

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RADIO COMUNICACION EN UHF PARA UNIR  
LAS CIUDADES DE PASTO, POPAYÁN, CALI, BOGOTA Y MEDELLIN**



**VICTOR MANUEL SALAZAR NAVIA  
ALEXIS OCACIONES GARCIA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES  
POPAYÁN  
2002**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RADIO COMUNICACION EN UHF PARA UNIR  
LAS CIUDADES DE PASTO, POPAYÁN, CALI, BOGOTA Y MEDELLIN**

**VICTOR MANUEL SALAZAR NAVIA  
ALEXIS OCACIONES GARCIA**

**Anteproyecto de grado presentado como  
requisito parcial para optar al título de  
Ingeniero en Electrónica y  
Telecomunicaciones**

**DIRECTOR: Ing. JORGE HURTADO**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES  
POPAYÁN  
2002**

## DEDICATORIAS

A mis padres por su cariño y dedicación  
A mis 3 hermanitas por todo su consentimiento  
Y a mis amigos por serlo  
Víctor

Gracias a Dios por la oportunidad que me da  
y el reto que me impone.  
A mis padres porque, a quien sino a ellos les debo todo esto.  
A mis hermanas por acompañarme de corazón.  
A mis amigos por ser mi familia aquí.  
Alexis.

## **AGRADECIMIENTOS**

A los ingenieros Jorge Hurtado Ulchur, Luis Guerrero y Víctor Quintero por su colaboración y asesoría en la realización de este proyecto

A las empresas FEDERCOM y TELECOM por su colaboración.

A la Universidad del Cauca por brindarnos la oportunidad de ser parte de ella e institución a la cual llevaremos por siempre en nuestro corazón

## TABLA DE CONTENIDO

1. GENERALIDADES.....	3
1.1 INGENIERÍA DE RADIO-ENLACES. ....	4
1.1.1 Escogencia del punto de ubicación de los equipos.....	5
1.1.2 Bandas de frecuencia. ....	6
1.1.2.1 Aspectos Importantes del Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias .....	8
1.1.3 Realización de los perfiles. ....	8
1.1.4 Cálculo de los trayectos.....	9
1.1.4.1 Refracción. ....	9
1.1.4.2 Reflexión. ....	13
1.1.4.2.1 Zona de Fresnel.....	14
1.1.4.3 Perdidas de espacio libre. ....	15
1.2 LOS RADIOS DE DOS VIAS .....	15
1.2.1 Que es un radio de dos vías? .....	15
1.2.2 Para que sirven los radios de dos vías? .....	16
1.3 Que clase de equipos hay?.....	17
1.3.1 Repetidores.....	17
1.3.2 Radio móvil .....	18
1.3.3 Radio portátil.....	19
1.4 COMPORTAMIENTO DE LOS RADIOS DE DOS VIAS FRENTE A LA FRECUENCIA, EL AREA DE COBERTURA Y EL RANGO .....	19
1.5 SISTEMAS Y SOLUCIONES QUE OFRECEN LOS RADIOS DE DOS VIAS 22	
1.5.1 Unidad a Unidad .....	22
1.5.2 Sistemas de despacho.....	23
1.5.3 Repetidora .....	25
1.5.4 Sistemas de área extendida (Enlaces) .....	26

1.5.5	Interconexión telefónica .....	27
2	ANÁLISIS TOPOGRÁFICO, DE FRECUENCIAS Y FUNCIONAMIENTO DE LA RED .....	29
2.1	INTRODUCCION .....	29
2.2	CUADRO NACIONAL DE ATRIBUCION DE FRECUENCIAS.....	30
2.3	BANDAS DE FRECUENCIA QUE PUEDEN EMPLEARSE EN EL SISTEMA DE RADIO.....	32
2.4	PLAN DE FRECUENCIAS PARA LA RED TRONCAL .....	37
2.5	ANÁLISIS TOPOGRÁFICO. ....	39
2.6	LUGARES ESCOGIDOS PARA REPETICION.....	40
2.7	ESQUEMA Y FUNCIONAMIENTO DE LA RED DE RADIO. ....	41
2.7.1	Establecimiento De Una Comunicación Entre Ciudades. ....	43
2.7.2	Estaciones Repetidoras. ....	43
2.7.3	Comunicación Local.....	51
2.7.4	Estaciones Base, Equipos Portátiles Y Móviles. ....	52
2.7.5	Administración de usuarios.....	53
2.7.6	Conjunto de frecuencias .....	53
3	ANÁLISIS Y CÁLCULO DE RADIO-ENLACES.....	54
3.1	FORMULACION PARA LOS CÁLCULOS EN LOS TRAYECTOS .....	54
3.1.1	Formulación para determinar la altura de las antenas .....	54
3.1.1.1	Corrección por curvatura terrestre $h_k$ .....	54
3.1.1.2	Zona de Fresnel Rec. 530 – 8 UIT-R .....	54
3.1.1.3	Línea de vista .....	55
3.1.1.4	Altura de las antenas.....	55
3.1.2	Formulación para calculo de las perdidas por propagación.....	56
3.1.2.1	Perdidas de espacio libre UIT-R 525-2 .....	57
3.1.2.2	Perdida por difracción UIT-R Rec. 526-6 .....	57
3.1.2.3	Perdidas en la línea de transmisión .....	58
3.1.3	Indisponibilidad de equipos.....	58
3.1.4	Objetivos de calidad.....	58

3.1.4.1	Sensitividad de equipos. ....	59
3.1.4.2	Calculó de margen de desvanecimiento por VIGANNTS- BARNETT .....	59
3.1.4.3	Métodos para diversos porcentajes de tiempo. Rec. UIT P.530-8	60
3.1.4.4	Horas al día - minutos al día.....	62
3.1.4.5	Potencia de recepción de calidad.....	62
3.1.5	Potencia mínima de transmisión. ....	63
3.2	CALCULOS DE LOS TRAYECTOS DE LA RED .....	63
3.2.1	TRAYECTO NEVADO DEL RUIZ - PADRE AMAYA .....	64
3.2.1.1	CORRECCIÓN DE ALTURA DE OBSTÁCULO.....	64
3.2.1.2	Cálculo de altura de antenas.....	67
3.2.1.3	Perdidas de espacio libre. ....	69
3.2.1.4	Perdidas por difracción.....	69
3.2.1.5	Perdidas de propagación. ....	70
3.2.1.6	Margen de desvanecimiento. ....	71
3.2.1.7	Porcentaje de tiempo durante el cual se supera el margen de desvanecimiento.....	71
3.2.1.8	Sistema de antenas.....	72
3.2.1.9	Potencia mínima de transmisión. ....	72
3.2.2	TRAYECTO NEVADO DEL RUIZ – Manjui .....	73
3.2.2.1	Corrección de altura de obstáculos. ....	74
3.2.2.2	Cálculo de altura de antenas.....	76
3.2.2.3	Perdidas de espacio libre. ....	77
3.2.2.4	Perdidas por difracción.....	77
3.2.2.5	Perdidas de propagación. ....	78
3.2.2.6	Margen de desvanecimiento. ....	79
3.2.2.7	Porcentaje de tiempo durante el cual se supera el margen de desvanecimiento.....	79
3.2.2.8	Sistema de antenas.....	80
3.2.2.9	Potencia mínima de transmisión. ....	80

3.2.3	TRAYECTO NEVADO DEL RUIZ- VERSALLES .....	81
3.2.3.1	Corrección de altura de obstáculo.....	82
3.2.3.2	Cálculo de altura de antenas.....	84
3.2.3.3	Pérdidas de espacio libre. ....	85
3.2.3.4	Pérdidas por difracción.....	85
3.2.3.5	Pérdidas de propagación. ....	86
3.2.3.6	Margen de desvanecimiento. ....	87
3.2.3.7	Porcentaje de tiempo durante el cual se supera el margen de desvanecimiento.....	87
3.2.3.8	Sistema de antenas.....	88
3.2.3.9	Potencia mínima de transmisión. ....	88
3.2.4	TRAYECTO VERSALLES – CERRO PAN DE AZUCAR.....	89
3.2.4.1	Corrección de altura de obstáculos. ....	90
3.2.4.2	Cálculo de altura de antenas.....	92
3.2.4.3	Pérdidas de espacio libre. ....	93
3.2.4.4	Pérdidas por difracción.....	94
3.2.4.5	Perdidas de propagación. ....	95
3.2.4.6	Margen de desvanecimiento. ....	95
3.2.4.7	Porcentaje de tiempo durante el cual se supera el margen de desvanecimiento.....	95
3.2.4.8	Sistema de antenas.....	96
3.2.4.9	Potencia mínima de transmisión. ....	96
3.2.5	TRAYECTO CERRO PAN DE AZUCAR – Munchique .....	98
3.2.5.1	Corrección de altura de obstáculos. ....	98
3.2.5.2	Cálculo de altura de antenas.....	100
3.2.5.3	Pérdidas de espacio libre. ....	101
3.2.5.4	Pérdidas por difracción.....	101
3.2.5.5	Pérdidas de propagación. ....	102
3.2.5.6	Margen de desvanecimiento. ....	102



3.2.5.7	Porcentaje de tiempo durante el cual se supera el margen de desvanecimiento.....	103
3.2.5.8	Sistema de antenas.....	103
3.2.5.9	Potencia mínima de transmisión. ....	104
3.2.6	TRAYECTO MUNCHIQUE – CRUZ DE AMARILLO. ....	105
3.2.6.1	Corrección de altura de obstáculos.....	105
3.2.6.2	Cálculo de altura de antenas.....	108
3.2.6.3	Pérdidas de espacio libre. ....	110
3.2.6.4	Pérdidas de propagación. ....	112
3.2.6.5	Margen de desvanecimiento. ....	113
3.2.6.6	Porcentaje de tiempo durante el cual se supera el margen de desvanecimiento.....	113
3.2.6.7	Sistema de antenas.....	114
3.2.6.8	Potencia mínima de transmisión. ....	114
3.3	CALCULO DE COBERTURA EN LAS CIUDADES.....	115
4	EQUIPOS Y COSTOS .....	120
4.1	INTRODUCCION .....	120
4.2	LISTADO DE PRECIOS PARA EQUIPOS MOTOROLA .....	121
4.3	LISTADO DE PRECIOS PARA EQUIPOS ICOM .....	123
4.4	SISTEMA DE ANTENA.....	125
4.5	CABLE COAXIAL.....	127
4.6	CALCULO DEL COSTO POR ALQUILER DE FRECUENCIAS .....	128
4.7	COSTO DE EQUIPOS PARA REPETIDORAS MOTOROLA .....	130
4.8	COSTO DE EQUIPOS PARA REPETIDORAS ICOM .....	131
	CONCLUSIONES.....	132
	GLOSARIO.....	133
	Sección II. Términos específicos relativos a la gestión de frecuencias .....	134
	BIBLIOGRAFIA .....	144

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Onda viajando a través de varios medios con diferentes índices de refracción. ....	10
Figura. 1.2 Atmósfera terrestre con diferentes índices de refracción .....	10
Figura. 1.3 Índice de refractividad sobre el nivel del mar (No) para los Estados Unidos .....	12
Figura. 1.4 Diagrama esquemático de un radio de dos vías .....	16
Figura. 1.5 Estación base CDR500/700 de MOTOROLA.....	18
Figura. 1.6 Radio móvil de la serie PRO de MOTOROLA.....	18
Figura. 1.7 Radio portátil de la serie PRO de MOTOROLA .....	19
Figura. 1.8 Rango y Cobertura .....	21
Figura. 1.9 Área de cobertura según el patrón de radiación de antena radiación .	21
Figura. 1.10 Sistema Unidad a Unidad.....	23
Figura. 1.11 Sistema de Despacho .....	24
Figura. 1.12 Sistema De Repetidora .....	26
Figura. 1.13 Sistemas de Área Extendida .....	27
Figura. 1.14 Interconexión Telefónica .....	28
Figura. 2.1 División por regiones UIT .....	30
Figura. 2.2 Esquema del cuadro Nacional de atribución de frecuencias.....	31
Figura 2.3 Plan de Frecuencias.....	38
Figura 2.4 Funcionamiento de la Red .....	42
Figura 2.5 Repetidora de Cerro cruz de Amarillo .....	44
Figura 2.6 Repetidora de Cerro cruz de Amarillo .....	44
Figura 2.7 Repetidora del Cerro Munchique.....	45
Figura 2.8 Repetidora del Cerro Munchique.....	45
Figura 2.9 Repetidora del Cerro Pan de Azúcar.....	46
Figura 2.10 Repetidora del Cerro Pan de Azúcar.....	46
Figura 2.11 Repetidora de la Ciudad de Cali .....	47

Figura 2.12 Repetidora de la Ciudad de Cali .....	47
Figura 2.13 Repetidora del Cerro Versailles .....	48
Figura 2.14 Repetidora del Cerro Versailles .....	48
Figura 2.15 Repetidora del Nevado del Ruiz.....	49
Figura 2.16 Repetidora del Nevado del Ruiz.....	49
Figura 2.17 Repetidora del Cerro Manjui .....	50
Figura 2.18 Repetidora del Cerro Manjui .....	50
Figura 2.19 Repetidora del Cerro Padre Amaya .....	51
Figura 2.20 Repetidora del Cerro Padre Amaya .....	51
Figura 2.21 Comunicación Local .....	52
Figura 3.1 Perfil enlace Nevado del Ruiz – Padre Amaya.....	73
Figura 3.2 Perfil enlace Nevado del Ruiz – Manjui.....	81
Figura 3.3 Perfil enlace Nevado del Ruiz – Versailles.....	89
Figura 3.4 Perfil enlace Pan de Azúcar – Versailles. ....	97
Figura 3.5 Perfil enlace Pan de Azúcar – Munchique.....	104
Figura 3.6 Perfil enlace Munchique – Cruz de Amarillo.....	115
Figura 3.7 Método gráfico para cobertura en la ciudades. ....	116
Figura 4.1 Antena Semi-Direccional.....	126
Figura 4.2 Antena Semi-Direccional.....	127
Figura 4.3 Cable Coaxial DB2068 .....	128

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Rango, frecuencia y cobertura .....	20
Tabla 2.1 Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias .....	37
Tabla 2.2 Puntos para Emplazamientos.....	40
Tabla 3.1 Enlace Nevado del Ruiz-Padre Amaya. ....	64
Tabla 3.2 Corrección de altura enlace Padre Amaya-Nevado del Ruiz.....	65
Tabla 3.3 Interrupción de la línea de vista.....	67
Tabla 3.4 Altura de antena receptora. ....	68
Tabla 3.5 Análisis de la variable $v$ para cada uno de los obstáculos.....	70
Tabla 3.6 Calculo disponibilidad del enlace y potencia de recepción de calidad...	71
Tabla 3.7 Enlace Nevado del Ruiz - Manjui .....	73
Tabla 3.8 Corrección de altura enlace Cerro Manjui-Nevado del Ruiz.....	75
Tabla 3.9 Interrupción de la línea de vista.....	76
Tabla 3.10 Altura de antena receptora. ....	77
Tabla 3.11 Análisis de la variable $v$ para cada uno de los obstáculos.....	78
Tabla 3.12 Calculo disponibilidad del enlace y potencia de recepción de calidad.	79
Tabla 3.13 Enlace Nevado del Ruiz-Padre Amaya. ....	81
Tabla 3.14 Corrección de altura enlace Nevado del Ruiz – Cerro Versailles. ....	83
Tabla 3.15 Interrupción de la línea de vista.....	84
Tabla 3.16 Altura de antena receptora. ....	85
Tabla 3.17 Análisis de la variable $v$ para cada uno de los obstáculos.....	86
Tabla 3.18 Calculo disponibilidad del enlace y potencia de recepción de calidad.	87
Tabla 3.19 Enlace Nevado del Ruiz-Padre Amaya. ....	89
Tabla 3.20 Corrección de altura enlace Pan de Azúcar-Cerro Versailles. ....	91
Tabla 3.21 Interrupción de la línea de vista.....	92
Tabla 3.22 Altura de antena receptora. ....	93
Tabla 3.23 Análisis de la variable $v$ para cada uno de los obstáculos.....	95

Tabla 3.24 Cálculo disponibilidad del enlace y potencia de recepción de calidad.	96
Tabla 3.25 Enlace Pan de Azúcar - Munchique .....	98
Tabla 3.26 Corrección de altura enlace Cerro Pan de Azúcar-Cerro Manjui.....	99
Tabla 3.27 Interrupción de la línea de vista.....	100
Tabla 3.28 Altura de antena receptora. ....	101
Tabla 3.29 Análisis de la variable v para cada uno de los obstáculos.....	102
Tabla 3.30 Enlace Cerro Munchique-Cerro Cruz Amarillo. ....	105
Tabla 3.31 Corrección de altura enlace Cerro Munchique – Cerro Cruz Amarillo. .....	107
Tabla 3.32 Interrupción de la línea de vista.....	108
Tabla 3.33 Altura de antena receptora. ....	110
Tabla 3.34 Análisis de la variable v para cada uno de los obstáculos.....	112
Tabla 4.1 Listado de Precios de Radios Portátiles MOTOROLA.....	122
Tabla 4.2 Listado de Precios de Radios móviles MOTOROLA .....	123
Tabla 4.3 Listado de Precios de Radios Portátiles ICOM Serie G.....	123
Tabla 4.4 Listado de Precios de Radios Portátiles ICOM Serie S .....	124
Tabla 4.5 Listado de Precios de Radios Portátiles ICOM Serie F3 y F4 .....	124
Tabla 4.6 Listado de Precios de Radios Móviles ICOM .....	125
Tabla 4.7 Costo por Alquiler de Frecuencias Punto a Punto.....	128
Tabla 4.8 Costo por Alquiler de Frecuencias Punto a Multi-Punto .....	130
Tabla 4.9 Costo de Equipos para Repetidoras MOTOROLA .....	131
Tabla 4.10 Costo de Equipos para Repetidoras MOTOROLA .....	131

## INTRODUCCIÓN

En el desarrollo del diseño y la planeación de una red de telecomunicaciones se ven involucrados muchos aspectos como son las pérdidas por desvanecimientos, desalineación de las antenas, características climáticas y topográficas entre otras, que de alguna manera van a demarcar los procedimientos y decisiones que se tomen dentro del proceso de ingeniería, estos factores van a tener gran trascendencia y van a influir de una manera determinante en el momento de escoger los sitios de ubicación de los equipos, los equipos, las frecuencias y en los costos de realización del proyecto, todos estos aspectos que deberán tenerse en cuenta durante el desarrollo y la posible implementación de una red de telecomunicaciones, permitirán al ingeniero realizar una planeación y diseño de la red de tal forma que esta sea confiable y eficiente.

La red de radio que se diseñara se encuentra ubicada geográficamente dentro de la región andina, ya que comprende las ciudades de Pasto, Popayán, Cali, Bogotá y Medellín. Dentro de esta región se presentarán muchos aspectos que hacen que el proceso de ingeniería sea un poco más complicado que si se estuviera trabajando por ejemplo en regiones planas donde las características dentro de la región se mantienen constantes o no varían en proporciones considerables. Como no es nuestro caso, la región andina presenta muchas variaciones en su orografía, razón por la cual se encuentra gran variedad de climas, diferentes tipos de vegetación con alturas que pueden variar de acuerdo a los pisos térmicos y se presentan diferencias en la densidad pluviométrica entre otros factores. Es por las razones mencionadas anteriormente que se hace necesario un estudio muy detallado de la región y para ello se cuenta con la información que de los institutos especializados, como lo es en COLOMBIA el

AGUSTÍN CODAZZI, donde se puede encontrar la información referente a la región del país que se quiera estudiar, toda esta información es importante para la realización de los perfiles de los trayectos y los cálculos relacionados con los mismos.

Es importante observar que la región dentro de la cual se va a realizar el trabajo es la región del país que posee una mayor densidad de población así como también un mayor desarrollo de la industria, razón que deberá ser tomada en cuenta debido al efecto que el ruido industrial así como otros producidos por el hombre pueden tener en las señales de radio.

## 1. GENERALIDADES

La red de radio permitirá establecer de alguna manera comunicación entre las ciudades de Pasto, Popayán, Cali, Bogota, Medellín. Para comunicar las ciudades se diseñara una red regional de radio que permita interconectar las ciudades.

Esta red consiste en una integración de sistema por repetidora, se llama así por que cada estación repetidora toma el nombre de sistema de repetidora y como se desea interconectar varios de estos sistemas se habla de integración.

Con este tipo de sistema se puede interconectar regiones donde es difícil el acceso o donde por condiciones topográficas o de cualquier tipo los sistemas ven comprometido su cubrimiento, por ejemplo en Colombia la telefonía celular no tiene cubrimiento a lo largo de las carreteras ya que no se posee infraestructura y tratar de dar cubrimiento resultaría muy costoso.

En este sistema se emplean potencias aproximadas de 45 Watts y antenas verticales u omni-direccionales que tienen un patrón de radiación circular, con lo cual la señal alcanza grandes distancias resolviendo el problema de cubrimiento de otros sistemas, es un sistema que de acuerdo a la tecnología de los radios y la clase de servicios que se deseen prestar pueden presentar una gran variación, entre esos servicios se cuenta con transmisión de datos a bajas velocidades para redes con poca congestión, donde las tasas de transferencia manejadas por estos sistemas es de aproximadamente 1300 – 1800 bps, otro de los servicios es la ubicación de vehículos, como se mencionaba anteriormente de acuerdo a la tecnología de los radios se puede efectuar procedimientos sobre vehículos tales como: señales de alarma, apagado del automóvil, aislamiento del receptor y otros,



transporte de voz y codificación de esta para evitar ser escuchado por otros, permite además crear grupos dentro de los mismos grupos etc.

Este es un proyecto en el que el costo inicial puede ser elevado para una empresa, pero que a mediano plazo podría mostrar ser mucho más económico que cualquier otro sistema y que aparte deja a la empresa que lo implemente con una red propia de comunicaciones donde puede montar los servicios que desee cuando lo desee y que además va a contar con ella todo el tiempo que necesite sin ningún costo adicional.

Dentro de los aspectos importantes que se deben tener en cuenta dentro de la realización del proyecto se encuentra:

- Ingeniería de radio-enlaces.
- Aspectos legales para la asignación de las bandas de frecuencia.
- Análisis de las características de los equipos y sitios seleccionados para la implementación del sistema.

## **1.1 INGENIERÍA DE RADIO-ENLACES.**

La ingeniería de radio-enlaces abarca aspectos como:

- Escogencia de los puntos de colocación de los equipos.
- Selección de las bandas de frecuencia.
- Realización de los perfiles.
- Realización de un plan de frecuencias.
- Cálculo de los trayectos.
- Estudios y selección de equipos (antenas, transmisores, receptores etc.)

Se debe observar que según los sitios escogidos y su ubicación, estos sitios de repetición se incrementarán o no haciendo el proyecto más o menos eficiente o costoso, por eso es recomendable escoger varios lugares, y tratar de establecer la mejor relación entre las localidades escogidas, con el fin de no incrementar el tamaño de la red de una manera innecesaria y que de seguro hará más complicado el diseño y cálculo de la red.

Teniendo en cuenta todos estos aspectos se puede estar seguro de que la realización del proyecto tendrá por lo menos viabilidad técnica.

### **1.1.1 Escogencia del punto de ubicación de los equipos.**

Los enlaces de radio se hacen básicamente entre puntos visibles que garantizan línea de vista entre la antena transmisora y receptora. Para esto por lo general se utilizan puntos altos de la topografía.

Cualquiera que sea el tamaño del sistema de radio, para su correcto funcionamiento es necesario, que los trayectos entre los enlaces tengan una altura libre de obstáculos y adecuada para la propagación de las ondas en toda época del año, teniendo en cuenta las variaciones de las condiciones atmosféricas de la región.

Para poder escoger los sitios de ubicación de los equipos debe conocerse la topografía del terreno, así como la altura y ubicación de los obstáculos que puedan existir en el trayecto.

Antes de hacer mediciones en el terreno puede ser necesario estudiar los planos topográficos de la zona.

Para comenzar se deben realizar estudios en mapas en alto relieve y planos de la región donde se va a establecer el enlace. Esto ayudará a ubicar las alturas de los puntos en donde estarán las antenas transmisora y receptora y determinar los posibles obstáculos que se encontrarán en la trayectoria del enlace.

En sistemas grandes que poseen un gran número de repetidoras, existe la probabilidad de que haya varias rutas para el establecimiento de un enlace. Por proceso de eliminación y de selección ha de llegarse a la escogencia de la ruta más favorable.

Sobre un mapa de la región en escalas del orden de 1:10000, 1: 25000, etc. Se puede realizar este estudio.

