
23	8.75	2237
24	8.99	2099
25	9.32	2184
26	9.67	2066

Tabla 2.5. Puntos tomados en base a la carta topográfica Quito CT-ÑIII-A4, 3893-II y el programa Google Earth en el trayecto San Juan-Chiriboga

La ubicación de los puntos para la toma de los valores de altitud del terreno tienen un espacio menor a medio kilómetro aproximadamente, los puntos fueron tomados manualmente de la carta topográfica por lo que estos están sometidos a errores de apreciación, para corregir esto se utilizará interpolación entre los puntos tomados dando como resultado un perfil con un número mayor de puntos lo que constituye una gráfica más real, las alturas en la interpolación serán tomadas cada 100 metros de distancia en el trayecto, el cálculo de los puntos interpolados así como la gráfica del perfil del terreno será realizado por la función Radio_Enlace programada en Matlab, el perfil corregido junto con otros parámetros calculados se presentará más adelante, para lo cual en cada parámetro se utilizará un ejemplo de cálculo en el

punto 7 ubicado a 2.35 Km de San Juan con una altura de 3076 metros, como se aprecia en la figura 2.4.

2.2.3.3. Cálculo del abultamiento de la Tierra

Para calcular el valor de abultamiento de la Tierra en cada punto utilizaremos la ecuación 1.1, a continuación se presenta un ejemplo de cálculo.

$$b_{E(x)} = \frac{d_1 * d_2}{2 * k * R_0}$$

En donde:

d₁: 2.35 Km

Distancia desde San Juan (Cerro Rumi Brujo) al punto 7.

d₂: 9.67 - 2.35 = 7.32 Km.

Distancia desde la estación Chiriboga al punto 7.

k: 4/3 (valor standard)

Factor de curvatura terrestre equivalente.

R₀: 6378 Km

Radio de la Tierra.

Ejemplo de cálculo

$$b_{E(7)} = \frac{d_1 * d_2}{2 * k * R_0} = \frac{2.35 * 7.32}{2 * \left(\frac{4}{3}\right) * 6378}$$

$$b_{E(7)} = 1.01 \text{ m}$$

Los valores de abultamiento de la Tierra para cada punto del enlace se presentan completos en la Tabla 2.6. Resumen enlace.

2.2.3.4. Perfil del terreno corregido

Como primer paso debemos obtener la altura del perfil del terreno con la respectiva corrección debida al abultamiento de la Tierra, esto es la altura que se obtuvo en base a la carta topográfica sumada al abultamiento correspondiente en cada punto, como ejemplo de cálculo se ha tomado el punto 7 tomado anteriormente.

$$\text{Altura Corregida}_{(7)} = \text{Altura}_{(7)} + b_{E(7)}$$

En donde:

Altura ₍₇₎ = 3076 m

Altura medida en el punto 7.

b_E ₍₇₎ = 1.01 m

Abultamiento de la Tierra en el punto 7.

Ejemplo de cálculo

$$\text{Altura Corregida}_{(7)} = \text{Altura}_{(7)} + b_{E(7)}$$

$$\text{Altura Corregida}_{(7)} = 3076 + 1.01$$

$$\text{Altura Corregida}_{(7)} = \mathbf{3077.01 \text{ m}}$$

Los valores del perfil del terreno corregido para cada punto del enlace se presentan completos en la Tabla 2.6. Resumen enlace.

2.2.3.5. Cálculo del radio de la primera zona de Fresnel

Para éste cálculo utilizaremos la ecuación 1.3, los datos obtenidos para cada punto del trayecto se los puede apreciar cuadro de resumen 2.6, a continuación al igual que en los demás parámetros del radioenlace se realizará un ejemplo de cálculo para el punto 7. Las frecuencias con las cuales se va a trabajar son 7.142 Ghz para transmisión y 7.303 Ghz para recepción.

Ejemplo de cálculo

$$R_{F1} = 17.32 \sqrt{\frac{d_1 * d_2}{d * f}}$$

$$R_{F1} = 17.32 \sqrt{\frac{2.35 * 7.32}{9.67 * 7.142}}$$

$$R_{F1} = 8.64 \text{ m}$$

2.2.3.6. Despeje de la zona de fresnel

Para determinar si existe al menos el 60% de despeje de la zona de fresnel debemos analizar el cociente entre el despeje y el radio de la primera zona de fresnel, determinando que existe despeje suficiente si el resultado es mayor a 0.6.

$$H_{des} = \frac{H_1 * d_2 + H_2 * d_1}{D} - H_{obs} - \frac{d_1 * d_2 * 1000}{2 * k * R_o}$$

En donde:

$$H_1 = 3614 + 15 = 3629 \text{ m}$$

Altura de San Juan sumada a la altura de la antena.

$$H_2 = 2066 + 21 = 2087 \text{ m}$$

Altura de la estación Chiriboga sumada a la altura de la antena.

$$H_{obs} = 3077.01 \text{ m}$$

Altura corregida del punto para el cual se desea obtener la altura de despeje, en este caso el punto 7.

$$d_1: 2.35 \text{ Km}$$

Distancia desde San Juan (Cerro Rumi Brujo) al punto 7.

$$d_2: 9.67 - 2.35 = 7.32 \text{ Km.}$$

Distancia desde la estación Chiriboga al punto 7.

Ejemplo de cálculo

$$H_{des} = \frac{H_1 * d_2 + H_2 * d_1}{D} - H_{obs} - \frac{d_1 * d_2 * 1000}{2 * k * R_o}$$

$$H_{des} = \frac{3629 * 7.32 + 2087 * 2.35}{9.67} - 3077.01 - \frac{2.35 * 7.32 * 1000}{2 * \frac{4}{3} * 6378}$$

$$H_{des} = 176.24 \text{ m}$$

$$\frac{H_{des}}{R_{F1}} > 0.6$$

$$\frac{H_{des}}{R_{F1}} = \frac{176.24}{8.64} = 20.39$$

Según el análisis en el punto 7 existe suficiente despeje; sin embargo se debe determinar si existe o no despeje a través de todo el vano, basados en el análisis del despeje de la zona de fresnel para determinar si existe difracción, la función **Radio_Enlace** determinará la distancia a la que se encuentra el fenómeno, en caso de que existiera, los resultados se muestran en la tabla 2.6.

2.2.3.7. Análisis del trayecto San Juan – Chiriboga

En la tabla 2.6 se resume los valores calculados en los puntos anteriores, en base a los datos obtenidos no es posible obtener un radio enlace digital en la banda de frecuencias de 7 Ghz, puesto que no existe el suficiente despeje de la zona de fresnel en varios puntos cercanos a la estación de Chiriboga, la obstrucción de la línea de vista entre los puntos en cuestión será claramente visualizada en la figura 2.4, el gráfico fue realizado con la ayuda la función **Radio_Enlace** programada en matlab y en ella se observa perfil corregido, línea de vista y zona de fresnel.

Punto	Distancia (Km)	Altura (m)	Abultamiento de la Tierra (m)	Altura corregida (m)	Altura de despeje (m)	Radio primera zona de fresnel (m)	Difracción
1	0.00	3614	0,000	3.614,000	15,000	0,000	NINGUNA
2	0.16	3594	0,089	3.594,089	93,071	2,571	NINGUNA
3	0.65	3338	0,345	3.338,345	186,660	5,046	NINGUNA
4	0.97	3356	0,496	3.356,496	117,330	6,054	NINGUNA
5	1.62	3104	0,767	3.104,767	265,140	7,526	NINGUNA
6	1.86	3183	0,854	3.183,854	147,690	7,943	NINGUNA
7	2.35	3076	1,011	3.077,011	176,240	8,644	NINGUNA
8	2.84	3060	1,141	3.061,141	113,850	9,179	NINGUNA
9	3.16	2966	1,210	2.967,210	156,680	9,453	NINGUNA
10	3.48	2949	1,267	2.950,267	122,540	9,673	NINGUNA
11	4.05	2735	1,338	2.736,338	245,500	9,943	NINGUNA
12	4.38	2775	1,362	2.776,362	152,830	10,032	NINGUNA
13	4.86	2605	1,374	2.606,374	246,260	10,077	NINGUNA
14	5.35	2675	1,359	2.676,359	98,159	10,019	NINGUNA
15	5.83	2697	1,316	2.698,316	-0,297	9,861	DIFRACCIÓN
16	6.08	2610	1,283	2.611,283	46,903	9,737	NINGUNA
17	6.40	2576	1,231	2.577,231	29,981	9,534	NINGUNA
18	6.89	2392	1,126	2.393,126	136,050	9,121	NINGUNA
19	7.29	2454	1,020	2.455,020	10,480	8,681	NINGUNA
20	7.54	2562	0,944	2.562,944	-137,230	8,352	DIFRACCIÓN

Punto	Distancia (Km)	Altura (m)	Abultamiento de la Tierra (m)	Altura corregida (m)	Altura de despeje (m)	Radio primera zona de fresnel (m)	Difracción
21	7.94	2396	0,808	2.396,808	-34,746	7,724	DIFRACCIÓN
22	8.27	2263	0,681	2.263,681	45,886	7,092	NINGUNA
23	8.75	2237	0,473	2.237,473	-42,413	5,913	DIFRACCIÓN
24	8.99	2099	0,359	2.099,359	95,715	5,153	NINGUNA
25	9.32	2184	0,192	2.184,192	-41,572	3,764	DIFRACCIÓN
26	9.67	2066	0,000	2.066,000	21,000	0,000	NINGUNA

Tabla 2.6. Resumen enlace San Juan - Chiriboga

En el siguiente gráfico se observa: el perfil corregido, línea de vista y zona de fresnel.

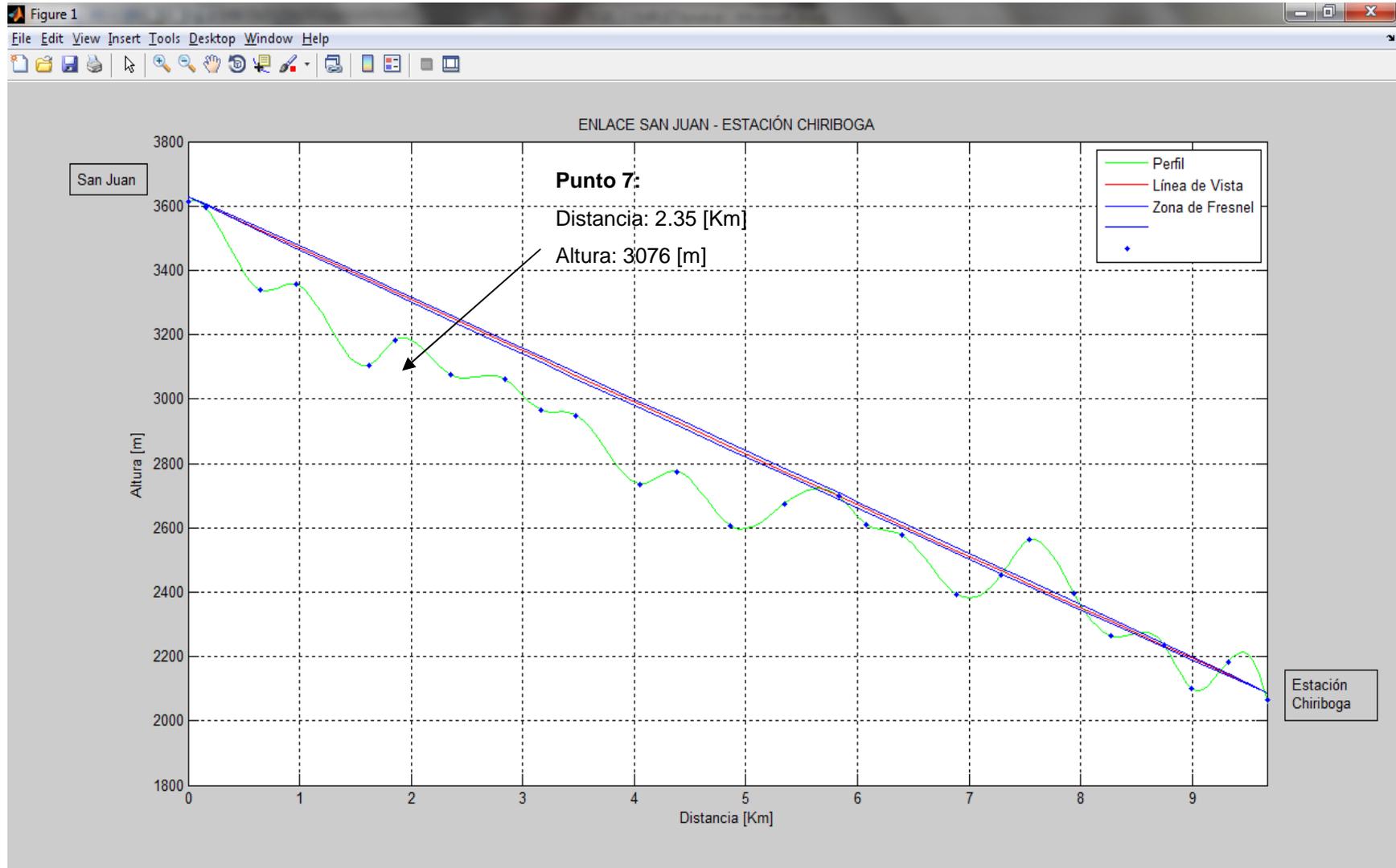


Figura 2.4. San Juan - Chiriboga

2.3. REQUERIMIENTOS

2.3.1. OBJETIVOS DE DISPONIBILIDAD

La UIT detalla en sus recomendaciones objetivos a cumplirse en los enlaces digitales; el objetivo de indisponibilidad se detalla en la siguiente forma, tal como se explica en el capítulo 1:

- Para enlaces de alcance menores a 280 Km el requerimiento de indisponibilidad es del 0.3%
- Para enlaces de alcance mayor a 280 Km se aplica la siguiente ecuación:

$$P_R = \frac{0.3 * L}{2500}$$

En Donde:

L: Es la distancia del vano de trayectoria del radioenlace

El enlace San Juan – Chiriboga tiene un vano aproximado de 10 Km por lo que el requerimiento de la UIT en cuanto a indisponibilidad sería de 0.3%.

2.3.2. OTROS REQUERIMIENTOS

Sector productivo: Según el Banco Central del Ecuador (BCE), el crecimiento del país al primer trimestre del 2011 con respecto al cuarto trimestre del año anterior fue de 1,78%. Según las Cuentas Nacionales, este crecimiento fue producto de la mejora en casi todos los sectores de la economía real; así, en el sector de refinación de petróleo (43,20%), comercio (6,32%), construcción (17,45%), y suministro de electricidad y agua (30,73%). El aporte de las exportaciones petroleras es importante dentro del producto interno bruto (PIB) del país, a continuación se presenta un detalle del promedio de producción diaria de petróleo en el Ecuador.

Producción Promedio Diaria de Petróleo (Miles de Barriles)

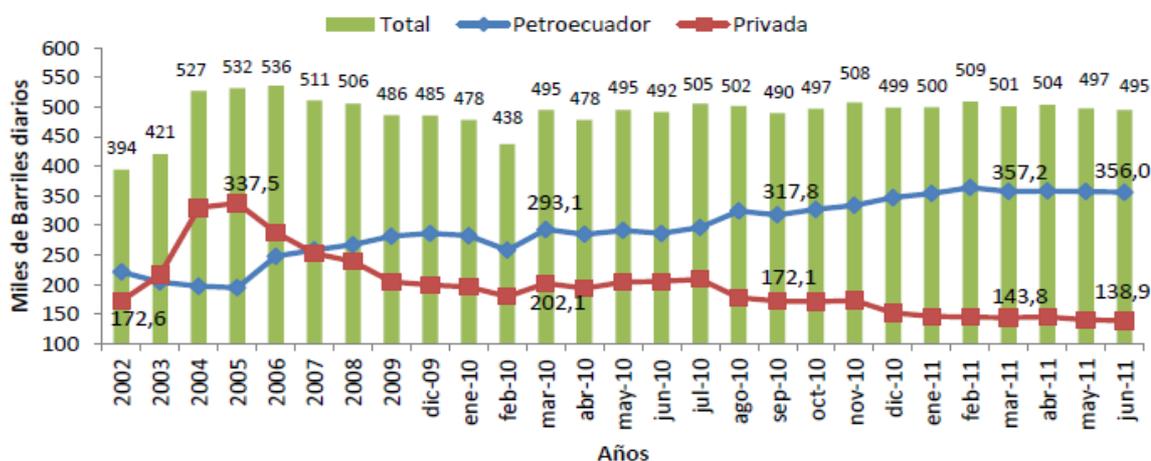


Figura 2.5 Producción promedio diaria de petróleo

Precios Promedios Mensuales del barril de petróleo Crudo

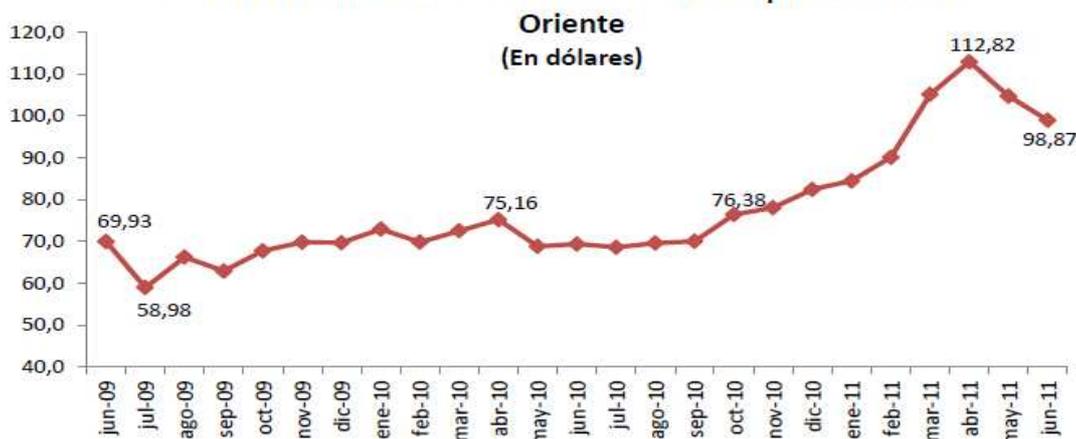


Figura 2.6 Precios mensuales del crudo ³⁶

Como se puede apreciar la producción de la empresa EP-Petroecuador mantiene una tendencia de marcado crecimiento en relación a la privada. Adicionalmente se debe destacar que el precio del crudo ha mantenido estándares altos.

El Sistema de Oleoducto Transecuatoriano trabaja ininterrumpidamente durante todo el año, el monitoreo y control de parámetros e indicadores necesarios para la operación del mismo es imprescindible, para lo cual las estaciones deben estar debidamente comunicadas a los largo de los más de 500 km que constituye la

³⁶ Fuente: Revista "Síntesis Macroeconómica" de la Cámara de Comercio de Quito actualizada el Segundo Trimestral de 2011

trayectoria del petróleo antes de su embarque. En caso de que las comunicaciones fuesen interrumpidas el bombeo también se paraliza excepto que éstas fuesen programadas para mantenimiento y para lo cual se tomarían las respectivas provisiones, que básicamente es la comunicación mediante un radio móvil los mismos que se encuentran instalados en los vehículos pertenecientes a la unidad de comunicaciones del S.O.T.E.

Es evidente que para el transporte confiable del crudo una excelente comunicación es necesaria, el S.O.T.E en su operación diaria transporta un promedio de 325.000 barriles brutos, en vista de que el petróleo es el principal producto de exportación ecuatoriano a continuación se presenta un breve cálculo estimando la pérdida que le implicaría al país la paralización de transporte de crudo, esto se encuentra tabulado para diferentes espacios de tiempo, un día de paralización del Oleoducto, una hora e incluso un minuto, para el cálculo se utilizará un precio promedio del barril de 90 dólares.

Como podemos observar en la siguiente tabla, el corte de las comunicaciones en el trayecto que recorre el crudo ecuatoriano por las instalaciones del oleoducto constituye una pérdida significativa para el país, por tanto es necesario optimizar las comunicaciones del Sistema en la mayor forma posible.

Barriles brutos por día	Precio Promedio por barril (\$)	Estimado de pérdida por día (\$/día)	Estimado de pérdida por hora (\$/hora)	Estimado de pérdida por minuto (\$/minuto)
325.000	\$90,00	\$29.250.000,00	\$1.218.750,00	\$20.312,50

Tabla 2.7. Estimación de pérdidas

CAPÍTULO 3

3. RE-DISEÑO DEL RADIOENLACE SAN JUAN CON DIRECCIÓN CHIRIBOGA

Como se analizó en el capítulo anterior el crudo transportado por el Sistema de Oleoducto Transecuatoriano aporta significativamente al Producto Interno Bruto del país, en tal virtud las comunicaciones dentro de su operación son vitales, puesto que como se indicó en el capítulo dos la paralización de las mismas conlleva también la interrupción del bombeo, por este motivo en el presente capítulo se presentará tres propuestas de optimización del enlace: mejoramiento por diversidad, diseño del enlace San Juan – Chiriboga utilizando un repetidor pasivo tipo espejo y diseño del radioenlace utilizando un arreglo de antenas “back-to-back”. Una vez expuestas las propuestas se presentará el enlace San Juan - Chiriboga, elaborando un análisis de los equipos y antenas en el enlace de microondas.

3.1. CANALIZACIÓN DE LA FRECUENCIA

Por Resolución del Consejo Nacional de Telecomunicaciones las canalizaciones de frecuencias para la banda de 7 Ghz se ajustan a la Recomendación UIT-R F.385-9, denominada “Disposición de radiocanales para sistemas inalámbricos fijos que funcionan en la banda de 7 GHz (7 110-7 900 MHz)”, a continuación los cálculos necesarios para la obtención de la frecuencia de trabajo que se encuentren debidamente canalizadas.

Canalización:

En el siguiente gráfico se aprecia la disposición de radiocanales que funcionan en la banda de 7 Ghz así como su respectiva explicación.

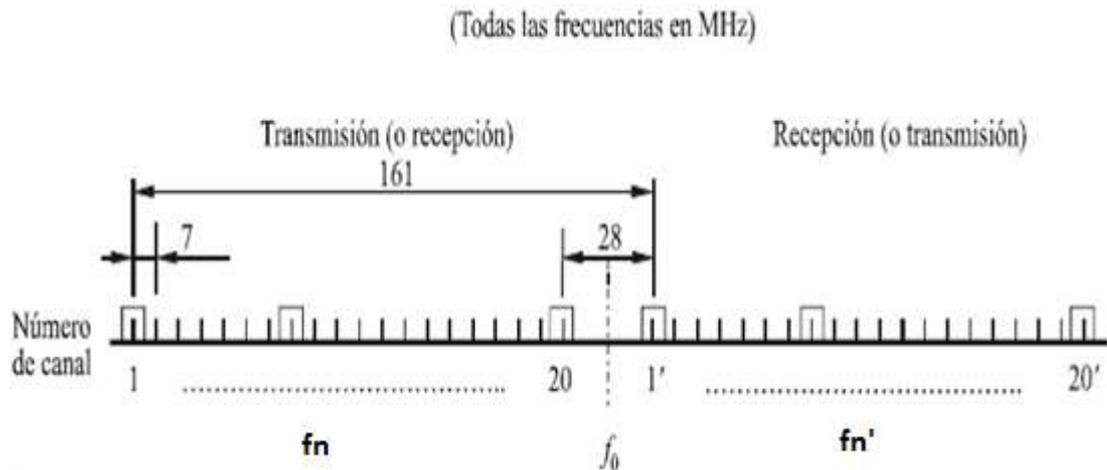


Figura 3.1. Disposición de radiocanales para la banda de 7Ghz ³⁷

En donde:

f_0 : Frecuencia central de la banda de frecuencias ocupada (MHz).

f_n : Frecuencia central de un radiocanal de la mitad inferior de esa banda (MHz).

f_n' : Es la frecuencia central de un radiocanal de la mitad superior de esa banda (MHz).

Las frecuencias de cada radiocanal con una separación de canales de 7 MHz se expresan mediante las siguientes relaciones:

$$f_n = f_0 - 154 + 7 n; \text{ mitad inferior de la banda} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

$$f_n' = f_0 + 7 + 7 n; \text{ mitad superior de la banda} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

y en donde es:

$$n = 1, 2, 3, \dots, 20$$

A continuación se presenta un cuadro resumen con las frecuencias de los 20 radiocanales mostrados en la figura 3.1:

³⁷ Recomendación UIT-R F.385-9: Disposición de radiocanales para sistemas inalámbricos fijos que funcionan en la banda de 7 GHz (7 110-7 900 MHz)

Canal	Frec Tx (Mhz)	Frec Rx (Mhz)
1	7128	7289
2	7135	7296
3	7142	7303
4	7149	7310
5	7156	7317
6	7163	7324
7	7170	7331
8	7177	7338
9	7184	7345
10	7191	7352
11	7198	7359
12	7205	7366
13	7212	7373
14	7219	7380
15	7226	7387
16	7233	7394
17	7240	7401
18	7247	7408
19	7254	7415
20	7261	7422

Tabla 3.1. Canalización de frecuencias para la banda de 7 Ghz

Por recomendación de la Dirección de Espectro Radioeléctrico de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones se trabajará con las frecuencias del radiocanal número 3, (n=3) y tomando en cuenta que la Recomendación de la UIT dice que el valor de la frecuencia central preferentemente sea: ***“ $f_0 = 7\ 275$ (para la banda 7 125-7425 MHz)”***.

Tenemos para la frecuencia de transmisión:

$$f_n = f_0 - 154 + 7 n$$

$$f_n = 7\,275 - 154 + 7 (3)$$

$$f_n = 7\,142 \text{ Mhz (Tx)}$$

Para el cálculo de la frecuencia de recepción como se aprecia en la figura 3.1. la frecuencia de Transmisión debe ser trasladada 161 Mhz.:

$$f_n' = f_n + 161$$

$$f_n' = 7\,142 + 161$$

$$f_n = 7\,303 \text{ Mhz (Rx)}$$

Por lo que las frecuencias con las cuales se trabajará en adelante serán las siguientes:

Frecuencia Central Radiocanal 3	
Transmisión	7,142 Ghz
Recepción	7,303 Ghz

Tabla 3.2. Frecuencias de trabajo

3.2. MEJORA DE SISTEMAS DE COMUNICACIÓN VÍA MICROONDAS MEDIANTE TÉCNICAS DE DIVERSIDAD

La diversidad es una técnica de ingeniería de radio que se desarrolla para combatir los efectos del desvanecimiento, el principio de la diversidad es proporcionar al receptor diferentes versiones de la señal transmitida, así la combinación de todas ellas de manera redundante permitirá que si una de las señales se encuentra degradada se posee de otra recibida en mejores condiciones, el principio de recepción utilizando la técnica de diversidad consiste en recibir y analizar varias señales no correlacionales y escoger en cada instante la mejor, o en recibir en todo momento una combinación de las distintas señales, de esta manera la fiabilidad del enlace mejorará, reduciendo la tasa de error del sistema.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones emite la Recomendación **UIT-R P.530**, denominada “Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas terrenales”, en la cual se encuentra un apartado denominado “Técnicas de diversidad”, y sobre el que se basan las expresiones expuestas en los siguientes numerales referidos al tema de diversidad. Existen diferentes técnicas de diversidad, como se expone en el siguiente esquema:

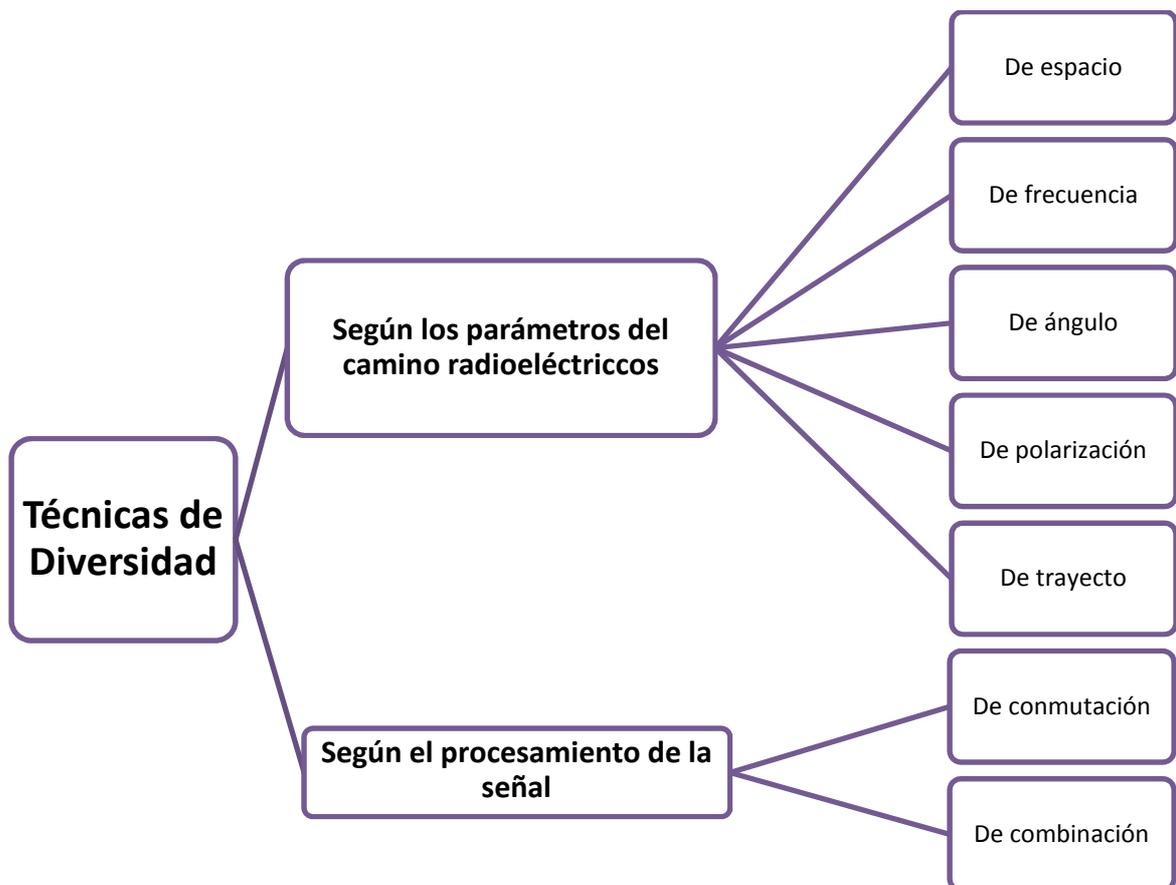


Figura 3.2. Técnicas de Diversidad

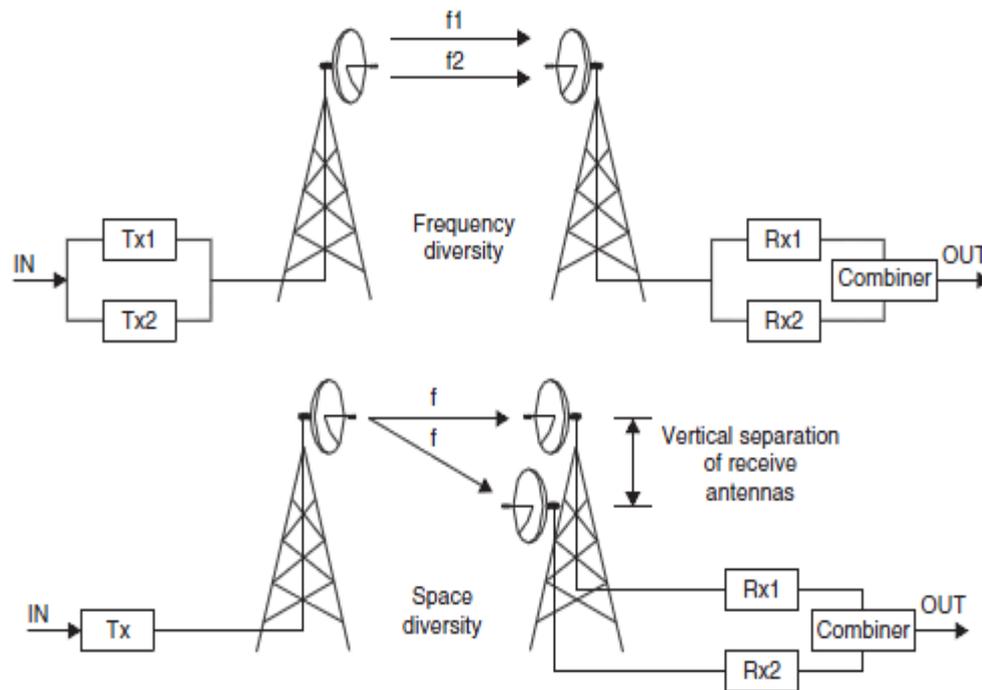


Figura 3.3. Técnicas de Diversidad por espacio y frecuencia ³⁸

3.2.1. SEGÚN LOS PARÁMETROS DEL CAMINO RADIOELÉCTRICOS ³⁹

3.2.1.1. Diversidad de espacio

En esta clasificación se presentan diferentes técnicas para conseguir varias señales que contengan la misma información, estas señales son procesadas posteriormente aplicando diversas técnicas de combinación tal como se indica en la sección 3.2.2., de tal forma que se obtenga una nueva señal que contenga las mejores características.

La técnica de diversidad de espacio transmite una misma señal por medio de dos trayectos radioeléctricos, el presente sistema se basa en que las dos componentes de una misma señal recorren hacia el receptor por dos caminos diferentes distintos, por este motivo las señales no tendrán los mismos puntos de

³⁸ Lehpamer, Harvey (2010). *Microwave Transmission Networks: Planning, Design and Deployment* (2da ed). USA: The McGraw-Hill Companies. Página 139.

³⁹ Sallent, Oriol (2003). *Principios de Comunicaciones Móviles* (1era ed). Madrid: Universidad politécnica de Catalunya. Página 96-102.

interferencia. Por lo general en los sistemas por diversidad de espacio se transmite una misma señal a dos antenas receptoras instaladas con cierta separación vertical. Las dos salidas de los receptores se combinan en la estación. Generalmente la separación entre las antenas es la mayor posible, considerando la altura máxima de las torres, además de factores mecánicos y de índole económica.

En el siguiente esquema de diversidad espacial, en donde d constituye la separación entre antenas:

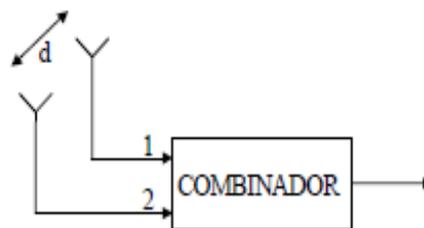


Figura 3.4. Esquema de diversidad espacial

A continuación se presenta un diagrama de diversidad de espacio que utiliza dos antenas de recepción separadas una distancia d , que recibe la señal enviada por una antena transmisora que utiliza una misma frecuencia para emitir dos señales que viajarán por distintos caminos radioeléctricos.

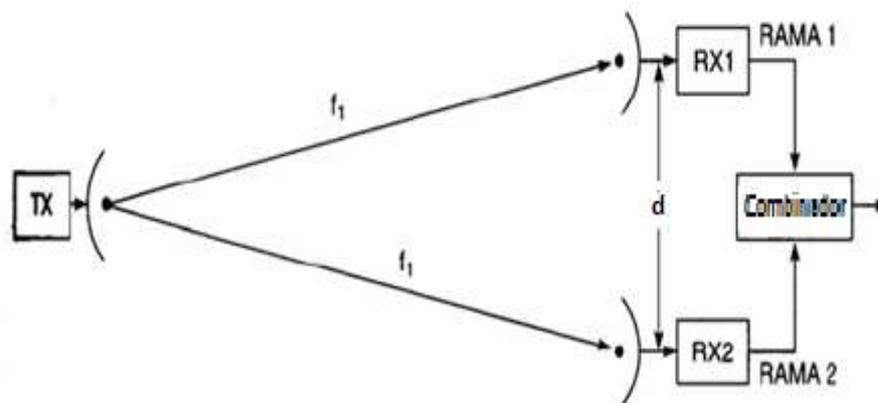


Figura 3.5. Diversidad de espacio utilizando doble antena de recepción

La técnica de diversidad por espacio considera los siguientes puntos:

Separación de las antenas:

- Como se mencionó anteriormente se suele utilizar la mayor separación posible.
- Las dos antenas deben cumplir con los criterios de visibilidad, considerando especialmente que la antena que se encuentra con menor altura debe mantener el despeje para reducir al mínimo el desvanecimiento.
- Como criterio práctico puede considerarse la siguiente expresión para determinar la distancia entre antenas:

$$d > \frac{\lambda}{2} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Y por generalmente se separan a una distancia 150λ o 200λ , así la combinación de estos dos criterios adicionados a los elementos reales del sistema darán las condiciones óptimas de separación de antenas.

Ventajas y Desventajas:

- Como ventaja se puede mencionar la utilización de una sola frecuencia.
- El equipo mínimo a ser utilizado en el montaje del sistema consiste de dos antenas, transmisor y receptor en cada estación, lo cual dependiendo del sistema puede ser considerado una ventaja o un perjuicio, sobre todo desde el punto de vista financiero.
- La diversidad de espacio es una de las medidas más eficaces para reducir el desvanecimiento.
- La utilización de varias antenas podría considerarse como una desventaja.

Aplicación al sistema en diseño:

A continuación se presenta el cálculo para la separación de antenas en el sistema que nos encontramos diseñando, en donde se utiliza la ecuación 3.3 y el criterio adicional expuesto anteriormente:

$d > \frac{\lambda}{2}$; en donde λ se encuentra directamente relacionada con la frecuencia del sistema de la siguiente forma:

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad \text{Ecuación 3.4}$$

Tomando en cuenta que la banda de frecuencia en la cual se trabajará es la de 7 Ghz y considerando a c como la velocidad de la luz, procederemos a calcular la distancia entre antenas.

➤ Transmisión:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8 [m/s]}{7000 [Mhz]} = 0.043 [m]$$

$$d > \frac{\lambda}{2} = \frac{0.043[m]}{2} = 0.0215 [m]$$

Considerando además:

d entre la 150λ y 200λ

$$150\lambda = 150 \times 0.043[m] = 6,45[m]$$

$$200\lambda = 200 \times 0.043[m] = 8,6[m]$$

Considerando además:

d entre la 150λ y 200λ

$$150\lambda = 150 \times 0.043[m] = 6,45[m]$$

$$200\lambda = 200 \times 0.043[m] = 8,6[m]$$

Estas son distancias para tomar en cuenta como un estimado de los espacios que deberían mantener las antenas del sistema utilizando mejoramiento por diversidad de espacio, para lo cual se deberá considerar la altura de las torres, que necesariamente deberán estar por sobre los 25 metros, tomando en cuenta que la antena más cercana a la superficie terrestre tendría una altura de entre 15 metros a lo cual se deberá adicionar un estimado de distancia entre antenas de 7 metros o mayor.

3.2.1.2. Diversidad de frecuencia

Los sistemas con mejoramiento por diversidad de frecuencia consisten en que la realización de las radiocomunicaciones se den mediante doble transmisión/recepción de la señal en frecuencias distintas, por lo que en estos sistemas se necesitan por lo menos dos transmisores y dos receptores que emitan y receten las mismas señales por dos frecuencias distintas, generalmente se necesitan una antena de transmisión y otra de recepción, puesto que las salidas de los transmisores se conectan en un combinador de diversidad que suma la potencia de las dos señales formando una sola señal que es la radiada al medio mediante una antena. La técnica de diversidad de frecuencia como método para contrarrestar el desvanecimiento en pos de del mejoramiento de la calidad enlace es una solución fácil y práctica.

En la figura 3.6 se aprecia la transmisión de una señal utilizando dos frecuencias distintas que se encuentran combinadas en una sola onda emitida al medio por una antena transmisora, la misma que será recibida por una antena receptora, por medio del proceso inverso a la combinación de las señales se obtiene de nuevo la onda original que fue transmitida en diferentes frecuencias, finalmente

por medio de un procesador se obtiene la mejor opción para la regeneración de la onda que fue transmitida.

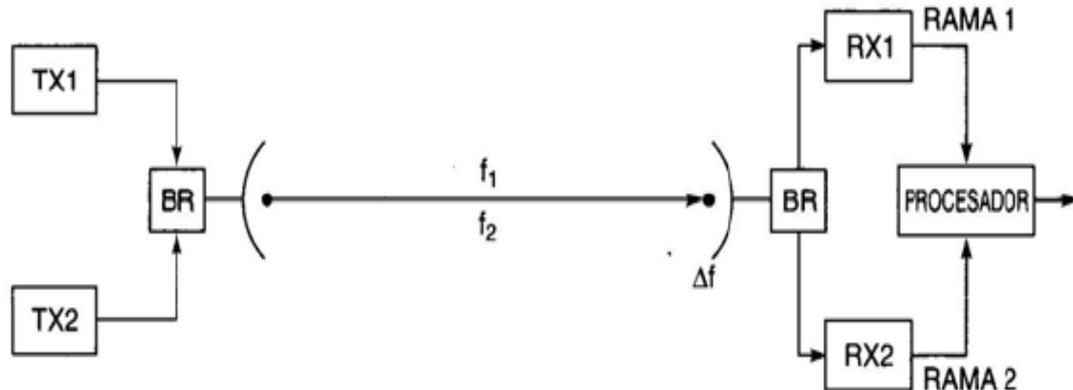


Figura 3.6. Diversidad de frecuencia

Ventajas y Desventajas:

- Como una ventaja de éste método se puede mencionar que para la realización de pruebas técnicas pueden realizarse sin interrupción del servicio.
- El utilizar dos transmisores y dos protege la continuidad del servicio en caso de posibles averías, puesto que si un equipo falla el otro se coloca en funcionamiento.
- Un inconveniente tanto desde el punto de vista económico, como de ingeniería de radiofrecuencia, por cuanto la escasez de disponibilidad de espectro radioeléctrico es el requerimiento de un radiocanal adicional para la misma transmitir la misma capacidad de tráfico.

Aplicación al sistema en diseño:

La separación entre frecuencias en la práctica de encontrarse en el rango de entre 3 y 5 %, sin embargo en vista de que la disponibilidad de frecuencias es escasa las separaciones suelen encontrarse en un 2% e incluso en 1%, De esta

forma considerando los elementos planteados para el sistema en diseño tendríamos que los radiocanales necesarios serán los detallados a continuación.

Transmisión:

- Frecuencia central del radiocanal:
- Frecuencia tomando en cuenta 3% de separación entre radiocanales:
 $0.03 * 7,142 \text{ Ghz} = 7,172 \text{ [Ghz]}$
- Remitiéndonos a la tabla No.1 de canalización de frecuencias, el radiocanal adecuado será el número 7

Recepción:

- Frecuencia central del radiocanal:
- Frecuencia tomando en cuenta 3% de separación entre radiocanales:
 $0.03 * 7,303 \text{ Ghz} = 7,333 \text{ [Ghz]}$
- Remitiéndonos a la tabla No.1 de canalización de frecuencias, el radiocanal adecuado será el número 7.

Una vez canalizadas las frecuencias tenemos que para la utilizar el método de diversidad de frecuencia al sistema en diseño las frecuencias a utilizar se resumen en la siguiente tabla:

	Frecuencia Central Radiocanal 3	Frecuencia Central Radiocanal 7
Transmisión	7,142 Ghz	7,170 Ghz
Recepción	7,303 Ghz	7,331 Ghz

Tabla 3.3. Frecuencias de transmisión y recepción

Sin embargo se debe considerar que obtener la concesión de frecuencias por parte del organismo estatal encargado de este procedimiento que es la SENATEL, constituye un proceso complicado, sobre todo por la escasez de disponibilidad del espectro electromagnético.

3.2.1.3. Diversidad de ángulo

La técnica de diversidad de ángulo constituye dos o más antenas separadas apuntando con ángulos diferentes hacia la antena receptora, garantizando de esta manera que las señales recibidas hayan viajado por caminos radioeléctricos distintos y en condiciones de propagación estadísticamente diferentes.

Aplicación al sistema en diseño:

Este tipo de técnica de diversidad es utilizada para enlaces que utilizan en su operación frecuencias por encima de los 10 Ghz, en virtud de lo cual el método de mejoramiento de diversidad de ángulo no es aplicable al presente diseño.

3.2.1.4. Diversidad de polarización

Cuando se aplica este tipo de diversidad, se transmite una señal proveniente del radiotransmisor de manera simultánea por dos antenas polarizadas de forma vertical y horizontal, de tal forma que a la recepción lleguen dos señales desvanecidas de manera no correlacionada, este tipo de método de diversidad suele ser aplicado para transmisiones por onda indirecta es decir comunicaciones que utilizan frecuencias que se encuentran en la parte baja del espectro radioeléctrico, sin embargo este método no da resultados en la transmisión de microondas por onda espacial, que suelen ser comunicaciones que utilizan bandas de frecuencia por encima de los 30 Mhz, debido a que generalmente ambas señales polarizadas se desvanecen al mismo tiempo.

Aplicación al sistema en diseño:

Utilizar el método de diversidad por polarización en el presente diseño posee una gran desventaja, debido a que por la separación de las antenas polarizadas existe una considerable reducción en la potencia del transmisor; además en vista que la frecuencia de trabajo es considerablemente elevada las señales que serían transmitidas por las antenas resultarían con un desvanecimiento muy similar.

3.2.1.5. Diversidad de trayecto

La técnica de diversidad de trayecto implica realizar el radioenlace en paralelo, recorriendo por dos caminos distintos, es decir mantener el costo de dos radioenlaces que transporten una misma información.

Aplicación al sistema en diseño:

Este tipo de método de diversidad no es viable para el presente diseño por cuanto implica la instalación de más repetidores, transmisores, receptores y demás equipos de necesarios para la implementación de una ruta alterna para la realización del radioenlace, lo que conlleva una serie de inconvenientes especialmente de índole económico.

3.2.2. SEGÚN EL PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL ⁴⁰

A continuación se presentan los tipos de diversidad según procesamiento.

3.2.2.1. Diversidad de conmutación

La combinación de conmutación es un procedimiento en el cual se emplea un dispositivo de conmutación automática que vigila constantemente los niveles de continuidad y ruido, con el propósito de elegir la señal de mejor calidad, el receptor que recibe la señal más débil se desconecta del circuito.

⁴⁰ *Enhanced Detection of GNSS Signals Based on Spatial Combining*. Mohammad Upal Mahfuz.

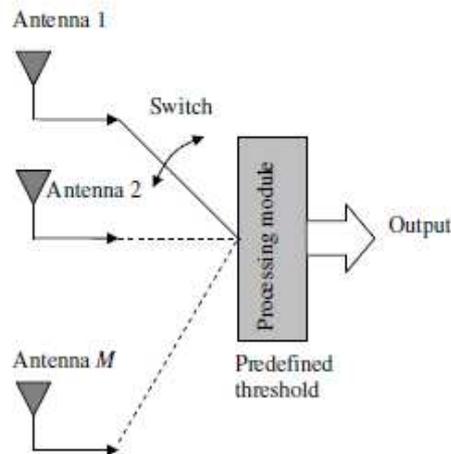


Figura 3.7. Diversidad por conmutación

El esquema muestra la técnica de diversidad por conmutación en el receptor, para lo cual la señal de una de las antenas pasa por el cabezal de radiofrecuencia, RF, luego la onda será sometida a un test de nivel de señal y una adaptación de nivel mediante un CAG antes de ser modulada; así si el nivel de la señal se encuentra por debajo del umbral que garantiza la calidad requerida del enlace se realiza una conmutación de antena, siendo así la señal demodulada la que se constituya de mejor calidad.

Una de las ventajas de este método de diversidad se encuentra en la utilización de un solo equipo de radiofrecuencia, sin embargo una desventaja considerable es la transitoriedad de amplitud y de fase de las ondas recibidas y la incertidumbre que existe al realizar la conmutación, puesto que únicamente se conoce el nivel de la señal de una de las antenas y la conmutación no garantiza que el nivel de señal de la otra antena sea mejor que el de la primera. Sin embargo, en un sentido práctico los límites del método de conmutación, están en el cambio instantáneo de las señales debido a las implicaciones técnicas-prácticas que un switching así implicaría.

3.2.2.2. Diversidad de combinación

Este tipo de diversidad se presenta mediante tres tipos de combinación, el principio es el mismo para las tres y es la combinación de las señales ya sea cuando se encuentran en banda base o una vez que han sido moduladas. Los mencionados tipos de diversidad son los siguientes: combinación por selección, combinación máxima proporción y combinación igual ganancia, cuyas características serán detalladas a continuación.

- **Diversidad de combinación por selección**

Este tipo de diversidad por combinación es una técnica en la cual la relación señal a ruido SNR de cada una de las salidas de las M ramas son controladas mediante el uso del mismo número de módulos de procesamiento, es decir, existe un módulo de proceso para cada una de las ramas de la diversidad, tal como se muestra en la figura, la rama que tenga la mayor relación SNR será la seleccionada como señal de salida.

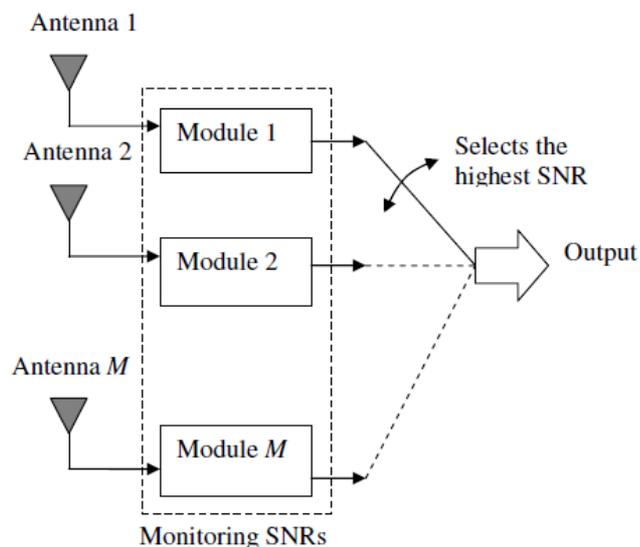


Figura 3.8. Diversidad de combinación por selección con M antenas

- **Diversidad de combinación por igual ganancia**

Como se describió anteriormente, los métodos de diversidad conmutados y de combinación por selección sólo se utiliza la señal de un de las ramas como la señal de salida en un instante determinado de tiempo, por lo que la energía que brindan las demás señales en las otras ramas es no se utilizan. Con el fin de mejorar el rendimiento de esta técnica de diversidad, las señales de todas las ramas se pueden combinar, de tal manera que todas las señales provenientes de de cada rama se encuentren en fase, así se puede realizar la suma directa con igual ganancia de las envolvente instantáneas desvanecidas.

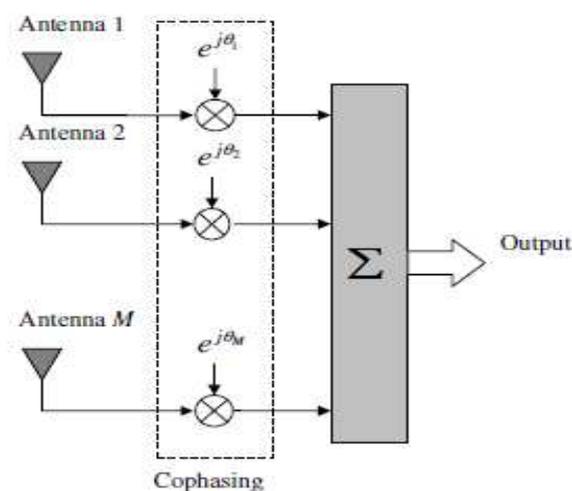


Figura 3.9. Diversidad de combinación por igual ganancia con M antenas

- **Diversidad Maximum Ratio (Máxima relación)**

La diversidad de combinación por igual ganancia se combina en un caso especial resultando la técnica de máxima relación. El método es que las ramas de la diversidad se ponderan de acuerdo con sus niveles de relación señal a ruido SNR individual. Se considera la mejor técnica de diversidad de combinación.

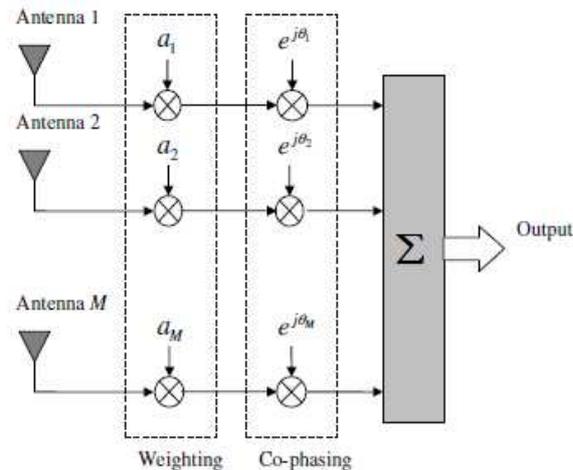


Figura 3.10. Maximum Ratio Diversity

Aplicación de técnicas de diversidad según el tratamiento de la señal al sistema en diseño:

Como se expuso en esta sección las técnicas de diversidad sugieren una inversión adicional en antenas, y adicionalmente al costo económico, la instalación de antenas en lugares de difícil acceso conlleva un esfuerzo que puede ser evitado aplicando otra técnica denominada Hot-Standby, la cual se describe a continuación.

3.2.3. PROTECCIÓN HOT – STANDBY ⁴¹

Este tipo de operación es conocida como redundancia de hardware, la falla de un equipo normalmente suele incurrir en largas interrupciones, es decir largos períodos de indisponibilidad del enlace, y la redundancia de hardware a menudo es la única opción de mejorar la disponibilidad de un radioenlace.

La redundancia de hardware consiste en la repetición de equipos, de tal forma que si un equipo tuviese algún tipo de inconveniente técnico en su operación este será inmediatamente reemplazado por otro, por lo tanto la redundancia de

⁴¹ Lehpamer, Harvey (2010). *Microwave Transmission Networks: Planning, Design and Deployment* (2da ed). USA: The McGraw-Hill Companies. Página 136-137.

hardware mejora sólo la tasa de indisponibilidad debido a errores de hardware, y de ninguna manera se puede considerar como un método para reducir la indisponibilidad debido a los efectos característicos de propagación de las ondas electromagnéticas, como es evidente en este tipo de operación se requiere de más de un equipo y en consecuencia, es más caro que un sistema no redundante.

Pese a sus beneficios un sistema de redundancia suele ser costoso, por lo que tomando en cuenta que existen elementos que suelen ser más vulnerables a daños continuos como por ejemplo el radio transmisor, algunos fabricantes han decidido ofrecer, en lugar de la arquitectura totalmente redundante que ofrece protección contra todos los posibles fallos en la radio, la protección de sólo los módulos más propensos a fallos.