### **1.1.2 Bandas de frecuencia.**

El Ministerio de Comunicaciones es la entidad encargada de la administración del espectro electromagnético, y por esta razón a dividido a espectro en una serie de bandas a las cuales se les ha asignados un determinado número de servicios, servicios que pueden ser telefona móvil, comunicaciones marítimas o satelitales etc. Por la razón anterior es necesario establecer los servicios que se desean implementar o prestar en la red, para poder establecer así las bandas de frecuencia que podrían ser utilizadas.

Es claro que toda la normativa establecida por el Ministerio de Comunicaciones respeta las normas internacionales y es compatible con la reglamentación de la UIT-R.

Es importante tener en cuenta en el momento de realizar la solicitud de frecuencias al Ministerio, que la entidad no esta obligada a entregar frecuencias

especificadas por el concesionario, si no que estas quedan a consideración y dependen de la disponibilidad de frecuencias que halla en la región para la cual se ha hecho la solicitud, por lo tanto se debe de considerar un rango de frecuencias dentro del cual pueda operar el sistema.

Como el Ministerio de Comunicaciones puede atribuir a una banda de frecuencias, diferentes servicios. Estos servicios se clasifican en servicios primarios y secundarios.

Los servicios *primarios* tienen prioridad absoluta sobre los secundarios. Los servicios primarios son aquellos que aparecen en el cuadro nacional de atribución de frecuencias con letra mayúscula y los servicios secundarios son aquellos que figuran en minúsculas.

Las estaciones de un servicio *secundario*:

- no deben causar interferencia perjudicial a las estaciones de un servicio primario a las que se les hayan asignado frecuencias con anterioridad o se les puedan asignar en el futuro;
- no pueden reclamar protección contra interferencias perjudiciales causadas por estaciones de un servicio primario a las que se les hayan asignado frecuencias con anterioridad o se les puedan asignar en el futuro;
- tienen derecho a la protección contra interferencias perjudiciales causadas por estaciones del mismo servicio o de otros servicios secundarios a las que se les asignen frecuencias ulteriormente.

### **1.1.2.1 Aspectos Importantes del Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias**

El Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias es un instrumento ordenador del espectro radioeléctrico y para su interpretación, debe considerarse, además de lo dicho en las secciones anteriores, los aspectos siguientes:

- a) La atribución de bandas de frecuencias a los diversos servicios de radiocomunicación comienza a partir de 9 kHz.
- b) En Colombia, la atribución nacional de frecuencias considera hasta 40,0 GHz.
- c) En Colombia, a partir de la frecuencia de 40,0 GHz y hasta la frecuencia de 400 GHz, para fines de planeación, la atribución nacional de bandas de frecuencias es idéntica a la atribución internacional del Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT.
- d) La banda de frecuencias 275 - 400 GHz no tiene actualmente atribución de servicios.

### **1.1.3 Realización de los perfiles.**

Una vez escogidos los sitios de ubicación para las torres de las antenas, y habiéndose determinado la elevación del terreno comprendido entre dichos sitios, se realiza un diagrama de perfiles.

En la mayoría de los casos solo son necesarios los perfiles de los obstáculos de mayor altura y de sus alrededores, donde pueda obstruirse la línea visual.

Se sugiere que estos perfiles sean realizados manualmente, así este procedimiento resulte engorroso, esto debido a que se pueden lograr mejores aproximaciones de los trayectos. Para poder realizar estos perfiles es necesario utilizar papel adecuado (milimetrado) y una escala apropiada para poder mantener

las proporciones, los mapas serán obtenidos del IGAC (Instituto colombiano Agustín Codazzi ).

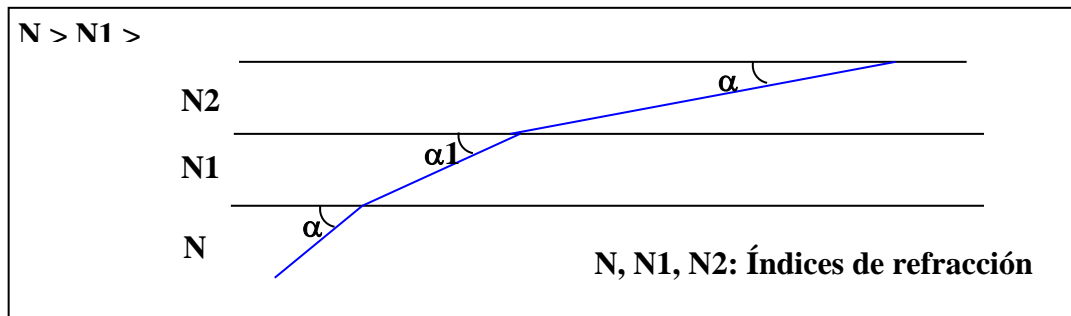
#### **1.1.4 Cálculo de los trayectos.**

Una vez se han establecido las frecuencias a utilizar y los diagrama de perfiles que determinan las alturas de los obstáculos principales se continua con los cálculos de los radio enlaces. Estos cálculos incluyen los diferentes tipos de perdidas que ocurren en un trayecto, a continuación se mencionan algunos aspectos importantes a tener en cuenta en los cálculos, ya que el recorrido de la señal de radio se pueden presentar diferentes fenómenos como difracción, refracción, absorción por citar algunos. Y que en determinado momento pueden resultar críticos ya que pueden producir desvanecimientos muy profundos, estos últimos pueden hacer aun más complicada la propagación cuando son selectivos en frecuencia.

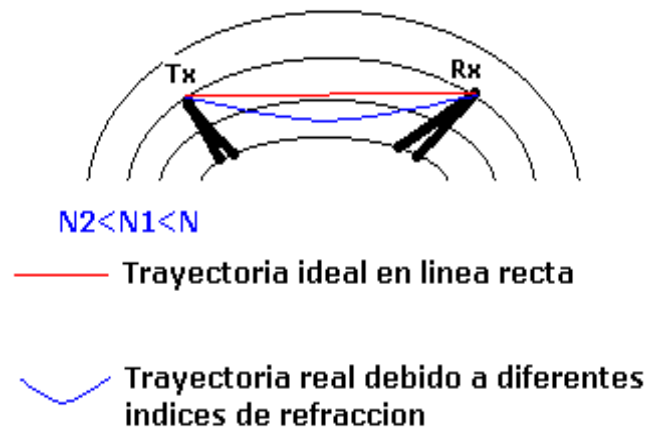
##### **1.1.4.1 Refracción.**

Cuando una onda viaja por un medio cuyo índice de refracción esta variando, sufre un curvamiento en su trayectoria. En la figura 1.1 se puede ver claramente este fenómeno.

La velocidad de una onda electromagnética es función de la densidad del medio el cual atraviesa y al viajar por la atmósfera que no es un medio de densidad constante presenta un curvamiento , el cual por lo general es cóncavo hacia abajo debido a los índices de refracción cambiantes y a la altura sobre la superficie de la tierra.



**Figura 1.1 Onda viajando a través de varios medios con diferentes índices de refracción.**



**Figura. 1.2 Atmósfera terrestre con diferentes índices de refracción**

Para determinar la altura de las torres se necesita determinar la altura real de los obstáculos que se encuentran en el camino del radio enlace.

Debido a la curvatura de la tierra, es necesario agregar una altura extra a las alturas de los obstáculos que indican los perfiles, esta altura es determinada por la fórmula 1.1:

$$h = \frac{d_1 * d_2}{2 * k * R} \quad (1.1)$$

d1: Distancia del transmisor al obstáculo (km).

d2: Distancia del receptor al obstáculo (km).

R: Radio de la tierra (6378 Km.)

h: Altura extra que se debe sumar a la altura de los obstáculos que indican los perfiles generados.

Debido a la refracción atmosférica que produce una curvatura en el trayecto de las ondas de radio es necesario tratar de acomodar esta trayectoria a una línea recta. Para esto se debe agregar un factor de corrección de curvatura llamado factor K.

El factor K se calcula por la fórmula:

$$k = \frac{\text{Radio efectivo de la tierra}}{\text{Radio real de la tierra}} = \frac{R_e}{R} \quad (1.2)$$

Donde:

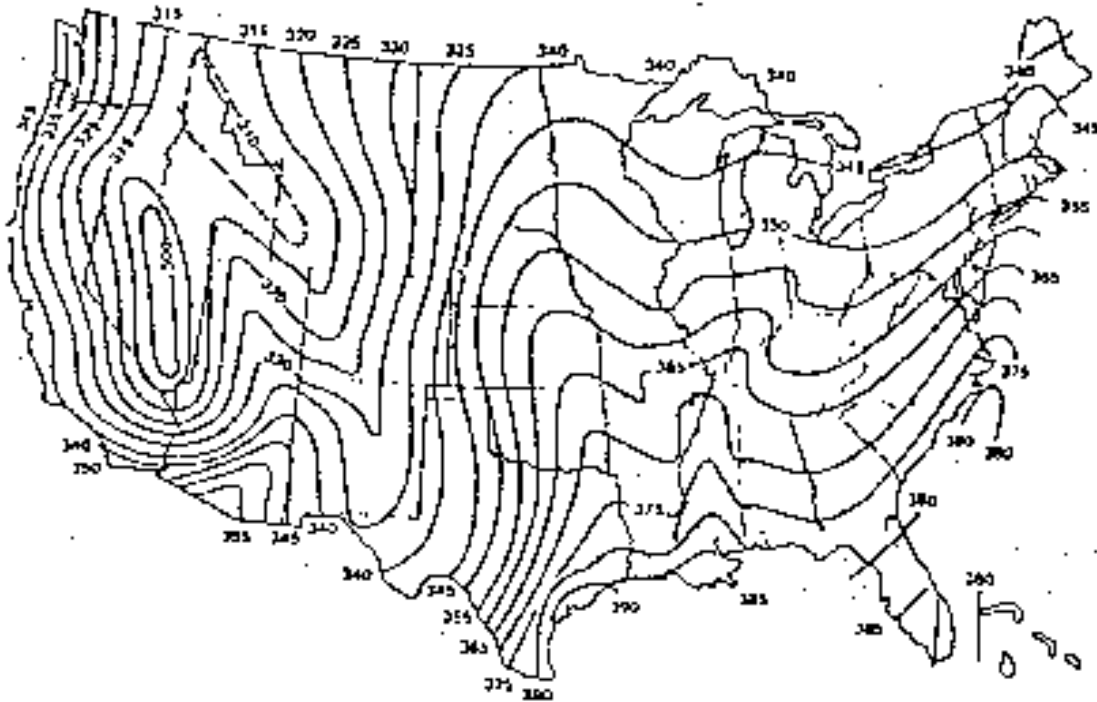
$$R_e = R * [ 1 - 0.4665 * \exp(0.005577N_s) ]^{-1} \quad (1.3)$$

Ns es el índice de refractividad del sitio donde se encuentra la antena transmisora el cual es dependiente de la ubicación geográfica y de la altitud por encima del nivel del mar.



$$N_s = N_0 * \exp(-0.1057h) \quad (1.4)$$

No es el índice de refracción de cada región sobre el nivel del mar, el cual es un dato que se puede conseguir en mapas de niveles de índices de refractividad como el que se muestra en la figura 1.3 y donde h es la altura sobre el nivel del mar donde se encuentra ubicada la antena transmisora (incluyendo la altura de la antena).



**Figura. 1.3 Índice de refractividad sobre el nivel del mar (No) para los Estados Unidos**

### 1.1.4.2 Reflexión.

Una onda de radio al incidir sobre una superficie con diferente índice de refracción del medio sobre el cual se esta propagando experimenta el fenómeno de reflexión; por lo tanto en la antena receptora la señal recibida es la sumatoria de la señal de radio de trayectoria directa y de aquellas que han sido reflejadas en superficies intermedias al trayecto.

De la forma como incida la onda sobre la superficie reflexiva y de su frecuencia, dependerá su desfaseamiento con respecto a la señal de radio de trayectoria directa en la antena receptora.

El campo total recibido será:

$$E = E_d + E_r * \exp(-j\theta) \quad (1.5)$$

Donde:  $\theta$  es el ángulo de desfase relativo.

$E_d$  Campo de trayecto directo.

$E_r$  campo de trayecto reflejado.

Dependiendo del valor del ángulo  $\theta$ , el campo total recibido será atenuado o reforzado.

Como los efectos de la reflexión pueden resultar dañinos para el enlace, en lo posible es necesario tratar de evitar este fenómeno lo más que se pueda. Una de las formas para que esto no suceda es buscar sitios alejados de obstáculos que puedan reflejar la señal y tener una buena altura en los puntos de transmisión y recepción (Esto se puede lograr modificando la altura de las torres). Soluciones de este tipo por lo general involucran incrementos en los costos del proyecto.

#### 1.1.4.2.1 Zona de Fresnel.

Las ondas que siguen trayectorias indirectas por efectos de reflexión, atraviesan las denominadas zonas de Fresnel, produciendo que estas ondas sufran un desfaseamiento que es un múltiplo entero de la longitud de onda,  $n\lambda$ , con respecto a la señal directa.

Para  $n\lambda$ , cuando  $n$  es impar, las señales llegan en fase con respecto a la señal de trayectoria directa. Cuando  $n$  es par, las señales llegan en contra fase, lo cual genera atenuación en la señal recibida.

Para el diseño de un radio enlace, se deben calcular las alturas de las antenas de tal forma que permita la propagación de todas las señales que se encuentran dentro de la primera zona de Fresnel. En la práctica es suficiente con solo librar el 60% de esta zona.

Para determinar el radio de la primera zona de Fresnel se utiliza la fórmula:

$$R_m = 17,3 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{FD}} \quad (1.6)$$

Donde:

F = frecuencia de la señal (GHz).

$d_1$  = distancia del transmisor al obstáculo (km).

$d_2$  = distancia del obstáculo al receptor (km).

D =  $d_1 + d_2$

Para trabajar con el 60% de  $R_m$  se multiplica por 0.6.

### **1.1.4.3 Perdidas de espacio libre.**

La densidad de potencia de la señal de radio disminuye con el cuadrado de la distancia que ha recorrido. Esto es debido a que la señal se esparce en un área cada vez más grande a medida que aumenta su distancia radial.

Esto representa una pérdida en el nivel de potencia de la señal recibida, esta pérdida puede ser calculada mediante la fórmula:

$$L_{fs}(dB) = 32,45 + 20\log(f) + 20\log(d) \quad (1.7)$$

Donde:

f = Frecuencia de la señal en MHz.

d = distancia recorrida por la señal en Km.

## **1.2 LOS RADIOS DE DOS VIAS**

Para hablar de las posibles soluciones que se pueden dar con los radios de dos vías es necesario definir:

- Que es un radio de dos vías?
- Para que sirven los radios de dos vías?
- Que clase de equipos hay?
- Cuales son los sistemas convencionales de radio?

### **1.2.1 Que es un radio de dos vías?**

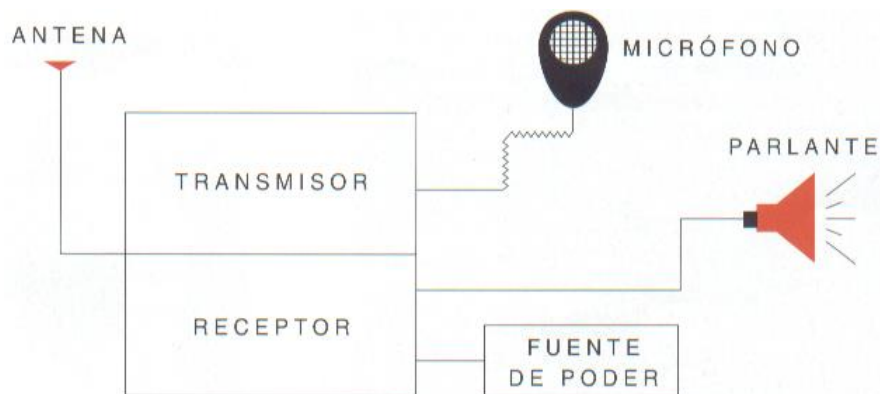
Un radio de dos vías es un equipo de comunicación inalámbrica cuya principal función es comunicar personas que están en movimiento.

Estas comunicaciones pueden ser individuales o grupales.

Estos equipos constan de seis partes principales:

- Micrófono
- Transmisor
- Antena
- Receptor
- Parlantes
- Fuente de poder

La figura 1.4 muestran un diagrama esquemático de un radio de dos vías



**Figura. 1.4 Diagrama esquemático de un radio de dos vías**

### 1.2.2 Para que sirven los radios de dos vías?

La función principal de un radio es comunicar a dos personas que pueden o no estar en movimiento, para la elección de estos sistemas se tienen en cuenta tres razones principales:

- Economía
- Seguridad
- Facilidad de manejo.

Con los radios de dos vías se busca disminuir los costos asociados a las operaciones del negocio mediante la reducción de los tiempos y esfuerzos perdidos. Pueden aumentar las utilidades de las empresas dado que el usuario tendrá respuesta más rápido y por lo tanto podrá ofrecer un mejor servicio a sus clientes. Además este sistema de comunicación ofrece los mejores precios de tiempo al aire.

Las razones de seguridad para tener un radio de dos vías incluyen la habilidad para responder rápidamente entre situaciones de emergencia y la posibilidad de estar en contacto directo con las personas que se encuentran en situaciones o ambientes peligrosos.

En general, los radios de dos vías permiten mejorar el control sobre los recursos con una excelente relación costo beneficio.

### **1.3 Que clase de equipos hay?**

#### **1.3.1 Repetidores**

Están ubicados en una posición central, se instala en un lugar fijo desde donde se mantiene el control del negocio.

Esta estación se alimenta de una fuente de poder estándar. No esta diseñada para soportar las inclemencias del clima como lluvia, nieve etc. Es por ello que debe estar instalada en un lugar protegido de los factores climáticos mencionados.

La figura 1.5 muestra una estación base CDR500/700 de MOTOROLA



**Figura. 1.5 Estación base CDR500/700 de MOTOROLA**

### **1.3.2 Radio móvil**

Estos radios son instalados en los carros, camiones o en general en cualquier vehículo utilizado con fines de negocios.

Este tipo de radios va conectado a la batería del carro, la figura 1.6 muestra un radio móvil MOTOROLA.



**Figura. 1.6 Radio móvil de la serie PRO de MOTOROLA**

### 1.3.3 Radio portátil

Es una unidad de radio lo suficientemente pequeña y liviana como para ser llevada por una persona durante su trabajo. Se alimenta de una batería recargable.

La figura 1.7 muestra un radio portátil Motorola.



**Figura. 1.7 Radio portátil de la serie PRO de MOTOROLA**

## 1.4 COMPORTAMIENTO DE LOS RADIOS DE DOS VIAS FRENTE A LA FRECUENCIA, EL AREA DE COBERTURA Y EL RANGO

Muchas señales pueden ser captadas por la misma antena y por ello el receptor filtra o selecciona una banda angosta de frecuencias programada de acuerdo con la frecuencia que ha sido transmitida previamente.

El espectro electromagnético está dividido en segmentos llamados bandas. La parte del espectro electromagnético dentro de la cual vamos a trabajar es aquella que comprende las bandas de frecuencia utilizadas en radio-comunicaciones, es decir entre 30 KHz a 3000MHz. Los radios que se asumen en el desarrollo de este diseño de red operan en las bandas de HF (High Frequencies), VHF (Very High Frequencies) y UHF (Ultra High Frequencies).



La selección de la banda de frecuencia es uno de los factores determinantes del rango y cobertura. Para poder realizar esta elección se debe tener en cuenta las características y limitaciones de cada una de las posibilidades existentes.

	VHF		UHF	
	BANDA BAJA 25-50 MHz	BANDA ALTA 150-174MHz	450 – 512 MHz	800 – 900 MHz
Interferencia	Severa	Mínima	Ninguna	Ninguna
Antenas	Larga-Baja Ganancia	Pequeña-Alta Ganancia	Corta-Alta Ganancia	Corta-Alta Ganancia
Rango Rural	Excelente	Bueno	Regular	Regular
Rango suburbano	Bueno	Excelente	Bueno	Regular
Rango urbano	Malo	Bueno	Excelente	Excelente

**Tabla1.1 Rango, frecuencia y cobertura**

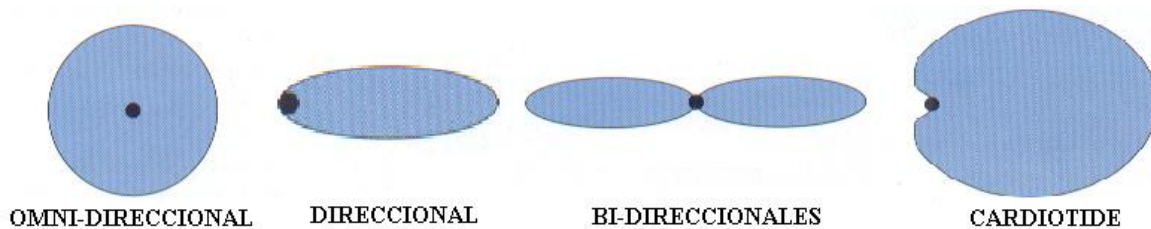
Es así como si se desea trabajar en áreas densamente pobladas es mejor operar en la banda de UHF, mientras que si deseamos dar comunicación a varias fincas en el área rural es mejor emplear la banda de HF.

Otro factor influyente en el rango y la cobertura del sistema es la antena que se utilice. Las antenas radian energía en todas las direcciones: por lo cual a mayor distancia de la antena transmisora menor será el nivel de campo eléctrico recibido. El rango del sistema es la distancia desde la antena hasta el punto más lejano en donde se tiene una señal que puede ser detectada por el receptor. Es decir que si tuviéramos una circunferencia como área de cobertura podríamos decir que el radio de esa circunferencia será el rango, como lo ilustra la figura 1.8.



**Figura. 1.8 Rango y Cobertura**

Las antenas pueden dar cubrimientos no propiamente circulares, ya que se pueden emplear antenas con patrones de radiación direccionales, patrón bidireccional o que posea como patrón un cardiote, la figura 1.9 muestra los diferentes patrones de radiación utilizados.



**Figura. 1.9 Área de cobertura según el patrón de radiación de antena radiación**

Se debe tener en cuenta que el rango de cobertura esta determinado y limitado por muchos factores como lo son: la altura de la antena, las características del terreno que lo rodea y el ruido causado por la cercanía a fuentes generadoras de

este: como motores eléctricos, generadores de energía eléctrica, luces de neón, entre otros.

La potencia es otra de las características de los radios que es proporcional al alcance que estos tienen, esto quiere decir que a mayor potencia se tiene un mayor rango o alcance. En este tipo de radios se calcula que para cada vatio(watt) se tiene una cobertura de 1 Km, sin embargo es importante tener en cuenta los factores antes mencionados para poder obtener los rangos exactos.

## **1.5 SISTEMAS Y SOLUCIONES QUE OFRECEN LOS RADIOS DE DOS VIAS**

### **1.5.1 Unidad a Unidad**

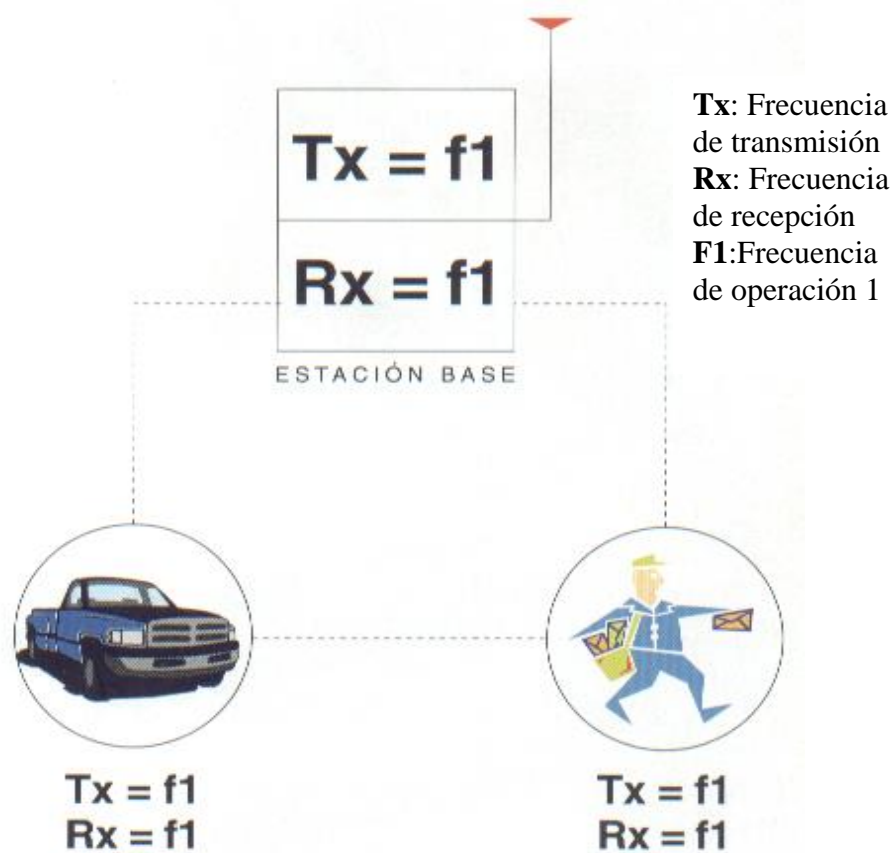
En este tipo de sistema todos los usuarios pueden comunicarse directamente unos con otros con o sin la intervención de un despachador central. En este sistema cada uno de los usuarios puede escuchar todos los mensajes de los usuarios que se estén comunicando o que pertenecen a un mismo grupo.

El modo de comunicación es SIMPLEX y consiste en una o mas unidades de radio operando en la misma frecuencia. En este tipo de sistema una persona no puede hablar y escuchar a la vez y además solo un radio puede transmitir a la vez. En sistemas grandes suelen emplearse varias frecuencias SIMPLEX para hacer más eficiente el sistema y poder cubrir diferentes áreas.

#### **Algunas de estas aplicaciones son:**

- Hoteles y Restaurantes
- Centros Comerciales
- Fabricas
- Fincas

Un diagrama esquemático de l sistema se muestra en la Figura 1.10.



**Figura. 1.10 Sistema Unidad a Unidad**

### 1.5.2 Sistemas de despacho

En este tipo de sistema hay comunicación directa entre cada uno de los usuarios y el despachador central, pero no entre usuarios. El despachador es el único que puede escuchar todos los mensajes que viajan a través del sistema. Aquí se utiliza un sistema "Simplex" de dos frecuencias, en donde la estación base transmite en la frecuencia 1 y los equipos móviles o portátiles que completan el sistema reciben también en esta frecuencia. De la misma manera la estación central recibe en la frecuencia 2 y los demás equipos transmiten en la frecuencia 2.

Algunas de estas aplicaciones son:

- Empresas de taxis.
- Empresas de vigilancia.
- Empresas de transporté.
- Empresas de mensajería.

Un diagrama esquemático del sistema se muestra en la Figura 1.13.

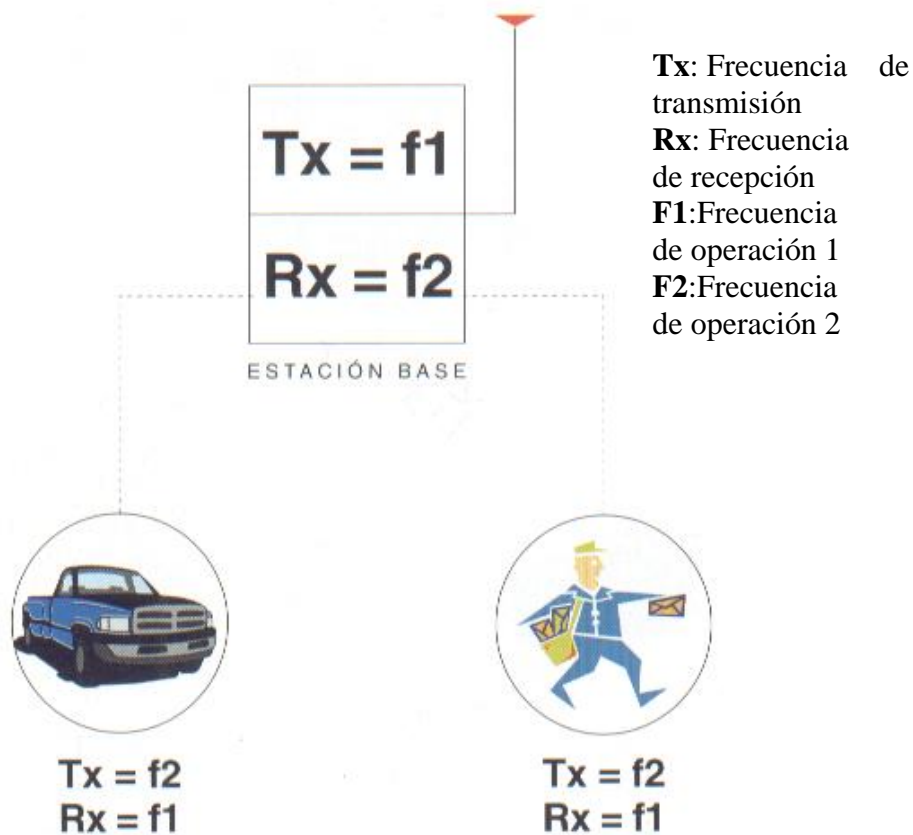


Figura. 1.11 Sistema de Despacho

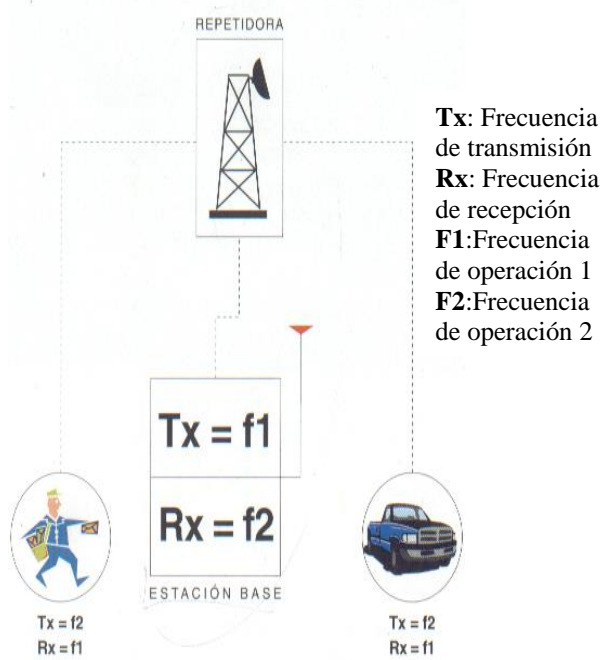
### **1.5.3 Repetidora**

Una repetidora de radio es un tipo especial de estación base localizada a cierta distancia de la base de operaciones del sistema. También consiste de un transmisor y un receptor pero varía su manera de operación. Cuando la repetidora recibe una señal del equipo base, o de cualquier otro radio del sistema inmediatamente la retransmite. La operación de la repetidora se denomina “Duplex”, ya que puede recibir y transmitir simultáneamente, sin embargo el usuario de radio no puede hacer las dos funciones al mismo tiempo. Si una repetidora se ubica debidamente en un alto edificio, en una torre o en la cima de una montaña el rango de comunicaciones del sistema se aumenta. Además una repetidora puede transmitir una señal de radio hasta donde un sistema Simplex de radio no tiene acceso. Estas repetidoras pueden ser propias o comunitarias. Las repetidoras comunitarias permiten que un número determinado de usuarios de diferentes sistemas compartan un sistema de repetidora teniendo que pagar simplemente una mensualidad sin tener que invertir en la compra del sistema completo.

#### **Alguna aplicaciones**

- Para comunicarse con todas las zonas rurales de un municipio.
- Para cubrir gran parte de una ciudad grande.

Un diagrama esquemático del sistema se muestra en la Figura 1.12.



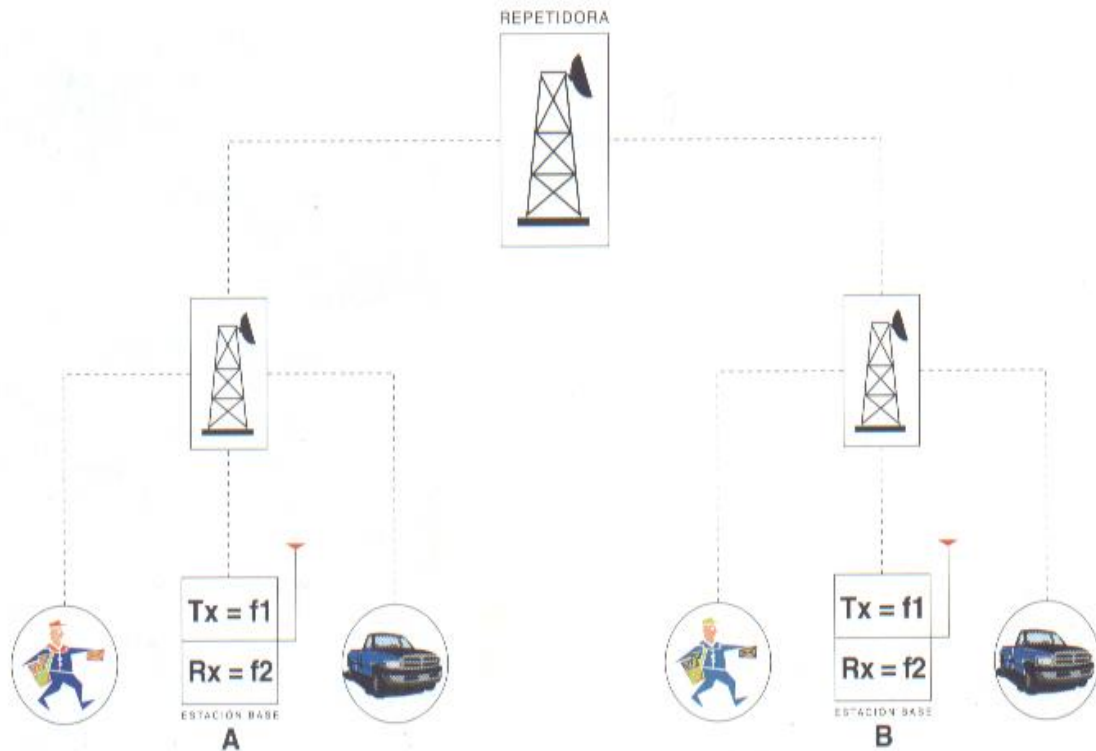
**Figura. 1.12 Sistema De Repetidora**

#### 1.5.4 Sistemas de área extendida (Enlaces)

Estos sistemas enlazan repetidoras, permitiendo de esta manera que usuarios de sistemas alejados pueden entablar comunicaciones sin necesidad de que se encuentren dentro del área de cobertura de las repetidoras de las que son usuarios. Es así como cualquier unidad del sistema A puede comunicarse con una unidad del sistema B como muestra la figura 1.13.

#### Alguna aplicaciones

- Permite comunicación entre dos ciudades no muy distantes o separadas por una montaña.



**Figura. 1.13 Sistemas de Área Extendida**

### 1.5.5 Interconexión telefónica

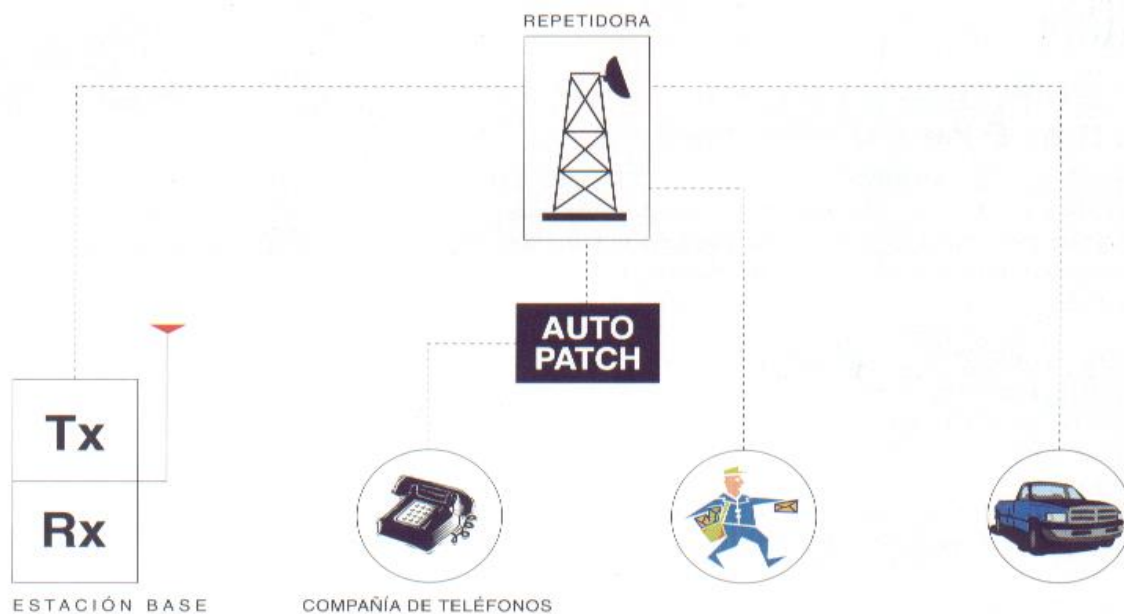
Muchos sistemas de radio pueden ser implementados con la opción de interconexión telefónica. Mediante la implementación de esta opción se hace posible que un radio móvil o portátil haga y reciba llamadas telefónicas. Lo único que se necesita es un dispositivo adicional llamado **Auto Patch** que conecta las redes telefónicas con la estación base o la repetidora. En esta situación el usuario de radio no puede hablar y escuchar simultáneamente. En algunos países podría no ser legal esta conexión. Por ello es recomendable consultar al distribuidor autorizado.



## Alguna aplicaciones

- Para empleados que necesiten comunicarse tanto con los miembros de un sistema, como con individuos no usuarios de los radios, por ejemplo: clientes.

Un diagrama esquemático del sistema se muestra en la Figura 1.14.



**Figura. 1.14 Interconexión Telefónica**

## 2 ANALISIS TOPOGRÁFICO, DE FRECUENCIAS Y FUNCIONAMIENTO DE LA RED

### 2.1 INTRODUCCION

Para la realización de cualquier proyecto de telecomunicaciones es importante conocer las diferentes normas y estatutos establecidos por las administraciones de cada país, para Colombia el responsable de la administración del espectro electromagnético es el Ministerio de Comunicaciones, y por esta razón para poder acceder al uso de una frecuencia, esta debe ser tramitada ante esta entidad, para evitar incurrir en faltas que pueden provocar la cancelación o no aceptación de la petición sobre uso del espectro electromagnético y la explotación del servicio de telecomunicaciones que se desea implementar, se debe tener un claro conocimiento de la normativa, ya que cada administración define sus tarifas, obligaciones, concesiones, penalizaciones y tramites, legislación bajo la cual se debe regir obligatoriamente el concesionario, para una mejor ilustración sobre los términos y normas se debe referir a los decretos 1900 de 1990, 930 de 1992, 2041 de 1998 y 1705 de 1999 del Ministerio de Comunicaciones.

En Colombia al tramitarse una licencia para el uso de una banda de frecuencias y al ser esta aceptada por el Ministerio de Comunicaciones, esta entidad otorgara un *permiso* y una *concesión* al concesionario.

En cuanto a los sitios de repetición, estos deben ser escogidos de tal manera que permitan interconectar las ciudades, dar el cubrimiento deseado y cumplan con los factores de calidad estimados para el buen funcionamiento de la red, es por esta razón que se han escogido lugares desde donde se tiene visibilidad directa entre

los sitios a comunicar. Los lugares escogidos son sitios en los cuales actualmente ya se encuentran otros sistemas de repetición como los de INRAVISION y TELECOM.

La principal razón por la cual se escogen estos lugares es que ya poseen toda la infraestructura necesaria para el montaje de los equipos tales como torres, energía y vigilancia.

## 2.2 CUADRO NACIONAL DE ATRIBUCION DE FRECUENCIAS

En el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias, se presentan las frecuencias para los diferentes servicios de radiocomunicaciones, en cinco columnas identificadas como: REGIÓN 1, REGIÓN 2, REGIÓN 3, COLOMBIA y NOTAS.

Las columnas identificadas como REGIÓN 1, REGIÓN 2, REGIÓN 3, corresponden al Cuadro de Atribución Internacional de Bandas de Frecuencias del Reglamento de Radiocomunicaciones, de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). El mapa de dicha distribución se muestra en la figura 2.1:

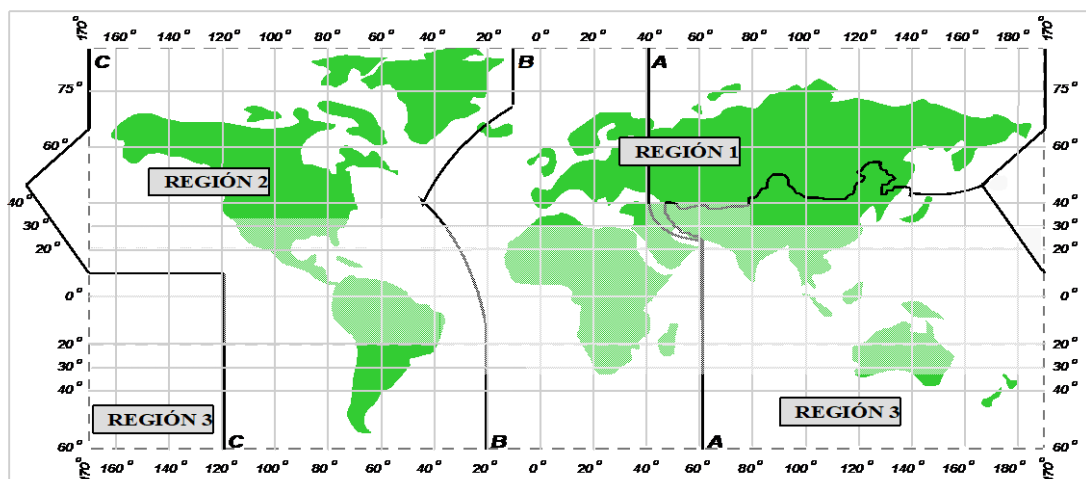
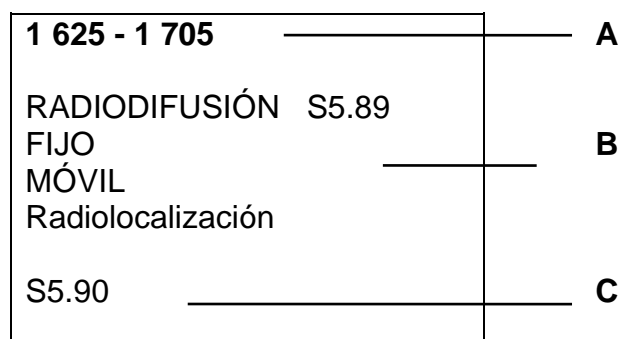


Figura. 2.1 División por regiones UIT

La columna cuatro denominada "COLOMBIA" y las bandas de frecuencias allí dispuestas están atribuidas a servicios de radiocomunicaciones de manera totalmente compatible con aquellos servicios que figuran en la segunda columna llamada "REGIÓN 2", ya que Colombia pertenece a ésta Región geográfica de la UIT.

La columna cinco está destinada para la relación y numeración de las Notas Nacionales con siglas alfanuméricas CLM1, CLM2, CLM3, etc., cuyo significado podrá consultarse el documento del cuadro nacional de atribución de bandas de frecuencias del Ministerio de Comunicaciones.

La forma en que debe utilizarse el cuadro de atribución de frecuencias se explica a partir de la Figura 2.2



**Figura. 2.2 Esquema del cuadro Nacional de atribución de frecuencias**

**A** Especifica la banda de frecuencias en KHz, MHz, GHz.

**B** Detalla los servicios que pueden ser brindados dentro de esta banda y a demás indica si estos servicios son de tipo primario o secundario. Los servicios se identifican como primarios si estos están escritos en mayúscula, tal como ocurre con el servicio MOVIL en la Figura 2.2, si el servicio es secundario este aparecerá escrito como lo esta el servicio de Radio canalización o Radio localización.

**C** NOTAS INTERNACIONALES. Numerales del Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT; conformados por la letra S seguida del número 5,

del punto, 1,2,3 o más dígitos y opcionalmente una letra, (por ejemplo **S5.354A**); hacen referencia a notas que se aplican: o bien a todas las atribuciones que figuran en la casilla, o bien a alguna atribución en particular.

## 2.3 BANDAS DE FRECUENCIA QUE PUEDEN EMPLEARCE EN EL SISTEMA DE RADIO

El cuadro de frecuencias que se va a emplear en análisis y el diseño del sistema de radio se muestra en la Tabla 2.1. En este cuadro aparecen las consideraciones técnicas del reglamento de la UIT así como las notas nacionales que deben tenerse en cuenta para el diseño de cualquier red de telecomunicaciones que emplee las frecuencias aquí relacionadas.

Región 1	Región 2	Región 3	Colombia	Notas
136 – 137	MÓVIL AERONÁUTICO (R) Fijo <b>Móvil salvo móvil aeronáutico (R)</b> S5.198 S5.202 S5.203		136 – 137 MÓVIL AERONÁUTICO (R) Fijo <b>Móvil salvo móvil aeronáutico (R)</b> <b>S5.198 S5.203</b>	CLM 3 CLM26
137 – 137,025       S5.208	OPERACIONES ESPACIALES (espacio-Tierra) METEOROLOGÍA POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL POR SATÉLITE (espacio-Tierra) S5.208A S5.209 INVESTIGACIÓN ESPACIAL (espacio-Tierra) Fijo <b>Móvil salvo móvil aeronáutico (R)</b> S5.204 S5.205 S5.206 S5.207		137 – 137,025 OPERACIONES ESPACIALES (espacio-Tierra) METEOROLOGÍA POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL POR SATÉLITE (espacio-Tierra) <b>S5.208A S5.209</b> INVESTIGACIÓN ESPACIAL (espacio-Tierra) Fijo <b>Móvil salvo móvil aeronáutico (R)</b> <b>S5.208</b>	CLM27

<b>137,025 – 137,175</b> OPERACIONES ESPACIALES (espacio-Tierra) METEOROLOGÍA POR SATÉLITE (espacio-Tierra) INVESTIGACIÓN ESPACIAL (espacio-Tierra) Fijo Móvil por satélite (espacio-Tierra) S5.208A S5.209 S5.208 Móvil salvo móvil aeronáutico (R) S5.204 S5.205 S5.206 S5.207		<b>137,025 – 137,175</b> OPERACIONES ESPACIALES (espacio-Tierra) METEOROLOGÍA POR SATÉLITE (espacio-Tierra) INVESTIGACIÓN ESPACIAL (espacio-Tierra) Fijo Móvil por satélite (espacio-Tierra) <b>S5.208A S5.209</b> Móvil salvo móvil aeronáutico (R) <b>S5.208</b>		
<b>137,175 – 137,825</b> OPERACIONES ESPACIALES (espacio-Tierra) METEOROLOGÍA POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL POR SATÉLITE (espacio-Tierra) S5.208A S5.209 INVESTIGACIÓN ESPACIAL (espacio-Tierra) Fijo Móvil salvo móvil aeronáutico (R) S5.204 S5.205 S5.206 S5.207 S5.208		<b>137,175 – 137,825</b> OPERACIONES ESPACIALES (espacio-Tierra) METEOROLOGÍA POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL POR SATÉLITE (espacio-Tierra) <b>S5.208A S5.209</b> INVESTIGACIÓN ESPACIAL (espacio-Tierra) Fijo Móvil salvo móvil aeronáutico (R) <b>S5.208</b>		
<b>Región 1</b>	<b>Región 2</b>	<b>Región 3</b>	<b>Colombia</b>	<b>Notas</b>
<b>137,825 – 138</b> OPERACIONES ESPACIALES (espacio-Tierra) METEOROLOGÍA POR SATÉLITE (espacio-Tierra) INVESTIGACIÓN ESPACIAL (espacio-Tierra) Fijo Móvil por satélite (espacio-Tierra) S5.208A S5.209 S5.208 Móvil salvo móvil aeronáutico (R) S5.204 S5.205 S5.206 S5.207		<b>137,825 – 138</b> OPERACIONES ESPACIALES (espacio-Tierra) METEOROLOGÍA POR SATÉLITE (espacio-Tierra) INVESTIGACIÓN ESPACIAL (espacio-Tierra) Fijo Móvil por satélite (espacio-Tierra) <b>S5.208A S5.209</b> Móvil salvo móvil aeronáutico (R) <b>S5.208</b>		
<b>138 – 143,6</b> MÓVIL AERONÁUTICO (OR) S5.210 S5.211 S5.212 S5.214	<b>138 – 143,6</b> FIJO MÓVIL RADIOLOCALIZACIÓN Investigación espacial (espacio-Tierra)	<b>138 – 143,6</b> FIJO MÓVIL Investigación espacial (espacio-Tierra) S5.207 S5.213	<b>138 – 143,6</b> FIJO MÓVIL RADIOLOCALIZACIÓN Investigación espacial (espacio-Tierra)	<b>CLM 27</b> <b>CLM 28</b> <b>CLM 48</b>