En la práctica a los sistemas con y sin redundancia se los conoce como sistemas en configuración: **1+0** y **1+1**, respectivamente. Cuya diferencia básica es el tipo de protección que se ofrecen al sistema, así un sistema con protección 1+1 indiscutiblemente brindará al sistema una significativamente protección a posibles indisponibilidades en el enlace.

Aplicación al sistema en diseño:

Por lo expuesto en el capítulo anterior, las comunicaciones dentro del sistema de transporte del crudo en el SOTE son un pilar fundamental, por lo que se encontraría plenamente justificada la inversión en un sistema de redundancia completa de hardware y cuyo costo referencial se expondrá en el siguiente capítulo.

3.3. CÁLCULOS DE RADIOENLACE CON REPETIDORES PASIVOS

3.3.1. CÁLCULO DEL RADIOENLACE SAN JUAN – CHIRIBOGA

Los diseños se realizan básicamente entre puntos visibles correspondientes a los puntos altos de la topografía, para que el funcionamiento del enlace sea óptimo, el

trayecto deberá mantener una altura adecuada que permita la libre propagación de las ondas durante todo el año, tomando en cuenta las variaciones de las condiciones climatológicas de la región.

3.3.1.1. Mapa de la región

En base a la carta topográfica Quito CT-ÑIII-A4, 3893-II obtenida en el Instituto Geográfico Militar, el programa Google Earth y la función realizada en Matlab se analizó en el capítulo anterior la posibilidad de realizar el enlace San Juan - Chiriboga determinando que hay obstrucción de la línea de vista entre los dos puntos en varios puntos cercanos a la estación de Chiriboga, no existiendo el despeje de la zona de fresnel.

Tomando nuevamente como referencia la carta topográfica, y con la ayuda del programa Google Earth, se encuentra un lugar idóneo para colocar un repetidor en el trayecto San Juan – Chiriboga, con el propósito de librar la obstrucción de la línea de vista entre las dos estaciones. Así, el enlace San Juan – Chiriboga se convertiría en la unión de dos enlaces.

Por la situación geográfica del lugar en donde se pretende colocar el repetidor y al ser un sitio de difícil acceso no cuenta con suministro de energía eléctrica, por lo que lo se deberá recurrir a la utilización de un repetidor pasivo.

A continuación se presenta los cálculos de radioenlace para ambas trayectorias, basados en las consideraciones expuestas en el primer capítulo. Una vez concluidos los cálculos, se hará un análisis del enlace completo San Juan – Chiriboga exponiendo la posibilidad de utilizar un repetidor pasivo tipo espejo o un repetidor back-to-back, dependiendo de los resultados del estudio se determinará cuál de las dos opciones es la que mejor se adapta a las necesidades de telecomunicaciones del S.O.T.E.

3.3.1.2. Levantamiento del perfil topográfico

Como se mencionó anteriormente existirán dos enlaces, cuya unión constituirá el enlace completo San Juan – Chiriboga:

Enlace 1: Chiriboga (Repetidor Pasivo) - Chiriboga (Estación)

Enlace 2: San Juan (Cerro Brujo) - Chiriboga (Repetidor Pasivo)

Con las facilidades proporcionadas por el personal del Oleoducto se pudo capturar imágenes una vez movilizados a los lugares en cuestión, se presenta la disposición de los sitios del radioenlace, para lo cual se presentan fotos de los lugares del enlace, gráficos tomados desde el programa Google Earth, la simulación del enlace en el programa Radio Mobile, además los cálculos del radioenlace son realizados por las funciones **Enlace 1 y Enlace 2** que se encuentran en el anexo 2 de la presente, programadas en Matlab y que se anexan al final de la presente, todos los resultados se muestran resumidos al final de los cálculos.



1

2



3



4



5

Figura 3.11. Imágenes de los sitios

- 1 Estación Reductora Chiriboga
- 2 Oleoducto Trans-Ecuatoriano
- 3 Cerro Rumi Brujo
- 4 Estación Chiriboga
- 5 Sitio del repetidor pasivo

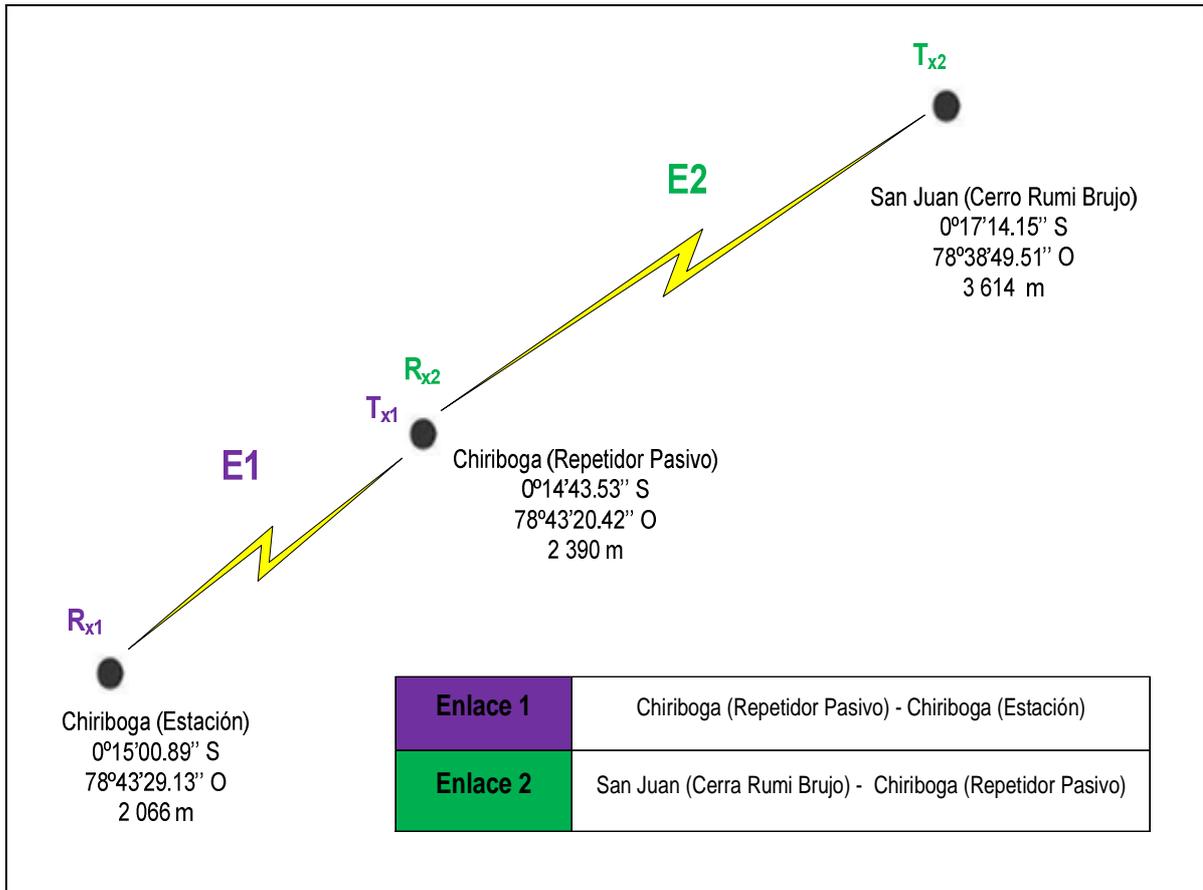


Figura 3.11. Enlace San Juan – Chiriboga

A continuación una vista aérea de los sitios del enlace utilizando el programa Google Earth:

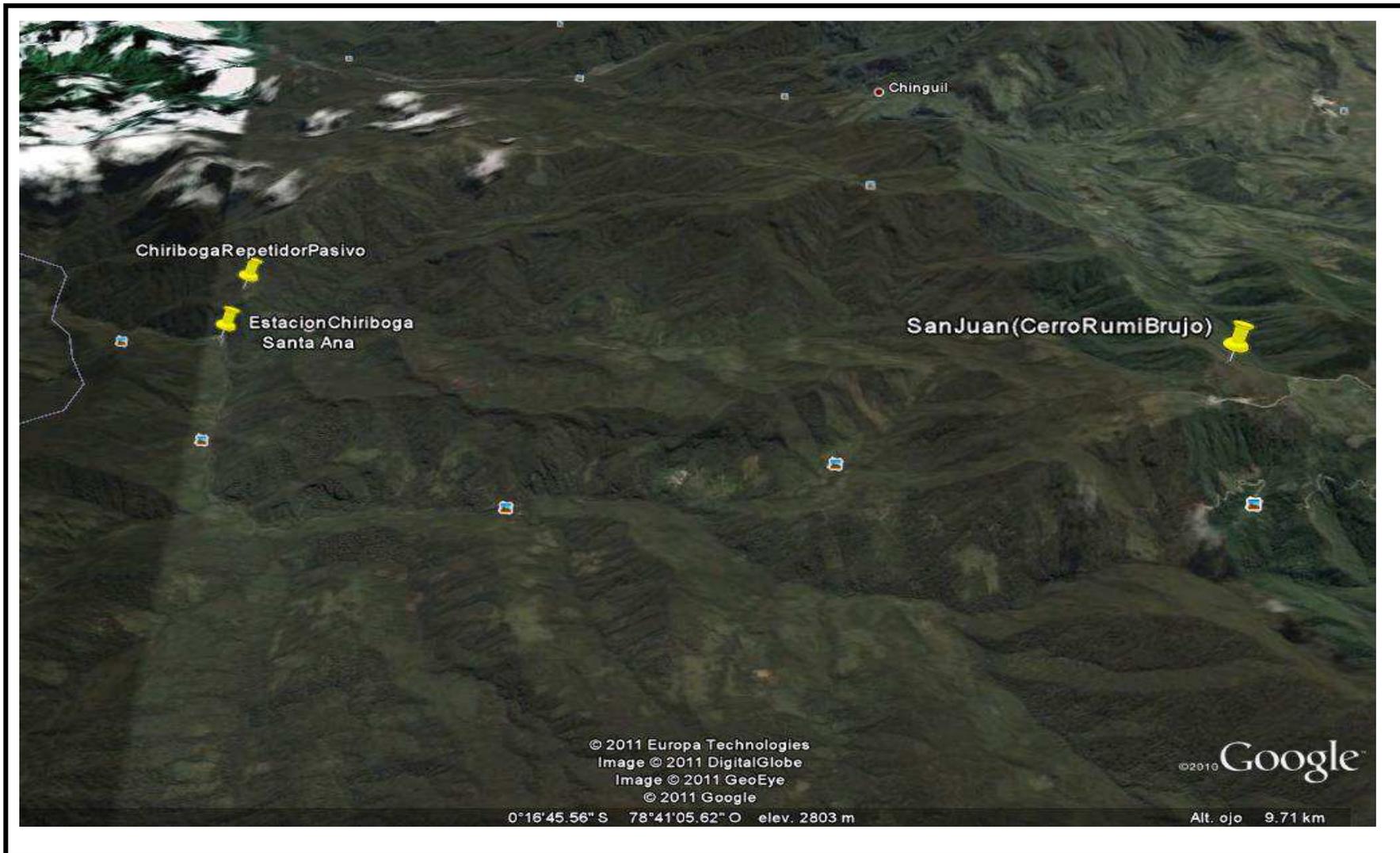


Figura 3.12. Vista aérea de los sitios

A continuación se presenta un cuadro del levantamiento del perfil topográfico.

PERFIL TOPOGRÁFICO					
Enlace 1 Chiriboga (Repetidor Pasivo) – Chiriboga (Estación)			Enlace 2 San Juan (Cerro Rumi Brujo) - Chiriboga (Repetidor Pasivo)		
Distancia (D=0.60)	Distancia (Km)	Altura (m)	Distancia (D = 9.60)	Distancia (Km)	Altura (m)
0	0.00	2 390.0	0	0.00	3 614.00
D/12	0.05	2 360.5	D/12	0.80	3 316.16
D/6	0.10	2 340.0	D/6	1.60	3 074.50
D/4	0.15	2 311.0	D/4	2.40	3 049.40
D/3	0.20	2 280.0	D/3	3.20	2 859.00
5D/12	0.25	2 250.0	5D/12	4.00	2 730.20
D/2	0.30	2 240.0	D/2	4.80	2 549.70
7D/12	0.35	2 200.0	7D/12	5.60	2 501.00
2D/3	0.40	2 180.0	2D/3	6.40	2 399.70
3D/4	0.45	2 156.0	3D/4	7.20	2 377.00
5D/6	0.50	2 130.0	5D/6	8.00	2 320.40
11D/12	0.55	2 088.5	11D/12	8.80	2 156.60
D	0.60	2 066.0	D	9.60	2 390.00

Tabla 3.4. Perfil topográfico

Para cada paso se presentará un ejemplo de cálculo para el punto medio en cada enlace:

Enlace 1			Enlace 2		
D/2	0.30	2 240.0	D/2	4.80	2 549.70

3.3.1.3. Cálculo del abultamiento de la Tierra

Para calcular el valor de abultamiento de la Tierra en cada punto utilizaremos la ecuación 1.1, se presenta un ejemplo de cálculo para los dos enlaces, en el punto medio de cada uno de los enlaces.

$$b_{E(x)} = \frac{d_1 * d_2}{2 * k * R_o}$$

Ejemplo de Cálculo

Enlace 1

d_1 : 0.30 Km, punto medio del enlace.
 d_2 : $0.6 - 0.30 = 0.30$ Km
 k : 4/3 (valor standard), factor de curvatura terrestre equivalente.
 R_o : 6378 Km, radio de la Tierra.

$$b_E = \frac{d_1 * d_2}{2 * k * R_o} = \frac{0.30 * 0.30}{2 * \left(\frac{4}{3}\right) * 6378}$$

$$b_E = 0.005291 \text{ m}$$

Enlace 2

d_1 : 4.80 Km, punto medio del enlace.
 d_2 : $9.6 - 4.80 = 4.80$ Km
 k : 4/3 (valor standard), factor de curvatura terrestre equivalente.
 R_o : 6378 Km, radio de la Tierra.

$$b_E = \frac{d_1 * d_2}{2 * k * R_o} = \frac{4.80 * 4.80}{2 * \left(\frac{4}{3}\right) * 6378}$$

$$b_E = 1.3547 \text{ m}$$

3.3.1.4. Perfil del terreno corregido

La altura del terreno será corregida con los respectivos valores por el abultamiento de la Tierra, entonces los valores presentados en la tabla de perfil topográfico se sumará al abultamiento correspondiente en cada punto, como ejemplo de cálculo se ha tomado el punto medio de cada enlace.

$$\text{Altura Corregida} = \text{Altura} + b_E$$

Ejemplo de cálculo

Enlace 1

Altura = 2 240.0 m, Altura medida en el punto medio
 $b_E = 0.0052916$ m, Abultamiento de la Tierra en el punto medio
 $\text{Altura Corregida} = \text{Altura} + b_E$
 $\text{Altura Corregida} = 2\ 240.0 + 0.0052916$
Altura Corregida = 2 240.00 m

Enlace 2

Altura = 2 549.70 m, Altura medida en el punto medio
 $b_E = 1.3547$ m, Abultamiento de la Tierra en el punto medio
 $\text{Altura Corregida} = \text{Altura} + b_E$
 $\text{Altura Corregida} = 2\ 549.70 + 1.3547$
Altura Corregida = 2551.10 m

3.3.1.5. Cálculo del radio de la primera zona de Fresnel

Para éste cálculo utilizaremos la ecuación 1.3, a continuación al igual que en los demás parámetros del radioenlace se realizará un ejemplo de cálculo.

Ejemplo de Cálculo

Enlace 1

$$R_{F1} = 17.32 \sqrt{\frac{d_1 * d_2}{d * f}}$$
$$R_{F1} = 17.32 \sqrt{\frac{0.30 * 0.30}{0.60 * 7.142}}$$
$$R_{F1} = 2.5101 \text{ m}$$

Enlace 2

$$R_{F1} = 17.32 \sqrt{\frac{d_1 * d_2}{d * f}}$$
$$R_{F1} = 17.32 \sqrt{\frac{4.8 * 4.8}{9.6 * 7.142}}$$
$$R_{F1} = 10.04 \text{ m}$$

3.3.1.6. Despeje de la zona de fresnel

Este es el cálculo más importante, para determinar si existe al menos el 60% de despeje de la zona de fresnel debemos analizar el cociente entre el despeje y el radio de la primera zona de fresnel, determinando que existe despeje suficiente si el resultado es mayor a 0.6, lo cual se cumple a satisfacción para los dos enlaces.

$$H_{des} = \frac{H_1 * d_2 + H_2 * d_1}{D} - H_{obs} - \frac{d_1 * d_2 * 1000}{2 * k * R_o}$$

Ejemplo de cálculo

Enlace 1

$$H_1 = 2\,066 + 25 = 2\,091 \text{ m}$$

Altura de la Estación Chiriboga sumada a la altura de la antena.

$$H_2 = 2\,390 + 15 = 2\,405 \text{ m}$$

Altura de Chiriboga (Repetidor Pasivo) sumada a la altura de la antena.

$$H_{obs} = 2\,240.00 \text{ m}$$

Altura corregida en el punto medio para el cual se desea obtener la altura de despeje.

$$d_1 = 0.30 \text{ Km}$$

Distancia del punto medio del enlace

$$d_2 = 0.60 - 0.30 = 0.30 \text{ Km.}$$

Distancia del punto medio del enlace

Cálculo:

$$H_{des} = \frac{H_1 * d_2 + H_2 * d_1}{D} - H_{obs} - \frac{d_1 * d_2 * 1000}{2 * k * R_o}$$

$$H_{des} = \frac{2\,091 * 0.30 + 2\,405 * 0.30}{0.60} - 2\,240 - \frac{0.30 * 0.30 * 1000}{2 * \frac{3}{4} * 6378} = 7.9947$$

$$\frac{H_{des}}{R_{F1}} > 0.6$$

$$\frac{H_{des}}{R_{F1}} = \frac{7.9947}{2.5101} = 3.1850$$

Enlace 2

$$H_1 = 2\,390 + 15 = 2\,405 \text{ m}$$

Altura de Chiriboga (Repetidor Pasivo) sumada a la altura de la antena.

$$H_2 = 3\,614 + 25 = 3\,639 \text{ m}$$

Altura San Juan sumada a la altura de la antena.

$$H_{obs} = 2551.10 \text{ m}$$

Altura corregida en el punto medio para el cual se desea obtener la altura de despeje.

$$d_1: 4.80 \text{ Km}$$

Distancia del punto medio del enlace

$$d_2: 9.60 - 4.80 = 4.80 \text{ Km.}$$

Distancia del punto medio del enlace

Cálculo:

$$H_{des} = \frac{H_1 * d_2 + H_2 * d_1}{D} - H_{obs} - \frac{d_1 * d_2 * 1000}{2 * k * R_o}$$

$$H_{des} = \frac{2\,405 * 4.80 + 3\,614 * 4.80}{9.60} - 2\,551.10 - \frac{4.80 * 4.80 * 1000}{2 * \frac{3}{4} * 6378} = 10.04$$

$$\frac{H_{des}}{R_{F1}} > 0.6$$

$$\frac{H_{des}}{R_{F1}} = \frac{467.59}{10.04} = 46.572 \text{ m}$$

A continuación se presenta un resumen de los resultados obtenidos mediante las funciones programadas: Enlace 1 y Enlace 2.

Command Window

File Edit Debug Desktop Window Help

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS ENLACE 1
Distancia del enlace en metros:
0.6

Punto	Dist (Km)	Alt (m)	Abult (m)	AltCorr (m)	AltDesp (m)	RadFres (m)	Liber_fresnel
1	0	2390	0	2390	15	0	Inf
2	0.05	2360.5	0.0016169	2360.5	18.332	1.3875	13.212
3	0.1	2340	0.0029398	2340	12.664	1.8709	6.7688
4	0.15	2311	0.0039687	2311	15.496	2.1738	7.1286
5	0.2	2280	0.0047037	2280	20.329	2.3665	8.5901
6	0.25	2250	0.0051446	2250	24.162	2.4749	9.7624
7	0.3	2240	0.0052916	2240	7.9947	2.5101	3.1851
8	0.35	2200	0.0051446	2200	21.828	2.4749	8.8196
9	0.4	2180	0.0047037	2180	15.662	2.3665	6.6182
10	0.45	2156	0.0039687	2156	13.496	2.1738	6.2086
11	0.5	2130	0.0029398	2130	13.33	1.8709	7.1252
12	0.55	2088.5	0.0016169	2088.5	28.665	1.3875	20.66
13	0.6	2066	0	2066	25	0	Inf

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS ENLACE 2
Distancia del enlace en metros:
9.6

Punto	Dist (Km)	Alt (m)	Abult (m)	AltCorr (m)	AltDesp (m)	RadFres (m)	Liber_fresnel
1	0	3614	0	3614	15	0	Inf
2	0.8	3316.2	0.41392	3316.6	210.93	5.5499	38.005
3	1.6	3074.5	0.75259	3075.3	350.75	7.4835	46.869
4	2.4	3049.4	1.016	3050.4	274.08	8.6951	31.522
5	3.2	2859	1.2041	2860.2	362.79	9.466	38.326
6	4	2730.2	1.317	2731.5	389.98	9.8998	39.393
7	4.8	2549.7	1.3547	2551.1	468.94	10.04	46.707
8	5.6	2501	1.317	2502.3	416.18	9.8998	42.039
9	6.4	2399.7	1.2041	2400.9	416.09	9.466	43.957
10	7.2	2377	1.016	2378	337.48	8.6951	38.813
11	8	2320.4	0.75259	2321.2	292.85	7.4835	39.132
12	8.8	2156.6	0.41392	2157	355.49	5.5499	64.052
13	9.6	2390	0	2390	21	0	Inf

OVR ...

Figura 3.13. Resultados de Funciones Enlace 1 y Enlace 2

Tal como se puede apreciar en las columnas de Altura de Despeje y Radio de fresnel y la última columna correspondiente a la liberación del radio de fresnel, se evidencia que existe el suficiente despeje para la realización de los radioenlaces.

3.3.2. SIMULACIÓN EN EL SOFTWARE RADIO MOBILE

Una vez constatado que es viable el enlace se procederá a realizar la correspondiente simulación en el software Radio Mobile, a continuación se presentan los resultados obtenidos. A continuación se observa la simulación realizada en el programa Rmpath, el mismo que constituye parte del paquete del software Radio Mobile.

Enlace 1

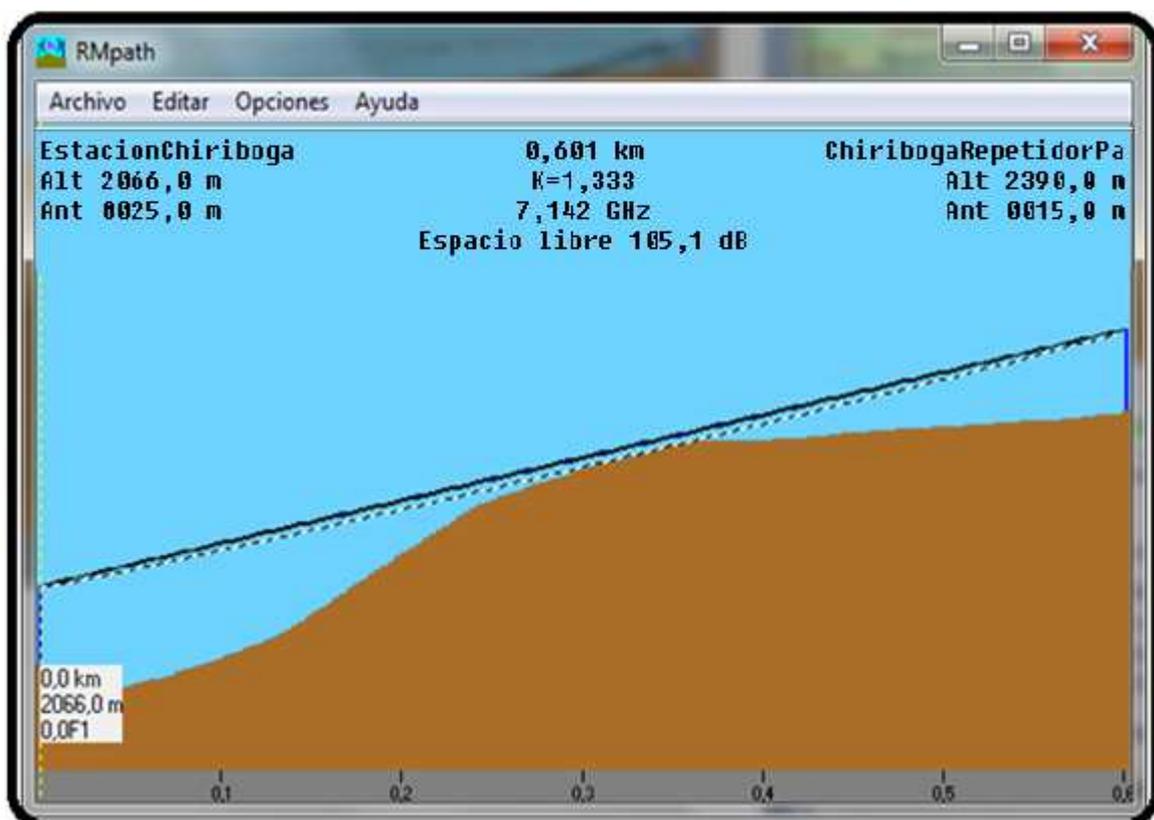


Figura 3.14. Simulación Enlace 1

Como se puede apreciar no existe ninguna obstrucción en el enlace que une la Estación Chiriboga con el Repetidor Pasivo.

Enlace 2

Como se puede apreciar no existe ninguna obstrucción en el enlace que une el Repetidor Pasivo y el Cerro Rumi Brujo.