<b>143,6 – 143,65</b> MÓVIL AERONÁUTICO (OR) INVESTIGACIÓN ESPACIAL (espacio-Tierra)  S5.211 S5.212 S5.214	<b>143,6 – 143,65</b> FIJO MÓVIL RADIOLOCALIZACIÓN INVESTIGACIÓN ESPACIAL (espacio-Tierra)	<b>143,6 – 143,65</b> FIJO MÓVIL INVESTIGACIÓN ESPACIAL (espacio-Tierra)  S5.207 S5.213	<b>143,6 – 143,65</b> FIJO MÓVIL RADIOLOCALIZACIÓN INVESTIGACIÓN ESPACIAL (espacio-Tierra)	<b>CLM 28</b> <b>CLM48</b>
<b>143,65 – 144</b> MÓVIL AERONÁUTICO (OR)  S5.210 S5.211 S5.212 S5.214	<b>143,65 – 144</b> FIJO MÓVIL RADIOLOCALIZACIÓN Investigación espacial (espacio-Tierra)	<b>143,65 – 144</b> FIJO MÓVIL Investigación espacial (espacio-Tierra)  S5.207 S5.213	<b>143,65 – 144</b> FIJO MÓVIL RADIOLOCALIZACIÓN Investigación espacial (espacio-Tierra)	<b>CLM 28</b> <b>CLM48</b>
<b>148 – 149,9</b> FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico (R) MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra-espacio) S5.209	<b>148 – 149,9</b> FIJO MÓVIL MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra-espacio) S5.209		<b>148 – 149,9</b> FIJO MÓVIL MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra-espacio) <b>S5.209</b>	<b>CLM 27</b> <b>CLM28</b> <b>CLM 29</b> <b>CLM 48</b>
<b>150,05 – 153</b> FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico RADIOASTRONOMÍA S5.149	<b>150,05 – 156,7625</b> FIJO MÓVIL		<b>150,05 – 156</b> FIJO MÓVIL	<b>CLM 28</b> <b>CLM48</b>
<b>Región 1</b>	<b>Región 2</b>	<b>Región 3</b>	<b>Colombia</b>	<b>Notas</b>
<b>153 – 154</b> FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico (R) Ayudas a la meteorología			S5.266 S5.227	
<b>154 – 156,7625</b>				

FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico (R) S5.226 S5.227	S5.225 S5.226 S5.227	<b>156 – 156,7625</b> MÓVIL MARÍTIMO FIJO MÓVIL <b>S5.266 S5.227</b>	<b>CLM 1</b> <b>CLM 5</b> <b>CLM 28</b> <b>CLM 31</b> <b>CLM 32</b> <b>CLM 48</b>	
<b>156,8375 – 174</b> FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico  S5.226 S5.229	<b>156,8375 – 174</b> FIJO  MÓVIL  S5.226 S5.230 S5.231 S5.232	S5.111 S5.226	<b>CLM 11</b> <b>CLM 28</b> <b>CLM 32</b>	
		<b>157,45 – 160,6</b> FIJO MÓVIL	<b>CLM 28</b> <b>CLM 48</b>	
		<b>160,6 – 162,05</b> MÓVIL MARÍTIMO FIJO MÓVIL <b>S5.226</b>	<b>CLM 1</b> <b>CLM 28</b> <b>CLM 32</b>	
		<b>162,05 – 174</b> FIJO MÓVIL	<b>CLM 28</b> <b>CLM 48</b>	
<b>402 – 403</b> (Tierra-espacio)  espacio)	AYUDAS A LA METEOROLOGÍA Exploración de la Tierra por satélite  Fijo Meteorología por satélite (Tierra-  Móvil salvo móvil aeronáutico	<b>402 – 403</b> AYUDAS A LA METEOROLOGÍA Exploración de la Tierra por satélite (Tierra-espacio) Fijo Meteorología por satélite (Tierra-espacio) Móvil salvo móvil aeronáutico		
<b>403 – 406</b>	AYUDAS A LA METEOROLOGÍA Fijo Móvil salvo móvil aeronáutico	<b>403 – 406</b> AYUDAS A LA METEOROLOGÍA Fijo Móvil salvo móvil aeronáutico	<b>CLM 39</b>	
<b>406,1 – 410</b>	FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico RADIOASTRONOMÍA S5.149	<b>406,1 – 410</b> FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico RADIOASTRONOMÍA <b>S5.149</b>	<b>CLM 39</b> <b>CLM 48</b>	
<b>Región 1</b>	<b>Región 2</b>	<b>Región 3</b>	<b>Colombia</b>	<b>Notas</b>
<b>410 – 420</b>  espacio) S5.268	FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico Investigación espacial (espacio- espacio)	<b>410 – 420</b> FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico Investigación espacial (espacio- espacio) <b>S5.268</b>	<b>CLM 39</b> <b>CLM 40</b> <b>CLM 48</b>	



<b>420 – 430</b>		FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico Radiolocalización S5.269 S5.270 S5.271	<b>420 – 430</b> FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico Radiolocalización	<b>CLM 39</b> <b>CLM 40</b> <b>CLM 48</b>
<b>440 – 450</b>		FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico Radiolocalización S5.269 S5.270 S5.271 S5.284 S5.285 S5.286	<b>440 – 450</b> FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico Radiolocalización <b>S5.286</b>	<b>CLM 28</b> <b>CLM 48</b>
<b>450 – 455</b>		FIJO MÓVIL S5.271 S5.286	<b>450 – 455</b> FIJO MÓVIL <b>S5.286</b>	<b>CLM 28</b> <b>CLM 48</b>
<b>455 – 456</b> FIJO MÓVIL  S5.271 S5.286B	<b>455 – 456</b> FIJO MÓVIL MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra-espacio)  S5.209 S5.271 S5.286A S5.286B S5.286C	<b>455 – 456</b> FIJO MÓVIL  S5.271 S5.286B	<b>455 – 456</b> FIJO MÓVIL MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra-espacio)  <b>S5.209 S5.286A S5.286B S5.286C</b>	<b>CLM 28</b> <b>CLM 48</b>
<b>456 – 459</b>		FIJO MÓVIL  S5.271 S5.287 S5.288	<b>456 – 459</b> FIJO MÓVIL <b>S5.287</b>	<b>CLM 28</b> <b>CLM 48</b>
<b>459 – 460</b> FIJO MÓVIL  S5.271 S5.286B	<b>459 – 460</b> FIJO MÓVIL MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra-espacio)  S5.209 S5.271 S5.286A S5.286B S5.286C	<b>459 – 460</b> FIJO MÓVIL  S5.271 S5.286B	<b>459 – 460</b> FIJO MÓVIL MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra-espacio)  <b>S5.209 S5.286A S5.286B S5.286C</b>	<b>CLM 28</b> <b>CLM 48</b>

460 – 470		FIJO MÓVIL Meteorología por satélite (espacio-Tierra)		460 – 470 FIJO MÓVIL Meteorología por satélite (espacio-Tierra)		CLM 28 CLM 48		
S5.287 S5.288 S5.289 S5.290				S5.287 S5.289				
Region 1		Region2		Region 3		Colombia		Notas
470 – 512 RADIODIFUSIÓN		470 – 512 RADIODIFUSIÓN Fijo Móvil		470 – 512 FIJO MÓVIL RADIODIFUSIÓN		470 – 482 ENLACES NACIONALES (Estaciones de Radiodifusión sonora) S5.292 S5.293		CLM 36 CLM 42
S5.149 S5.294 S5.296 S5.300 S5.302 S5.304 S5.306 S5.311 S5.312		S5.292 S5.293		S5.291 S5.298		482 – 512 FIJO MÓVIL S5.292 S5.293		CLM 28 CLM 42 CLM43 CLM 48

**Tabla 2.1 Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias**

## 2.4 PLAN DE FRECUENCIAS PARA LA RED TRONCAL

La red troncal es la parte de la red conformada por los enlaces de radio que nos permiten interconectar las cinco ciudades, estos enlaces se muestran en el mapa de la figura 2.3.

Cada una de las frecuencias que se emplearan para la red troncal estarán en el rango entre 400 MHz a 512 MHz. No se puede especificar frecuencia alguna ya que el MINISTERIO DE COMUNICACIONES no tiene a disposición del publico el conocimiento de las bandas de frecuencias que se encuentran disponibles. Por esta razón se debe sugerir a esta entidad un rango del espectro en el momento de hacer una solicitud de asignación de frecuencias, estas frecuencias serán

asignadas según lo estipule y crea conveniente el Ministerio de Comunicaciones de acuerdo con la disponibilidad del espectro electromagnético.

Las frecuencias llamadas F2,F3,F4... son solamente nombres hipotéticos dados a las frecuencias que serán empleadas en los trayectos.

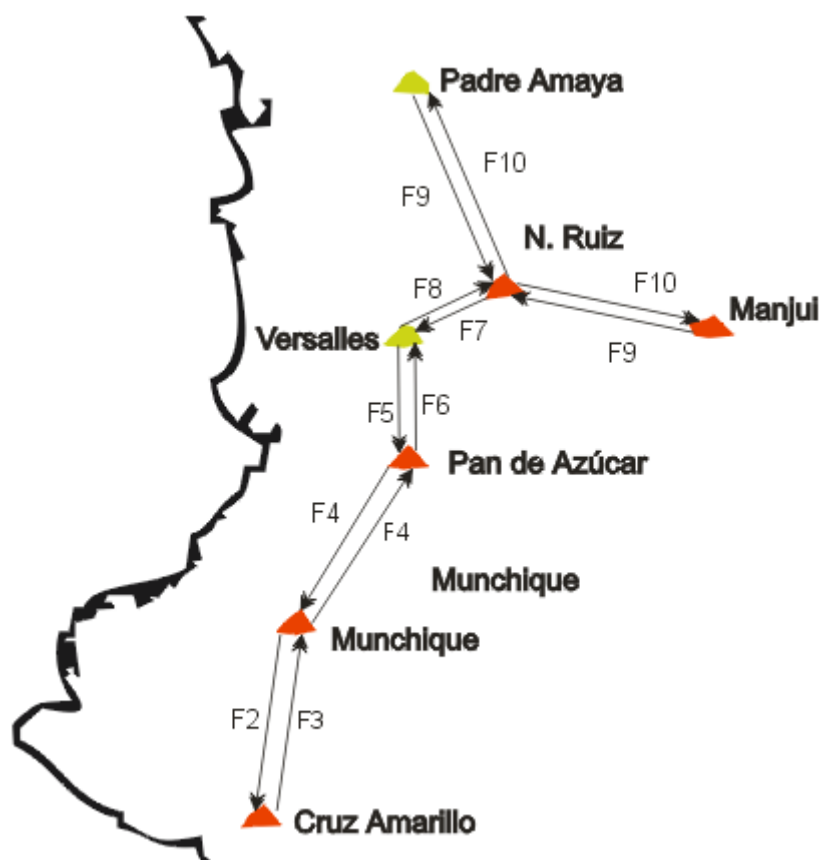


Figura 2.3 Plan de Frecuencias

## 2.5 ANALISIS TOPOGRÁFICO.

Dentro de los sitios que pueden ser empleados como sitios de repetición se encuentran un gran número de cerros que han sido habilitados ya sea por Telecom, o por los sistemas repetidores de televisión de los canales nacionales como también de algunas empresas privadas. Algunos de estos sitios de interés son

ESTACIONES RELEVADORAS TRANSMISORAS Y DE RADIO						
Transmisor	Depto.	Frec.	Canal1 Canal	Canal2 Canal	Canal3 Canal	Altura
Boq. chipaque	Cundinamarca	FM				2600
Calatrava	Santa fe de Bogota.	FM				2700
Carepa	Antioquia	FM	7	11		200
Cerro Neiva	Huila	FM	12	10	8	2700
Cruz Amarillo	Nariño	FM				3200
El Rosal	Cundinamarca	FM				2600
El Ruiz	Caldas	FM	12	10	21	4223
Gabinete	Huila	FM	6	4		2600
Galeras	Nariño	FM	12	9		4000
Jamundi	Valle	AM				995
La Enea	Caldas	AM				2100
Manjui	Cundinamarca	FM	7	9	11	3200
Marinilla	Antioquia	AM				2100
Montezuma	Risaralda		7	9		2520
Munchique	Cauca	FM	10	4		3030
Padre Amaya	Antioquia	FM	3	13		3100
Páramo de los Domínguez	Valle	FM		13		3900
Planadas	Quindío	FM	4	2		3040
Versalles	Valle					2000
Villalobos						2500
Villarrica	Tolima					1300
Boq. del Toyo	Antioquia					2350
Cali	Valle					1007
Can	Santa fe de Bogota.					2600

Manizales	Caldas					3100
Medellín	Antioquia					1450

**Tabla 2.2 Puntos para Emplazamientos**

## 2.6 LUGARES ESCOGIDOS PARA REPETICION

Cada uno de los sitios que será empleado se detalla a continuación con su ubicación en coordenadas polares, planas, altitud y el correspondiente departamento:

DEPTO	Nombre	Coord. Planas (X), (Y)		Coord. Polares (N),(W)		Altura (m)
Antioquia	<b>Padre Amaya</b>	1.186.400	1.154.040	06°16'58"	75°41'21"	3100
Caldas	<b>N. Ruiz</b>	1.039.440	858.720	04°57'16"	75°21'17"	4200
<b>La distancia del enlace es de 164 Km</b>						

DEPTO	Nombre	Coord. Planas (X), (Y)		Coord. Polares (N),(W)		Altura (m)
Caldas	<b>N. Ruiz</b>	1.039.440	858.720	04°57'16"	75°21'17"	4050
Cundinam.	<b>Manjui</b>	1.022.445	965.403	04°48'07"	74°23'34"	3200
<b>La distancia del enlace es de 108.2 Km</b>						

DEPTO	Nombre	Coord. Planas (X), (Y)		Coord. Polares (N),(W)		Altura (m)
Caldas	<b>N. Ruiz</b>	1.039.440	858.720	04°57'16"	75°21'17"	4050
Valle.	<b>Versalles</b>	1'000.010	1'100.000	4° 35' 12'	76°10'15"	2000
<b>La distancia del enlace es de 83 Km</b>						

DEPTO	Nombre	Coord. Planas (X), (Y)		Coord. Polares (N),(W)		Altura (m)
Valle	<b>Versalles</b>	1'000.010	1'100.000	4° 35' 12'	76°10'15"	2000
Valle	<b>Pan de azúcar</b>	898.712.79	1.105.545	3°40'12	76° 07'	3900
<b>La distancia del enlace es de 99 Km</b>						

DEPTO	Nombre	Coord. Planas (X), (Y)		Coord. Polares (N),(W)		Altura (m)
Valle	<b>Pan de azúcar</b>	898.712.79	1.105.545	3°40'12	76° 07'	3900
Cauca	<b>Munchique</b>	770.308	1.013.376	2° 31' 19"	76° 57' 38"	3057
<b>La distancia del enlace es de 160.2 Km</b>						

DEPTO	Nombre	Coord. Planas (X), (Y)		Coord. Polares (N),(W)		Altura (m)
Cauca	<b>Munchique</b>	770.308	1.013.376	02°31'19"	76°57'38"	3057
Nariño	<b>Cruz Amarillo</b>	616.360	973.500	01°07'47"	77°19'08"	3200
<b>La distancia del enlace es de 159.82 Km</b>						

## 2.7 ESQUEMA Y FUNCIONAMIENTO DE LA RED DE RADIO.

En la figura 2.4 se puede ver la distribución geográfica de cada una de las estaciones repetidoras así como el grupo de frecuencias necesarias para la realización de cada uno de los enlaces y coberturas en las ciudades.

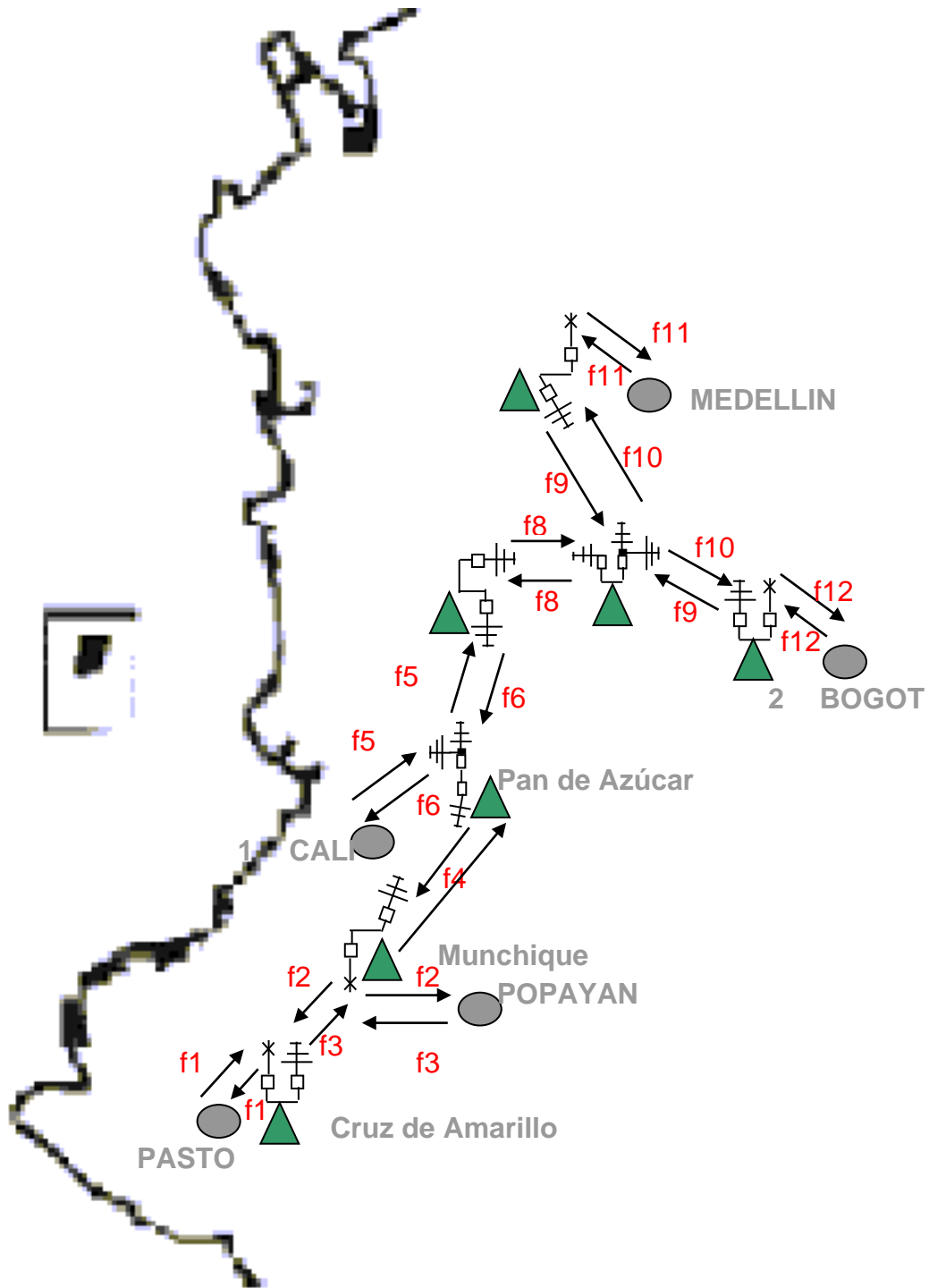


Figura 2.4 Funcionamiento de la Red

### **2.7.1 Establecimiento De Una Comunicación Entre Ciudades.**

Debido a que la red no posee inteligencia para hacer un enrutamiento de la información, cuando un usuario accede a una de las repetidoras de la red troncal para comunicarse con otra ciudad, ocupara en su totalidad el sistema de repetidoras no permitiendo que otro usuario acceda a la red durante el tiempo que dure la comunicación. Además de eso el usuario que esta comunicándose es escuchado en todas las ciudades donde tenga cubrimiento la red. Es responsabilidad de cada administración en particular establecer políticas de seguridad, como por ejemplo la creación de grupos de usuarios, de forma que un mensaje no sea escuchado por todos los usuario de la red, sino solo por aquellos que estén autorizados.

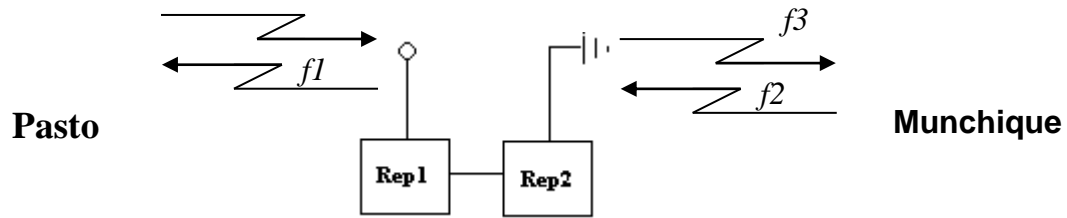
### **2.7.2 Estaciones Repetidoras.**

Se utilizarán repetidoras activas estilo back to back en donde la señal recibida es regenerada y amplificada nuevamente para su correcta transmisión. También se realiza el traslado de frecuencia para el enlace siguiente.

Estas estaciones repetidoras poseen cada una un duplexor lo cual permite recibir y transmitir señales por la misma antena.

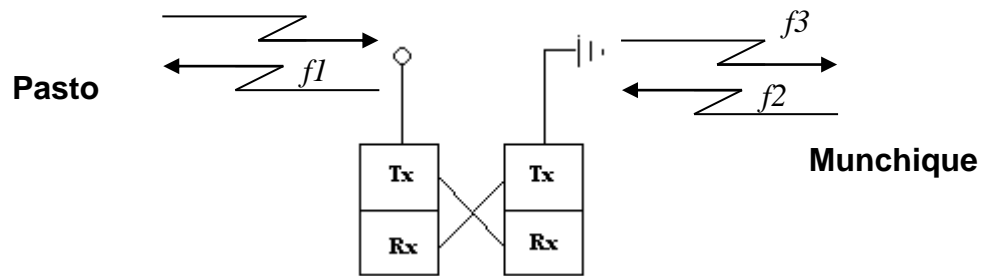
*CERRO CRUZ DE AMARILLO:* Este sitio será el punto de acceso a la red de larga distancia para los móviles, portátiles y fijos que se encuentren en la ciudad de Pasto en departamento de Nariño, por medio de esta estación se podrá tener comunicación con cualquiera de las ciudades involucradas en el proyecto





**Figura 2.5 Repetidora de Cerro cruz de Amarillo**

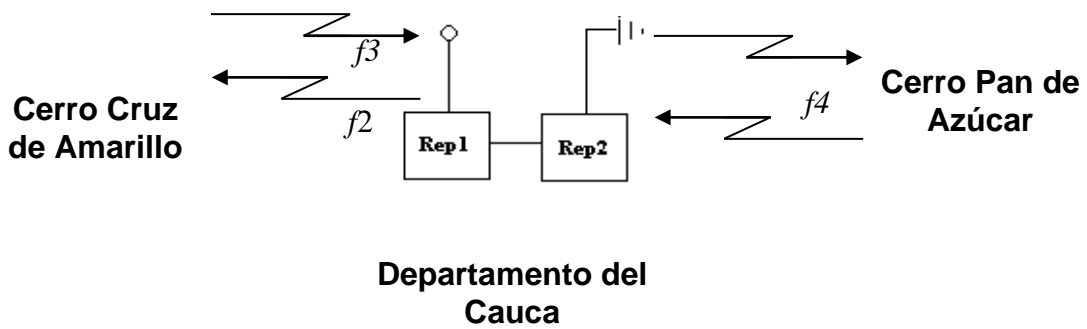
La interconexión entre los equipos se observa en la figura 2.6:



**Figura 2.6 Repetidora de Cerro cruz de Amarillo**

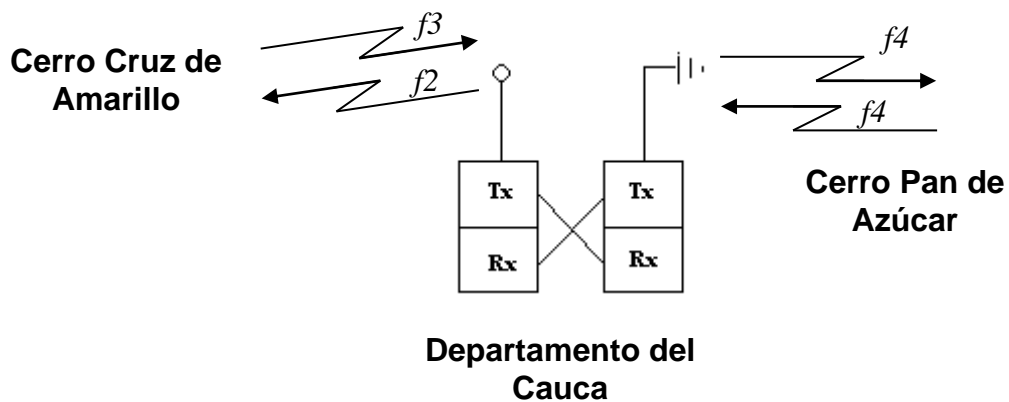
Como se puede observar una llamada saliente de la ciudad de pasto llega primero a la antena omni-direccional que activara el transmisor del repetidor 2 y hará que este se convierta en un usuario mas de la siguiente repetidora.

*CERRO MUNCHIQUE:* Este sitio da cubrimiento e interconecta los usuarios del cauca con la red de larga distancia, ya sea con equipos móviles, portátiles o fijos que se encuentren en el departamento enfatizando el cubrimiento en la ciudad de Popayán. Además de eso sirve como estación repetidora para señales que vengan de otras ciudades. El esquema general se puede ver en la figura 2.7



**Figura 2.7 Repetidora del Cerro Munchique**

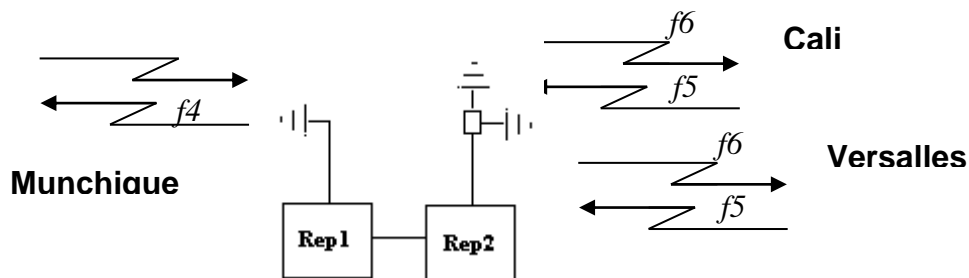
La interconexión entre los equipos se observa en la figura 2.8:



**Figura 2.8 Repetidora del Cerro Munchique**

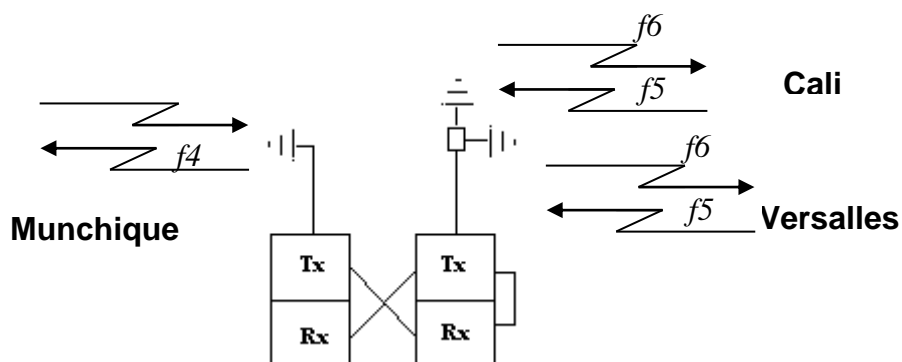
La antena omni-direccional del repetidor 1 es la encargada de establecer el enlace con el cerro Cruz de Amarillo y de retransmitir la señal dando cobertura al departamento del Cauca. Además de eso activa el transmisor del repetidor 2 para realizar el enlace con la siguiente repetidora.

**CERRO PAN DE AZUCAR:** En este sitio funciona como una estación de paso estableciendo enlaces direccionales con Cali, Cerro Munchique y el cerro Versalles tal y como se muestra en la figura 2.9.



**Figura 2.9 Repetidora del Cerro Pan de Azúcar**

La interconexión entre los equipos se observa en la figura 2.10:

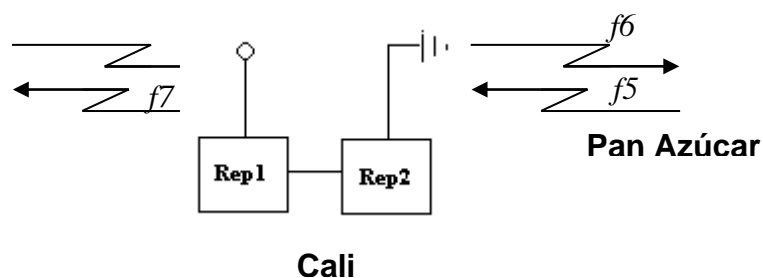


**Figura 2.10 Repetidora del Cerro Pan de Azúcar**

El repetidor uno es el encargado de recibir las señales que vienen del cerro Munchique, este a su vez activa el repetidor dos, este repetidor alimenta dos antenas direccionales dirigidas hacia los sitios con los cuales se desea establecer un enlace, que para este caso son la ciudad de Cali y el cerro Versalles.

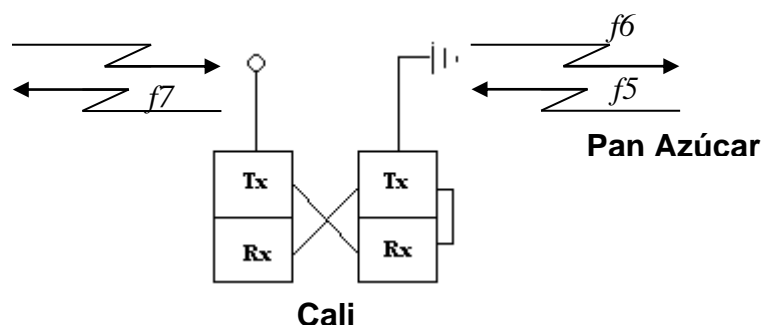
El cuadro entre las antenas y el repetidor simboliza un divisor de potencia.

**CALI:** Este repetidor se encuentra ubicado en el edificio torre de Cali. Es el encargado de darle cobertura a la ciudad de forma que los usuarios que se encuentren dentro del perímetro de esta puedan acceder a la red nacional.



**Figura 2.11 Repetidora de la Ciudad de Cali**

La interconexión entre los equipos se observa en la figura 2.12:

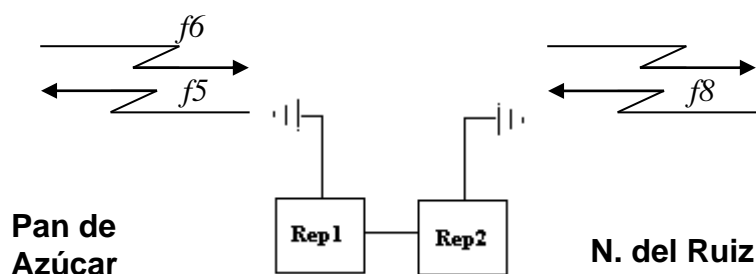


**Figura 2.12 Repetidora de la Ciudad de Cali**

La antena omni-direccional del repetidor 1 es la encargada de radiar y recibir la señal para la ciudad de Cali, al tiempo que activa el transmisor del repetidor 2 para

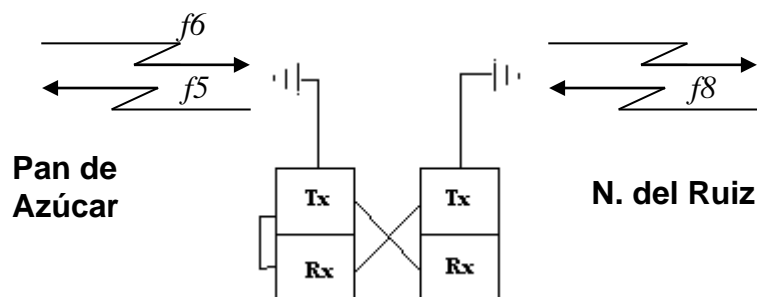
establecer el enlace con el cerro Pan de Azúcar por medio de una antena direccional.

*CERRO VERSALLES*: Esta estación repetidora sirve como estación de paso encargándose de regenerar la señal que viene del Nevado del Ruiz y enviarla al cerro Pan de Azúcar y viceversa..



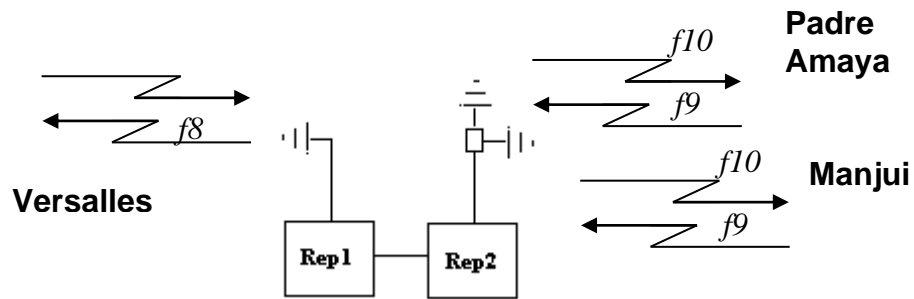
**Figura 2.13 Repetidora del Cerro Versalles**

La interconexión entre los equipos se observa en la figura 2.14:



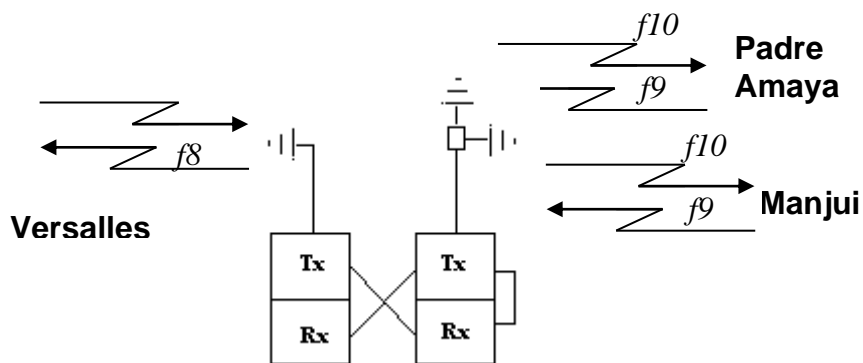
**Figura 2.14 Repetidora del Cerro Versalles**

*CERRO NEVADO DEL RUIZ*: En este sitio funciona igual que el cerro Pan de Azúcar. Realiza los enlaces con el cerro Versalles, cerro Manjuí y cerro Padre Amaya tal y como se ve en la figura 2.15.



**Figura 2.15 Repetidora del Nevado del Ruiz**

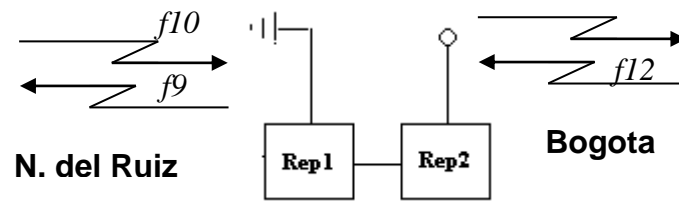
La interconexión entre los equipos se observa en la figura 2.16:



**Figura 2.16 Repetidora del Nevado del Ruiz**

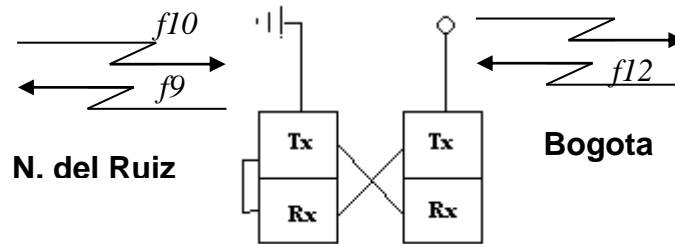
El repetidor 1 es el encargado de establecer el enlace entre el Nevado del Ruiz y el cerro Versalles y activar el repetidor 2 el cual por medio de un divisor de potencia transmite hacia el cerro Manjui y el cerro Padre Amaya.

*CERRO MANJUI:* Este repetidor es el encargado establecer el enlace con el Nevado del Ruiz y darle cobertura a la ciudad de Bogota de forma que los usuarios que se encuentren dentro del perímetro de esta puedan acceder a la red nacional tal y como se ve en la figura 2.17.



**Figura 2.17 Repetidora del Cerro Manjui**

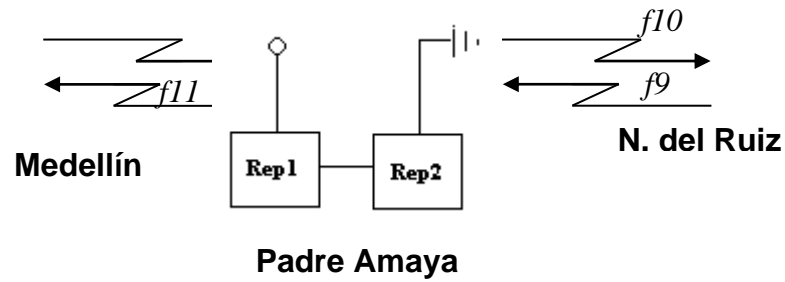
La interconexión entre los equipos se observa en la figura 2.18:



**Figura 2.18 Repetidora del Cerro Manjui**

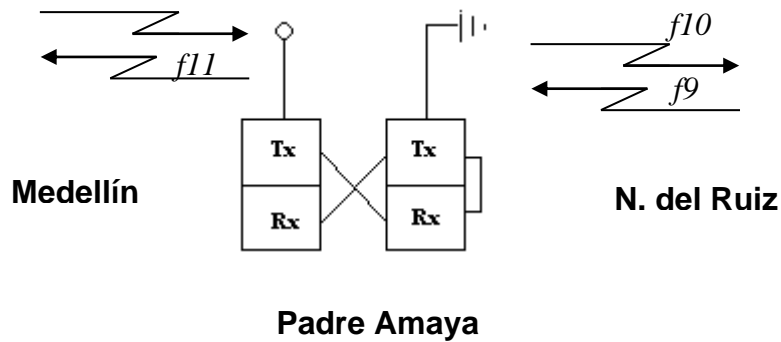
La antena omni-direccional del repetidor 1 es la encargada de radiar y recibir la señal para la ciudad de Bogotá, al tiempo que interactúa con el transmisor del repetidor 2 para establecer un enlace direccional con el Nevado del Ruiz.

*CERRO PADRE AMAYA:* Este repetidor es el encargado establecer el enlace con el Nevado del Ruiz y darle cobertura a la ciudad de Medellín. Su funcionamiento es igual a la estación repetidora del cerro Manjui.



**Figura 2.19 Repetidora del Cerro Padre Amaya**

La interconexión entre los equipos se observa en la figura 2.20:



**Figura 2.20 Repetidora del Cerro Padre Amaya**

La antena omni-direccional del repetidor 1 es la encargada de radiar y recibir la señal para la ciudad de Medellín, al tiempo que interactúa con el transmisor del repetidor 2 para establecer un enlace direccional con el Nevado del Ruiz.

### 2.7.3 Comunicación Local.

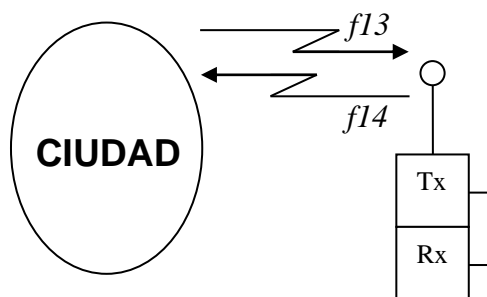
Para las comunicaciones dentro de la misma ciudad se dispone de una estación repetidora diferente a la estación repetidora de la red nacional. Esto se hace con el



fin de que las comunicaciones locales no compitan con las comunicaciones a nivel nacional.

Los sitios donde estarán ubicadas cada una de las repetidoras para la comunicación local serán los mismos lugares de repetición que se utilizan en la red nacional para la cobertura de cada ciudad, a excepción de la repetidora para la ciudad de Popayán, la cual estará ubicada en el cerro de Las Tres Cruces.

La figura 2.21 muestra el esquema general para la cobertura de las ciudades en una comunicación a nivel local.



**Figura 2.21 Comunicación Local**

#### **2.7.4 Estaciones Base, Equipos Portátiles Y Móviles.**

Dentro de cada una de las ciudades antes mencionadas se debe permitir la comunicación de usuarios por medio de equipos portátiles, móviles o por medio de estaciones base.

### **2.7.5 Administración de usuarios**

Es posible la creación de grupos de usuarios dentro del sistema gracias a la codificación mediante la transmisión de tonos sub-audibles en los canales de información.

En cada equipo portátil, móvil y repetidor se realiza la programación de uno o varios tonos, de forma que cuando un usuario desea establecer una comunicación, escoge con que tono que acompaña la señal de voz. En el receptor de la repetidora se detecta el tono de la señal y si este se encuentra programado, se activa el transmisor, el cual retransmite la señal con el tono generado por el usuario inicialmente

### **2.7.6 Conjunto de frecuencias**

Las frecuencias utilizadas para el establecimiento de los radio-enlaces estarán en la banda de UHF y se encontrarán en el rango de 406 MHz - 520 MHz. Es de anotar que es el Ministerio de Comunicaciones es encargado de la asignación de las frecuencias con base en la lista de frecuencias disponibles que se tengan en cada región del país.

### 3 ANALISIS Y CALCULO DE RADIO-ENLACES

#### 3.1 FORMULACION PARA LOS CALCULOS EN LOS TRAYECTOS

Para la realización de los perfiles se ha tenido en cuenta la siguiente formulación de acuerdo con las recomendaciones de la UIT-R.

##### 3.1.1 Formulación para determinar la altura de las antenas

###### 3.1.1.1 Corrección por curvatura terrestre $h_k$

$h_k$  = Altura en metros que se debe sumar a la altura del obstáculo.

$$h_k = \frac{d_{tx} * d_{rx}}{2 * k * r}$$

(Ec 3.1)

$d_{tx}$ : Distancia del transmisor al obstáculo (metros).

$d_{rx}$ : Distancia del receptor al obstáculo (metros).

$r$ : Radio de la tierra (6378 Km.)

$k$ : Factor de corrección.

###### 3.1.1.2 Zona de Fresnel Rec. 530 – 8 UIT-R

$F_1$  = Primer radio de Fresnel.

$f$  = frecuencia de la señal (GHz).

$$F_1 = 17,3 * \sqrt{\frac{d_{tx} * d_{rx}}{f * D}}$$

(Ec 3.2)

$d_1$  = distancia del transmisor al obstáculo (metros).

$d_2$  = distancia del obstáculo al receptor (metros).

$$D = d_{tx} + d_{rx}$$

### 3.1.1.3 Línea de vista

Y: Ecuación de la recta que une el receptor y el transmisor

$$Y = m_x + b$$

(Ec 3.3)

$m_x$ : Pendiente de la recta

$y_2$ : altura del receptor

$$m_x = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$y_1$ : altura del transmisor

(Ec 3.4)

$x_2$ : Distancia del receptor

$x_1$ : Distancia del transmisor

b: Altura transmisor

### 3.1.1.4 Altura de las antenas

$$h' = \frac{d}{d_2} (h_c + F_1) - h_{tx} - \frac{d_1}{d_2} h_{rx} \quad (\text{Ec. 3.5})$$

Donde:

$h_{rx}$ : Altura S.N.M. del terreno donde se encuentra el punto de recepción.

$h_{tx}$ : Altura S.N.M. del terreno donde se encuentra el punto de transmisión.

$h'$ : Altura de la torre de antena en el punto de transmisión, cuando la altura  $h_2$  es igual a cero.

$F_1$ : Radio de la primera zona Fresnel.

$h_c$ : Altura S.N.M. del obstáculo con corrección de curvatura.

$$h_c = h_0 + h_k \quad (\text{Ec 3.6})$$

Donde:

$h_0$ : Altura S.N.M del obstáculo sin corrección de curvatura.

$h_k$ : Corrección de elevación (ecuación 3.1).

Si  $h_2 \neq 0$ , la altura  $h_1$  se modifica, suponiendo una altura  $h'$ , geoméricamente.

$$\Delta h = (d_1/d_2)h_2 \quad (\text{Ec.3.7})$$

$h_1$ : Altura de la torre en metros de la antena en el punto de recepción.

$h_2$ : Altura de la torre en metros de la antena en el punto de transmisión.

$$h_1(m) = h' - \Delta h \quad (\text{Ec. 3.8})$$

### 3.1.2 Formulación para calculo de las perdidas por propagación

$$L_{MP}(dB) = L_{FS} + L_{AG} + L_D + L_H + L_E \quad (\text{Ec. 3.9})$$

Donde:

$L_{FS}$ : Pérdidas de espacio libre (dB).

$L_{AG}$ : Atenuación debida a gases atmosféricos(dB)  $F > 1\text{GHz}$  UIT-R Rec 676-4

$L_D$ : Pérdidas por difracción (dB).

$L_H$ : Atenuación por hidrometeoros (dB)  $F > 5\text{GHz}$  UIT-R Rec 840-3, 837-2.

$L_E$ : Pérdidas de eco adicionales (dB)  $F > 0.7\text{GHz}$ .

### 3.1.2.1 Perdidas de espacio libre UIT-R 525-2

$$L_{FS}(dB) = 32,45 + 20 \log f + 20 \log d \quad (\text{Ec. 3.10})$$

f: Frecuencia (MHz).

D: Distancia (Km)

### 3.1.2.2 Perdida por difracción UIT-R Rec. 526-6

$$v = h \sqrt{\frac{2d_{ab}}{\lambda * d_{an} * d_{nb}}} \quad (\text{Ec. 3.11})$$

Donde:

$$h = h_n + \left[ \frac{d_{an} d_{nb}}{2r_e} \right] - \left[ \frac{h_a d_{nb} + h_b d_{an}}{d_{ab}} \right] \quad (\text{Ec. 3.12})$$

Donde:

$h_a, h_b$  : Alturas verticales S.N.M.. de los extremos (Puntos a y b).

$h_n$  : Altura S.N.M.. del obstáculo.

$d_{an}, d_{nb}, d_{ab}$  : Distancias horizontales.

$r_e$  : radio efectivo de la tierra

Se escoge el obstáculo p para el cual v da el resultado más grande.

Si  $v < -0,78$  las perdidas por difracción ( $J(v_s)$ ) son iguales a cero.

Si  $v \geq -0,78$  las perdidas por difracción vienen dadas por la formula:

$$J(v_p)(dB) = 6,9 + 20 \log \sqrt{(v-0,1)^2 + 1} + v - 0,1 \quad (\text{Ec. 3.13})$$

Exceso de pérdidas por difracción LD

Se aplica dos veces más el procedimiento anterior si hay más de un obstáculo considerable.

-Del transmisor al obstáculo p hallando  $J(V_t)$

-Del obstáculo p al receptor hallando  $J(V_r)$

$$L_D(\text{dB}) = J(V_P) + T (J(V_t) + J(V_r) + C) \quad \text{para } V_P > -0,78$$

$$L_D(\text{dB}) = 0 \quad \text{para } V_P < -0,78$$

$$C = 10 + 0.04 d \quad (\text{corrección empírica})$$

$$T = 1 - \exp(- J(V_P) / 6)$$

d = Longitud total del trayecto (Km.).

### 3.1.2.3 Pérdidas en la línea de transmisión

$$\alpha = \frac{X_{dB}}{100m} \quad (\text{Ec. 3.13})$$

X: Numero de decibeles

### 3.1.3 Indisponibilidad de equipos

$$U_e = \frac{MTTR}{MTTR + MTBF} \quad \begin{array}{l} U_e : \text{Indisponibilidad de los equipos} \\ MTTR : \text{Tiempo medio para reparaciones} \\ MTBF : \text{Tiempo medio entre fallas} \end{array}$$

(Ec. 3.14)

### 3.1.4 Objetivos de calidad

$$FM = P_{RX} - P_N \quad \begin{array}{l} F_M : \text{Margen de desvanecimiento} \\ P_{RX} : \text{Potencia de recepción de calidad} \\ P_N : \text{Potencia umbral} \end{array}$$

(Ec. 3.15)

### 3.1.4.1 Sensitividad de equipos.

Es el nivel de potencia mínimo necesario en la entrada del receptor para la cual todavía se pueda producir una señal de información demodulada utilizable.

Esta información es suministrada por los fabricantes dentro de las especificaciones de cada equipo, valor típico de 0,22  $\mu\text{V}$ .

La sensitividad de un receptor generalmente se da en  $\mu\text{V}$ .