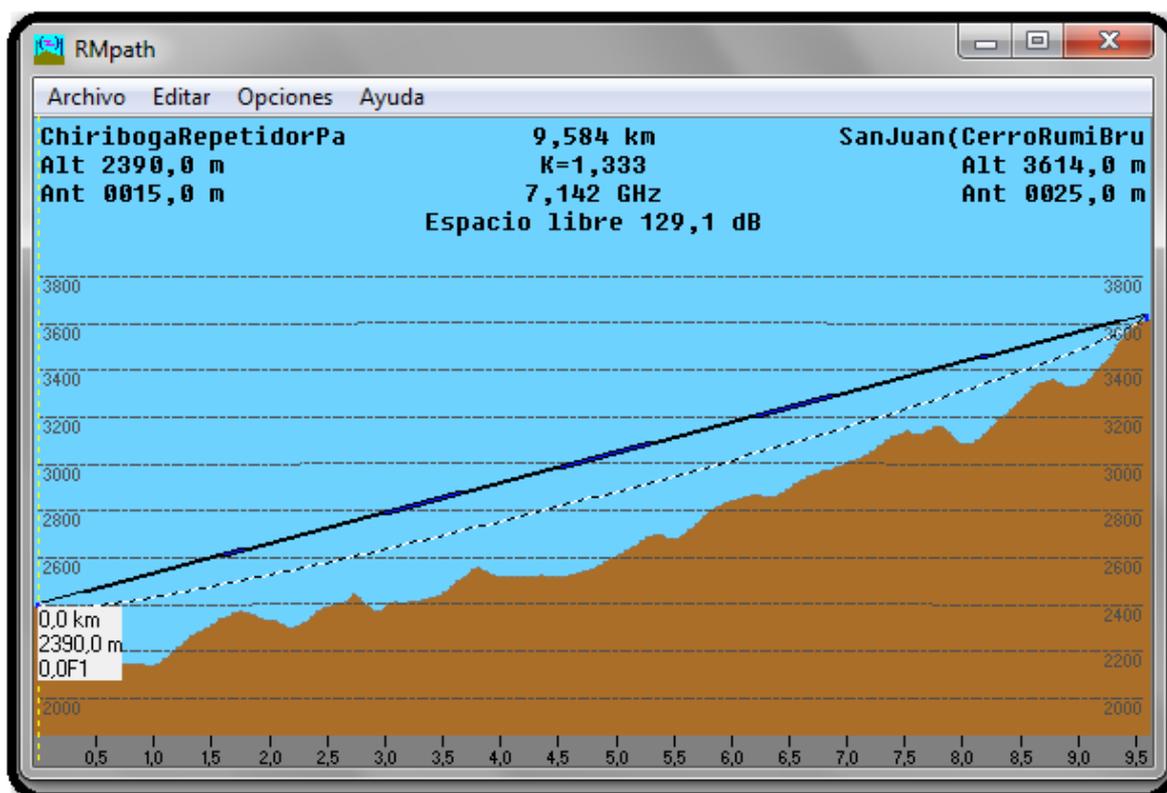


Figura 3.15. Simulación Enlace 2

Como se aprecia en las capturas de las simulaciones de cada tramo, es viable el enlace de microonda, puesto que existe línea de vista y el suficiente despeje de la zona de fresnel, el programa Rmpath provee el cálculo de de pérdidas en espacio libre, más adelante se realizará el cálculo manual de estos valores los cuales son muy similares a los realizados en la simulación.

Pérdida de Propagación en espacio libre	Trayecto 1	Trayecto 2
Simulación	105,1 dB	129,1 dB
Cálculo Manual	105,3 dB	129,12 dB

3.3.3. CÁLCULO DE ATENUACIÓN DE LA SEÑAL

A continuación se presentan los cálculos de atenuaciones de la señal en cada una de las trayectorias:

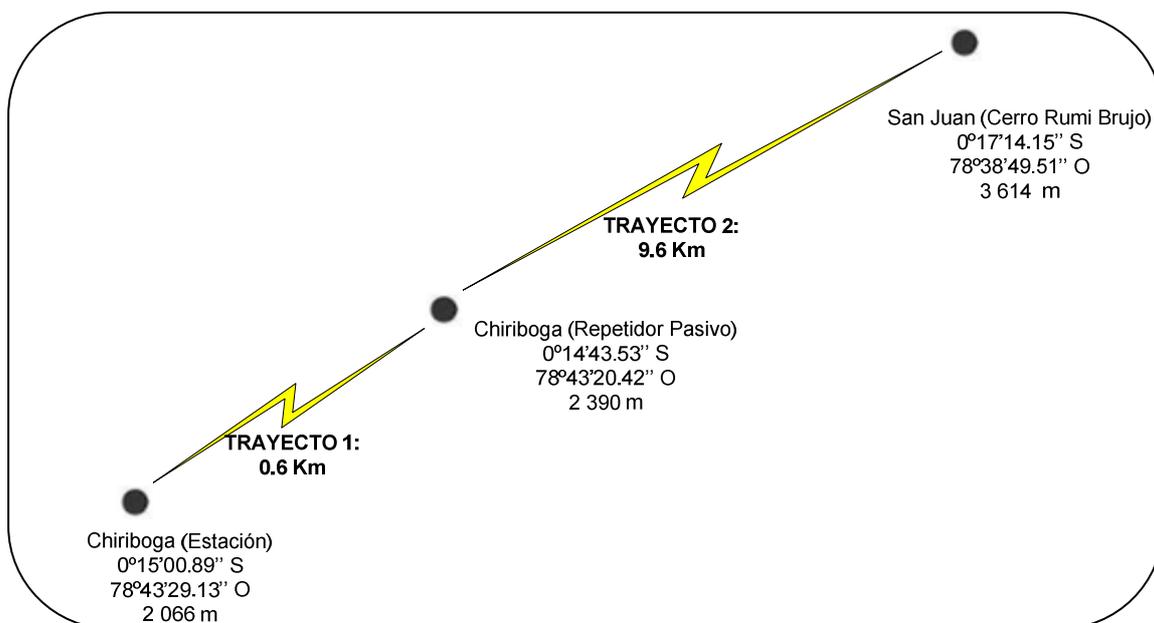


Figura 3.16. Trayectorias del Enlace

- **Pérdida por propagación en el espacio libre**

En base a la fórmula 1.9 presentada en el capítulo número uno se calculará las pérdidas por espacio libre en cada una de las trayectorias.

$$L_p = 32.4 + 20 \log f + 20 \log D \quad \text{dB}$$

En donde:

D: Distancia del enlace, dada en kilómetros.

f: Frecuencia de trabajo, dada en Mhz.

TRAYECTO 1:

$$L_p = 32.4 + 20 \log f + 20 \log D \quad \text{dB}$$

TRAYECTO 2:

- **Atenuación por lluvia**

Tal como se indica en el capítulo 1, en el numeral 1.3.4.1.5 la atenuación por lluvia debe ser calculada para frecuencias superiores a las 6 Ghz, por lo tanto ya que el presente enlace supera los 7 Ghz, a continuación se dan los términos presentados por la UIT en la Recomendación UIT-R. 838-3 denominada “Modelo de la atenuación específica debida a la lluvia para los métodos de predicción”, citando las ecuaciones de 1.10 a 1.13.

Para el cálculo de la atenuación específica se tiene la siguiente expresión:

En donde:

k , α : Son constantes que depende la frecuencia y la polarización y se las puede obtener de la siguiente tabla .

Frecuencia (GHz)	k_H	α_H	k_V	α_V
1	0,0000259	0,9691	0,0000308	0,8592
1,5	0,0000443	1,0185	0,0000574	0,8957
2	0,0000847	1,0664	0,0000998	0,9490
2,5	0,0001321	1,1209	0,0001464	1,0085
3	0,0001390	1,2322	0,0001942	1,0688
3,5	0,0001155	1,4189	0,0002346	1,1387
4	0,0001071	1,6009	0,0002461	1,2476
4,5	0,0001340	1,6948	0,0002347	1,3987
5	0,0002162	1,6969	0,0002428	1,5317
5,5	0,0003909	1,6499	0,0003115	1,5882
6	0,0007056	1,5900	0,0004878	1,5728
7	0,001915	1,4810	0,001425	1,4745
8	0,004115	1,3905	0,003450	1,3797
9	0,007535	1,3155	0,006691	1,2895

La polarización es vertical, por tanto en base a la tabla los valores de k y α son los siguientes:

$$K = 0.001425$$

$$\alpha = 1.4745$$

El parámetro R es la intensidad de lluvia en determinado porcentaje de tiempo p (R_p), la Recomendación UIT-R P.837.5 denominado "Características de la precipitación para establecer modelos de propagación", esta recomendación presente ficheros digitales programados en Matlab, que devuelven el valor numérico de parámetro R , que es la intensidad de lluvia medido en (mm/h), los ficheros se pueden descargar libremente de la página web de UIT-R, dedicada a la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones.

$$R_{0.01\%} = \frac{1}{1 + \frac{D}{35 \cdot e^{(-0.015 \cdot R)}}$$

De la ejecución de los ficheros se obtiene que el valor de R para las trayectorias es el siguiente:

Trayecto 1:

$$R = 57.9473 \text{ mm/h}$$

Trayecto 2:

$$R = 59.4856 \text{ mm/h}$$

En donde:

D: Longitud del vano del radioenlace en Km

Trayecto 1

$$R_{0.01\%} = \frac{1}{1 + \frac{0.6}{35 \cdot e^{(-0.015 \cdot 57.9473)}}} = 0.9607$$

Trayecto 2

$$R_{0.01\%} = \frac{1}{1 + \frac{9.6}{35 \cdot e^{(-0.015 \cdot 59.4856)}}} = 0.599$$

Ahora debemos calcular la longitud efectiva L_E :

$$L_E = d \cdot R_p$$

Trayecto 1

$$L_E = 0.6 \cdot 0.9607 = 0.58 \text{ Km}$$

Trayecto 2

$$L_E = 9.6 \cdot 0.599 = 5.75 \text{ Km}$$

Finalmente la atenuación por lluvia es:

$$A_p = \gamma \cdot L_E$$

Para lo cual calcularemos la atenuación específica en cada trayecto

Trayecto 1

$$\gamma = k \cdot R_p^\alpha$$

$$\gamma = 0.001425 * 0.9607^{1.4745} = 0.001343$$

$$A_p = \gamma * L_E$$

$$A_p = 0.001327 * 0.58 = 0.0007 \text{ dB}$$

Trayecto 2

$$\gamma = k \cdot R_p^\alpha$$

$$\gamma = 0.001425 * 0.599^{1.4745} = 0.00066932$$

$$A_p = \gamma * L_E$$

$$A_p = 0.00066932 * 5.75 = 0.0039 \text{ dB}$$

En cada trayectoria la señal se atenúa según los siguientes valores:

$$\text{Trayecto 1} = L_p + L_E$$

$$\text{Trayecto 1} = 105.03 + 0.0007 = \mathbf{105.031 \text{ dB}}$$

$$\text{Trayecto 2} = L_p + L_E$$

$$\text{Trayecto 2} = 129.12 + 0.0039 = \mathbf{129.124 \text{ dB}}$$

Estos dos últimos valores constituyen la atenuación por propagación cada uno de los tramos.

3.3.4. REPETIDORES PASIVOS ⁴²

Hay dos tipos de repetidores pasivos en uso. Uno consiste en dos antenas parabólicas conectadas espalda con espalda a través de un pequeño pedazo de línea de transmisión. El otro, es un reflector plano de tipo reflector de metal que actúa como un espejo de microondas.

Los repetidores pasivos se utilizan para cambiar la dirección de la señal de radio, a fin de superar los obstáculos en una línea de vista obstruida, también se

⁴² Lehpamer, Harvey (2010). *Microwave Transmission Networks: planning, design, and deployment (second edition)*. Harvey. Mc Graw Hill. Página 151-158.

emplean cuando el costo en la implementación de un repetidor activo es demasiado elevado. Un repetidor pasivo no sólo es menos caro de construir que un repetidor activo, pero el costo de operación también se reduce sustancialmente.

Los repetidores pasivos tienen una gran ventaja sobre los repetidores activos desde el punto de vista ecológico, ya que no es necesario prever vías de acceso, ni requieren la utilización de líneas de alimentación hasta el sitio de repetición, además requieren un mantenimiento mínimo y se puede visitar a caballo, pie o en helicóptero cuando sea necesario, adicionalmente los repetidores pasivos son casi siempre menos costoso de instalar y operar, al tiempo que ofrece una alta fiabilidad.

3.3.4.1. Cálculo de diseño utilizando un repetidor pasivo tipo espejo ⁴³

Los reflectores planos reflejan la señal de microondas de la misma manera que los espejos reflejan la luz, allí su nombre, un reflector pasivo tipo espejo consta de una superficie plana y reflexiva que realiza los cambios en la dirección del rayo para evitar el obstáculo. La eficacia y el rendimiento de la utilización de esta configuración está dada por la superficie del reflector, es decir su altura y anchura, y el ángulo formado entre el rayo incidente y reflejado. Generalmente este tipo de repetidores es utilizado para bandas de baja frecuencia entre 2 a 11 GHz, en la actualidad algunos fabricantes están produciendo repetidores pasivos de alto rendimiento para frecuencias por encima de los 11 GHz. En general el tamaño de los repetidores pasivos planos puede variar de entre: 8 x 10 pies (2.44 x 3.04 m) hasta 40 x 60 pies (12.2 x 18.3 m).

Los repetidores pasivos son generalmente diseñados para resistir la velocidad del viento que oscila entre 125 mph y vientos fuertes de 240 mph de viento, pero existen otras inclemencias de tiempo, como las bajas temperaturas para lo cual los Reflectores pasivos suelen estar disponibles con tela de nylon recubierto de

⁴³ Universidad Nacional de Ingeniería, Lima Perú, enlace web: <http://aniak.uni.edu.pe/>

plástico y marco de tubo de PVC con el espacio de la tela hacia fuera de la superficie reflectante, la tela no evitará la acumulación de hielo, pero ayudará a arrojar el hielo después de una cierta acumulación se ha producido.

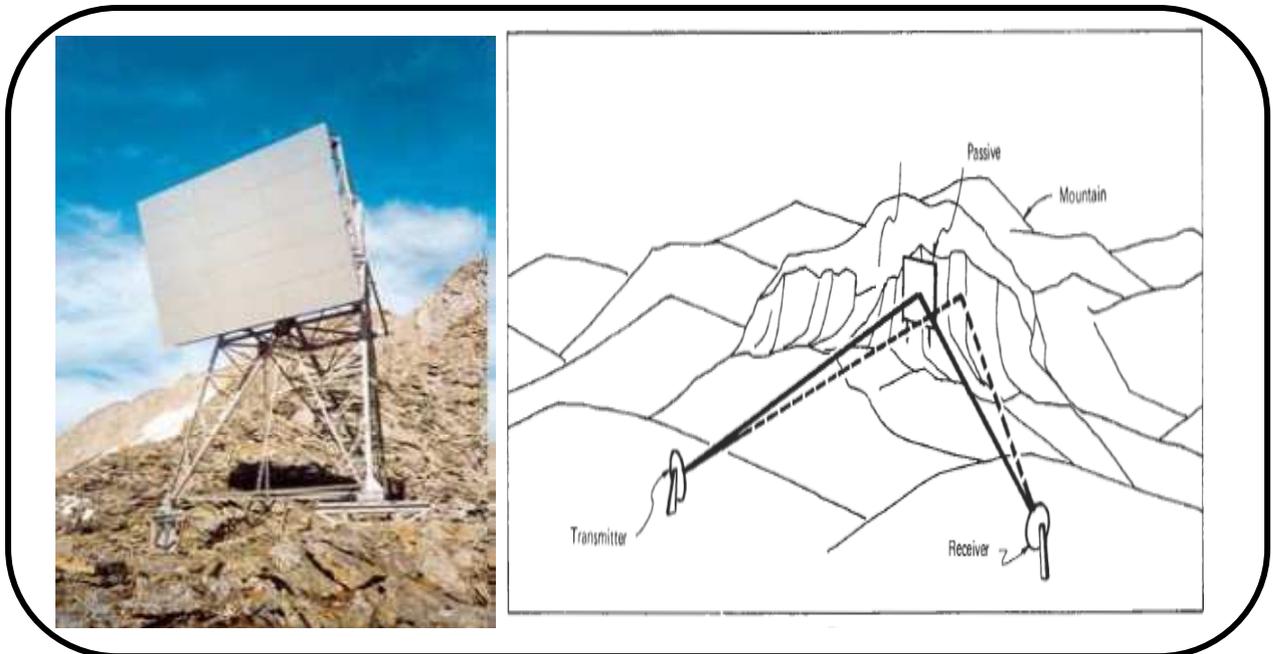


Figura 3.17. Repetidor tipo espejo ⁴⁴

La eficacia de un repetidor pasivo es una función inversa del producto de las longitudes de los dos caminos y no la suma de las longitudes de trayectoria, como uno podría esperar. Esto significa que es muy conveniente mantener uno de los caminos muy cortos.

La regla general es que un repetidor pasivo eficiente puede ser diseñado si el producto de la longitud de las trayectorias no exceda de 30 para enlaces en la banda de 6 GHz y 50 enlaces para enlaces a frecuencias más altas (por encima de 11 GHz). Al mismo tiempo, el ángulo comprendido entre los caminos horizontales debe ser inferior a 130°. Por supuesto, estas cifras son sólo directrices generales y no debe utilizarse como criterio estricto diseño.

⁴⁴ Passive Repeater Engineering, Manual 161 A, 1894

Se puede calcular una pérdida total por trayectoria con la siguiente expresión, observar la figura:

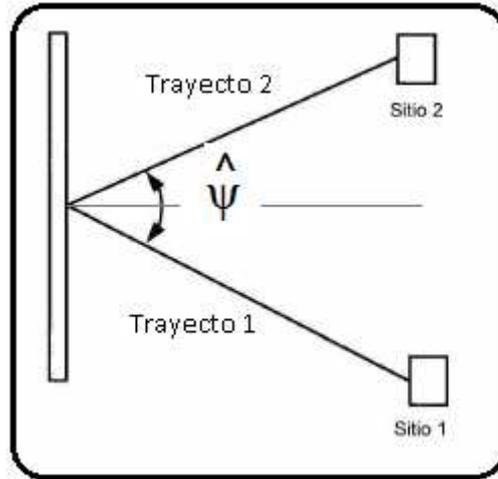


Figura 3.18. Ángulo de reflexión

$$\text{Net path loss} = \text{FSL}_1 + \text{FSL}_2 - G_1 - G_2 - G_3 \quad \text{Ecuación 3.5}$$

En Donde:

FSL_1 : Pérdida de espacio libre en la trayectoria 1 medido en dB.

FSL_2 : Pérdida de espacio libre en la trayectoria 2 medido en dB.

G_1, G_2 = Ganancia de las antenas en dB.

G_3 = Ganancia del reflector en espacio libre en dB

La ganancia del reflector pasivo tipo espejo se calcula con la siguiente expresión:

$$G_{\text{reflector pasivo}} = 42.8 + 40 \log f + 20 \log(a \cos \psi) \quad \text{Ecuación 3.6}$$

En donde:

f: Frecuencia de operación del enlace (Ghz)

a: Área del reflector (m^2)

ψ : Ángulo entre los trayectos

El ángulo entre los trayectos puede calcularse en proyección plana, sin embargo para trayectorias demasiado abruptas se utiliza la siguiente expresión:

$$\psi = \cos^{-1} \left(\frac{(h_R - h_A)^2 + d_A \cdot d_B \cdot 10^6 \cdot \cos \hat{\psi} - (h_R - h_A)(h_B - h_A)}{\sqrt{(d_A^2 \cdot 10^6 + (h_R - h_A)^2)(d_B^2 \cdot 10^6 + (h_R - h_B)^2)}} \right)$$

Ecuación 3.7

En donde:

h_A : Es la altura de la antena, en m, sobre el nivel del mar en el sitio 1

h_B : Es la altura de la antena, en m, sobre el nivel del mar en el sitio 2

h_R : Es la altura, en m, sobre el nivel del mar del centro del reflector pasivo

d_A : Es la distancia desde el emplazamiento A al punto del reflector en Km

d_B : Es la distancia desde el emplazamiento B al punto del reflector en Km

ψ^{\wedge} : Es el ángulo en el punto de reflexión, en grados, en proyección plana

También es posible la utilización de dos reflectores planos tal como se muestra en la figura, aunque esta aplicación de reflectores planos doble es limitada debido a los costos y la dificultad de la alineación del enlace radio.

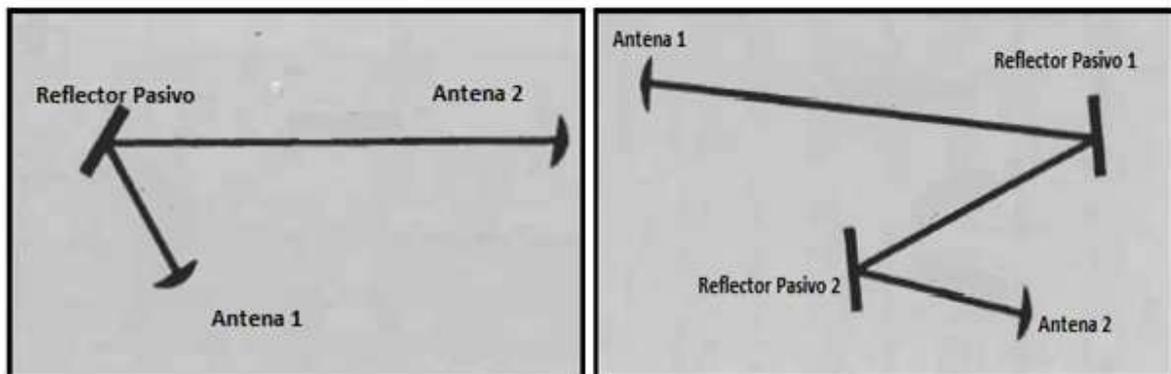


Figura 3.19. Reflectores pasivos

A continuación se presentan los cálculos para la utilización de un reflector pasivo tipo espejo en el Enlace San Juan – Chiriboga.

Para el siguiente cálculo tomaremos como referencia antenas en los extremos del enlace con ganancias de 44 dB y un reflector pasivo tipo espejo de dimensiones 24' x 30' (pies) lo que en metros sería 7.3153 x 9.14400 (metros), lo que implica un área del reflector de 66.8911 m².

Además se tomará como referencia una potencia de transmisión del radio de microondas de 24 dBm y un umbral de recepción de -87.5 dBm, tal como se explica más adelante en el apartado sobre radio de microondas.

Tal como se muestra en la figura a continuación.

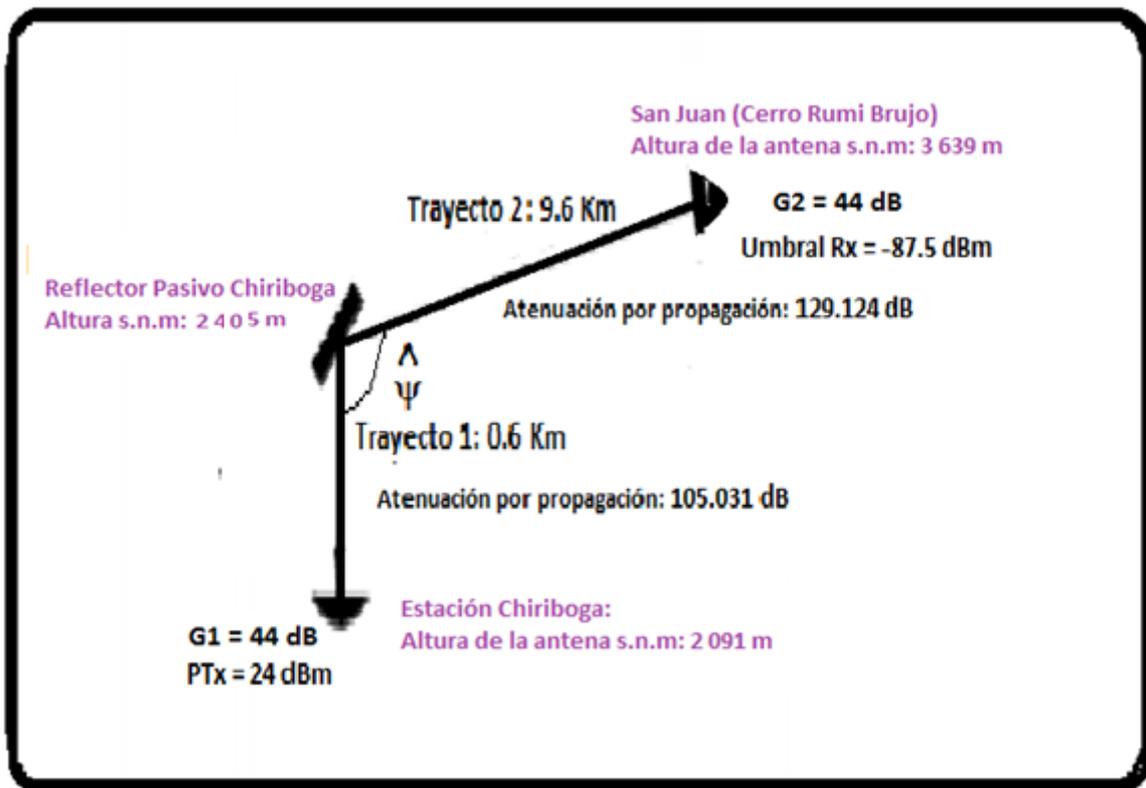


Figura 3.20. Enlace San Juan - Chiriboga utilizando un repetidor tipo espejo

El ángulo $\hat{\Psi}$ es calculado por simple geometría, utilizando ley de cosenos, de la siguiente forma:

$$D_{\text{SanJuan-EstaChiriboga}}^2 = \text{Trayecto}_1^2 + \text{Trayecto}_2^2 - 2 * \text{Trayecto}_1 * \text{Trayecto}_2 * \cos \hat{\Psi}$$

Reemplazando:

$$9.578^2 = 0.6^2 + 9.6^2 - 2 * 0.6 * 9.6 * \cos \hat{\Psi}$$

De donde el ángulo en el punto de reflexión en proyección plana es:

$$\hat{\Psi} = 86.10^\circ$$

Ya que las trayectorias son relativamente cortas se considera:

$$\Psi \approx \hat{\Psi}$$

La ganancia del reflector pasivo con la utilización de la ecuación 3.6.

$$G_{\text{reflector pasivo}} = 42.8 + 40 \log f + 20 \log(a \cos \psi)$$

En donde:

$$F = 7.142 \text{ Ghz}$$

Frecuencia de operación del enlace (Ghz)

$$A = 66.8911 \text{ m}^2$$

Área del reflector (m²)

$$\Psi = 86.10^\circ$$

Ángulo entre los trayectos

Reemplazando valores se tiene:

$$G_{\text{reflector pasivo}} = 42.8 + 40 \log 7.142 + 20 \log (66.8911 \cos 86.10^\circ)$$

$$G_{\text{reflector pasivo}} = \mathbf{90.112 \text{ dB}}$$

Para conocer la pérdida en la trayectoria total del enlace se utilizará la ecuación 3.5.

$$\mathbf{Net \ path \ loss = FSL_1 + FSL_2 - G_1 - G_2 - G_3}$$

En Donde:

$$FSL_1 = 105.031 \text{ dB}$$

Atenuación por propagación en la trayectoria 1.

$$FSL_2 = 129.124 \text{ dB}$$

Atenuación por propagación en la trayectoria 2.

$$G_1, G_2 = 44 \text{ dB}$$

Ganancia de las antenas en dB.

$$G_3 = 90.112 \text{ dB}$$

Ganancia del reflector.

$$\text{Net path loss} = 105.031 + 129.124 - 44 - 44 - 90.112$$

$$\text{Net path loss} = 56.043 \text{ dB}$$

3.3.4.2. Cálculo de diseño utilizando un repetidor pasivo tipo back – to – back

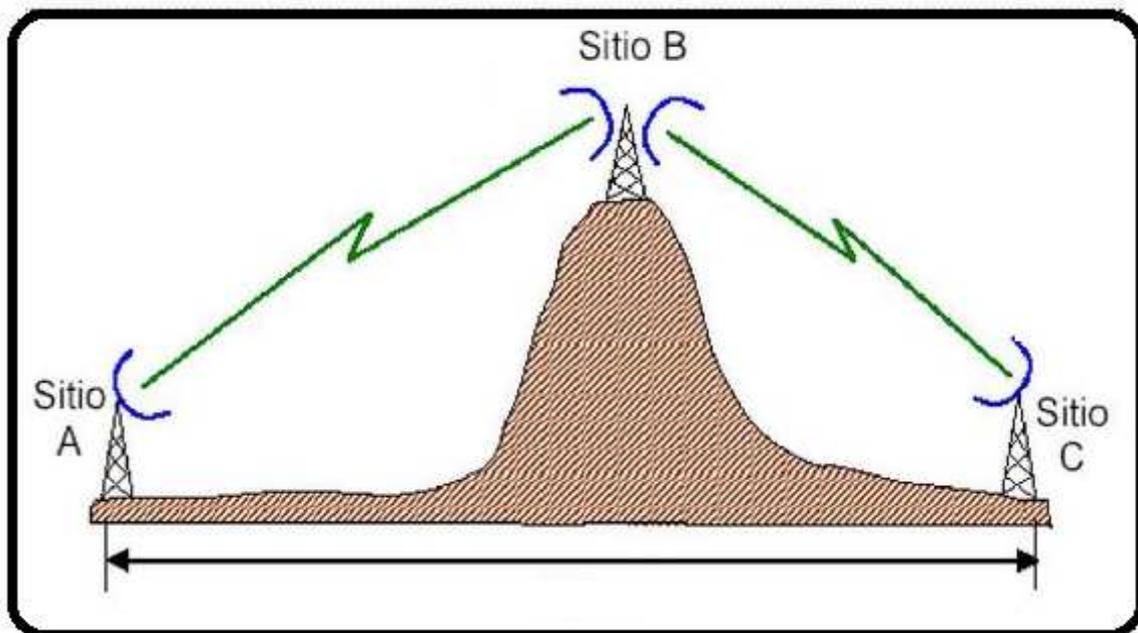


Figura 3.21. Enlace back-to-back

Un arreglo Back-to-back de antenas funciona como un repetidor, pero sin generar señales de radio frecuencia. Los arreglos de antenas Back-to-back son prácticos cuando el ángulo de reflexión es grande, por lo que actualmente se utilizan en ambientes suburbanos, mientras que los reflectores planos, debido a su gran

tamaño, se utilizan en aplicaciones rurales. Generalmente los repetidores back-to-back suelen ser utilizados sólo en enlaces cortos, normalmente de unos pocos kilómetros. Un arreglo Back-to-back de antenas constan de dos antenas conectadas por una guía de ondas o un cable coaxial corto tal como se muestra en la figura, la longitud total de la ruta, y la pérdida introducida por la guía de onda se incluyen en el diseño del enlace.