El cambio de  $\mu\text{V}$  a W esta dado por la formula:

$$W = V^2 / R$$

(Ec. 3.15)

W = Sensitividad del equipo dada en vatios.  
V = sensitividad del equipo.  
R = Impedancia del sistema. Para este caso R es 50 $\Omega$

Para convertir vatios a dBW:

$$P(\text{dBW}) = 10 \log (P(W)/1W).$$

### 3.1.4.2 Cálculo de margen de desvanecimiento por VIGANNTS-BARNETT

El desvanecimiento es un incremento aleatorio de las perdidas por trayectorias durante condiciones anormales de propagación. Estos incrementos por lo general se dan por periodos muy cortos de tiempo. Para minimizar los efectos de dichos incrementos y poder mantener los objetivos de disponibilidad del sistema se fija el margen de desvanecimiento necesario para dicho fin.

El método a usar para el cálculo del margen de desvanecimiento será el método empírico desarrollado por VIGANNTS-BARNETT



$$r_m = a * 10^{-5} \left( \frac{f}{4} \right) D^3$$

**(Ec. 3.16)**

$$r_{yr} = b r_m$$

**(Ec. 3.17)**

$$U_{ndp} = r_{yr} \left( 10^{-\frac{F}{10}} \right)$$

**(Ec. 3.18)**

$$U_{ndp} = 2.5abfD^3 \left( 10^{-\frac{F}{10}} \right) (10^{-6})$$

**(Ec. 3.19)**

- D: Longitud del trayecto (millas)  
 F: Frecuencia GHz  
 $r_m$ : Variable calculada para el mes de trabajo  
 $r_{yr}$ : Variable calculada para un año  
 a: 4 Para terreno plano, agua, desierto  
 1 para terreno medio con rugosidad  
 0.25 Montañoso muy rugoso o muy seco  
 b: 0.5 clima cálido y zonas costeras húmedas  
 0.25 Clima normal, templado y regiones sub-árticas  
 0.125 Para montañoso o muy seco sin áreas reflectivas  
 $U_{ndp}$ : Indisponibilidad del trayecto substrayéndolo de 1

### 3.1.4.3 Métodos para diversos porcentajes de tiempo. Rec. UIT P.530-8

Este método ofrece la predicción del porcentaje de tiempo en que se excede la profundidad de desvanecimiento hallada para el sistema.

Paso 1:

Se calcula el factor de ocurrencia para trayectos múltiples Po.

$$Po = Kd^{3.6} f^{0.89} (1 + |Ep|)^{-1.4}$$

$|Ep|$  = inclinación del trayecto.  
 $hr$  = Altura del receptor.

**(Ec. 3.20)**  $h_e$  = Altura del emisor.

$$|E_p| = \frac{|h_r - h_e|}{d}$$

**(Ec. 3.21)**

$$K = 5,0 * 10^{-7} * 10^{-0,1(Co-Clat-Clon)} P_L^{1,5} \quad \text{(Ec. 3.22)}$$

$Co = 8$  Para la antena de menor altura situada a mas de 700 metros por encima del nivel medio del mar el cual es nuestro caso.

El coeficiente CLAT de latitud  $\epsilon$  viene dada por:

$CLat = 0$  dB para  $\epsilon \leq 53$  grados N o S (Aplicable para Colombia).

$CLat = -53 + \epsilon$  dB para  $53 \text{ grados N o S} < \epsilon < 60 \text{ grados N o S}$

$CLat = 7$  dB para  $\epsilon \geq 60$  grados N o S.

Y el coeficiente de longitud  $CLong$  viene dado por:

$CLong = -3$  dB para longitudes de América del Norte y América del Sur.

$P_L$  = Variable climática. Se extrae de los mapas 7 a 10 de la recomendación UIT-R P.453. Para Colombia toma el valor de 20.

Paso 2:

Se calcula el valor de la profundidad de desvanecimiento  $At$  que esta dado por:

$$At = 25 + 1,2 * \text{Log}(P_o) \text{ dBW} \quad \text{(Ec 3.23).}$$

Paso 3:

Si  $A_t$  es menor que el margen de desvanecimiento  $F$  hallado por el método de VIGANNTS-BARNETT el porcentaje de desvanecimiento  $P_w$  esta dado por la formula:

$$P_w = P_o * 10^{-F/10} \quad [\%] \quad (\text{Ec. 3.24})$$

Donde  $F$  es el margen de desvanecimiento hallado por el método de VIGANNTS-BARNETT.

Si  $A_t$  es mayor que  $F$  entonces:

$$P_w = P_o * 10^{-A_t/10} \quad [\%] \quad (\text{Ec. 3.25})$$

#### 3.1.4.4 Horas al día - minutos al día

Con el porcentaje de tiempo  $P_w$  podemos hacer la predicción de cuantas horas al día y minutos al día se sobrepasará el margen de desvanecimiento.

$$\text{HORAS AL DIA} = 0,24 * P_w \quad (\text{Ec. 3.26})$$

$$\text{MINUTOS AL DIA} = 60 * \text{HORAS AL DIA} \quad (\text{Ec. 3.27})$$

#### 3.1.4.5 Potencia de recepción de calidad.

Es la potencia mínima que se debe recibir en el receptor para cumplir con los requisitos de calidad.

$$P_{RX\text{calidad}} = P_n + F \quad \text{sí } F > A_t \quad \text{o} \quad P_{RX\text{calidad}} = P_n + A_t \quad \text{sí } F < A_t \quad (\text{Ec. 3.28})$$

$$P_{RX\text{calidad}} = \text{Potencia mínima de recepción de calidad.} \quad (\text{Ec. 3.29})$$

$P_n$ = Potencia umbral en el receptor (dBW) (Ec. 3.30)

### 3.1.5 Potencia mínima de transmisión.

Potencia mínima a la salida del transmisor para asegurar que en el receptor se tiene la  $P_{RX}$ calidad.

$P_{minTx}(dB) = P_{RXcalidad} + L_{prop} + P_{cc} - G_{antTx} - G_{antRx}$ . (Ec. 3.31)

$L_{prop}$ = Perdidas de propagación.

$P_{cc}$ = Perdidas en el cable coaxial.

$G_{antTx}$ = Ganancia de antena transmisora.

$G_{antRx}$ = Ganancia de antena receptora.

$P_{minTx}(W) = 10^{P_{minTx}(dB)/10}$  (Ec. 3.32)

$P_{minTx}(dBW)$ =Potencia mínima de transmisión expresada en dBW.

$P_{minTx}(W)$ =Potencia mínima de transmisión expresada en vatios.

## 3.2 CALCULOS DE LOS TRAYECTOS DE LA RED

En este aparte se muestran los resultados obtenidos para los diferentes trayectos de la red junto con el grafico del respectivo perfil, ya que toda la formulación fue expuesta anteriormente en este capítulo junto con las recomendaciones de la UIT-R necesarias para el cálculo de las diferentes variables presentes en cada uno de los fenómenos que afectan la señal de radio a través del trayecto.

### 3.2.1 TRAYECTO NEVADO DEL RUIZ - PADRE AMAYA

NEVADO DEL RUIZ (CALDAS)	PADRE AMAYA (ANTIOQUIA)
Altura: 4200 metros.	Altura: 3100 metros.
Ubicación: Departamento de Caldas	Ubicación: Departamento de Antioquia
Latitud 04°57'16"	Latitud 06°16'58"
Longitud 75°21'17"	Longitud 75°41'21"
Distancia total del trayecto: 164 Km	
Frecuencia: 450 MHz	
Disponibilidad del enlace: 99,995%	

**Tabla 3.1 Enlace Nevado del Ruiz-Padre Amaya.**

#### 3.2.1.1 CORRECCIÓN DE ALTURA DE OBSTÁCULO.

En la tabla 3.2 se muestran los obstáculos una lista de los obstáculos con los cuales se elaboro del perfil del trayecto así como su corrección y primer radio de Fresnel.

HNR: Nevado del Ruiz.

HPA: Cerro Padre Amaya.

	ho (m)	DTx (Km)	DRx (Km)	Corrección (m)	hk (m)	FRESNEL	HTOTAL(m)
HNR	4200	0	164	0	4200	0	4200
	4100	0,6	163,4	5,7644903	4105,76449	19,9397438	4125,70423
	4000	4	160	37,6302917	4037,63029	50,945744	4088,57604
	3750	9,6	154,4	87,1517555	3837,15176	77,5313215	3914,68308
	3500	11,2	152,8	100,6234	3600,6234	83,3083649	3683,93176
	3500	12	152	107,246331	3607,24633	86,0063148	3693,25265
	3250	15	149	131,412034	3381,41203	95,2043267	3476,61636

	3250	15,6	148,4	136,118172	3386,11817	96,894064	3483,01224
	3500	17,2	146,8	148,460908	3648,46091	101,191766	3749,65267
	3500	20,6	143,4	173,689667	3673,68967	109,452606	3783,14227
	3250	21,2	142,8	178,000687	3428,00069	110,802601	3538,80329
	3250	24,4	139,6	200,27782	3450,27782	117,531843	3567,80966
	3000	25	139	204,320724	3204,32072	118,712193	3323,03292
	3000	26,8	137,2	216,195433	3216,19543	122,113133	3338,30857
	3500	27,6	136,4	221,350783	3721,35078	123,560498	3844,91128
	2500	30,4	133,6	238,801831	2738,80183	128,338791	2867,14062
	2750	31	133	242,421394	2992,42139	129,30776	3121,72915
	2500	33,8	130,2	258,752941	2758,75294	133,592404	2892,34534
	2500	36,4	127,6	273,092434	2773,09243	137,244185	2910,33662
	2750	37	127	276,288657	3026,28866	138,044988	3164,33365
	3000	38	126	281,521619	3281,52162	139,346156	3420,86778
	3000	39	125	286,636987	3286,63699	140,606446	3427,24343
	2750	41,2	122,8	297,476863	3047,47686	143,240462	3190,71733
	2750	44	120	310,449906	3060,44991	146,330509	3206,78042
	2250	49	115	331,322959	2581,32296	151,169746	2732,4927
	2000	50,6	113,4	337,381435	2337,38144	152,545608	2489,92704
	1750	51,2	112,8	339,575752	2089,57575	153,040879	2242,61663
	1750	51,8	112,2	341,727734	2091,72773	153,525044	2245,25278
	2000	52,6	111,4	344,531191	2344,53119	154,1535	2498,68469
	2000	53,6	110,4	347,929677	2347,92968	154,911926	2502,8416
	1750	55	109	352,489998	2102,49	155,923838	2258,41384
	1500	58	106	361,485989	1861,48599	157,90099	2019,38698
	1500	67,2	96,8	382,474284	1882,47428	162,420273	2044,89456
	1750	69,2	94,8	385,719897	2135,7199	163,107953	2298,82785
	1750	72	92	389,473519	2139,47352	163,899672	2303,37319
	1000	86,2	77,8	394,316067	1394,31607	164,915454	1559,23152
	750	94	70	386,886436	1136,88644	163,354412	1300,24085
	750	111,5	52,5	344,184875	1094,18487	154,076004	1248,26088
	1000	114	50	335,144785	1335,14479	152,039121	1487,18391
	1000	119	45	314,859706	1314,85971	147,366124	1462,22583
	2000	151	13	115,41916	2115,41916	89,2232569	2204,64242
	2250	156,5	7,5	69,0133669	2319,01337	68,9931104	2388,00648
	2500	159	5	46,7438779	2546,74388	56,7807973	2603,52468
HPA	3100	164	0	0	3100	0	3100

**Tabla 3.2 Corrección de altura enlace Padre Amaya-Nevado del Ruiz.**

ho: Altura del obstáculo (metros).

D<sub>Tx</sub>: Distancia del transmisor al obstáculo (metros).

$D_{Rx}$ : Distancia del receptor al obstáculo (metros).

$h_k$ : Altura del obstáculo mas la corrección (metros).

Corrección: Corrección por curvatura terrestre (metros).

FRESNEL: Primer radio de Fresnel (metros).

$H_{TOTAL}$ : Altura del obstáculo mas la corrección mas el primer radio de Fresnel (metros).

$LV-H_{TOTAL}$ : Altura a la que pasa la línea de vista por encima del  $H_{TOTAL}$  (metros).

$H_1$ :- Altura de la antena transmisora (metros).

Se calcula a que altura pasa la línea de vista por encima de cada obstáculo con su zona de Fresnel.

	<b>Ho (m)</b>	<b>DTx (Km)</b>	<b>HTOTAL(m)</b>	<b>LV- HTOTAL</b>
<b>HNR</b>	<b>4200</b>	0	4200	0
	<b>4100</b>	0,6	4125,70423	70,2713757
	<b>4000</b>	4	4088,57604	84,594696
	<b>3750</b>	9,6	3914,68308	220,926679
	<b>3500</b>	11,2	3683,93176	440,946284
	<b>3500</b>	12	3693,25265	426,259549
	<b>3250</b>	15	3476,61636	622,773883
	<b>3250</b>	15,6	3483,01224	612,353617
	<b>3500</b>	17,2	3749,65267	334,981473
	<b>3500</b>	20,6	3783,14227	278,686995
	<b>3250</b>	21,2	3538,80329	519,00159
	<b>3250</b>	24,4	3567,80966	468,531801
	<b>3000</b>	25	3323,03292	709,284156
	<b>3000</b>	26,8	3338,30857	681,935336
	<b>3500</b>	27,6	3844,91128	169,966768
	<b>2500</b>	30,4	2867,14062	1128,95694
	<b>2750</b>	31	3121,72915	870,344016
	<b>2500</b>	33,8	2892,34534	1080,94734
	<b>2500</b>	36,4	2910,33662	1045,51704
	<b>2750</b>	37	3164,33365	787,495623
	<b>3000</b>	38	3420,86778	524,254176
	<b>3000</b>	39	3427,24343	511,171201
	<b>2750</b>	41,2	3190,71733	732,941211
	<b>2750</b>	44	3206,78042	698,097634

	2250	49	2732,4927	1138,84876
	2000	50,6	2489,92704	1370,68271
	1750	51,2	2242,61663	1613,96873
	1750	51,8	2245,25278	1607,3082
	2000	52,6	2498,68469	1348,51043
	2000	53,6	2502,8416	1337,6462
	1750	55	2258,41384	1572,68373
	1500	58	2019,38698	1791,58863
	1500	67,2	2044,89456	1704,37373
	1750	69,2	2298,82785	1437,02581
	1750	72	2303,37319	1413,69998
	1000	86,2	1559,23152	2062,59775
	750	94	1300,24085	2269,27135
	750	111,5	1248,26088	2203,87327
	1000	114	1487,18391	1948,18195
	1000	119	1462,22583	1939,60344
	2000	151	2204,64242	982,552705
	2250	156,5	2388,00648	762,298401
	2500	159	2603,52468	530,01191
HPA	3100	164	3100	0

**Tabla 3.3 Interrupción de la línea de vista.**

### 3.2.1.2 Cálculo de altura de antenas.

En la tabla 3.3 se puede ver como ningún obstáculo obstruye la línea de vista.

Para cualquiera de los obstáculos tomando una altura de antena receptora de cero metros se obtienen alturas de antenas transmisoras negativas indicando esto que pueden colocarse las antenas a cualquier altura sin que esto afecte la línea de vista.

	Ho (m)	DTx (Km)	HTOTAL(m)	H1-
HNR	4200	0	4200	
	4100	0,6	4125,70423	-19207,5094
	4000	4	4088,57604	-3468,38254
	3750	9,6	3914,68308	-3774,1641



	3500	11,2	3683,93176	-6456,71344
	3500	12	3693,25265	-5825,54717
	3250	15	3476,61636	-6808,99446
	3250	15,6	3483,01224	-6437,56367
	3500	17,2	3749,65267	-3194,00939
	3500	20,6	3783,14227	-2218,67316
	3250	21,2	3538,80329	-4014,91796
	3250	24,4	3567,80966	-3149,14817
	3000	25	3323,03292	-4652,90407
	3000	26,8	3338,30857	-4173,03713
	3500	27,6	3844,91128	-1009,94746
	2500	30,4	2867,14062	-6090,42559
	2750	31	3121,72915	-4604,4006
	2500	33,8	2892,34534	-5244,83324
	2500	36,4	2910,33662	-4710,57128
	2750	37	3164,33365	-3490,52114
	3000	38	3420,86778	-2262,57065
	3000	39	3427,24343	-2149,54043
	2750	41,2	3190,71733	-2917,53298
	2750	44	3206,78042	-2602,00027
	2250	49	2732,4927	-3811,65707
	2000	50,6	2489,92704	-4442,52895
	1750	51,2	2242,61663	-5169,7436
	1750	51,8	2245,25278	-5088,77499
	2000	52,6	2498,68469	-4204,48119
	2000	53,6	2502,8416	-4092,79808
	1750	55	2258,41384	-4689,45693
	1500	58	2019,38698	-5065,8713
	1500	67,2	2044,89456	-4159,48352
	1750	69,2	2298,82785	-3405,6681
	1750	72	2303,37319	-3220,0944
	1000	86,2	1559,23152	-3924,19989
	750	94	1300,24085	-3959,15426
	750	111,5	1248,26088	-3241,57144
	1000	114	1487,18391	-2802,64771
	1000	119	1462,22583	-2673,06692
	2000	151	2204,64242	-1067,14334
	2250	156,5	2388,00648	-798,830273
	2500	159	2603,52468	-546,678951
HPA	3100	164	3100	0

**Tabla 3.4 Altura de antena receptora.**

### 3.2.1.3 Perdidas de espacio libre.

Para este enlace a 450 MHz y una distancia de 164 Km. Se tiene unas pérdidas de espacio libre de **129,8111272 dB**.

### 3.2.1.4 Perdidas por difracción.

En la tabla 3.5 evaluamos todos los obstáculos para saber con cual se obtiene el mayor resultado de la variable  $v$  y por consiguiente con el que se debe trabajar para obtener las pérdidas por difracción.

	Ho (m)	DTx (Km)	hk (m)	V
HNR	4200	0	4200	
	4100	0,6	4105,76449	-4,59272399
	4000	4	4037,63029	-1,30873731
	3750	9,6	3837,15176	-2,44955658
	3500	11,2	3600,6234	-5,79947431
	3500	12	3607,24633	-5,26580612
	3250	15	3381,41203	-7,32707315
	3250	15,6	3386,11817	-6,97767156
	3500	17,2	3648,46091	-2,61681527
	3500	20,6	3673,68967	-1,36192432
	3250	21,2	3428,00069	-4,36912144
	3250	24,4	3450,27782	-3,24027309
	3000	25	3204,32072	-6,03881704
	3000	26,8	3216,19543	-5,41463255
	3500	27,6	3721,35078	<b>0,59031591</b>
	2500	30,4	2738,80183	-9,84676412
	2750	31	2992,42139	-6,89395759
	2500	33,8	2758,75294	-8,73733609
	2500	36,4	2773,09243	-7,99003835
	2750	37	3026,28866	-5,25732545
	3000	38	3281,52162	-2,47302499
	3000	39	3286,63699	-2,2671175
	2750	41,2	3047,47686	-4,31595775
	2750	44	3060,44991	-3,76091857

	<b>2250</b>	49	2581,32296	-7,58366003
	<b>2000</b>	50,6	2337,38144	-9,61642568
	<b>1750</b>	51,2	2089,57575	-11,8217478
	<b>1750</b>	51,8	2091,72773	-11,7029767
	<b>2000</b>	52,6	2344,53119	-9,24608635
	<b>2000</b>	53,6	2347,92968	-9,07011224
	<b>1750</b>	55	2102,49	-11,1096988
	<b>1500</b>	58	1861,48599	-12,8578388
	<b>1500</b>	67,2	1882,47428	-11,554315
	<b>1750</b>	69,2	2135,7199	-9,15041578
	<b>1750</b>	72	2139,47352	-8,87166048
	<b>1000</b>	86,2	1394,31607	-14,3612906
	<b>750</b>	94	1136,88644	-16,359223
	<b>750</b>	111,5	1094,18487	-17,1352347
	<b>1000</b>	114	1335,14479	-15,0617056
	<b>1000</b>	119	1314,85971	-15,6520848
	<b>2000</b>	151	2115,41916	-13,7972406
	<b>2250</b>	156,5	2319,01337	-14,2656005
	<b>2500</b>	159	2546,74388	-12,0828813
<b>HPA</b>	<b>3100</b>	164	3100	

**Tabla 3.5 Análisis de la variable v para cada uno de los obstáculos.**

Para el obstáculo que esta a 27,6 Km. con una altura con corrección de 3721,35078 tenemos un  $v$  de 0,59031591, debido a esto tenemos una perdida por difracción de **11,004377279 dB**.

### **3.2.1.5 Perdidas de propagación.**

Las perdidas de propagación son equivalentes a las perdidas de espacio libre más las perdidas por difracción.

$$L_{prop} = 129,8111272 \text{ dB} + 11,004377279 \text{ dB} = \mathbf{140,8155 \text{ dB}}$$

### 3.2.1.6 Margen de desvanecimiento.

El ancho de banda de los equipos usados es de 30 KHz con una potencia umbral en el receptor de  $-149$  dBW o  $0,25 \mu\text{V}$  y una disponibilidad de 99,995 % .

Para estas características el margen de desvanecimiento es de **FM = 29,28422159 dB**.

### 3.2.1.7 Porcentaje de tiempo durante el cual se supera el margen de desvanecimiento.

Para los cálculos realizados se obtuvo,  $A_t = 26,16866$  dB siendo mayor el margen de desvanecimiento FM hallado antes. Esto hace que el margen de desvanecimiento con el que se trabaje sea 29,28422159 dB, dando esto como resultado los datos mostrados en la tabla 3.6.

FM	PRXcalidad (dBW)	Pw(FM)	HORA AL DIA (FM)	MINUTOS AL DIA (At)
29,2842216	-119,715778	0,01109292	0,0026623	0,15973802

**Tabla 3.6 Calculo disponibilidad del enlace y potencia de recepción de calidad.**

Donde:

$P_{RXcalidad}$ : Potencia de recepción mínima en el receptor para mantener los parámetros de calidad.

$P_w(FM)$ : Porcentaje de tiempo durante el cual se rebasa la profundidad de desvanecimiento FM.

HORA AL DIA (FM): Horas al día en que se rebasa la profundidad de desvanecimiento FM.

MINUTOS AL DIA (FM): Minutos al día en que se rebasa la profundidad desvanecimiento FM.

### **3.2.1.8 Sistema de antenas.**

Nevado del Ruiz: Antena direccional con ganancia de 3 db con respecto al dipolo de  $\frac{1}{2}\lambda$ .

Cerro Padre Amaya: Antena direccional con ganancia de 3 db con respecto al dipolo de  $\frac{1}{2}\lambda$ .

### **3.2.1.9 Potencia mínima de transmisión.**

Para los transmisores y receptores ubicado en el Nevado del Ruiz y el cerro Padre Amaya tenemos:

$$P_{RX_{calidad}} = -119,715 \text{ dBW.}$$

$$L_{prop} = 140,8155 \text{ dB.}$$

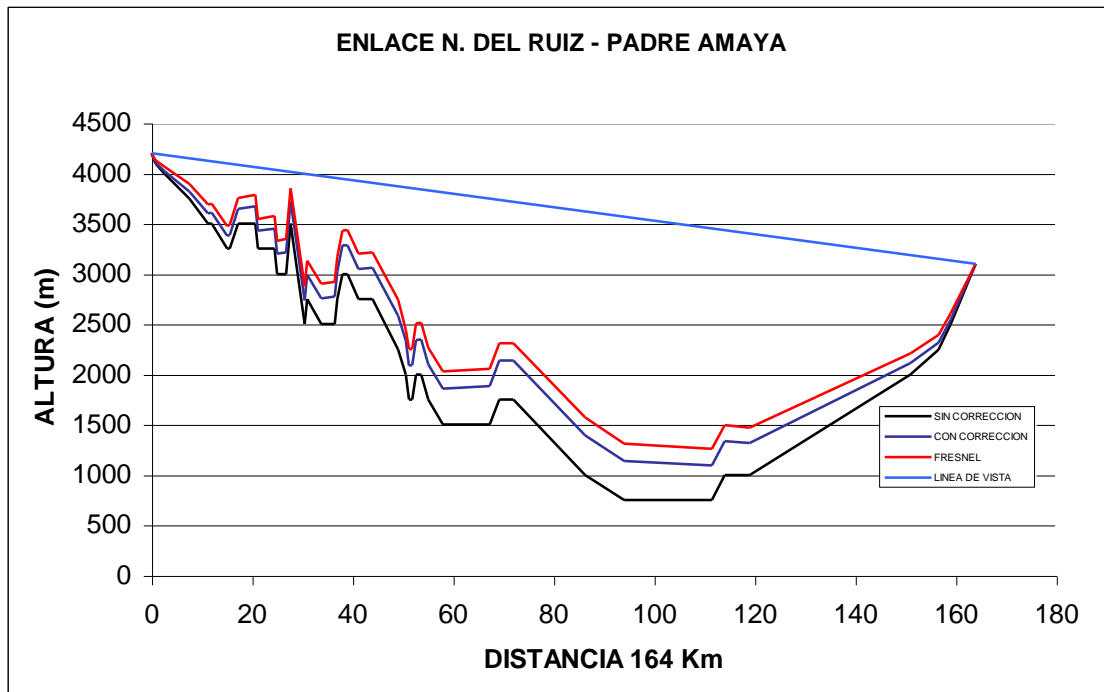
$$P_{cc} = 3,724 \text{ dB.}$$

$$G_{antTx} = 8 \text{ dB.}$$

$$G_{antRx} = 8 \text{ dB.}$$

$$P_{minTx} = -119,715 \text{ dBW} + 140,8155 \text{ dB} + 3,724 \text{ dB} - 8 \text{ dB} - 8 \text{ dB} = 8,823 \text{ dBW}$$

La potencia mínima que se puede tener a la salida del transmisor para mantener los objetivos de calidad debe ser de 8,823 dBW o en vatios de 7,62 W.



**Figura 3.1 Perfil enlace Nevado del Ruiz – Padre Amaya.**

**3.2.2 TRAYECTO NEVADO DEL RUIZ – Manjui**

<b>NEVADO DEL RUIZ (CALDAS)</b>	<b>CERRO MANJUI (CUNDINAMARCA)</b>
Altura: 4200 metros.	Altura: 3200 metros.
Ubicación: Departamento de Caldas	Ubicación: Departamento de Cundinamarca
Latitud 04°57'16"	Latitud 04°48'07"
Longitud 75°21'17"	Longitud 74°23'34"
Distancia total del trayecto: 108.2 Km	
Frecuencia: 450 MHz	
Disponibilidad del enlace: 99,995%	

**Tabla 3.7 Enlace Nevado del Ruiz - Manjui**

### 3.2.2.1 Corrección de altura de obstáculos.

En la tabla 3.8 se listan los obstáculos del trayecto así como su corrección y primer radio de Fresnel.

HNR: Nevado del Ruiz.

HMANJUI: Cerro Manjui.

	ho (m)	DTx (Km)	DRx (Km)	Corrección (m)	hk (m)	FRESNEL	HTOTAL(m )
HNR	4200	0	108,2	0	4200	0	4200
	4150	1,2	107	7,54957726	4157,54958	28,0936862	4185,64326
	4100	3,8	104,4	23,326077	4123,32608	49,3819532	4172,70803
	4050	5,2	103	31,4918503	4081,49185	57,3781445	4138,86999
	4000	7,8	100,4	46,0453656	4046,04537	69,380971	4115,42634
	3750	9,3	98,9	54,0800209	3804,08002	75,1909957	3879,27102
	3500	12	96,2	67,8756386	3567,87564	84,2372877	3652,11293
	3250	15,7	92,5	85,3884235	3335,38842	94,481528	3429,86995
	3000	18,1	90,1	95,8872749	3095,88727	100,121627	3196,0089
	2750	19,8	88,4	102,914144	2852,91414	103,725358	2956,6395
	2500	20,3	87,9	104,916193	2604,91619	104,729414	2709,64561
	2000	26,2	82	126,320185	2126,32019	114,91687	2241,23706
	1750	28,1	80,1	132,34162	1882,34162	117,623916	1999,96554
	1500	30,7	77,5	139,893549	1639,89355	120,933398	1760,82695
	1250	30,8	77,4	140,168133	1390,16813	121,052024	1511,22016
	1000	31,3	76,9	141,523411	1141,52341	121,635839	1263,15925
	500	32,1	76,1	143,630707	643,630707	122,538077	766,168784
	500	33,1	75,1	146,158993	646,158993	123,611871	769,770864
	1000	33,4	74,8	146,894547	1146,89455	123,922523	1270,81707
	1250	36,1	72,1	153,03828	1403,03828	126,487453	1529,52573
	1000	37,9	70,3	156,657844	1156,65784	127,974512	1284,63236
	500	40,2	68	160,728383	660,728383	129,626471	790,354854
	500	72,3	35,9	152,612588	652,612588	126,311412	778,923999
	850	73,1	35,1	150,862779	1000,86278	125,5852	1126,44798
	1000	75,6	32,6	144,909549	1144,90955	123,082388	1267,99194
	1000	78,2	30	137,938538	1137,93854	120,085403	1258,02394
	2000	81,7	26,5	127,299161	2127,29916	115,361311	2242,66047
	2000	83,8	24,4	120,224078	2120,22408	112,109687	2232,33376
	1750	88	20,2	104,518135	1854,51814	104,53055	1959,04869
	2000	94,3	13,9	77,0697772	2077,06978	89,7613679	2166,83115

	<b>2250</b>	96,2	12	67,8756386	2317,87564	84,2372877	2402,11293
	<b>2500</b>	98,8	9,4	54,606257	2554,60626	75,5559403	2630,1622
	<b>2750</b>	102,3	5,9	35,4883049	2785,4883	60,9102018	2846,39851
	<b>3000</b>	104,9	3,3	20,353872	3020,35387	46,1286697	3066,48254
HMANJUI	<b>3200</b>	108,2	0	0	3200	0	3200

**Tabla 3.8 Corrección de altura enlace Cerro Manjui-Nevado del Ruiz.**

Se calcula a que altura pasa la línea de vista por encima de cada obstáculo con su zona de Fresnel. En la tabla 3.9 se muestran los resultados.

	<b>ho (m)</b>	<b>DTx (Km)</b>	<b>HTOTAL(m)</b>	<b>LV-HTOTAL</b>
<b>HNR</b>	<b>4200</b>	0	4200	0
	<b>4150</b>	1,2	4185,64326	3,26616349
	<b>4100</b>	3,8	4172,70803	35,2982658
	<b>4050</b>	5,2	4138,86999	13,0708554
	<b>4000</b>	7,8	4115,42634	12,4849388
	<b>3750</b>	9,3	3879,27102	234,777043
	<b>3500</b>	12	3652,11293	436,981344
	<b>3250</b>	15,7	3429,86995	625,028385
	<b>3000</b>	18,1	3196,0089	836,708288
	<b>2750</b>	19,8	2956,6395	1060,36604
	<b>2500</b>	20,3	2709,64561	1302,73887
	<b>2000</b>	26,2	2241,23706	1716,61877
	<b>1750</b>	28,1	1999,96554	1940,33021
	<b>1500</b>	30,7	1760,82695	2155,43923
	<b>1250</b>	30,8	1511,22016	2404,1218
	<b>1000</b>	31,3	1263,15925	2647,56164
	<b>500</b>	32,1	766,168784	3137,15839
	<b>500</b>	33,1	769,770864	3124,31416
	<b>1000</b>	33,4	1270,81707	2620,49531
	<b>1250</b>	36,1	1529,52573	2336,83286
	<b>1000</b>	37,9	1284,63236	2565,09038
	<b>500</b>	40,2	790,354854	3038,11095
	<b>500</b>	72,3	778,923999	2752,86898
	<b>850</b>	73,1	1126,44798	2397,95128
	<b>1000</b>	75,6	1267,99194	2233,30196
	<b>1000</b>	78,2	1258,02394	2219,24038
	<b>2000</b>	81,7	2242,66047	1202,25635
	<b>2000</b>	83,8	2232,33376	1193,17455



	<b>1750</b>	88	1959,04869	1427,64263
	<b>2000</b>	94,3	2166,83115	1161,63466
	<b>2250</b>	96,2	2402,11293	908,792804
	<b>2500</b>	98,8	2630,1622	656,713958
	<b>2750</b>	102,3	2846,39851	408,130144
	<b>3000</b>	104,9	3066,48254	164,016534
<b>HMANJUI</b>	<b>3200</b>	108,2	3200	0

**Tabla 3.9 Interrupción de la línea de vista.**

### 3.2.2.2 Cálculo de altura de antenas.

Para una altura de una antena receptora de cero metros y considerando todos los obstáculos obtenemos los datos mostrados en la tabla 3.10.

	<b>Ho (m)</b>	<b>DTx (Km)</b>	<b>HTOTAL(m)</b>	<b>H1-</b>
<b>HNR</b>	<b>4200</b>	0	4185,64326	
	<b>4150</b>	1,2	4172,70803	-294,499074
	<b>4100</b>	3,8	4138,86999	103,209448
	<b>4050</b>	5,2	4115,42634	-271,974338
	<b>4000</b>	7,8	3879,27102	-173,18851
	<b>3750</b>	9,3	3652,11293	-2731,49204
	<b>3500</b>	12	3429,86995	-3940,11511
	<b>3250</b>	15,7	3196,0089	-4307,52046
	<b>3000</b>	18,1	2956,6395	-5001,75894
	<b>2750</b>	19,8	2709,64561	-5794,52555
	<b>2500</b>	20,3	2241,23706	-6943,66233
	<b>2000</b>	26,2	1999,96554	-7089,24239
	<b>1750</b>	28,1	1760,82695	-7471,30708
	<b>1500</b>	30,7	1511,22016	-7596,6946
	<b>1250</b>	30,8	1263,15925	-8445,64867
	<b>1000</b>	31,3	766,168784	-9152,27378
	<b>500</b>	32,1	769,770864	-10574,4716
	<b>500</b>	33,1	1270,81707	-10213,0149
	<b>1000</b>	33,4	1529,52573	-8489,14949
	<b>1250</b>	36,1	1284,63236	-7004,02536
	<b>1000</b>	37,9	790,354854	-7323,02847
	<b>500</b>	40,2	778,923999	-8177,2041
	<b>500</b>	72,3	1126,44798	-4119,78455
	<b>850</b>	73,1	1267,99194	-3549,36154

	1000	75,6	1258,02394	-3196,33958
	1000	78,2	2242,66047	-3070,61138
	2000	81,7	2232,33376	-1592,2171
	2000	83,8	1959,04869	-1540,59053
	1750	88	2166,83115	-1755,3515
	2000	94,3	2402,11293	-1332,86183
	2250	96,2	2630,1622	-1022,15573
	2500	98,8	2846,39851	-719,194841
	2750	102,3	3066,48254	-431,668442
	3000	104,9	3200	-169,176254
	3200	108,2	3308,2	

**Tabla 3.10 Altura de antena receptora.**

Por los resultados obtenidos anteriormente se puede decir que cualquier altura de antena es apropiada para realizar el enlace.

### 3.2.2.3 Perdidas de espacio libre.

Para este enlace de 450 MHz y una distancia de 108,2 Km tenemos unas pérdidas de espacio libre de **126,1987955 dB**.

### 3.2.2.4 Perdidas por difracción.

En la tabla 3.17 se evalúan todos los obstáculos para saber con cual se obtiene el mayor resultado de la variable  $v$  y por consiguiente con el que se debe trabajar para obtener las pérdidas por difracción.

	Ho (m)	DTx (Km)	hk (m)	V
HNR	4200	0	4200	
	4150	1,2	4157,54958	0,21644375
	4100	3,8	4123,32608	<b>0,89562015</b>
	4050	5,2	4081,49185	0,45575443
	4000	7,8	4046,04537	0,68668108
	3750	9,3	3804,08002	-3,41170353
	3500	12	3567,87564	-6,22058539
	3250	15,7	3335,38842	-8,10852366

	3000	18,1	3095,88727	-10,5043619
	2750	19,8	2852,91414	-13,1043675
	2500	20,3	2604,91619	-16,2370708
	2000	26,2	2126,32019	-19,6462028
	1750	28,1	1882,34162	-21,8214559
	1500	30,7	1639,89355	-23,6608324
	1250	30,8	1390,16813	-26,5508867
	1000	31,3	1141,52341	-29,248906
	500	32,1	643,630707	-34,6813197
	500	33,1	646,158993	-34,2035001
	1000	33,4	1146,89455	-28,3375879
	1250	36,1	1403,03828	-24,510263
	1000	37,9	1156,65784	-26,7174241
	500	40,2	660,728383	-31,5128289
	500	72,3	652,612588	-29,2251734
	850	73,1	1000,86278	-25,4018484
	1000	75,6	1144,90955	-24,087949
	1000	78,2	1137,93854	-24,6052876
	2000	81,7	2127,29916	-13,2286385
	2000	83,8	2120,22408	-13,5869079
	1750	88	1854,51814	-17,9697157
	2000	94,3	2077,06978	-17,1533806
	2250	96,2	2317,87564	-14,1720474
	2500	98,8	2554,60626	-11,3133032
	2750	102,3	2785,4883	-8,68531324
	3000	104,9	3020,35387	-4,42137544
HMA	3200	108,2	3200	

**Tabla 3.11 Análisis de la variable v para cada uno de los obstáculos.**

Para el obstáculo que esta a 3,8 Km del Nevado del Ruiz con una altura de con corrección de 4123,32 metros se tiene el mayor valor de v el cual es 0,8956.

Debido a esto se tiene una perdida por difracción de **13,234 dB**.

### **3.2.2.5 Perdidas de propagación.**

Las perdidas de propagación son equivalentes a las perdidas por espacio libre mas las perdidas por difracción.

$$L_{PROP} = 126,1987955 \text{ dB} + 13,234 \text{ dB} = \mathbf{139,432933 \text{ dB}}.$$

### 3.2.2.6 Margen de desvanecimiento.

El ancho de banda de los equipos usados es de 30 KHz con una potencia umbral en el receptor de  $-149 \text{ dBW}$  o  $0,25 \mu\text{V}$  y una disponibilidad de 99,995 % .

Para estas características el margen de desvanecimiento es de **FM =23,8657 dB**.

### 3.2.2.7 Porcentaje de tiempo durante el cual se supera el margen de desvanecimiento.

Para los cálculos realizados se obtuvo,  $A_t = \mathbf{25,1804 \text{ dB}}$  siendo mayor el margen de desvanecimiento FM hallado antes. Esto hace que el margen de desvanecimiento con el que se trabaje sea **25,1804 dB**, dando esto como resultado los datos mostrados en la tabla 3.12.

<b>At</b>	<b>PRXcalidad</b>	<b>Pw(At)</b>	<b>HORA AL DIA</b>	<b>MINUTOS AL DIA</b>
25,1804386	-122,1288	0,00428866	0,00102928	0,06175671

**Tabla 3.12 Calculo disponibilidad del enlace y potencia de recepción de calidad.**

Donde:

$P_{RXcalidad}$ : Potencia de recepción mínima en el receptor para mantener los parámetros de calidad.

$P_w(A_t)$ : Porcentaje de tiempo durante el cual se rebasa la profundidad desvanecimiento.

**HORA AL DIA** ( $A_t$ ): Horas al día en que se rebasa la profundidad de desvanecimiento  $A_t$ .

MINUTOS AL DIA (At): Minutos al día en que se rebasa la profundidad desvanecimiento At.

### 3.2.2.8 Sistema de antenas.

Nevado del Ruiz: Antena direccional con ganancia de 7 db con respecto al dipolo de  $\frac{1}{2}\lambda$ .

Cerro Manjui: Antena direccional con ganancia de 7 db con respecto al dipolo de  $\frac{1}{2}\lambda$ .

### 3.2.2.9 Potencia mínima de transmisión.

Para los transmisores y receptores ubicado en el Nevado del Ruiz y el cerro Manjui tenemos:

$$P_{RX\text{calidad}} = -122,1288 \text{ dBW.}$$

$$L_{\text{prop}} = 139,43 \text{ dB.}$$

$$P_{\text{cc}} = 3,724 \text{ dB.}$$

$$G_{\text{antTx}} = 7 \text{ dB.}$$

$$G_{\text{antRx}} = 7 \text{ dB.}$$

$$P_{\text{minTx}} = -122,1288 \text{ dBW} + 139,43 \text{ dB} + 3,724 \text{ dB} - 7 \text{ dB} - 7 \text{ dB} = 7,028 \text{ dBW}$$

La potencia mínima que se puede tener a la salida del transmisor para mantener los objetivos de calidad debe ser de **7,028 dBW** o en vatios de **5,04 W**.

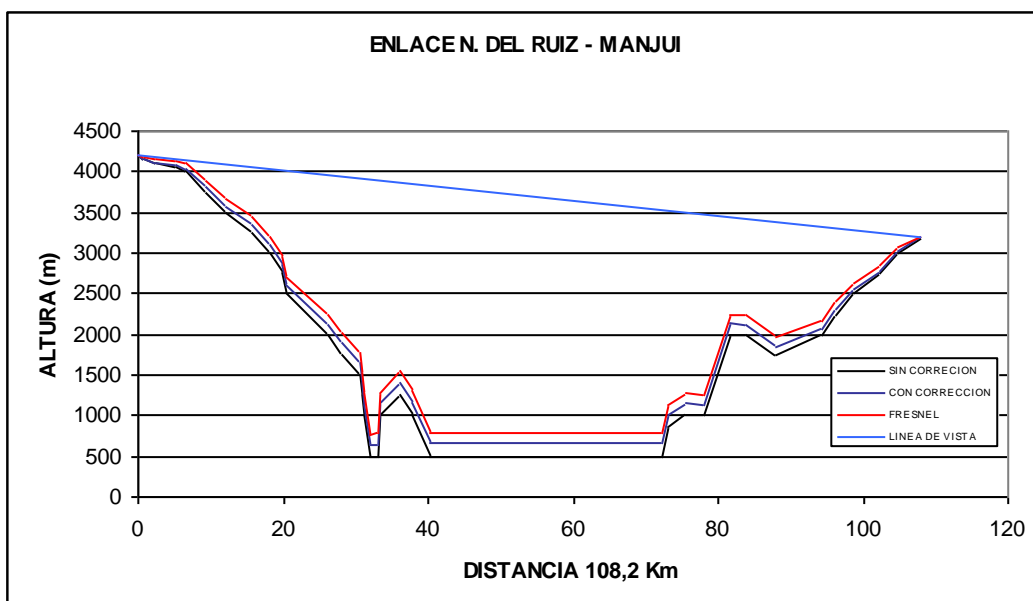


Figura 3.2 Perfil enlace Nevado del Ruiz – Manjui.

### 3.2.3 TRAYECTO NEVADO DEL RUIZ- VERSALLES

NEVADO DEL RUIZ (CALDAS)	CERRO VERSALLES (VALLE DEL CAUCA)
Altura: 4200 metros.	Altura: 2000 metros.
UBICACIÓN: DEPARTAMENTO DE CALDAS	Ubicación: Departamento del Valle del Cauca
Latitud 04°57'16"	Latitud 4° 35' 12'
Longitud 5°21'17"	Longitud 76°10'15"
Distancia total del trayecto: 83 Km	
Frecuencia: 450 MHz	
Disponibilidad del enlace: 99,995%	

Tabla 3.13 Enlace Nevado del Ruiz-Padre Amaya.

### 3.2.3.1 Corrección de altura de obstáculo.

En la tabla 3.14 se listan los obstáculos así como su corrección y primer radio de Fresnel.

HNR: Nevado del Ruiz.

HV: Cerro Versalles.

	ho (m)	DTx (Km)	DRx (Km)	Corrección (m)	hk (m)	FRESNEL	HTOTAL( m)
<b>HNR</b>	<b>4200</b>	0	83	0	4200	0	4200
	<b>4100</b>	1	82	4,82138112	4104,82138	25,6334892	4130,45487
	<b>4000</b>	1,4	81,6	6,71700706	4006,71701	30,2558875	4036,97289
	<b>3750</b>	2,2	80,8	10,4518135	3760,45181	37,7413839	3798,1932
	<b>3500</b>	2,7	80,3	12,7478493	3512,74785	41,6812231	3554,42907
	<b>3250</b>	3,5	79,5	16,3603573	3266,36036	47,2191741	3313,57953
	<b>3250</b>	4	79	18,5799565	3268,57996	50,3204297	3318,90039
	<b>3000</b>	5	78	22,930959	3022,93096	55,9027411	3078,8337
	<b>3000</b>	8,6	74,4	37,6208841	3037,62088	71,6038697	3109,22475
	<b>2750</b>	10	73	42,9220514	2792,92205	76,4825273	2869,40458
	<b>2250</b>	10,7	72,3	45,486203	2295,4862	78,7339133	2374,22012
	<b>2000</b>	11,3	71,7	47,6381853	2047,63819	80,5748674	2128,21305
	<b>2000</b>	11,9	71,1	49,7478335	2049,74783	82,3396622	2132,0875
	<b>1750</b>	12,3	70,7	51,1307468	1801,13075	83,4762753	1884,60702
	<b>2000</b>	12,6	70,4	52,1555842	2052,15558	84,3087018	2136,46429
	<b>2000</b>	14,7	68,3	59,033108	2059,03311	89,6953274	2148,72844
	<b>1750</b>	17,2	65,8	66,544467	1816,54447	95,2309179	1911,77538
	<b>1750</b>	18,6	64,4	70,4297946	1820,42979	97,9716012	1918,4014
	<b>1250</b>	30,6	52,4	94,2779919	1344,27799	113,35147	1457,62946
	<b>1000</b>	42,6	40,4	101,192558	1101,19256	117,434657	1218,62721
	<b>750</b>	45,6	37,4	100,27532	850,27532	116,901214	967,176534
	<b>500</b>	45,7	37,3	100,226518	600,226518	116,872764	717,099282
	<b>500</b>	46,2	36,8	99,9648698	599,96487	116,720112	716,684982
	<b>750</b>	46,5	36,5	99,7937695	849,79377	116,62018	966,41395
	<b>1000</b>	47,4	35,6	99,2169677	1099,21697	116,282663	1215,49963
	<b>1000</b>	51	32	95,9572437	1095,95724	114,356506	1210,31375
	<b>500</b>	51,6	31,4	95,2657871	595,265787	113,943741	709,209528
	<b>500</b>	73,2	9,8	42,1788532	542,178853	75,8174858	617,996339
	<b>1000</b>	75,9	7,1	31,6852935	1031,68529	65,7129346	1097,39823
	<b>1250</b>	80,1	2,9	13,6580319	1263,65803	43,1435678	1306,8016

	<b>1500</b>	81,6	1,4	6,71700706	1506,71701	30,2558875	1536,97289
	<b>1750</b>	82,3	0,7	3,38731422	1753,38731	21,4857114	1774,87303
<b>HV</b>	<b>2000</b>	83	0	0	2000	0	2000

**Tabla 3.14 Corrección de altura enlace Nevado del Ruiz – Cerro Versalles.**

Se calcula a que altura pasa la línea de vista por encima de cada obstáculo con su zona de Fresnel.