El camino del radio se divide en dos "trayectorias", cada tramo tiene su propia atenuación por espacio libre. La pérdida total de la trayectoria en decibelios se calcula como sigue:

$$A = (FSL_1 - G_1 - G_{1R}) + A_{CL} + (FSL_2 - G_2 - G_{2R}) \quad [\text{dB}] \quad \text{Ecuación 3.8}$$

En donde:

G_1, G_2 = Ganancia de las antenas de transmisión y recepción en dB

G_{1R}, G_{2R} = Ganancia de las antenas repetidoras en dB

FSL_1, FSL_2 = Atenuación por propagación en cada trayecto en dB

A_{CL} = Pérdidas de acoplamiento entre las antenas repetidoras en dB

Las atenuaciones adicionales de gas como la atenuación de la lluvia deben ser añadidas en la atenuación por propagación; algunos autores recomiendan que las antenas en el repetidor de back-to-back sean ortogonalmente polarizadas, es decir, una antena debe estar polarizada verticalmente mientras la otra antena horizontalmente y viceversa.

A continuación se presentan los cálculos para la utilización de un arreglo de antenas back-to-back en el enlace San Juan – Chiriboga, utilizando los mismos parámetros que para los cálculos efectuados con el repetidor pasivo tipo espejo y adicionalmente una considerando una ganancia de 32 dB para cada una de las antenas del arreglo pasivo.

$$A = (FSL_1 - G_1 - G_{1R}) + A_{CL} + (FSL_2 - G_2 - G_{2R}) \quad [\text{dB}]$$

En donde:

$$G_1, G_2 = 44 \text{ dB}$$

$$G_{1R}, G_{2R} = 32 \text{ dB}$$

$$FSL_1 = 105.031 \text{ dB}$$

$$FSL_2 = 129.124 \text{ dB}$$

A_{CL} : Las pérdidas de acoplamiento entre las antenas repetidoras se las calcula considerando la atenuación en la guía de onda que une las antenas del arreglo back-to-back y el tamaño de la misma, se tomará como referencia el valor de pérdida y de 0.4 db/m y una longitud de un metro de la guía de onda, por cuanto la pérdida por acoplamiento será: $A_{CL} = 0.4 \text{ dB}$.

$$A = (105.031 - 44 - 32) + 0.4 + (129.124 - 44 - 32)$$

$$A = (29.031) + 0.4 + (53.124)$$

$$A = 82.555 \text{ dB}$$

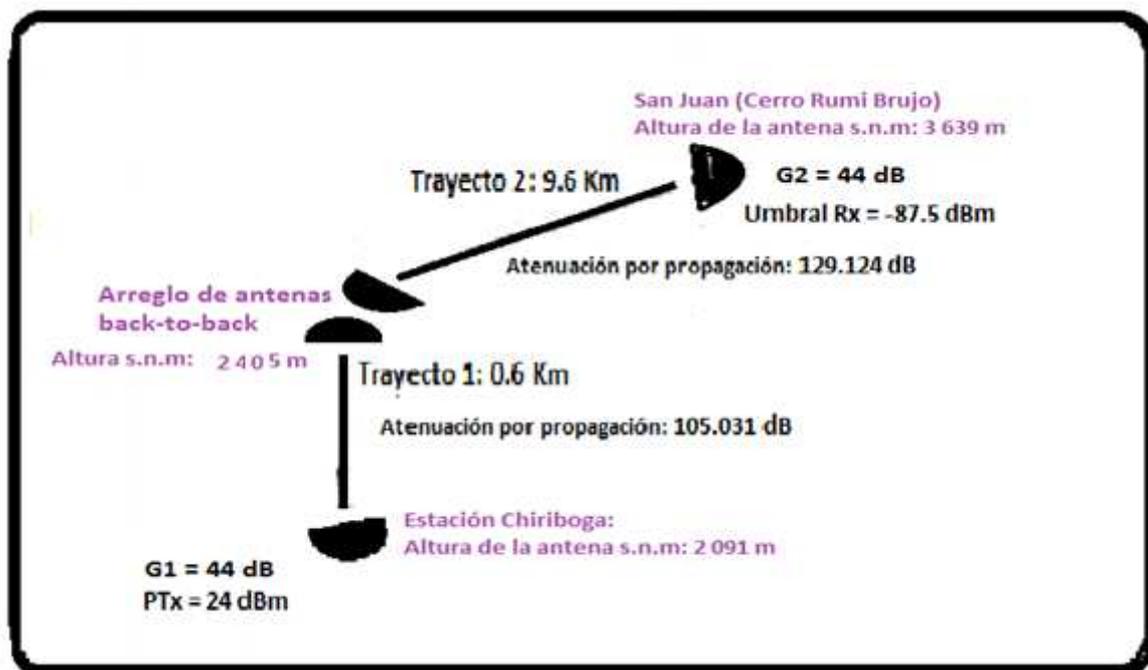


Figura 3.22. Enlace San Juan - Chiriboga utilizando un arreglo de antenas back-to-back

Una vez analizados los métodos para la realización del enlace en diseño se presenta el siguiente esquema, el mismo que constituye la disposición de lugares equipos y antenas del enlace San Juan – Chiriboga con la utilización de un arreglo de repetidores pasivos back-to-back, el mismo que permite superar el obstáculo de línea de vista analizado en el capítulo dos.

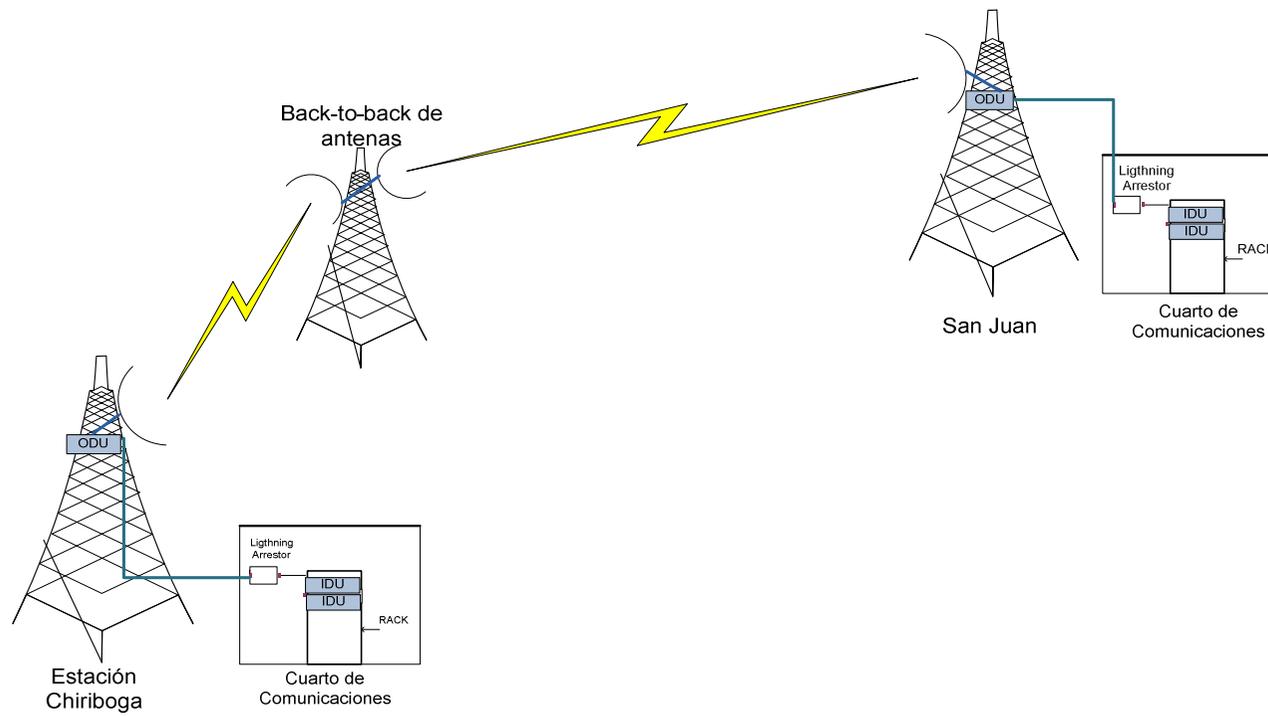


Figura 3.23. Esquema enlace San Juan Chiriboga

3.3.5. POTENCIA DE RECEPCIÓN

Para el cálculo de la potencia de recepción se utiliza la ecuación de balance.

$$P_r = P_{tx} - A$$

En donde:

P_r: Potencia recibida en el lugar de recepción, en dBm

P_{tx}: Potencia de transmisión, en dBm

A: Pérdida total en el trayecto completo del enlace en dB

$$P_r = 24 - 82.555$$

$$P_r = -61.555 \text{ dBm}$$

3.3.6. MARGEN DE UMBRAL

El margen de umbral de un sistema es la diferencia existente entre la potencia recibida en el receptor y el umbral de sensibilidad del receptor, se utilizará la ecuación 1.15 para su cálculo.

$$MU = P_{RX} - U_{RX}$$

En donde:

MU: Margen de umbral, en dB

P_{RX}: -61.555 dBm

Potencia de recepción, en dBm

U_{RX}: -87.5 dBm

Umbral de recepción o sensibilidad del equipo receptor

$$MU = -61.555 - (-87.5) = \mathbf{25.945 \text{ dB}}$$

3.3.7. MARGEN DE DESVANECIMIENTO

El margen de desvanecimiento relaciona la confiabilidad del enlace con otros parámetros como distancia entre estaciones, factores climáticos y geográficos, frecuencia de trabajo, para su cálculo se utilizará la ecuación 1.16.

$$FM = \underbrace{30 \log D}_{\text{Múltiples Trayectorias}} + \underbrace{10 \log(6 \cdot A \cdot B \cdot f)}_{\text{Sensibilidad Geográfica}} - \underbrace{10 \log(1 - R)}_{\text{Objetivo de Confiabilidad}} - 70$$

En donde:

FM: Margen de desvanecimiento

D: Distancia que separa el transmisor del receptor, está dada en kilómetros

A: Factor geográfico o de aspereza

B: Factor climático

f: frecuencia del enlace, en Ghz

(1 - R): Confiabilidad en cada trayecto, lo que se calcula de la siguiente forma:

Analizando el enlace total:

$$(1 - R) = \frac{0.0001 * D}{400} = \frac{0.0001 * 10.2}{400} = 2.55 \times 10^{-6}$$

Los valores de A y B se detallan a continuación, basados en las tablas que se encuentran en el capítulo uno en el apartado sobre margen de desvanecimiento.

Factor geográfico A	Tipo de suelo
A = 0.25	Terreno áspero y montañoso

Factor climático B	Tipo de clima
B = 0.25	Áreas continentales promedio

$$FM = \underbrace{30 \log D}_{\text{Múltiples Trayectorias}} + \underbrace{10 \log(6 \cdot A \cdot B \cdot f)}_{\text{Sensibilidad Geográfica}} - \underbrace{10 \log(1 - R)}_{\text{Objetivo de Confiabilidad}} - 70$$

$$FM = 30 \log(10.2) + 10 \log(6 \cdot 0.25 \cdot 0.25 \cdot 7.142) - 10 \log(2.55 \times 10^{-6}) - 70$$

$$FM = 20.43$$

El margen de desvanecimiento se lo compara con el margen de umbral calculado anteriormente, el objetivo de confiabilidad **R** ha sido satisfecho puesto que se cumple la siguiente condición:

$$MU \geq FM$$

$$25.945 \text{ dB} \geq 20.43 \text{ dB}$$

Esta relación garantiza la disponibilidad del enlace.

3.3.8. CONFIABILIDAD

En el capítulo uno se habló sobre la confiabilidad, la misma que es referida al sistema y corresponde al tiempo probabilístico en el cual un radioenlace se mantiene trabajando de manera satisfactoria sin ser afectado por el desvanecimiento, por lo tanto se calculará en primera instancia la indisponibilidad del enlace, para el cálculo de la indisponibilidad y confiabilidad se utilizarán las ecuaciones 1.18 y 1.19.

$$P = 6 \times 10^{-7} (A \cdot B) f D^3 10^{-FM/10}$$

$$R = (1 - P) \cdot 100$$

En donde:

P: Indisponibilidad

R: Confiabilidad

f: Frecuencia de trabajo, en Ghz

D: Distancia que del enlace, está dada en kilómetros

MF: Margen de desvanecimiento, en dB

A: Factor geográfico o de aspereza

B: Factor climático

Indisponibilidad

$$P = 6 \times 10^{-7} * (0.25 * 0.25) * 7.142 * 0.6^3 * 10^{-20.43/10}$$

$$P = 5.2396 \times 10^{-10}$$

Confiabilidad

$$R = (1 - P) * 100$$

$$R = (1 - 5.2396 \times 10^{-10}) * 100$$

$$R = 99.99\%$$

En el final del capítulo uno, se analizó los objetivos de calidad para radioenlaces, propuesto por la UIT; la Recomendación UIT-R F.695 recomienda que el objetivo de de disponibilidad para un radioenlace digital real de una longitud menor a 280 Km tome en cuenta las siguientes consideraciones:

U_T : 0.0336 %

Indisponibilidad porcentual propuesta por la UIT para enlaces de trayectorias menores a 280 Km.

R_T: (100 – 0.00336) % = 99.9664 %

Confiabilidad propuesta por la UIT para enlaces de trayectorias menores a 280 Km.

Para el presente enlace en cada una de las trayectorias la confiabilidad es del 99.99 % por lo que evidentemente se cumple con lo propuesto por la UIT. Lo que se verá reflejado en el desempeño del sistema, proporcionado de esta manera al

sistema de comunicaciones del Oleoducto Transecuatoriano calidad en la transmisión de la información requerida para la correcta explotación y transporte del crudo nacional, lo que constituye un beneficio directo al país.

3.3.9. ALINEACIÓN DE ANTENAS

Las antenas deben encontrarse alineadas correctamente, para ello los ángulos de elevación, apuntamiento y acimut son requeridos y se los describe a continuación.

- **Ángulo de elevación:** Es el ángulo formado entre la dirección de viaje de la señal transmitida y la horizontal.
- **Ángulo de apuntamiento:** Es el ángulo que relaciona las diferencias de posicionamiento geográfico de cada punto.
- **Ángulo de acimut:** Es el ángulo formado entre la dirección de viaje de la señal transmitida y el plano vertical, este ángulo es medido desde el norte verdadera y en sentido horario.

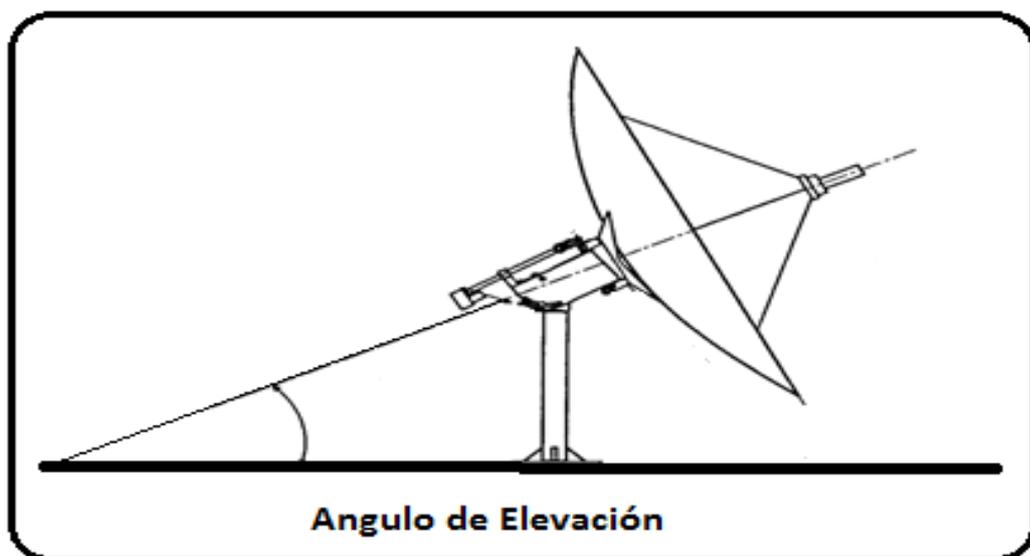


Figura 3.24. Ángulo de elevación

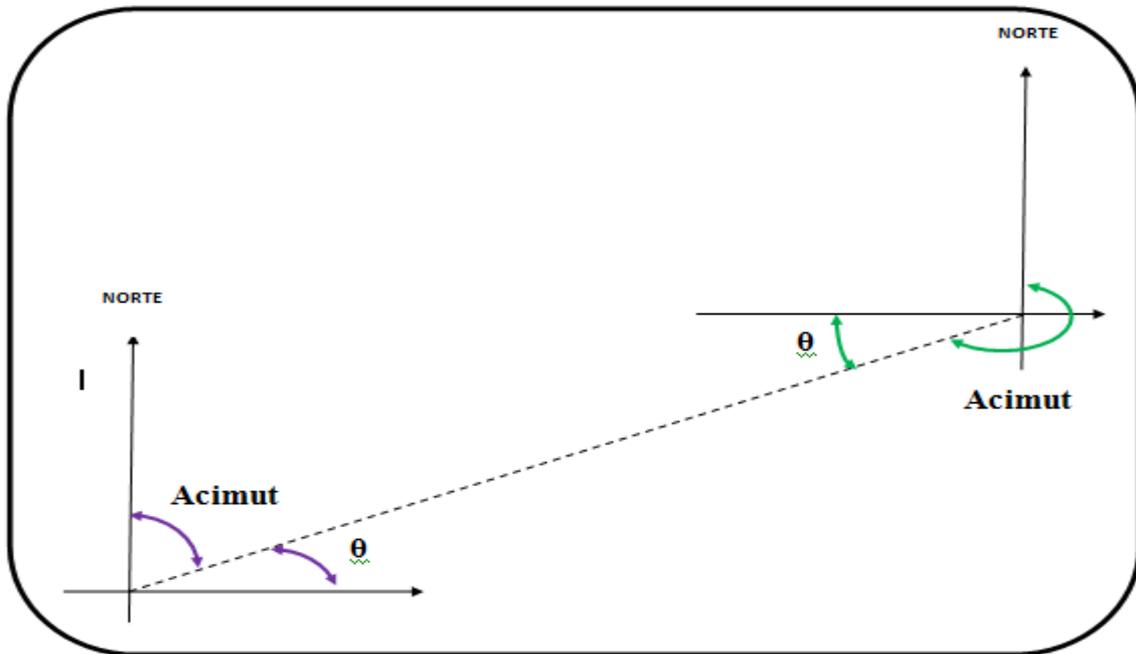


Figura 3.25. Ángulo de apuntamiento y acimut

Los cálculos de estos ángulos se los realiza por simple geometría.

Ejemplo de cálculo:

Alineación desde la Estación Chiriboga hacia el repetidor pasivo

- **Ángulo de elevación:**

$$\text{sen}\alpha = \frac{H_{\text{PasivoChiriboga}} - H_{\text{EstaciónChiriboga}}}{D_{\text{trayecto}}}$$

$$\text{sen}\alpha = \frac{2.405 - 2.091}{0.6} = \frac{0.314}{0.6}$$

$$\alpha = 31.51^\circ$$

- **Ángulo de apuntamiento:**

$$\theta = \arctg\left(\frac{\Delta\text{latitud}}{\Delta\text{longitud}}\right)$$

$$\theta = \arctg\left(\frac{0.0048}{-0.0024}\right)$$

$$\theta = -63.43^\circ$$

- **Ángulo de acimut:**

$$\angle Acimut = 90 + |\theta|$$

$$\angle Acimut = 90 + 63.43$$

$$\angle Acimut = 153.43^\circ$$

Alineación desde el repetidor pasivo hacia San Juan:

- **Ángulo de elevación:**

$$\alpha = 31.51^\circ$$

- **Ángulo de apuntamiento:**

$$\theta = -63.43^\circ$$

- **Ángulo de acimut:**

$$\angle Acimut = 153.43^\circ$$

Alineación desde el repetidor pasivo hacia San Juan:

- **Ángulo de elevación:**

$$\alpha = 7.38^\circ$$

- **Ángulo de apuntamiento:**

$$\theta = -29.03^\circ$$

- **Ángulo de acimut:**

$$\angle Acimut = 119.03^\circ$$

3.3.10. ANTENA DE MICROONDAS ⁴⁵

Una vez ejecutados los cálculos se debe realizar la elección de las antenas que se adapten al sistema, para lo cual se ha revisado el datasheet de antenas de la marca Andrew, a continuación se presenta un resumen de los requerimientos:

Cuatro antenas dispuestas de la siguiente forma:

Una antena en la Estación Chiriboga

Dos antenas conectadas espalda con espalda en el sitio de repetición.

Una antena en la Estación San Juan (Cerro Rumi Brujo)

Las antenas deberán operar en una banda de frecuencias comprendidas en el rango de 7.125 y 7.750 Ghz.

Dentro del tipo de antenas que se pueden seleccionar existen las siguientes:

3.3.10.1. Antenas Estándar

Este tipo de antenas de microondas ofrecen un rendimiento ideal para redes sin congestión, y en donde exista una probabilidad baja de interferencia, si las condiciones de trabajo son las mencionadas las antenas estándar brindan una solución económica, maximizando la eficiencia de ancho de banda y aumentando la fiabilidad del sistema, además de reduciendo al mínimo los gastos operativos y de adquisición de la antena.

⁴⁵ Enlace web página de la empresa Andrew:

<http://www.commscope.com/andrew/eng/index.html>

3.3.10.2. Antenas de alto rendimiento

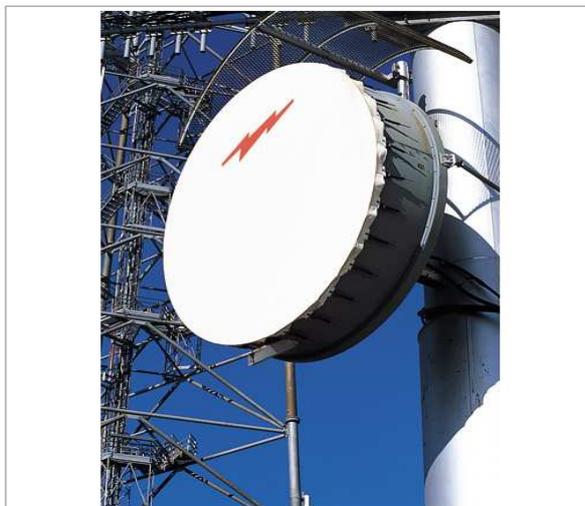
Las antenas de alto rendimiento son ideales para aplicaciones de microondas en donde la exigencia de cumplimiento de un buen patrón de radiación y coordinación de frecuencias es importante, estas antenas de microondas de punto a punto ayudan a los operadores a maximizar la eficiencia de ancho de banda, y aumentar la fiabilidad del sistema y aunque el costo de adquisición es un tanto elevado en comparación a las antenas estándar, los gastos de mantenimiento operativo no son extremadamente altos.

3.3.10.3. Antenas Andrew ValuLine

La línea de antenas ValuLine antenas ® de Andrew, proporcionan una solución rentable para todos los sistemas de microondas terrestres que operan en frecuencias entre los 7 GHz y 60. Estas antenas están disponibles en configuraciones de polarización vertical u horizontal, y en tamaños que van desde 1 pie (0,3 m) a 6 pies (1,8 m) de diámetro.

Debido a las condiciones específicas del enlace, se ha decidido utilizar antenas de alto rendimiento, en el lugar en donde se requiere colocar el repetidor pasivo, en el caso particular de la marca Andrew las antenas de alto rendimiento se denominan “ValuLine® Antennas – High Performance”, como se explicó anteriormente son más directivas, es decir que tienen menor posibilidad de interferencia, para los extremos del enlace se utilizará antenas “High Performance” ya que proporcionan mayor ganancia al sistema, a continuación se presenta un resumen de las características principales de las antenas.

HP8-71
2.4 m | 8 ft High Performance Parabolic Shielded Antenna, single-polarized, 7.125
-7.750 GHz



VHP2-71
0.6m (2 ft) High Performance
Parabolic Antenna



Figura 3.26. Antenas Andrew

A continuación se presenta un cuadro resumen de las antenas que forman parte del enlace.

UBICACIÓN	MARCA	MODELO	RANGO DE FRECUENCIAS	TIPO	GANANCIA (dBd)	DIÁMETRO
Estación Chiriboga	ANDREW	HP8-71	7100 - 8500	Parabólica	44.65	2.4
Repetidor Back-to-back	ANDREW	VHP2.71	7125-8500	Parabólica	32.25	0.6
San Juan	ANDREW	VHP8.71	7100 - 8500	Parabólica	44.65	2.4

Tabla 3.5 Características de Antenas

3.3.11. RADIO DE MICROONDAS



Figura 3.27. Radio microondas

Los radios de microondas se componen de dos módulos principales: la unidad de procesamiento de señal (SPU) y la unidad de radio frecuencia (RFU).

Las características de funcionamiento de los sistemas de radio en las bandas de microondas influyen directamente en el desempeño total de la red. Por lo tanto, el estudio de estas características se vuelve un tema vital para optimizar el sistema.

Los parámetros y sus características se definen en función de los estándares de la UIT-T, a fin de garantizar la interoperabilidad entre distintos equipos, sin que esto impida que los fabricantes puedan implementar mejoras.

Entre las características de los equipos de radio de microondas, figuran las siguientes como las principales ya que su valor determinará el diseño del enlace además de su calidad de funcionamiento.

- **Potencia de operación (Output power).** Es la potencia con la que la señal sale del equipo de transmisión. Su valor estará limitado principalmente por la regulación de cada país. Es importante resaltar que el costo del equipo se incrementará de manera proporcional a la potencia máxima de salida del equipo.
- **Umbral de sensibilidad del receptor.** Es el valor mínimo de potencia que debe tener una señal para que el receptor logre extraer la información garantizando un adecuado margen de error caracterizado por el BER (Bit Error Rate) o tasa de bits errados.
- **Rango de frecuencia de operación del equipo.** Es el rango de frecuencia dentro del cual el equipo tiene un desempeño adecuado y se ajusta a las especificaciones de diseño.
- **Capacidad.** Se mide en múltiplos enteros de E1. Representa la tasa a la que se transmite la información. 1E1 equivale a 2048kbps y usualmente se lo aproxima a la velocidad de 2Mbps.

- **Modulación.** La modulación digital permite transmitir datos con diferentes esquemas, en función de los cuales se tendrá características de las señales transmitidas como inmunidad al ruido o velocidad de transmisión.
- **Alimentación.** Los niveles de voltaje de corriente directa (VDC) que se requieren para que el equipo funcione con normalidad. El equipo para alimentar el equipo se encarece a medida que la el voltaje requerido para el funcionamiento se eleve.
- **Protección o configuración.** Es uno de los parámetros críticos para el continuo funcionamiento del enlace. En el bloque de RFU se encuentran los siguientes esquemas de protección.

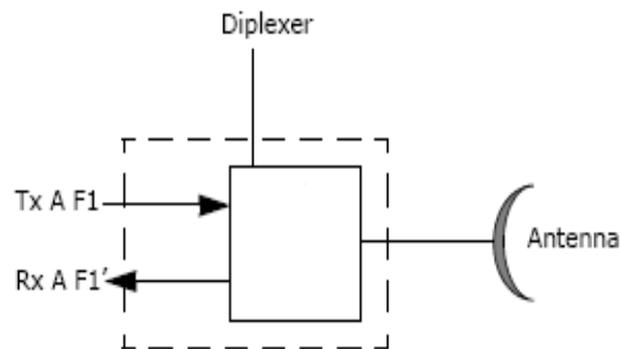


Figura 3.28. Desprotegido 1+0

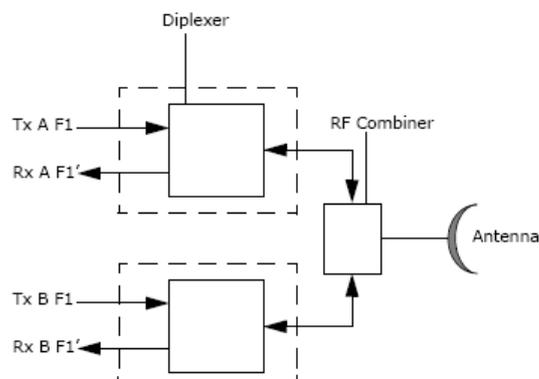


Figura 3.29. Protección 1+1 con combinador de Radio Frecuencia

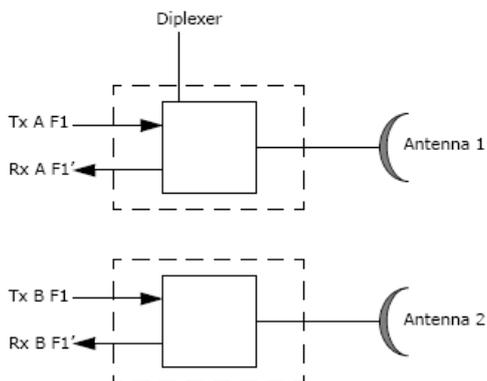


Figura 3.30. Protección 1+1 con diversidad de espacio

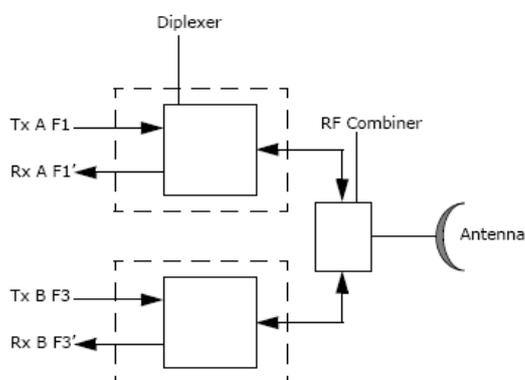


Figura 3.31. Protección 1+1 con diversidad de frecuencia y combinador de Radio Frecuencia

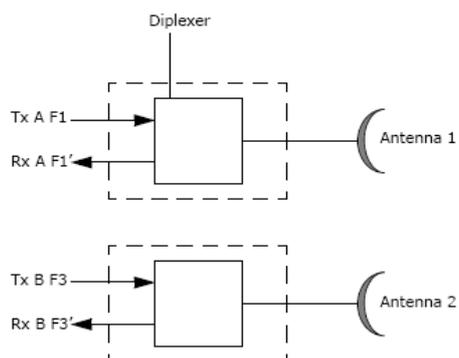


Figura 3.32. Protección 1+1 con diversidad de frecuencia/espacio

Una vez descritas las características, procedemos a realizar una comparación entre tres equipos que se ajustaron a las necesidades del enlace. Para esto, nos

valdremos de la siguiente tabla que es la matriz de comparación entre los equipos.

PARÁMETROS	MARCA / MODELO		
	ALCATEL 9400 AWY	HARRIS TRUEPOINT 5000	SIEMENS SRAL-XD
Potencia de salida máxima (dBm)	25	27	24
Sensibilidad (dBm)	-87	-87.5	-87.5
Rango de Frecuencia de operación(Ghz)	7.11-7.9	7.11-7.9	7.11-7.9
Capacidad	4 E1	4 E1	4 E1
Modulación	4 QAM	4 QAM	3CFIT32(Nota 1)
Protección	1+0 1+1 HSB 1+1 FD	TRuepoint® 5100: 1+0 1+1 (HSB, SD) 2+0 TRuepoint® 5200: 1+0; 1+1 (MHSB, FD, SD); 2+0; (Future SD N+N Configurations: 3+0; 4+0; and 2+2; 3+3; and 4+4)	El equipo puede estar configurado en uno de los siguientes modos: – terminal simple (1+0) – terminal doble 2x(1+0) – terminal con protección Hot-Standby (1+1) H/S – terminal con protección de diversidad de frecuencia (1+1) FD/PD – terminal con protección de diversidad de frecuencia o protección de diversidad de polarización (1+1) FD/PD – repetidor ADD/DROP do los tributarios A/D-RPT.
Alimentación (VDC)	-48	-48	-48

Tabla 3.5 Matriz de comparación

El equipo de radio a ser usado en los extremos del enlace es el SIEMENS SRAL-XD.

3.3.12. GUÍA DE ONDA

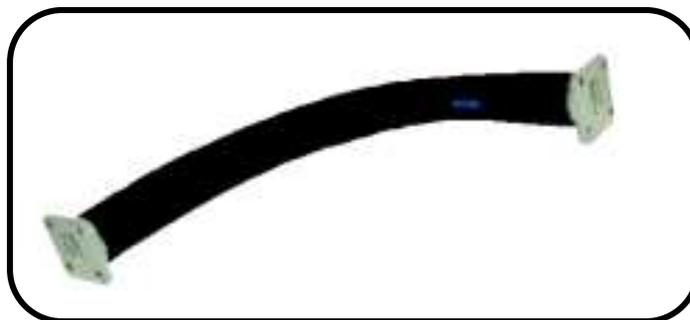


Figura 3.33. Guía de onda

Una guía de onda, es un tubo conductor hueco, normalmente de sección transversal rectangular, aunque también existen circulares y elípticas, las ondas electromagnéticas se propagan dentro del interior de la guía, las guías de onda son utilizadas para transmitir señales que se encuentran moduladas en alta frecuencia, también denominadas microondas, al igual que las antenas los fabricantes presentan catálogos que especifican las características técnicas de las guías de onda, tales como longitud, rango de frecuencias de trabajo, atenuación de la señal en función de la longitud, entre las principales. En el mercado existen diversos fabricantes, entre los más reconocidos se encuentran: ANDREW y FLEWWELL, por compatibilidad con las antenas del radioenlace se presenta la siguiente guía de onda de marca Andrew, la misma que constituye la unión entre las antenas que forman el arreglo pasivo back-to-back.

MARCA	MODELO	LONGITUD (m)	ATENUACIÓN	FRECUENCIA DE OPERACIÓN (Mhz)
ANDREW	WR112	0.3	0.4 dB/metro	7 142 - 7 303

3.3.13. SISTEMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Los equipos de radio requieren el suministro de energía eléctrica para su funcionamiento, pero no sólo basta con tener la alimentación sino que se deben considerar los siguientes puntos:

- Rango de voltaje de entrada.
- Consumo de potencia del o los equipos.
- Compatibilidad electromagnética, que se refiere a la inmunización del sistema de comunicaciones frente al ruido del sistema de energía eléctrica.
- Certificación de equipos.
- Sistema de tierra.
- Sistemas de energía de emergencia (Backup).
- Sistema de protección eléctrica.

CAPÍTULO 4

4. PRESUPUESTO PARA IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN

La factibilidad de la puesta en operación de un enlace se basa en básicamente en dos aspectos, el financiamiento y la concesión de frecuencias otorgada por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones, por este motivo en el presente capítulo se presentarán los costos referenciales de la puesta en operación del enlace y adicionalmente los formularios de Concesión de frecuencias que se deberán presentar a la SENATEL, así como el respectivo cálculo de los valores que se deberá cancelar a esta entidad por el uso del espectro radioeléctrico.

4.1. COSTOS REFERENCIALES DE IMPLEMENTACIÓN DE RADIOENLACE

A continuación se presenta los costos del radioenlace tomando en consideración los costos de equipos y personal de telecomunicaciones que permitan la puesta en operación del enlace.

4.1.1. COSTOS DE INVERSIÓN

4.1.1.1. Activos Fijos

Los activos fijos son los elementos que se mantienen durante más de un año y se utilizan para llevar a cabo la actividad de la empresa, dentro de los activos fijos se toman en consideración terrenos, edificios, automóviles, computadores y otros equipos, para el presente estudio se muestra en el siguiente cuadro el costo referencial de las antenas y equipos del enlace, con su respectivo costo unitario y total, el tiempo de vida y la depreciación en años.

La mayor parte de activos fijos poseen una vida útil limitada, la cual se debe al desgaste y deterioro por el uso o por otras condiciones como siniestros no previsto, todos estos factores causan la disminución del valor del activo, lo cual se

carga a un gasto llamado depreciación, se distribuye el costo total del activo a lo largo de su vida útil al asignar una parte del costo del activo a cada periodo el cual generalmente es anual, así la depreciación sistematiza la recuperación de los recursos necesarios para reponer los bienes una vez concluida su vida útil.

Equipos / Elementos	No.	Costo por Unidad	Costo Total	Tiempo de vida (años)	Depreciación /año
Antena ANDREW HP8-71	2	\$2.500,00	\$5.000,00	7	\$714,29
Antena ANDREW VHP2-71	2	\$1.700,00	\$3.400,00	7	\$485,71
Radio Microonda SRL-XD	2	\$12.000,00	\$24.000,00	7	\$3.428,57
Guía de Onda	4	\$450,00	\$1.800,00	7	\$257,14
TOTAL:			\$34.200,00		

Tabla 4.1. Activos Fijos

4.1.1.2. Activos Nominales *

Estos son activos intangibles, así como licencias de software, a continuación se presenta los costos por permisos de operación.

4.1.1.3. Concesión de frecuencias

El precio que se debe cancelar a la SENATEL es presentado en el siguiente formulario.

<p>CONCESIONARIO: EMPRESA PUBLICA DE HIDROCARBUROS DEL ECUADOR EP PETROECUADOR S.A. SERVICIO: FIJO TERRESTRE (ENLACES PUNTO - PUNTO)</p>									
$T(US\$) = K_a * \alpha_3 * \beta_3 * A * (D)^2$									
<p>Fórmula para el cálculo de la Tarifa Mensual:</p>									
$D_c = T (US \$) * T_c * F_{cf}$									
<p>Donde :</p> <p>T(US\$) = Tarifa mensual en dólares de los Estados Unidos de América, por frecuencia asignada Ka = Factor de ajuste por inflación α3 = Coeficiente de valoración del espectro del Servicio Fijo para enlaces punto - punto. β3 = Coeficiente de corrección para el Sistema Fijo, enlaces punto - punto. A = Anchura de Banda de la frecuencia asignada en MHz D = Distancia en kilómetros entre estacione fijas Tc = Tiempo de Concesión, valor en meses de la concesión a otorgarse al respectivo servicio y sistema Fcf = Factor de concesión de frecuencias Dc = Derecho de concesión</p>									
<p>* Se establece inicialmente el valor de 1 para Ka y β3 * Las distancias para el cálculo de la Tarifa Mensual están sujetas a parámetros máximos y mínimos (Tabla 1, Anexo 3) del Reglamento de Tarifas Vigente</p>									
ENLACE No.	FREC. Tx (MHz)	FREC. Rx (MHz)	α3 Tx	α3 Rx	β3	ANCHO DE BANDA (MHz)	DISTANCIA ENLACE (Km)	TARIFA MENSUAL T(US\$) *	DERECHOS DE CONCESION Dc(US\$) **
E1	7142	7303	0,0237509	0,0237509	1	7	0,6	47,9	89,94
E2	7142	7303	0,0237509	0,0237509	1	7	9,6	47,9	89,94
								\$ 95,8	\$ 179,88

Activo Nominal	No.	Costo Total	Tiempo de vida (años)	Amortización /año
Derecho por concesión de frecuencias	1	\$179,88	5	\$35,98

Tabla 4.2. Activos Nominales

4.1.2. COSTOS DE OPERACIÓN

Los costos de operación constituyen la suma de los recursos destinados a la implementación y puesta en marcha del proyecto, dentro del análisis de los costos se encuentra lo relacionado con el personal de telecomunicaciones.

COSTOS DE OPERACIÓN	Cantidad	Costo unitario	Costo total	Costo anual
Personal técnico especialista en telecomunicaciones	4	\$ 1.400,00	\$ 5.600,00	\$ 67.200,00
Mantenimiento	3	\$ 500,00	\$ 1.500,00	\$ 1.500,00
Capacitación	4	\$ 330,00	\$ 1.320,00	\$ 1.320,00
Tarifa mensual por uso de frecuencias	1	\$ 95,80	\$ 95,80	\$ 1.149,60
TOTAL				\$ 71.169,60

Tabla 4.3. Costos de operación

4.2. ESTUDIO REGULATORIO

Antes de instalar y operar el sistema se deberán presentar los siguientes requisitos:

4.2.1. INFORMACIÓN LEGAL

- Solicitud dirigida al Señor Secretario Nacional de Telecomunicaciones.

- Copia de la cédula de ciudadanía (para personas jurídicas, del representante legal).
- Otros documentos que la SENATEL solicite.

4.2.2. INFORMACIÓN TÉCNICA

- Estudio técnico del sistema elaborado en los formularios disponibles en la página Web del CONATEL, firmado por un ingeniero en electrónica y telecomunicaciones.

4.2.3. FORMULARIOS

La Secretaría Nacional de Telecomunicaciones establece los formularios necesarios para el trámite correspondiente a la concesión, renovación o modificación de una concesión de frecuencias; continuación se adjunta el “Instructivo Formulario de Concesión de Frecuencias” en el cual la SENATEL especifica los tipos de formularios que se deben llenar para el otorgamiento de las respectivas concesiones.

- Formulario RC-1B (Información Legal)
- Formulario RC-2A (Información de la Infraestructura del Sistema de radiocomunicaciones)
- Formulario RC-3A (Información de Antenas)
- Formulario RC-3B (Patrones de Radiación de Antenas)
- Formulario RC-4A (Información de Equipamiento)
- Formulario RC-9A (Información de enlaces punto – punto)
- Formulario RC-9B (Información de enlaces punto – multipunto)
- Formulario RC-9C (Información de sistemas móviles)
- Formulario RC-14A (Esquema del Sistema de Radiocomunicaciones)
- Formulario RC-15A (Estudio Técnico de Emisiones de RNI, cálculo de la distancia de seguridad)

Los formularios de autorización son proporcionados por el CONATEL, también pueden ser descargados directamente en su página web oficial www.conatel.gov.ec.

A continuación como parte del estudio técnico de viabilidad del enlace se presentan los formularios debidamente llenos con la información del enlace San Juan – Chiriboga, que constituyen un requisito indispensable para el otorgamiento de frecuencias.

	FORMULARIO PARA INFORMACION DE LA INFRAESTRUCTURA DEL SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES			RC - 2A Elab.: DGER Versión: 02	
	1) Cod. Cont.:				
ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES					
2) ESTRUCTURA 1					
TIPO DE ESTRUCTURA DE SOPORTE:			ALTURA DE LA ESTRUCTURA s.n.m. (m):		
			2390		
CODIGO DE REGISTRO DE LA ESTRUCTURA:			ALTURA DE LA ESTRUCTURA (BASE-CIMA) (m):		
S1					
3) UBICACION DE LA ESTRUCTURA:					
PROVINCIA	CIUDAD / CANTON	LOCALIDAD/CALLE yNo.	UBICACION GEOGRAFICA (WGS84)		
			LATITUD (S/N) (°) (') (") (S/N)	LONGITUD (W) (°) (') (") (W)	
PICHINCHA	QUITO	Via antigua Quito-Santo Domingo antes de la poblacion de Chiriboga. entre sitios Santa Ana y Zapadores.	00°14'43.53"S	78°43'20.42"W	
4) PROTECCIONES ELECTRICAS A INSTALAR EN LA ESTRUCTURA:					
PUESTA A TIERRA		SI (<input checked="" type="checkbox"/>)	NO (<input type="checkbox"/>)	PARARRAYOS	
				SI (<input checked="" type="checkbox"/>)	NO (<input type="checkbox"/>)
OTROS (Describe): Supresores de Transientes					
5) TIPO DE FUENTE DE ENERGIA A UTILIZAR:					
LINEA COMERCIAL	(<input checked="" type="checkbox"/>)	GENERADOR	(<input type="checkbox"/>)	BANCO DE BATERIAS	(<input type="checkbox"/>)
EXISTE RESPALDO (<input checked="" type="checkbox"/>)					
TIPO DE RESPALDO					
GENERADOR	(<input type="checkbox"/>)	BANCO DE BATERIAS	(<input checked="" type="checkbox"/>)	UPS	(<input type="checkbox"/>)
OTRO:					
6) PROPIETARIO DE LA ESTRUCTURA: OTECEL S.A.					
2) ESTRUCTURA 2					
TIPO DE ESTRUCTURA DE SOPORTE:			ALTURA DE LA ESTRUCTURA s.n.m. (m):		
			2066		
CODIGO DE REGISTRO DE LA ESTRUCTURA:			ALTURA DE LA ESTRUCTURA (BASE-CIMA) (m):		
S2					
3) UBICACION DE LA ESTRUCTURA:					
PROVINCIA	CIUDAD / CANTON	LOCALIDAD/CALLE yNo.	UBICACION GEOGRAFICA (WGS84)		
			LATITUD (S/N) (°) (') (") (S/N)	LONGITUD (W) (°) (') (") (W)	
PICHINCHA	QUITO	Chiriboga	00°15'00.89"S	78°43'29.13"W	
4) PROTECCIONES ELECTRICAS A INSTALAR EN LA ESTRUCTURA:					
PUESTA A TIERRA		SI (<input checked="" type="checkbox"/>)	NO (<input type="checkbox"/>)	PARARRAYOS	
				SI (<input checked="" type="checkbox"/>)	NO (<input type="checkbox"/>)
OTROS (Describe): Supresores de Transientes					
5) TIPO DE FUENTE DE ENERGIA A UTILIZAR:					
LINEA COMERCIAL	(<input checked="" type="checkbox"/>)	GENERADOR	(<input type="checkbox"/>)	BANCO DE BATERIAS	(<input type="checkbox"/>)
EXISTE RESPALDO (<input checked="" type="checkbox"/>)					
TIPO DE RESPALDO					
GENERADOR	(<input type="checkbox"/>)	BANCO DE BATERIAS	(<input checked="" type="checkbox"/>)	UPS	(<input type="checkbox"/>)
OTRO:					
6) PROPIETARIO DE LA ESTRUCTURA: OTECEL S.A.					
2) ESTRUCTURA 3					
TIPO DE ESTRUCTURA DE SOPORTE:			ALTURA DE LA ESTRUCTURA s.n.m. (m):		
			3614		
CODIGO DE REGISTRO DE LA ESTRUCTURA:			ALTURA DE LA ESTRUCTURA (BASE-CIMA) (m):		
S3					
3) UBICACION DE LA ESTRUCTURA:					
PROVINCIA	CIUDAD / CANTON	LOCALIDAD/CALLE yNo.	UBICACION GEOGRAFICA (WGS84)		
			LATITUD (S/N) (°) (') (") (S/N)	LONGITUD (W) (°) (') (") (W)	
PICHINCHA	QUITO	San Juan (Rumibrujo)	00°17'14.15"S	78° 38'49.51"W	
4) PROTECCIONES ELECTRICAS A INSTALAR EN LA ESTRUCTURA:					
PUESTA A TIERRA		SI (<input type="checkbox"/>)	NO (<input type="checkbox"/>)	PARARRAYOS	
				SI (<input type="checkbox"/>)	NO (<input type="checkbox"/>)
OTROS (Describe):					
5) TIPO DE FUENTE DE ENERGIA A UTILIZAR:					
LINEA COMERCIAL	(<input type="checkbox"/>)	GENERADOR	(<input type="checkbox"/>)	BANCO DE BATERIAS	(<input type="checkbox"/>)
EXISTE RESPALDO (<input type="checkbox"/>)					
TIPO DE RESPALDO					
GENERADOR	(<input type="checkbox"/>)	BANCO DE BATERIAS	(<input type="checkbox"/>)	UPS	(<input type="checkbox"/>)
OTRO:					
6) PROPIETARIO DE LA ESTRUCTURA:					

	FORMULARIO PARA INFORMACION DE ANTENAS		RC – 3A Elab.: DGGGER Versión: 02
			1) Cod. Cont:
2) CARACTERISTICAS TECNICAS DE LAS ANTENAS			
CARACTERISTICAS TECNICAS	ANTENA 1	ANTENA 2	
CODIGO DE ANTENA:	A1	A2	
MARCA:	ANDREW	ANDREW	
MODELO:	VHP2-71	HP8-71	
RANGO DE FRECUENCIAS (MHz):	7125-8500	7100 - 8500	
TIPO:	Parabólica	Parabólica	
IMPEDANCIA (ohmios):	50/75	50/75	
POLARIZACION:	V	V	
GANANCIA (dBd):	32,25	44,65	
DIÁMETRO (m):	0,6	2,4	
AZIMUT DE RADIACION MAXIMA (°):	4,8	2,4	
ANGULO DE ELEVACION (°):	25,00	5,00	
ALTURA BASE-ANTENA (m):	15	25	
2) CARACTERISTICAS TECNICAS DE LAS ANTENAS			
CARACTERISTICAS TECNICAS	ANTENA 3	ANTENA 4	
CODIGO DE ANTENA:			
MARCA:			
MODELO:			
RANGO DE FRECUENCIAS (MHz):			
TIPO:			
IMPEDANCIA (ohmios):			
POLARIZACION:			
GANANCIA (dBd):			
DIÁMETRO (m):			
AZIMUT DE RADIACION MAXIMA (°):			
ANGULO DE ELEVACION (°):			
ALTURA BASE-ANTENA (m):			
2) CARACTERISTICAS TECNICAS DE LAS ANTENAS			
CARACTERISTICAS TECNICAS	ANTENA 5	ANTENA 6	
CODIGO DE ANTENA:			
MARCA:			
MODELO:			
RANGO DE FRECUENCIAS (MHz):			
TIPO:			
IMPEDANCIA (ohmios):			
POLARIZACION:			
GANANCIA (dBd):			
DIÁMETRO (m):			
AZIMUT DE RADIACION MAXIMA (°):			
ANGULO DE ELEVACION (°):			
ALTURA BASE-ANTENA (m):			
NOTA: Se debe adjuntar las copias de los catálogos de las mencionadas antenas.			

	FORMULARIO PARA INFORMACION DE EQUIPAMIENTO			RC – 4A Elab.: DGER Versión: 02
				1) Cod. Cont:
2) CARACTERISTICAS TECNICAS DE LOS EQUIPOS				
TIPO DE ESTACION:	S1	S3		
CODIGO DEL EQUIPO:	E1	E1		
MARCA:	SIEMENS	SIEMENS		
MODELO:	SRAL XD	SRAL XD		
ANCHURA DE BANDA (kHz) o (MHz):	7 Mhz	7 Mhz		
SEPARACION ENTRE Tx Y Rx (MHz):	161 Mhz	161 Mhz		
TIPO DE MODULACION:	3CFIT32(propietario)	3CFIT32(propietario)		
VELOCIDAD DE TRANSMISION (Kbps):	8448	8448		
POTENCIA DE SALIDA (Watts):	0,15	0,15		
RANGO DE OPERACION (MHz):	7100 - 7900	7100 - 7900		
SENSIBILIDAD (μ V) o (dBm):	-87,5	-87,5		
MAXIMA DESVIACION DE FRECUENCIA (kHz):	245	245		
2) CARACTERISTICAS TECNICAS DE LOS EQUIPOS				
TIPO DE ESTACION:				
CODIGO DEL EQUIPO:				
MARCA:				
MODELO:				
ANCHURA DE BANDA (kHz) o (MHz):				
SEPARACION ENTRE Tx Y Rx (MHz):				
TIPO DE MODULACION:				
VELOCIDAD DE TRANSMISION (Kbps):				
POTENCIA DE SALIDA (Watts):				
RANGO DE OPERACION (MHz):				
SENSIBILIDAD (μ V) o (dBm):				
MAXIMA DESVIACION DE FRECUENCIA:				
2) CARACTERISTICAS TECNICAS DE LOS EQUIPOS				
TIPO DE ESTACION:				
CODIGO DEL EQUIPO:				
MARCA:				
MODELO:				
ANCHURA DE BANDA (kHz) o (MHz):				
SEPARACION ENTRE Tx Y Rx (MHz):				
TIPO DE MODULACION:				
VELOCIDAD DE TRANSMISION (Kbps):				
POTENCIA DE SALIDA (Watts):				
RANGO DE OPERACION (MHz):				
SENSIBILIDAD (μ V) o (dBm):				
MAXIMA DESVIACION DE FRECUENCIA:				

	FORMULARIO PARA EL SERVICIO FIJO TERRESTRE (ENLACES PUNTO-PUNTO)	RC - 6A Elab.: DGER Versión: 01
		1) Cod. Cont:

2) **CARACTERISTICAS DE OPERACION POR ENLACE**

No. ENLACE	BANDA DE FRECUENCIAS: () SHF	RANGO EN LA BANDA REQUERIDA: 7142-7303	No. DE FRECUENCIAS POR ENLACE: 2
3) MODO DE OPERACIÓN SIM PLEX SEM IDUPLEX EUL LDUPLEX (FUL)		4) ANCHURA DE BANDA (KHz): 7000,00	5) CLASE DE EMISION: 7MOOM7D
			6) POTENCIA DE OPERACIÓN (Watts): 0,150

7) **CARACTERISTICAS DE LAS ESTACIONES FIJAS**

INDICATIVO	AC. (A.M.,E)	ESTRUCTURA ASOCIADA:	ANTENA(S) ASOCIADA(S):	EQUIPO UTILIZADO:
F1	A	S1	A2	E1
F2	A	S2	A1	Repetidor

8) **CARACTERISTICAS TECNICAS DEL ENLACE**

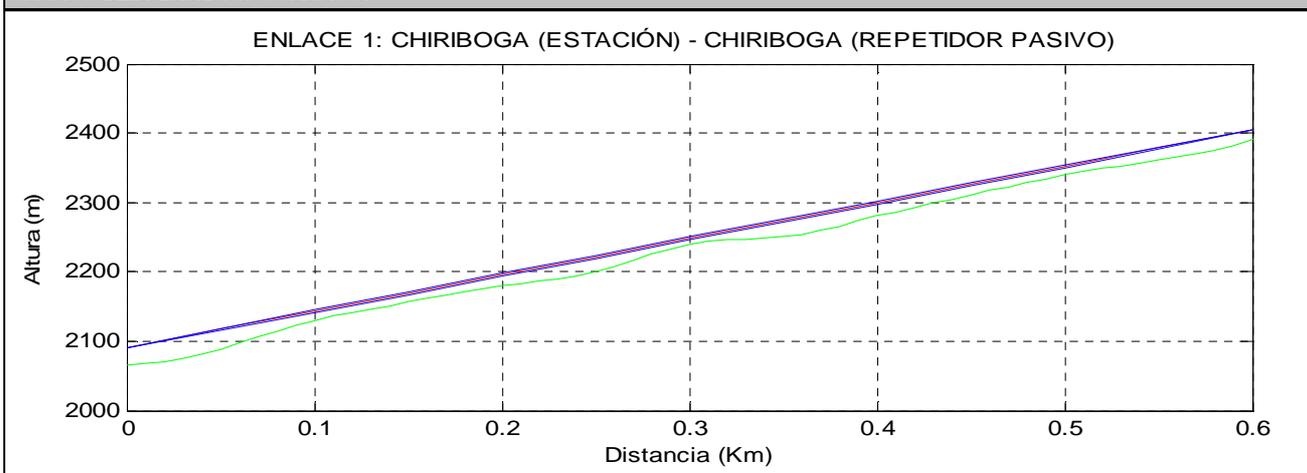
DISTANCIA DEL ENLACE (Km):	0,6 Km	MARGEN DE DESVANECIMIENTO (dB):	15,81	CONFIABILIDAD (%):	99,99000
----------------------------	---------------	---------------------------------	--------------	--------------------	-----------------

9) **PERFIL TOPOGRAFICO**

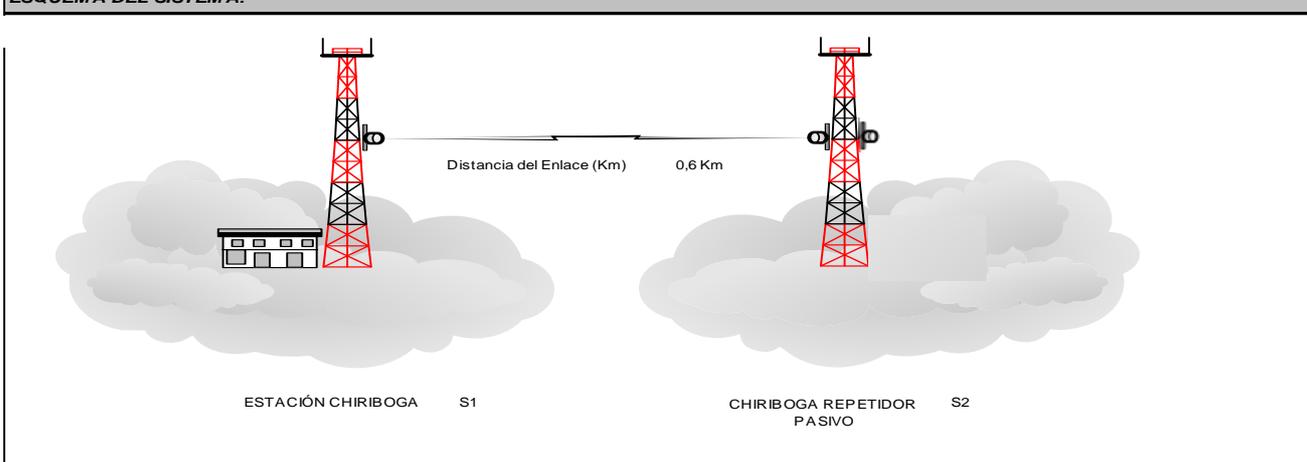
DISTANCIA (Km)	0	D/12	D/6	D/4	D/3	5D/12	D/2	7D/12	2D/3	3D/4	5D/6	11D/12	D
ALTURA s.n.m. (m):	2 066.0	2 088.5	2 130.0	2 156.0	2 180.0	2 200.0	2 240.0	2 250.0	2 280.0	2 311.0	2 340.0	2 360.5	2 390.0

Donde D = Distancia entre las estaciones fijas del enlace.

10) **GRAFICO DEL PERFIL TOPOGRAFICO:**



11) **ESQUEMA DEL SISTEMA A:**



	FORMULARIO PARA EL SERVICIO FIJO TERRESTRE (ENLACES PUNTO-PUNTO)	RC - 6A Elab.: DGGER Versión: 01

2)
CARACTERISTICAS DE OPERACION POR ENLACE

No. ENLACE	BANDA DE FRECUENCIAS: () SHF	RANGO EN LA BANDA REQUERIDA: 7142-7303	No. DE FRECUENCIAS POR ENLACE: 2
3) MODO DE OPERACIÓN SIM _PLEX SEM _IDUPLEX FULL DUPLEX (<i>FUL</i>)		4) ANCHURA DE BANDA (KHz): 7000,00	5) CLASE DE EMISION: 7MOOM7D
			6) POTENCIA DE OPERACIÓN (Watts): 0,150

7)
CARACTERISTICAS DE LAS ESTACIONES FIJAS

INDICATIVO	AC. (A.M.I.E)	ESTRUCTURA ASOCIADA:	ANTENA(S) ASOCIADA(S):	EQUIPO UTILIZADO:
<i>F2</i>	<i>A</i>	<i>S2</i>	<i>A1</i>	<i>Repetidor</i>
<i>F3</i>	<i>A</i>	<i>S3</i>	<i>A2</i>	<i>E1</i>

8)
CARACTERISTICAS TECNICAS DEL ENLACE

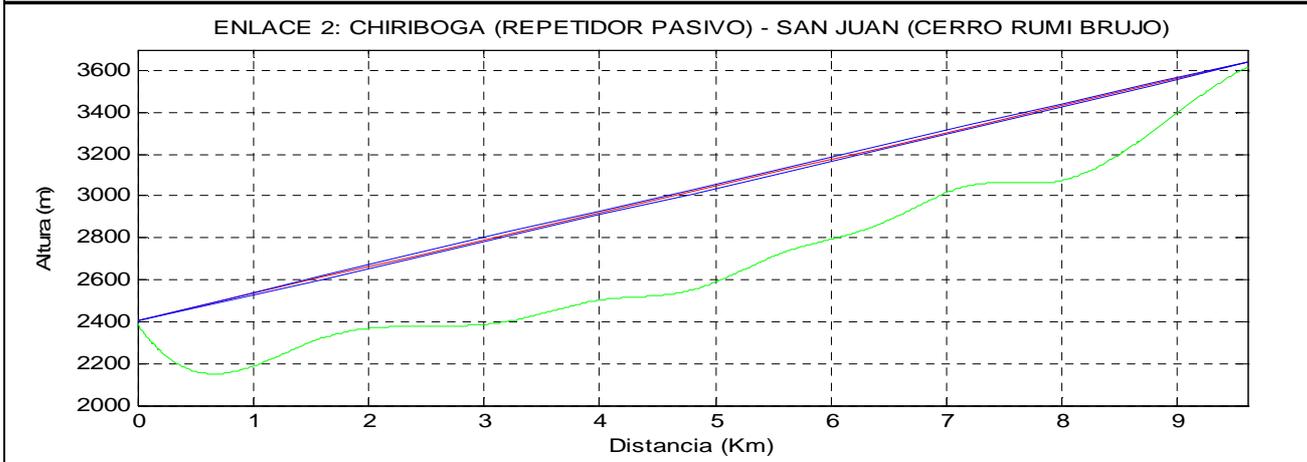
DISTANCIA DEL ENLACE (Km):	9,6 Km	MARGEN DE DESVANECIMIENTO (dB):	15,81	CONFIABILIDAD (%):	99,99000
----------------------------	---------------	---------------------------------	--------------	--------------------	-----------------

9)
PERFIL TOPOGRAFICO

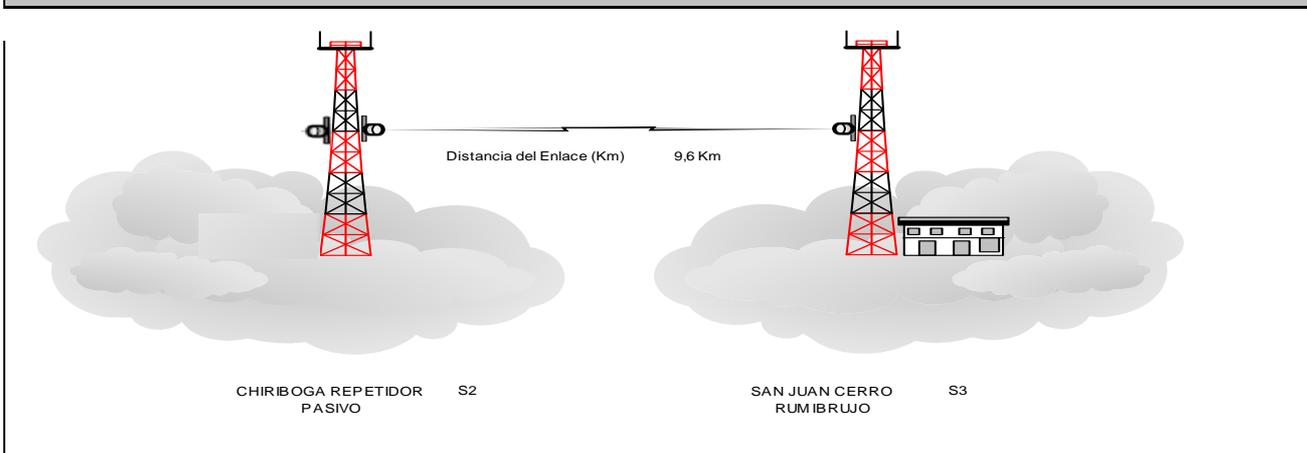
DISTANCIA (Km)	0	D/12	D/6	D/4	D/3	5D/12	D/2	7D/12	2D/3	3D/4	5D/6	1D/12	D
ALTURA s.n.m. (m):	2 390.00	2 156.60	2 320.40	2 377.00	2 399.70	2 501.00	2 549.70	2 730.20	2 859.00	3 049.40	3 074.50	3 316.16	3 614.00

Donde D = Distancia entre las estaciones fijas del enlace.

10)
GRAFICO DEL PERFIL TOPOGRAFICO:



11)
ESQUEMA DEL SISTEMA:



CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este capítulo constituye el capítulo final de la presente, en el transcurso del desarrollo del proyecto se ha podido recopilar varias conclusiones y sus respectivas recomendaciones las cuales se presentan a continuación.

5.1. CONCLUSIONES

- ✓ El diseño propuesto cumple teóricamente con los requerimientos específicos de la UIT-R en que indican que para enlaces de trayectorias menores a 280 Km, la confiabilidad del sistema debe ser del 99.97%, valor que de acuerdo a los cálculos realizados en el diseño, es superior ya que se espera una confiabilidad del sistema de 99.99%, esta confiabilidad dentro de la operación del Oleoducto Transecuatoriano, que trabaja en la modalidad 24/7, se traduce en que el enlace podría tener un fallo de máximo 52,56 minutos (menos de una hora) distribuida en un año de 365 días.
- ✓ El presente proyecto está orientado a optimizar la comunicación en la ruta San Juan – Chiriboga, como parte de la operación del Sistema de Oleoducto Transecuatoriano, tal como se vio en el desarrollo del capítulo 2, la interrupción de las comunicaciones en el trayecto del recorrido del crudo ecuatoriano implican la paralización del bombeo del petróleo, lo cual constituiría grandes pérdidas al país, por este motivo se ha buscado las mejores alternativas en cuanto a la utilización de antenas como son las antenas Andrew de alto rendimiento y equipos de radiocomunicación de marca Siemens y tomando en consideración el uso de una sistema protección redundante, como es el propuesto con la utilización de la configuración Host-Stand by en el capítulo 3.
- ✓ La utilización de repetidores pasivos de tipo back-to-back dentro del presente diseño, va relacionada especialmente con la ubicación del sitio del repetidor, el cual se encuentra en un lugar de difícil acceso, desprovisto

de redes eléctricas y condiciones en las que colocar una estación repetidora es inviable, sin embargo se podrían analizar otras alternativas de comunicación como fibra óptica, cable coaxial y comunicación por enlace satelital.

- ✓ Los resultados obtenidos para el enlace San Juan – Chiriboga, fueron realizados con la ayuda de herramientas computacionales, como el programa Matlab y el software de simulación Radio Mobile, lo cual colaboró con la automatización del proceso de cálculos de radioenlace, volviéndolo más eficiente, puesto que se optimizó en tiempo, lo cual se traduce en economía de recursos, además los métodos ocupados por estas herramientas calculan todas las variables que intervienen en el radioenlace, presentando diversos escenarios para el radioenlace.

- ✓ Como se ha visto el diseño de un radioenlace involucra una diversidad muy amplia de parámetros que se deben tomar en cuenta, la frecuencia en la que funcionarán los equipos, la selección de los mismos, el cálculo del balance de potencias, la identificación de obstáculos y posibles interferencias, los fenómenos de atenuación y desvanecimiento de las señales y otros factores, luego de la investigación realizada a nivel teórico se puede concluir que es viable un sistema de comunicación por radio con las características descritas para el trayecto San Juan - Chiriboga, así pues se ha demostrado que el enlace es factible, si se cuenta con los recursos necesarios y con la investigación de campo correspondiente.

- ✓ Como se analizó en el capítulo cuatro los costos de inversión del presente proyecto son desestimables en comparación con las pérdidas que ocasionaría la paralización del bombeo del crudo, tal como se estudió en la última sección del capítulo dos, una de las causas del cese del bombeo podría ser la interrupción de las comunicaciones, por lo que la inversión se encuentra totalmente justificada, considerando que el transporte de crudo genera un beneficio directo al presupuesto del país.

5.2. RECOMENDACIONES

- ✓ El sistema analizado se ha realizado considerando varios escenarios, pero no se descarta que al momento de la operación podrían aparecer algunos inconvenientes e imprevistos como climas extremos o inconvenientes al momento de la instalación de equipos, pese a ello, se recomienda implementar el radio enlace objeto del presente trabajo, con la certeza que el enlace de radio será funcional y cumplirá las expectativas de telecomunicación que se requiere en el sitio.
- ✓ Se recomienda adquirir los equipos sugeridos en el análisis económico del capítulo cuatro, así en el caso de fallas en la operación las medidas de protección evitarán la paralización del sistema, con la finalidad de que la comunicación beneficie directamente al Oleoducto Transecuatoriano.
- ✓ Es importante realizar los estudios de ingeniería pertinentes y sus respectivas visitas de campo, ya que cada región tendrá diferente relieve, diverso clima y posibles obstáculos en las diferentes áreas.
- ✓ Es importante conocer que un sistema puede ser mejorado utilizando técnicas que impliquen la utilización de repetidores pasivos, lo que permite la implementación de lo requerido en menor tiempo y con costos más bajos.
- ✓ Se debe tener presente que si bien las herramientas computacionales constituyen una gran ayuda al momento del diseño, esta debe ir de la mano con el conocimiento preciso de los parámetros requeridos para la simulación, así como también la realización de inspecciones en el sitio de los equipos de telecomunicaciones.
- ✓ Es importante tener en cuenta que si bien apearse a las Recomendaciones de la UIT garantizan la operación del enlace, existen

varios parámetros que no aportan significativamente en el diseño, para la presente es el caso del parámetro denominado atenuación por lluvia, por cuanto el valor calculado en decibelios es muy bajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Castro, Antonio y Fusario, Rubén (1999). *Teleinformática para ingenieros en sistemas de información 2 (2da ed)*. Barcelona:Editorial Reverté.

Enhanced Detection of GNSS Signals Based on Spatial Combining. Mohammad Upal Mahfuz.

Flickenger, Rob (2006). *Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo (1er ed)*. Limehouse Book Sprint Team.

Hernando, José María (2008). *Transmisión por Radio (4ta ed)*. Madrid: Editorial Universitaria Ramón Areces.

Lehpamer, Harvey (2010). *Microwave Transmission Networks: planning, design, and deployment (second edition)*. Harvey. Mc Graw Hill.

Revista "Síntesis Macroeconómica" de la Cámara de Comercio de Quito actualizada el Segundo Trimestral de 2011.

Sallent, Oriol (2003). *Principios de Comunicaciones Móviles (1era ed)*. Madrid: Universidad politécnica de Catalunya.

Tanenbaum, Andrew (2003). *Redes de Computadoras (4ta ed)*. México: Pearson Educación.

Tomasi, Wayne (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas (4ta ed)*. México: Pearson Educación.

Página de INTRANET de la Empresa Pública PETROECUADOR, Gerencia de Transporte y Almacenamiento, Superintendencia de Oleoducto.

Página de INTRANET, Manual de Operaciones Oleoducto Transecuatoriano S.O.T.E, de la Empresa Pública PETROECUADOR, Gerencia de Transporte y Almacenamiento - Superintendencia de Oleoducto.

<http://aniak.uni.edu.pe/>

<http://www.commscope.com/andrew/eng/index.html>

http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/index.php?option=com_content&view=article&id=152:espectro&catid=39:frecuencias&Itemid=164

http://wilac.net/doc/tricalcar/materiales_abril2008/PDF_es/08_es_antenas_y_cables_guia_v02.pdf

http://www.uaz.edu.mx/cippublicaciones/eninvie/Corr1_CITEDI.pdf

Recomendación UIT-R P.833-6. Atenuación debida a la vegetación.

Recomendación UIT-R P.676. Atenuación debida a los gases atmosféricos.

Recomendación UIT-R P.837.4. Características de la precipitación para establecer modelos de propagación.

Recomendación UIT-R F.385-9: Disposición de radiocanales para sistemas inalámbricos fijos que funcionan en la banda de 7 GHz (7 110-7 900 MHz)

Recomendación UIT-T G.827. Redes digitales –Objetivos de calidad y disponibilidad.

ANEXOS

Anexo 1:

Mapa de la región

Anexo 2:

Funciones en Matlab

Anexo 3:

Catálogo de antenas

Anexo 4:

Catálogo de guía de ondas

ANEXO 1

Mapa de la Región

Favor solicitar al personal de la Biblioteca.

ANEXO 2

Funciones en Matlab

FUNCIÓN Radio_Enlace

```

function [D,be,elevacion_corregida,Hdes,Rad_1_fresnel]=Radio_Enlace
clear all
close all
%Datos obtenidos de base a cartas topográfica y
%el programa Google Earth para el levantamiento del perfil
topográfico.

%*****DISTANCIA ENTRE LOS DOS PUNTOS*****

%*****San Juan*****

%Coordenadas
%Latitud
long_grados_1=0;
long_minutos_1=17;
long_segundos_1=14.15;

%Longitud
lat_grados_1=78;
lat_minutos_1=38;
lat_segundos_1=49.51;

longi_1= long_grados_1 + long_minutos_1/60 + long_segundos_1/3600;
lati_1=lat_grados_1 + lat_minutos_1/60 + lat_segundos_1/3600;
h1=3.614;

%*****Estación Chiriboga*****

%Latitud
long_grados_2=0;
long_minutos_2=15;
long_segundos_2=00.89;

%Longitud
lat_grados_2=78;
lat_minutos_2=43;
lat_segundos_2=29.13;

longi_2=long_grados_2 + long_minutos_2/60 + long_segundos_2/3600;
lati_2=lat_grados_2 + lat_minutos_2/60 + lat_segundos_2/3600;
h2=2.066;

Delta_longi=longi_1-longi_2;
Delta_lati=lati_1-lati_2;
Delta_alt=h1-h2;

D= sqrt((Delta_longi*111)^2 + (Delta_lati*111)^2 + (Delta_alt)^2);

%***** PERFIL TOPOGRÁFICO *****

distancia=[0.0
            0.16
            0.65
            0.97
            1.62
            1.86

```

```

2.35
2.84
3.16
3.48
4.05
4.38
4.86
5.35
5.83
6.08
6.40
6.89
7.29
7.54
7.94
8.27
8.75
8.99
9.32
9.67];

elevacion=[3614
3594
3338
3356
3104
3183
3076
3060
2966
2949
2735
2775
2605
2675
2697
2610
2576
2392
2454
2562
2396
2263
2237
2099
2184
2066];

dist_vano=distancia(26);

% elevacion=elevacio;
% for i=1:26
%     j=27-i;
%     distancia(i)= 9.67 - distancia(j);
%     elevacion(i)=elevacio(j);
% end

%*****INTERPOLACIÓN*****

distancia_ = 0.0:0.05:9.70;
```

```

elevacion_ = spline(distancia,elevacion,distancia_);

%***** CÁLCULO DEL ABULTAMIENTO DE LA TIERRA *****

%           d1*d2
%   be =  -----*1000
%           2*k*Ro

%En donde:

%bE: Es el abultamiento de la Tierra
%d1: Distancia desde el cerro Brujo Rumi al punto
%d2: Distancia desde Chiriboga al punto
%k: Factor de curvatura terrestre equivalente (4/3)
%Ro: Es el radio de la Tierra (6370 Km)

d1=distancia;
d2=dist_vano-distancia;
k=4/3;
Ro=6378;

be=((d1.*d2)/(2*k*Ro))*1000;

%*****CORRECCIÓN DE ALTURA DEBIDO AL ABULTAMIENTO DE LA TIERRA
*****

elevacion_corregida=elevacion + be;

%*****CÁLCULO DE DESPEJE O CLEARANCE *****

%           H1*d2 + H2*d1           d1 * d2
%   Hdes =  ----- - Ho -  -----
%           D                       2*k*Ro

%En este paso se considera la altura de las antenas

alt_ante_Brujo_Rumi=15;
alt_ante_Chiriboga=21;

H1=alt_ante_Brujo_Rumi + elevacion(1);
H2=alt_ante_Chiriboga + elevacion(26);
d1=distancia ;
d2=dist_vano-d1;
D=dist_vano;
Ho=elevacion_corregida;

Hdes=((H1*d2 + H2*d1)/D) - Ho - (d1.*d2)/(2*k*Ro);

%*****FRECUENCIAS DE TRABAJO*****

f=7.142;

%*****ZONA DE FRESNEL*****

%           d1 * d2
%   RF1 = 17.32 sqrt(-----)
%           f*D

```

```

%Calculo del radio de la primera Zona de Fresnel

%RF1: Radio de la primera zona de Fresnel en metros
%d1: Distancia desde el cerro Brujo Rumi al punto
%d2: Distancia desde Chiriboga al punto
%D: Distancia total del vano
%f: frecuencia central en Ghz

Rad_1_fresnel=17.32*sqrt((d1.*d2)/(f*D));
Liber_fresnel=Hdes./Rad_1_fresnel;
linea_vista=elevacion_corregida+Hdes;

%*****DIFRACCIÓN*****

%Libración del 60% de la Zona de Fresnel

k=1;
for i=2:25
    if Liber_fresnel(i) < 0.6
        y(k) = distancia(i);
        k=k+1;
    end
end

%***** PRESENTACIÓN DE RESULTADOS *****

Pto=[1;2;3;4;5;6;7;8;9;10;11;12;13;14;15;16;17;18;19;20;21;22;23;24;25;26];
disp ('PRESENTACIÓN DE RESULTADOS')
disp ('          Punto      Dist(Km)      Alt(m)      Abult(m)
AltCorr(m)  AltDesp(m)  RadFres(m)')
format short g
disp ([Pto distancia elevacion be Ho Hdes Rad_1_fresnel])

disp ('Existe Difracción a las siguiente distancias,')
disp ('medidas en Km desde San Juan (Cerro Rumi Brujo)hacia')
disp ('la Estación Chiriboga:')
disp (y)

%***** GRÀFICO DE PERFIL, LÌNEA DE VISTA, y ZONA DE FRESNEL *****

zona_fresnel_1=elevacion_corregida+Hdes+Rad_1_fresnel;
zona_fresnel_2=elevacion_corregida+Hdes-Rad_1_fresnel;

distancia_ = 0.0:0.05:9.70;
elevacion_corregida_ =
spline(distancia,elevacion_corregida,distancia_);

plot(distancia_,elevacion_corregida_,'g',distancia,linea_vista,'r',...
     distancia,zona_fresnel_1,'b',distancia,zona_fresnel_2,'b')
axis([0 9.7 1800 3800])
title('ENLACE SAN JUAN - ESTACIÓN CHIRIBOGA')
grid on
hold on

```

RESULTADOS DEL PROGRAMA

```

Command Window
>> Radio_Enlace;
PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

```

Punto	Dist (Km)	Alt (m)	Abult (m)	AltCorr (m)	AltDesp (m)	RadFres (m)
1	0	3614	0	3614	15	0
2	0.16	3594	0.089464	3594.1	9.3965	2.5708
3	0.65	3338	0.34472	3338.3	187	5.0464
4	0.97	3356	0.49618	3356.5	117.82	6.0544
5	1.62	3104	0.76676	3104.8	265.9	7.5263
6	1.86	3183	0.8541	3183.9	148.55	7.9434
7	2.35	3076	1.0114	3077	177.25	8.644
8	2.84	3060	1.1405	3061.1	114.99	9.179
9	3.16	2966	1.2095	2967.2	157.89	9.4528
10	3.48	2949	1.2665	2950.3	123.8	9.673
11	4.05	2735	1.3383	2736.3	246.84	9.9431
12	4.38	2775	1.3623	2776.4	154.19	10.032
13	4.86	2605	1.3744	2606.4	247.64	10.077
14	5.35	2675	1.3589	2676.4	99.517	10.019
15	5.83	2697	1.3163	2698.3	1.0175	9.8611
16	6.08	2610	1.2833	2611.3	48.185	9.737
17	6.4	2576	1.2305	2577.2	31.21	9.5343
18	6.89	2392	1.1262	2393.1	137.18	9.1213
19	7.29	2454	1.0201	2455	11.499	8.6811
20	7.54	2562	0.94427	2562.9	-136.29	8.3522
21	7.94	2396	0.80763	2396.8	-33.939	7.7243
22	8.27	2263	0.68074	2263.7	46.566	7.0916
23	8.75	2237	0.47331	2237.5	-3.7685	5.9132
24	8.99	2099	0.35943	2099.4	96.075	5.153
25	9.32	2184	0.19179	2184.2	-41.38	3.7641
26	9.67	2066	0	2066	21	0

```

Existe Difracción a las siguientes distancias,
medidas en Km desde San Juan (Cerro Rumi Brujo) hacia
la Estación Chiriboga:
      5.83      7.54      7.94      8.75      9.32
fx >> █

```

FUNCIÓN Enlace_1

```

***** PERFIL TOPOGRÁFICO *****
function Enlace_1
clear all
close all
%Datos obtenidos de base a cartas topográfica y
%el programa Google Earth para el levantamiento del perfil
topográfico.

*****DISTANCIA ENTRE LOS DOS PUNTOS*****
*****Chiriboga (Estación)*****
%Coordenadas
%Latitud
long_grados_1=0;
long_minutos_1=15;
long_segundos_1=0.89;
%Longitud
lat_grados_1=78;
lat_minutos_1=43;
lat_segundos_1=29.13;

longi_1= long_grados_1 + long_minutos_1/60 + long_segundos_1/3600;
lati_1=lat_grados_1 + lat_minutos_1/60 + lat_segundos_1/3600;
h1=2.066;

*****Chiriboga (Repetidor Pasivo) *****
%Coordenadas
%Latitud
long_grados_2=0;
long_minutos_2=14;
long_segundos_2=43.53;
%Longitud
lat_grados_2=78;
lat_minutos_2=43;
lat_segundos_2=20.42;

longi_2=long_grados_2 + long_minutos_2/60 + long_segundos_2/3600;
lati_2=lat_grados_2 + lat_minutos_2/60 + lat_segundos_2/3600;
h2=2.390;

Delta_longi=longi_1-longi_2;
Delta_lati=lati_1-lati_2;
Delta_alt=h1-h2;

D= sqrt((Delta_longi*111)^2 + (Delta_lati*111)^2 + (Delta_alt)^2);

***** PERFIL TOPOGRÁFICO *****
distancia=[0.00
    0.05
    0.10
    0.15
    0.20
    0.25
    0.30
    0.35
    0.40
    0.45
    0.50

```

```

    0.55
    0.60];
elevacion=[2390.0
2360.5
2340.0
2311.0
2280.0
2250.0
2240.0
2200.0
2180.0
2156.0
2130.0
2088.5
2066.0];

dist_vano=distancia(13);

%*****INTERPOLACIÓN*****
distancia_ = 0.0:0.01:0.60;
elevacion_ = spline(distancia,elevacion,distancia_);

%***** CÁLCULO DEL ABULTAMIENTO DE LA TIERRA *****

%          d1*d2
%   be =  -----*1000
%          2*k*Ro

%En donde:

%bE: Es el abultamiento de la Tierra
%d1: Distancia desde el cerro Brujo Rumi al punto
%d2: Distancia desde Chiriboga al punto
%k: Factor de curvatura terrestre equivalente (4/3)
%Ro: Es el radio de la Tierra (6370 Km)

d1=distancia;
d2=dist_vano-distancia;
k=4/3;
Ro=6378;

be=((d1.*d2)/(2*k*Ro))*1000;

%*****CORRECCIÓN DE ALTURA DEBIDO AL ABULTAMIENTO DE LA TIERRA
*****

elevacion_corregida=elevacion + be;

%*****CÁLCULO DE DESPEJE O CLEARANCE *****

%          H1*d2 + H2*d1          d1 * d2
%   Hdes =  ----- - Ho - -----
%          D                    2*k*Ro

%En este paso se considera la altura de las antenas

alt_ante_Chiriboga_Estacion=25;
alt_ante_Chiriboga_Repetidor=15;

```

```

H1=alt_ante_Chiriboga_Repetidor + elevacion(1);
H2=alt_ante_Chiriboga_Estacion + elevacion(13);
d1=distancia ;
d2=dist_vano-d1;
D=dist_vano;
Ho=elevacion_corregida;

Hdes=((H1*d2 + H2*d1)/D) - Ho - (d1.*d2)/(2*k*Ro);

%*****FRECUENCIAS DE TRABAJO*****
f=7.142;

%*****ZONA DE FRESNEL*****

%
%           d1 * d2
%   RF1 = 17.32 sqrt(-----)
%                   f*D

%Calculo del radio de la primera Zona de Fresnel

%RF1: Radio de la primera zona de Fresnel en metros
%d1: Distancia desde el cerro Brujo Rumi al punto
%d2: Distancia desde Chiriboga al punto
%D: Distancia total del vano
%f: frecuencia central en Ghz

Rad_1_fresnel=17.32*sqrt((d1.*d2)/(f*D));
Liber_fresnel=Hdes./Rad_1_fresnel;
linea_vista=elevacion_corregida+Hdes;

%*****DIFRACCIÓN*****
%Libración del 60% de la Zona de Fresnel
k=1;
for i=2:12
    if Liber_fresnel(i) < 0.6
        y(k) = distancia(i);
        k=k+1;
    end
end

%***** PRESENTACIÓN DE RESULTADOS *****
Pto=[1;2;3;4;5;6;7;8;9;10;11;12;13];
disp ('PRESENTACIÓN DE RESULTADOS ENLACE 1')
disp('Distancia del enlace en metros:')
disp ([D])
disp ('
          Punto      Dist(Km)      Alt(m)      Abult(m)
AltCorr(m)  AltDesp(m)  RadFres(m)  Liber_fresnel')
format short g
disp ([Pto  distancia  elevacion  be  Ho  Hdes  Rad_1_fresnel
Liber_fresnel])

%***** GRÀFICO DE PERFIL, LÌNEA DE VISTA, y ZONA DE FRESNEL *****
zona_fresnel_1=elevacion_corregida+Hdes+Rad_1_fresnel;
zona_fresnel_2=elevacion_corregida+Hdes-Rad_1_fresnel;

distancia_ = 0.0:0.01:0.6;

```

```
elevacion_corregida_ =
spline(distancia,elevacion_corregida,distancia_);

plot(distancia_,elevacion_corregida_,'g',distancia,linea_vista,'r',...
      distancia,zona_fresnel_1,'b',distancia,zona_fresnel_2,'b')
axis([0 0.6 2000 2500])
title('ENLACE 1: CHIRIBOGA (REPETIDOR PASIVO) - CHIRIBOGA (ESTACIÓN)
')
grid on
hold on
```

FUNCIÓN Enlace_2

```

***** PERFIL TOPOGRÁFICO *****
function Enlace_2
%Datos obtenidos de base a cartas topográfica y
%el programa Google Earth para el levantamiento del perfil
topográfico.

*****DISTANCIA ENTRE LOS DOS PUNTOS*****
*****Chiriboga (Repetidor Pasivo)*****
%Coordenadas
%Latitud
long_grados_1=0;
long_minutos_1=17;
long_segundos_1=14.15;
%Longitud
lat_grados_1=78;
lat_minutos_1=38;
lat_segundos_1=49.51;

longi_1= long_grados_1 + long_minutos_1/60 + long_segundos_1/3600;
lati_1=lat_grados_1 + lat_minutos_1/60 + lat_segundos_1/3600;
h1=3.614;

*****Chiriboga (Estación) *****
%Coordenadas
%Latitud
long_grados_2=0;
long_minutos_2=15;
long_segundos_2=00.89;
%Longitud
lat_grados_2=78;
lat_minutos_2=43;
lat_segundos_2=29.13;

longi_2=long_grados_2 + long_minutos_2/60 + long_segundos_2/3600;
lati_2=lat_grados_2 + lat_minutos_2/60 + lat_segundos_2/3600;
h2=2.066;

Delta_longi=longi_1-longi_2;
Delta_lati=lati_1-lati_2;
Delta_alt=h1-h2;

D= sqrt((Delta_longi*111)^2 + (Delta_lati*111)^2 + (Delta_alt)^2);

***** PERFIL TOPOGRÁFICO *****
distancia=[0.00
0.80
1.60
2.40
3.20
4.00
4.80
5.60
6.40
7.20
8.00
8.80
9.60];

```

```

elevacion=[3614.00
3316.16
3074.50
3049.40
2859.00
2730.20
2549.70
2501.00
2399.70
2377.00
2320.40
2156.60
2390.00];

dist_vano=distancia(13);

%*****INTERPOLACIÓN*****
distancia_ = 0.0:0.01:9.60;
elevacion_ = spline(distancia,elevacion,distancia_);

%***** CÁLCULO DEL ABULTAMIENTO DE LA TIERRA *****

%          d1*d2
%   be =  -----*1000
%          2*k*Ro

%En donde:

%bE: Es el abultamiento de la Tierra
%d1: Distancia desde el cerro Brujo Rumi al punto
%d2: Distancia desde Chiriboga al punto
%k: Factor de curvatura terrestre equivalente (4/3)
%Ro: Es el radio de la Tierra (6370 Km)

d1=distancia;
d2=dist_vano-distancia;
k=4/3;
Ro=6378;

be=((d1.*d2)/(2*k*Ro))*1000;

%*****CORRECCIÓN DE ALTURA DEBIDO AL ABULTAMIENTO DE LA TIERRA
*****

elevacion_corregida=elevacion + be;

%*****CÁLCULO DE DESPEJE O CLEARANCE *****

%          H1*d2 + H2*d1          d1 * d2
%   Hdes = ----- - Ho - -----
%          D                    2*k*Ro

%En este paso se considera la altura de las antenas

alt_ante_Brujo_Rumi=15;
alt_ante_Chiriboga=21;

H1=alt_ante_Brujo_Rumi + elevacion(1);

```

```

H2=alt_ante_Chiriboga + elevacion(13);
d1=distancia ;
d2=dist_vano-d1;
D=dist_vano;
Ho=elevacion_corregida;

Hdes=((H1*d2 + H2*d1)/D) - Ho - (d1.*d2*1000)/(2*k*Ro);

%*****FRECUENCIAS DE TRABAJO*****
f=7.142;

%*****ZONA DE FRESNEL*****

%
%           d1 * d2
%   RF1 = 17.32 sqrt(-----)
%                   f*D

%Calculo del radio de la primera Zona de Fresnel

%RF1: Radio de la primera zona de Fresnel en metros
%d1: Distancia desde el cerro Brujo Rumi al punto
%d2: Distancia desde Chiriboga al punto
%D: Distancia total del vano
%f: frecuencia central en Ghz

Rad_1_fresnel=17.32*sqrt((d1.*d2)/(f*D));
Liber_fresnel=Hdes./Rad_1_fresnel;
linea_vista=elevacion_corregida+Hdes;

%*****DIFRACCIÓN*****
%Libración del 60% de la Zona de Fresnel
k=1;
for i=2:12
    if Liber_fresnel(i) < 0.6
        y(k) = distancia(i);
        k=k+1;
    end
end

%***** PRESENTACIÓN DE RESULTADOS *****
Pto=[1;2;3;4;5;6;7;8;9;10;11;12;13];
disp ('PRESENTACIÓN DE RESULTADOS ENLACE 2')
disp('Distancia del enlace en metros:')
disp ([D])
disp ('
           Punto      Dist(Km)      Alt(m)      Abult(m)
AltCorr(m)  AltDesp(m)  RadFres(m)  Liber_fresnel')
format short g
disp ([Pto  distancia  elevacion  be  Ho  Hdes  Rad_1_fresnel
Liber_fresnel])

%***** GRÀFICO DE PERFIL, LÌNEA DE VISTA, y ZONA DE FRESNEL *****
zona_fresnel_1=elevacion_corregida+Hdes+Rad_1_fresnel;
zona_fresnel_2=elevacion_corregida+Hdes-Rad_1_fresnel;

distancia_ = 0.0:0.01:9.6;
elevacion_corregida_
spline(distancia,elevacion_corregida,distancia_);
=

```

```
plot(distancia_,elevacion_corregida_,'g',distancia,linea_vista,'r',...  
      distancia,zona_fresnel_1,'b',distancia,zona_fresnel_2,'b')  
axis([0 9.6 2000 3700])  
title('ENLACE 2: SAN JUAN (CERRO RUMI BRUJO) - CHIRIBOGA (REPETIDOR  
PASIVO)')  
grid on  
hold on
```

ANEXO 3

Catálogo de Antenas

Product Specifications



HP4-71

1.2 m | 4 ft High Performance Parabolic Shielded Antenna, single-polarized, 7.125–7.750 GHz



CHARACTERISTICS

General Specifications

Antenna Type	HP - High Performance Parabolic Shielded Antenna, single-polarized
Diameter, nominal	1.2 m 4 ft
Polarization	Single

Electrical Specifications

Beamwidth, Horizontal	2.4 °
Beamwidth, Vertical	2.4 °
Cross Polarization Discrimination (XPD)	28 dB
Electrical Compliance	ETSI Class 1
Front-to-Back Ratio	62 dB
Gain, Low Band	35.8 dBi
Gain, Mid Band	36.2 dBi
Gain, Top Band	36.5 dBi
Operating Frequency Band	7.125 – 7.750 GHz
Radiation Pattern Envelope Reference (RPE)	2866
Return Loss	28.3 dB
VSWR	1.08

Mechanical Specifications

Fine Azimuth Adjustment	±15°
Fine Elevation Adjustment	±20°
Mounting Pipe Diameter	115 mm 4.5 in
Net Weight	84 kg 185 lb
Side Struts, Included	1 inboard
Side Struts, Optional	1 outboard
Wind Velocity Operational	110 km/h 68 mph
Wind Velocity Survival Rating	200 km/h 124 mph

Product Specifications

HP4-71



Wind Forces At Wind Velocity Survival Rating

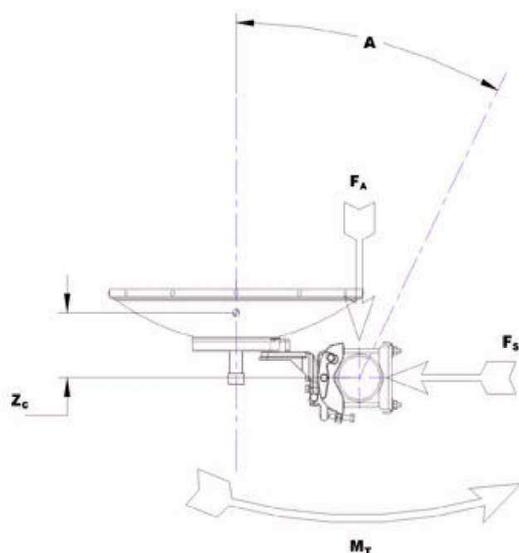
Angle α for MT Max	-110 °
Axial Force (FA)	2821 N 634 lbf
Force on Inboard Strut Side	4940 N 1111 lbf
Side Force (FS)	1398 N 314 lbf
Twisting Moment (MT)	-826 N•m
Weight with 1/2 in (12 mm) Radial Ice	134 kg 295 lb
Zcg with 1/2 in (12 mm) Radial Ice	371 mm 15 in
Zcg without Ice	282 mm 11 in

Product Specifications

HP4-71



Wind Forces At Wind Velocity Survival Rating Image

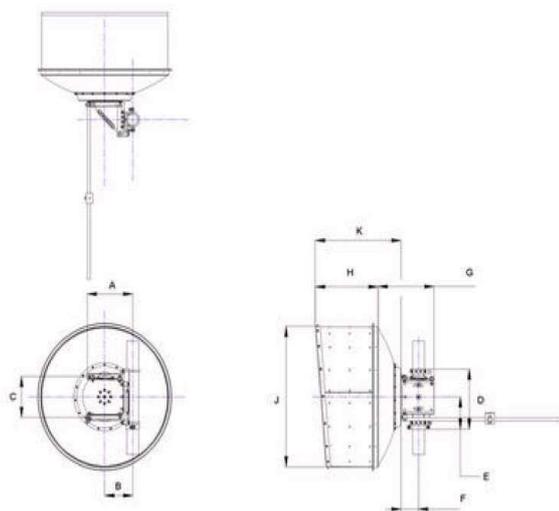


Product Specifications

HP4-71



Antenna Dimensions And Mounting Information



ANTENNA DIMENSIONS			
All dimensions in mm (inches)			
A	411 (16.2)	F	165 (6.5)
B	264 (10.4)	G	544 (21.40)
C	361 (14.2)	H	585 (23.1)
D	528 (20.79)	J	1330(52.4)
E	288 (11.10)	K	785 (30.5)

* Footnotes

Axial Force (FA)	Maximum forces exerted on a supporting structure as a result of wind from the most critical direction for this parameter. The individual maximums specified may not occur simultaneously. All forces are referenced to the mounting pipe.
Cross Polarization Discrimination (XPD)	The difference between the peak of the co-polarized main beam and the maximum cross-polarized signal over an angle twice the 3 dB beamwidth of the co-polarized main beam.
Front-to-Back Ratio	Denotes highest radiation relative to the main beam, at $180^\circ \pm 40^\circ$, across the band. Production antennas do not exceed rated values by more than 2 dB unless stated otherwise.
Gain, Mid Band	For a given frequency band, gain is primarily a function of antenna size. The gain of Andrew antennas is determined by either gain by comparison or by computer integration of the measured antenna patterns.
Operating Frequency Band	Bands correspond with CCIR recommendations or common allocations used throughout the world. Other ranges can be accommodated on special order.
Radiation Pattern Envelope Reference (RPE)	Radiation patterns determine an antenna's ability to discriminate against unwanted signals under conditions of radio congestion. Radiation patterns are dependent on antenna series, size, and frequency.

Product Specifications



HP4-71

Return Loss	The figure that indicates the proportion of radio waves incident upon the antenna that are rejected as a ratio of those that are accepted.
Side Force (FS)	Maximum side force exerted on the mounting pipe as a result of wind from the most critical direction for this parameter. The individual maximums specified may not occur simultaneously. All forces are referenced to the mounting pipe.
Twisting Moment (MT)	Maximum forces exerted on a supporting structure as a result of wind from the most critical direction for this parameter. The individual maximums specified may not occur simultaneously. All forces are referenced to the mounting pipe.
VSWR	Maximum; is the guaranteed Peak Voltage-Standing-Wave-Ratio within the operating band.
Wind Velocity Operational	The wind speed where the antenna deflection is equal to or less than 0.1 degrees. In the case of ValuLine antennas, it is defined as a maximum deflection of 0.3 x the 3 dB beam width of the antenna.
Wind Velocity Survival Rating	The maximum wind speed the antenna, including mounts and radomes, where applicable, will withstand without permanent deformation. Realignment may be required. This wind speed is applicable to antenna with the specified amount of radial ice.

Product Specifications



HP8-71-B1A

2.4 m | 8 ft High Performance Parabolic Shielded Antenna, single-polarized, 7.125–7.750 GHz, PBR84, gray antenna, standard white radome with flash, standard pack—one-piece reflector



CHARACTERISTICS

General Specifications

Packing	Standard pack
Radome Color	White
Radome Material	Standard
Reflector Construction	One-piece reflector
Antenna Input	PBR84
Antenna Color	Gray
Antenna Type	HP - High Performance Parabolic Shielded Antenna, single-polarized
Diameter, nominal	2.4 m 8 ft
Flash Included	Yes
Polarization	Single

Electrical Specifications

Beamwidth, Horizontal	1.1 °
Beamwidth, Vertical	1.1 °
Cross Polarization Discrimination (XPD)	30 dB
Electrical Compliance	US FCC Part 74A
Front-to-Back Ratio	68 dB
Gain, Low Band	42.3 dBi
Gain, Mid Band	42.5 dBi
Gain, Top Band	42.9 dBi
Operating Frequency Band	7.125 – 7.750 GHz
Radiation Pattern Envelope Reference (RPE)	2770E
Return Loss	30.7 dB
VSWR	1.06

Mechanical Specifications

Fine Azimuth Adjustment	±5°
-------------------------	-----

Product Specifications



HP8-71-B1A

Fine Elevation Adjustment	±5°
Mounting Pipe Diameter	115 mm 4.5 in
Net Weight	227 kg 500 lb
Side Struts, Included	1 inboard 1 outboard
Side Struts, Optional	2 outboard
Wind Velocity Operational	110 km/h 68 mph
Wind Velocity Survival Rating	200 km/h 124 mph

Wind Forces At Wind Velocity Survival Rating

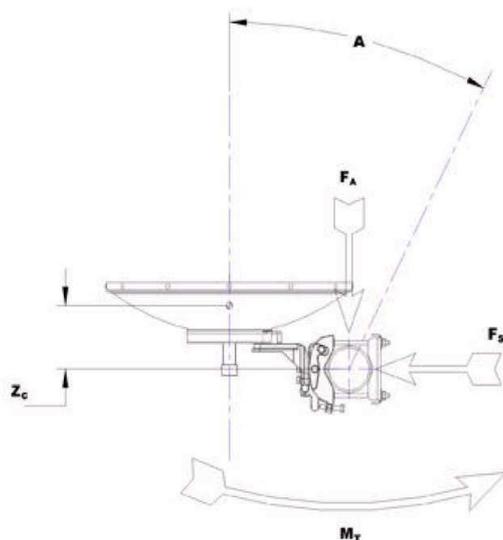
Angle α for MT Max	-110 °
Axial Force (FA)	11284 N 2537 lbf
Force on Inboard Strut Side	4260 N 958 lbf
Force on Outboard Strut Side	5630 N 1266 lbf
Side Force (FS)	5590 N 1257 lbf
Twisting Moment (MT)	-4901 N•m
Weight with 1/2 in (12 mm) Radial Ice	454 kg 1001 lb
Zcg with 1/2 in (12 mm) Radial Ice	729 mm 29 in
Zcg without Ice	673 mm 26 in

Product Specifications

HP8-71-B1A



Wind Forces At Wind Velocity Survival Rating Image



Packed Dimensions

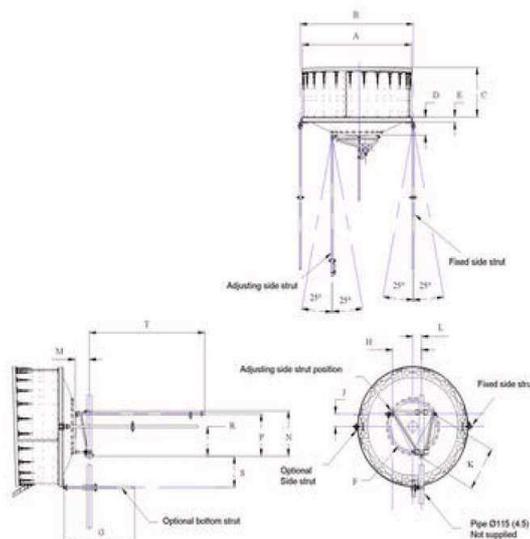
Gross Weight, Packed Antenna	461.0 kg 1016.3 lb
Height	2540.0 mm 100.0 in
Length	2720.0 mm 107.1 in
Volume	8.3 m ³
Width	1200.0 mm 47.2 in

Product Specifications

HP8-71-B1A



Antenna Dimensions And Mounting Information



ANTENNA DIMENSIONS			
All dimensions in mm (inches)			
A	2555 (100.5)	K	950 (37.5)
B	2705 (106.5)	L	200 (8)
C	1060 (41.75)	M	330 (13)
D	395 (15.5)	N	950 (37.5)
E	125 (5.0)	P	695 (26.25)
F	1100 (43.25)	R	625 (24.5)
G	1525 (60)	S	695 (27.25)
H	680 (26.75)	T	3050 (120)
J	275 (10.75)		

Regulatory Compliance/Certifications

Agency	Classification
ISO 9001:2008	Designed, manufactured and/or distributed under this quality management system

* Footnotes

Axial Force (FA)	Maximum forces exerted on a supporting structure as a result of wind from the most critical direction for this parameter. The individual maximums specified may not occur simultaneously. All forces are referenced to the mounting pipe.
Cross Polarization Discrimination (XPD)	The difference between the peak of the co-polarized main beam and the maximum cross-polarized signal over an angle twice the 3 dB beamwidth of the co-polarized main beam.
Front-to-Back Ratio	Denotes highest radiation relative to the main beam, at $180^\circ \pm 40^\circ$, across the band. Production antennas do not exceed rated values by more than 2 dB unless stated otherwise.
Gain, Mid Band	For a given frequency band, gain is primarily a function of antenna size. The gain of Andrew antennas is determined by either gain by comparison or by computer integration of the measured antenna patterns.
Operating Frequency Band	Bands correspond with CCIR recommendations or common allocations used

Product Specifications



HP8-71-B1A

	throughout the world. Other ranges can be accommodated on special order.
Packing	Andrew standard packing is suitable for export. Antennas are shipped as standard in totally recyclable cardboard or wire-bound crates (dependent on product). For your convenience, Andrew offers heavy duty export packing options.
Radiation Pattern Envelope Reference (RPE)	Radiation patterns determine an antenna's ability to discriminate against unwanted signals under conditions of radio congestion. Radiation patterns are dependent on antenna series, size, and frequency.
Return Loss	The figure that indicates the proportion of radio waves incident upon the antenna that are rejected as a ratio of those that are accepted.
Side Force (FS)	Maximum side force exerted on the mounting pipe as a result of wind from the most critical direction for this parameter. The individual maximums specified may not occur simultaneously. All forces are referenced to the mounting pipe.
Twisting Moment (MT)	Maximum forces exerted on a supporting structure as a result of wind from the most critical direction for this parameter. The individual maximums specified may not occur simultaneously. All forces are referenced to the mounting pipe.
VSWR	Maximum; is the guaranteed Peak Voltage-Standing-Wave-Ratio within the operating band.
Wind Velocity Operational	The wind speed where the antenna deflection is equal to or less than 0.1 degrees. In the case of ValuLine antennas, it is defined as a maximum deflection of 0.3 x the 3 dB beam width of the antenna.
Wind Velocity Survival Rating	The maximum wind speed the antenna, including mounts and radomes, where applicable, will withstand without permanent deformation. Realignment may be required. This wind speed is applicable to antenna with the specified amount of radial ice.

ANEXO 4

Catálogo de Guía de Onda

Product Specifications



F112ABA1

Flexible Twist for WR112, 7.125–7.75 GHz, with interface types UG-52B/U and UG-51/U, 300 mm

Electrical Specifications

Operating Frequency Band	7.125 – 7.75 GHz
Attenuation	0.40 db/m 0.12 db/ft
Average Power	1260 W
Peak Power	315.0 kW
VSWR	1.03

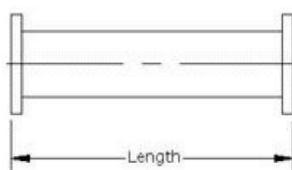
General Specifications

Component	Flexible Twist
Waveguide Size	WR112 WG15 R84
Interface	UG-52B/U
Interface 2	UG-51/U
Length	300 mm 12 in

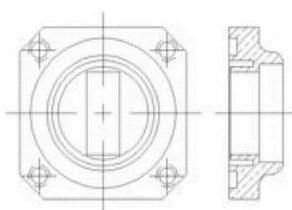
Mechanical Specifications

Maximum Twist	264.00 °/m 80.00 °/ft
Minimum Bend Radius, Multiple Bends (E Plane)	76.00 mm 3.00 in
Minimum Bend Radius, Multiple Bends (H Plane)	152.00 mm 6.00 in
Pressurization, maximum	35 psi 240 kPa

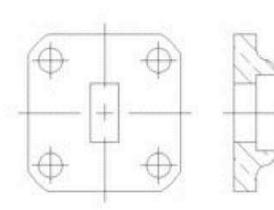
Component



Interface



Interface 2



Regulatory Compliance/Certifications

Agency

RoHS 2002/95/EC
 China RoHS SJ/T 11364-2006
 ISO 9001:2008

Classification

Compliant by Exemption
 Above Maximum Concentration Value (MCV)
 Designed, manufactured and/or distributed under this quality management system

Product Specifications

F112ABA1