	<b>ho (m)</b>	<b>DTx (Km)</b>	<b>HTOTAL(m)</b>	<b>LV-HTOTAL</b>
<b>HNR</b>	<b>4200</b>	0	4200	0
	<b>4100</b>	1	4130,45487	43,0391056
	<b>4000</b>	1,4	4036,97289	125,918672
	<b>3750</b>	2,2	3798,1932	343,49355
	<b>3500</b>	2,7	3554,42907	574,004663
	<b>3250</b>	3,5	3313,57953	793,649384
	<b>3250</b>	4	3318,90039	775,075517
	<b>3000</b>	5	3078,8337	988,636179
	<b>3000</b>	8,6	3109,22475	862,823439
	<b>2750</b>	10	2869,40458	1065,53518
	<b>2250</b>	10,7	2374,22012	1542,16543
	<b>2000</b>	11,3	2128,21305	1772,26887
	<b>2000</b>	11,9	2132,0875	1752,49082
	<b>1750</b>	12,3	1884,60702	1989,36888
	<b>2000</b>	12,6	2136,46429	1729,55981
	<b>2000</b>	14,7	2148,72844	1661,63301
	<b>1750</b>	17,2	1911,77538	1832,321
	<b>1750</b>	18,6	1918,4014	1788,58656
	<b>1250</b>	30,6	1457,62946	1931,2862
	<b>1000</b>	42,6	1218,62721	1852,21616
	<b>750</b>	45,6	967,176534	2024,14877
	<b>500</b>	45,7	717,099282	2271,57542
	<b>500</b>	46,2	716,684982	2258,7367
	<b>750</b>	46,5	966,41395	2001,05593
	<b>1000</b>	47,4	1215,49963	1728,11483
	<b>1000</b>	51	1210,31375	1637,87902
	<b>500</b>	51,6	709,209528	2123,07963
	<b>500</b>	73,2	617,996339	1641,7627
	<b>1000</b>	75,9	1097,39823	1090,79454



	1250	80,1	1306,8016	770,06587
	1500	81,6	1536,97289	500,135539
	1750	82,3	1774,87303	243,681191
HV	2000	83	2000	0

**Tabla 3.15 Interrupción de la línea de vista.**

### 3.2.3.2 Cálculo de altura de antenas.

Para una altura de una antena receptora de cero metros y considerando todos los obstáculos se obtienen los datos mostrados en la tabla 3.16.

	ho (m)	DTx (Km)	HTOTAL(m)	H1-
HNR	4200	0	4200	
	4100	1	4130,45487	-3572,24576
	4000	1,4	4036,97289	-7465,17839
	3750	2,2	3798,1932	-12959,0748
	3500	2,7	3554,42907	-17645,3285
	3250	3,5	3313,57953	-18820,8283
	3250	4	3318,90039	-16082,817
	3000	5	3078,8337	-16411,3606
	3000	8,6	3109,22475	-8327,24947
	2750	10	2869,40458	-8843,942
	2250	10,7	2374,22012	-11962,5916
	2000	11,3	2128,21305	-13017,5501
	2000	11,9	2132,0875	-12223,2553
	1750	12,3	1884,60702	-13424,1965
	2000	12,6	2136,46429	-11393,1321
	2000	14,7	2148,72844	-9382,00951
	1750	17,2	1911,77538	-8842,01413
	1750	18,6	1918,4014	-7981,3271
	1250	30,6	1457,62946	-5238,45603
	1000	42,6	1218,62721	-3608,77796
	750	45,6	967,176534	-3684,30587
	500	45,7	717,099282	-4125,61837
	500	46,2	716,684982	-4057,9036
	750	46,5	966,41395	-3571,77725
	1000	47,4	1215,49963	-3026,02385

	<b>1000</b>	51	1210,31375	-2665,56782
	<b>500</b>	51,6	709,209528	-3415,03119
	<b>500</b>	73,2	617,996339	-1861,56153
	<b>1000</b>	75,9	1097,39823	-1192,83198
	<b>1250</b>	80,1	1306,8016	-797,945908
	<b>1500</b>	81,6	1536,97289	-508,716296
	<b>1750</b>	82,3	1774,87303	-245,753814
	<b>2000</b>	83	2000	

**Tabla 3.16 Altura de antena receptora.**

Por los resultados obtenidos anteriormente se puede decir que cualquier altura de antena es apropiada para realizar el enlace.

### 3.2.3.3 Pérdidas de espacio libre.

Para este enlace de 450 MHz y una distancia de 83 Km se tienen unas pérdidas de espacio libre de **123,8958 dB**.

### 3.2.3.4 Pérdidas por difracción.

En la tabla 3.17 se evalúan todos los obstáculos para saber con cual se obtiene el mayor resultado de la variable  $v$  y por consiguiente con el que se debe trabajar para obtener las pérdidas por difracción.

	<b>ho (m)</b>	<b>DTx (Km)</b>	<b>hk (m)</b>	<b>V</b>
<b>HNR</b>	<b>4200</b>	0	4200	
	<b>4100</b>	1	4104,82138	-2,11661244
	<b>4000</b>	1,4	4006,71701	-5,59314284
	<b>3750</b>	2,2	3760,45181	-12,5274898
	<b>3500</b>	2,7	3512,74785	-19,1163201
	<b>3250</b>	3,5	3266,36036	-23,3693835
	<b>3250</b>	4	3268,57996	-21,3424949
	<b>3000</b>	5	3022,93096	-24,5241865
	<b>3000</b>	8,6	3037,62088	-16,3609095
	<b>2750</b>	10	2792,92205	-18,9815847

	2250	10,7	2295,4862	-26,9867197
	2000	11,3	2047,63819	-30,3864305
	2000	11,9	2049,74783	-29,35778
	1750	12,3	1801,13075	-32,9630382
	2000	12,6	2052,15558	-28,245453
	2000	14,7	2059,03311	-25,3652162
	1750	17,2	1816,54447	-26,3233438
	1750	18,6	1820,42979	-24,8969359
	1250	30,6	1344,27799	-23,007391
	1000	42,6	1101,19256	-21,1679705
	750	45,6	850,27532	-23,3636623
	500	45,7	600,226518	-26,3754376
	500	46,2	599,96487	-26,2569589
	750	46,5	849,79377	-23,1447099
	1000	47,4	1099,21697	-19,8866862
	1000	51	1095,95724	-19,1418989
	500	51,6	595,265787	-25,2650984
	500	73,2	542,178853	-29,9516528
	1000	75,9	1031,68529	-22,8808998
	1250	80,1	1263,65803	-24,8898934
	1500	81,6	1506,71701	-23,1520037
	1750	82,3	1753,38731	-15,8772761
	2000	83	2000	

**Tabla 3.17 Análisis de la variable v para cada uno de los obstáculos.**

Para ningún obstáculo se obtiene un valor de v que sea v mayor que  $-0,78$  por lo cual las pérdidas por difracción son consideradas como cero.

### 3.2.3.5 Pérdidas de propagación.

Las pérdidas de propagación son equivalentes a las pérdidas por espacio libre mas las pérdidas por difracción.

$$L_{PROP} = 123,8958 \text{ dB} + 0 \text{ dB} = \mathbf{123,8958 \text{ dB.}}$$

### 3.2.3.6 Margen de desvanecimiento.

El ancho de banda de los equipos usados es de 30 KHz con una potencia umbral en el receptor de  $-149$  dBW o  $0,25 \mu\text{V}$  y una disponibilidad de 99,995 % .

Para estas características el margen de desvanecimiento **FM = 20,411 dB**.

### 3.2.3.7 Porcentaje de tiempo durante el cual se supera el margen de desvanecimiento.

Para los cálculos realizados se obtuvo,  $A_t = 23,962$  dB siendo mayor el margen de desvanecimiento FM hallado antes Esto hace que el margen de desvanecimiento con el que se trabaje sea **23,962 dB**, dando esto como resultado los datos mostrados en la tabla 3.18.

<b>At</b>	<b>PRXcalidad</b>	<b>Pw(At)</b>	<b>HORA AL DIA</b>	<b>MINUTOS AL DIA</b>
23,9622122	-122,63	0,00054822	0,00013157	0,00789438

**Tabla 3.18 Calculo disponibilidad del enlace y potencia de recepción de calidad.**

Donde:

$P_{RXcalidad}$ : Potencia de recepción mínima en el receptor para mantener los parámetros de calidad.

$P_w(A_t)$ : Porcentaje de tiempo durante el cual se rebasa la profundidad de desvanecimiento.

HORA AL DIA ( $A_t$ ): Horas al día en que se rebasa la profundidad de desvanecimiento  $A_t$ .

MINUTOS AL DIA ( $A_t$ ): Minutos al día en que se rebasa la profundidad de desvanecimiento  $A_t$ .

### 3.2.3.8 Sistema de antenas.

Nevado del Ruiz: Antena direccional con ganancia de 3 db con respecto al dipolo de  $\frac{1}{2}\lambda$ .

Cerro Versalles: Antena direccional con ganancia de 3 db con respecto al dipolo de  $\frac{1}{2}\lambda$ .

### 3.2.3.9 Potencia mínima de transmisión.

Para los transmisores y receptores ubicado en el Nevado del Ruiz y el cerro Versalles tenemos:

$$P_{RXcalidad} = -122,63 \text{ dBW.}$$

$$L_{PROP} = 123,89 \text{ dB.}$$

$$P_{cc} = 3,724 \text{ dB.}$$

$$G_{antTx} = 3 \text{ dB.}$$

$$G_{antRx} = 3 \text{ dB.}$$

$$P_{minTx} = -122,63 \text{ dBW} + 123,89 \text{ dB} + 3,724 \text{ dB} - 3 \text{ dB} - 3 \text{ dB} = -1,01 \text{ dBW}$$

La potencia mínima que se puede tener a la salida del transmisor para mantener los objetivos de calidad debe ser de  $-1,01 \text{ dBW}$  o en vatios de  $0,8 \text{ W}$ .

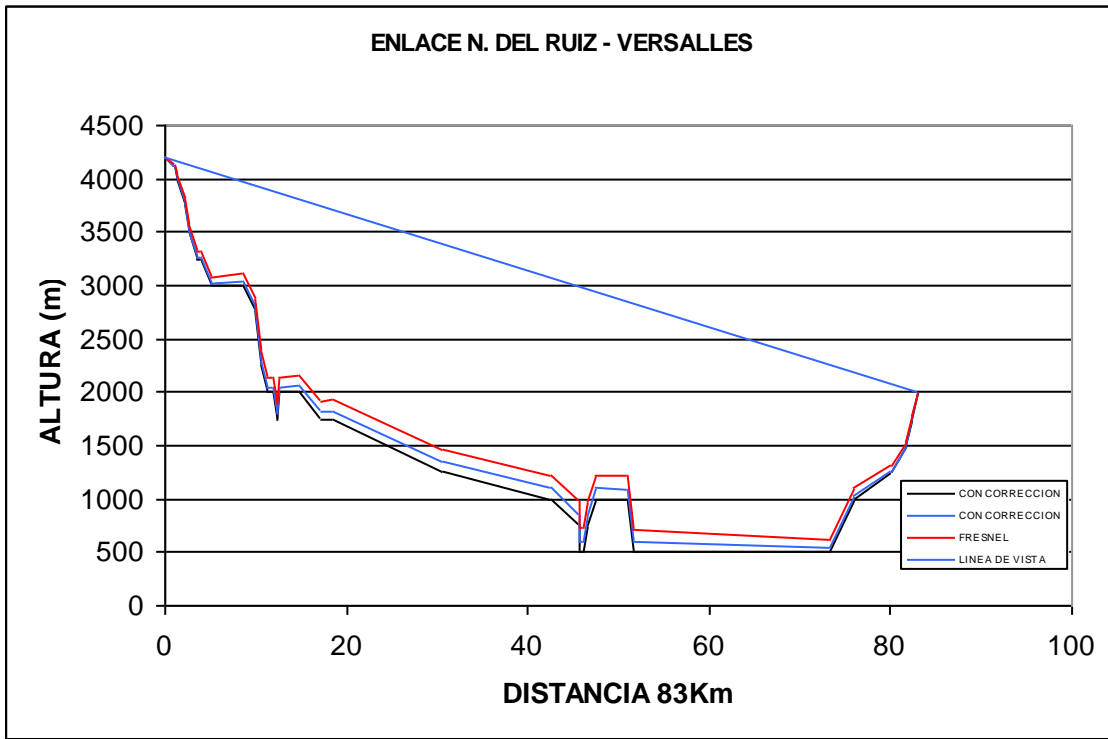


Figura 3.3 Perfil enlace Nevado del Ruiz – Versailles.

### 3.2.4 TRAYECTO VERSALLES – CERRO PAN DE AZUCAR

CERRO PAN DE AZUCAR	CERRO VERSALLES
Altura: 3900 metros.	Altura: 2000 metros.
Ubicación: Departamento del Valle del Cauca. Latitud 3°40'12" Longitud 76° 07'	UBICACIÓN: DEPARTAMENTO DEL VALLE  del Cauca Latitud 4° 35' 12" Longitud 76°10'15"
Distancia total del trayecto: 99 Km	
Frecuencia: 450 MHz	
Disponibilidad del enlace: 99,995%	

Tabla 3.19 Enlace Nevado del Ruiz-Padre Amaya.

### 3.2.4.1 Corrección de altura de obstáculos.

En la tabla 3.20 se listan los obstáculos así como su corrección y primer radio de Fresnel.

HPA: Cerro Pan de Azúcar.

HV: Cerro Versailles.

	ho (m)	DTx (Km)	DRx (Km)	Corrección (m)	hk (m)	FRESNEL	HTOTAL(m)
<b>HPA</b>	<b>3900</b>	0	99	0	3900	0	3900
	<b>3750</b>	0,6	98,4	3,4713944	3753,47139	19,915693	3773,38709
	<b>3500</b>	2,4	96,6	13,6315732	3513,63157	39,4653931	3553,09697
	<b>2250</b>	3,9	95,1	21,807342	2271,80734	49,9165787	2321,72392
	<b>3000</b>	4,5	94,5	25,0035649	3025,00356	53,4495939	3078,45316
	<b>2750</b>	9,3	89,7	49,0493212	2799,04932	74,8617448	2873,91107
	<b>2500</b>	9,6	89,4	50,4622211	2550,46222	75,9323122	2626,39453
	<b>2500</b>	11,4	87,6	58,7173663	2558,71737	81,9080766	2640,62544
	<b>2750</b>	12,3	86,7	62,7020614	2812,70206	84,6416953	2897,34376
	<b>3000</b>	12,9	86,1	65,3056072	3065,30561	86,38109	3151,6867
	<b>3000</b>	13,8	85,2	69,1315495	3069,13155	88,8754043	3158,00695
	<b>2750</b>	14,1	84,9	70,3856966	2820,3857	89,6779456	2910,06364
	<b>2500</b>	14,1	84,9	70,3856966	2570,3857	89,6779456	2660,06364
	<b>2500</b>	14,7	84,3	72,8622402	2572,86224	91,2419805	2664,10422
	<b>2750</b>	15,3	83,7	75,2964497	2825,29645	92,7535826	2918,05003
	<b>3000</b>	16,2	82,8	78,8683875	3078,86839	94,9281298	3173,79652
	<b>3000</b>	16,8	82,2	81,1967618	3081,19676	96,3191849	3177,51595
	<b>2750</b>	17,1	81,9	82,3450737	2832,34507	96,9978828	2929,34296
	<b>2500</b>	19,5	79,5	91,1505619	2591,15056	102,052376	2693,20294
	<b>2500</b>	20,4	78,6	94,2779919	2594,27799	103,78835	2698,06634
	<b>2250</b>	20,7	78,3	95,2993016	2345,2993	104,349003	2449,6483
	<b>2250</b>	21,6	77,4	98,2997294	2348,29973	105,978948	2454,27868
	<b>2500</b>	21,9	77,1	99,2787049	2599,2787	106,505368	2705,78407
	<b>2750</b>	23,4	75,6	104,01483	2854,01483	109,016209	2963,03104
	<b>2750</b>	25,2	73,8	109,348924	2859,34892	111,77655	2971,12547
	<b>2500</b>	25,2	73,8	109,348924	2609,34892	111,77655	2721,12547
	<b>2250</b>	26,4	72,6	112,693316	2362,69332	113,472996	2476,16631
	<b>2000</b>	26,4	72,6	112,693316	2112,69332	113,472996	2226,16631
	<b>1750</b>	26,7	72,3	113,502955	1863,50296	113,879887	1977,38284

	<b>1500</b>	27	72	114,302011	1614,30201	114,280039	1728,58205
	<b>1500</b>	32,1	66,9	126,26668	1626,26668	120,112394	1746,37907
	<b>1300</b>	33,6	65,4	129,203606	1429,20361	121,501254	1550,70486
	<b>1300</b>	87	12	61,3844133	1361,38441	83,7476247	1445,13204
	<b>1750</b>	87,2	11,8	60,5001014	1810,5001	83,1421967	1893,6423
	<b>1750</b>	97,5	1,5	8,59910962	1758,59911	31,345138	1789,94425
<b>HV</b>	<b>2000</b>	99	0	0	2000	0	2000

**Tabla 3.20 Corrección de altura enlace Pan de Azúcar-Cerro Versalles.**

Se calcula a que altura pasa la línea de vista por encima de cada obstáculo con su zona de Fresnel.

En la tabla 3.21 se muestran los resultados.

	<b>ho (m)</b>	<b>DTx (Km)</b>	<b>HTOTAL(m)</b>	<b>LV-HTOTAL</b>
<b>HPA</b>	<b>3900</b>	0	3900	0
	<b>3750</b>	0,6	3773,38709	115,097761
	<b>3500</b>	2,4	3553,09697	300,842428
	<b>2250</b>	3,9	2321,72392	1503,42759
	<b>3000</b>	4,5	3078,45316	735,183205
	<b>2750</b>	9,3	2873,91107	847,604086
	<b>2500</b>	9,6	2626,39453	1089,36304
	<b>2500</b>	11,4	2640,62544	1040,58668
	<b>2750</b>	12,3	2897,34376	766,595637
	<b>3000</b>	12,9	3151,6867	500,737545
	<b>3000</b>	13,8	3158,00695	477,144561
	<b>2750</b>	14,1	2910,06364	719,330297
	<b>2500</b>	14,1	2660,06364	969,330297
	<b>2500</b>	14,7	2664,10422	953,774567
	<b>2750</b>	15,3	2918,05003	688,313604
	<b>3000</b>	16,2	3173,79652	415,294392
	<b>3000</b>	16,8	3177,51595	400,059811
	<b>2750</b>	17,1	2929,34296	642,475225
	<b>2500</b>	19,5	2693,20294	832,554638
	<b>2500</b>	20,4	2698,06634	810,418507
	<b>2250</b>	20,7	2449,6483	1053,07897
	<b>2250</b>	21,6	2454,27868	1031,17587
	<b>2500</b>	21,9	2705,78407	773,912897



	<b>2750</b>	23,4	2963,03104	487,878052
	<b>2750</b>	25,2	2971,12547	445,238163
	<b>2500</b>	25,2	2721,12547	695,238163
	<b>2250</b>	26,4	2476,16631	917,167021
	<b>2000</b>	26,4	2226,16631	1167,16702
	<b>1750</b>	26,7	1977,38284	1410,19292
	<b>1500</b>	27	1728,58205	1653,23613
	<b>1500</b>	32,1	1746,37907	1537,56032
	<b>1300</b>	33,6	1550,70486	1704,44665
	<b>1300</b>	87	1445,13204	785,170992
	<b>1750</b>	87,2	1893,6423	332,822348
	<b>1750</b>	97,5	1789,94425	238,843631
	<b>2000</b>	99	2000	0

**Tabla 3.21 Interrupción de la línea de vista.**

### 3.2.4.2 Cálculo de altura de antenas.

Para una altura de una antena receptora de cero metros y considerando todos los obstáculos se obtienen los datos mostrados en la tabla 3.22.

	ho (m)	DTx (Km)	HTOTAL(m)	H1-
<b>HPA</b>	<b>3900</b>	0	3900	
	<b>3750</b>	0,6	3773,38709	-18991,1306
	<b>3500</b>	2,4	3553,09697	-12409,7501
	<b>2250</b>	3,9	2321,72392	-38163,9312
	<b>3000</b>	4,5	3078,45316	-16174,0305
	<b>2750</b>	9,3	2873,91107	-9022,8822
	<b>2500</b>	9,6	2626,39453	-11234,0564
	<b>2500</b>	11,4	2640,62544	-9036,67379
	<b>2750</b>	12,3	2897,34376	-6170,16001
	<b>3000</b>	12,9	3151,6867	-3842,86953
	<b>3000</b>	13,8	3158,00695	-3422,99359
	<b>2750</b>	14,1	2910,06364	-5050,61698
	<b>2500</b>	14,1	2660,06364	-6805,93613
	<b>2500</b>	14,7	2664,10422	-6423,37974
	<b>2750</b>	15,3	2918,05003	-4453,79391
	<b>3000</b>	16,2	3173,79652	-2537,91017

	<b>3000</b>	16,8	3177,51595	-2357,49531
	<b>2750</b>	17,1	2929,34296	-3719,59341
	<b>2500</b>	19,5	2693,20294	-4226,81586
	<b>2500</b>	20,4	2698,06634	-3932,91334
	<b>2250</b>	20,7	2449,6483	-5036,46463
	<b>2250</b>	21,6	2454,27868	-4726,22273
	<b>2500</b>	21,9	2705,78407	-3498,51036
	<b>2750</b>	23,4	2963,03104	-2064,09945
	<b>2750</b>	25,2	2971,12547	-1749,14993
	<b>2500</b>	25,2	2721,12547	-2731,29278
	<b>2250</b>	26,4	2476,16631	-3439,37633
	<b>2000</b>	26,4	2226,16631	-4376,87633
	<b>1750</b>	26,7	1977,38284	-5228,80519
	<b>1500</b>	27	1728,58205	-6061,86582
	<b>1500</b>	32,1	1746,37907	-4742,00846
	<b>1300</b>	33,6	1550,70486	-5022,03032
	<b>1300</b>	87	1445,13204	-893,47044
	<b>1750</b>	87,2	1893,6423	-377,860235
	<b>1750</b>	97,5	1789,94425	-242,518149
	<b>2000</b>	99	2000	

**Tabla 3.22 Altura de antena receptora.**

Por los resultados obtenidos anteriormente se puede decir que cualquier altura de antena es apropiada para realizar el enlace.

### **3.2.4.3 Pérdidas de espacio libre.**

Para este enlace de 450 MHz y una distancia de 99 Km se tienen unas pérdidas de espacio libre de **125,426 dB**.

### 3.2.4.4 Pérdidas por difracción.

En la tabla 3.23 se evalúan todos los obstáculos para saber con cual se obtiene el mayor resultado de la variable  $v$  y por consiguiente con el que se debe trabajar para obtener las pérdidas por difracción.

	ho (m)	DTx (Km)	hk (m)	V
<b>HPA</b>	<b>3900</b>	0	3900	
	<b>3750</b>	0,6	3753,47139	-111,626453
	<b>3500</b>	2,4	3513,63157	-287,211195
	<b>2250</b>	3,9	2271,80734	-1481,6208
	<b>3000</b>	4,5	3025,00356	-710,180265
	<b>2750</b>	9,3	2799,04932	-798,55599
	<b>2500</b>	9,6	2550,46222	-1038,90208
	<b>2500</b>	11,4	2558,71737	-981,87078
	<b>2750</b>	12,3	2812,70206	-703,895143
	<b>3000</b>	12,9	3065,30561	-435,433571
	<b>3000</b>	13,8	3069,13155	-408,01474
	<b>2750</b>	14,1	2820,3857	-648,94636
	<b>2500</b>	14,1	2570,3857	-898,94636
	<b>2500</b>	14,7	2572,86224	-880,914149
	<b>2750</b>	15,3	2825,29645	-613,019037
	<b>3000</b>	16,2	3078,86839	-336,427976
	<b>3000</b>	16,8	3081,19676	-318,865079
	<b>2750</b>	17,1	2832,34507	-560,13221
	<b>2500</b>	19,5	2591,15056	-741,406355
	<b>2500</b>	20,4	2594,27799	-716,142872
	<b>2250</b>	20,7	2345,2993	-957,782049
	<b>2250</b>	21,6	2348,29973	-932,878596
	<b>2500</b>	21,9	2599,2787	-674,636674
	<b>2750</b>	23,4	2854,01483	-383,865822
	<b>2750</b>	25,2	2859,34892	-335,891973
	<b>2500</b>	25,2	2609,34892	-585,891973
	<b>2250</b>	26,4	2362,69332	-804,476523
	<b>2000</b>	26,4	2112,69332	-1054,47652
	<b>1750</b>	26,7	1863,50296	-1296,6928
	<b>1500</b>	27	1614,30201	-1538,93698
	<b>1500</b>	32,1	1626,26668	-1411,2968
	<b>1300</b>	33,6	1429,20361	-1575,24628
	<b>1300</b>	87	1361,38441	-723,788114

	1750	87,2	1810,5001	-272,323759
	1750	97,5	1758,59911	-230,244737
<b>HV</b>	<b>2000</b>	99	2000	

**Tabla 3.23 Análisis de la variable v para cada uno de los obstáculos.**

Para ningún obstáculo se obtiene un valor de  $v$  mayor que  $-0,78$  por lo cual las pérdidas por difracción son consideradas como cero.

### 3.2.4.5 Pérdidas de propagación.

Las pérdidas de propagación son equivalentes a las pérdidas por espacio libre más las pérdidas por difracción.

$$L_{PROP} = 125,426 \text{ dB} + 0 \text{ dB} = \mathbf{125,426 \text{ dB}}$$

### 3.2.4.6 Margen de desvanecimiento.

El ancho de banda de los equipos usados es de 30 KHz con una potencia umbral en el receptor de  $-149 \text{ dBW}$  o  $0,25 \mu\text{V}$  y una disponibilidad de 99,995 % .

Para estas características el margen de desvanecimiento FM es 22,707 dB.

### 3.2.4.7 Porcentaje de tiempo durante el cual se supera el margen de desvanecimiento.

Para los cálculos realizados se obtuvo,  $A_t = \mathbf{24,518 \text{ dB}}$  siendo mayor el margen de desvanecimiento FM hallado antes. Esto hace que el margen de desvanecimiento con el que se trabaje sea  $\mathbf{24,518 \text{ dB}}$ , dando esto como resultado los datos mostrados en la tabla 3.18.

<b>At</b>	<b>PRXcalidad</b>	<b>Pw(At)</b>	<b>HORA AL DIA (At)</b>	<b>MINUTOS AL DIA (At)</b>
24,5184792	-122,3	0,00140244	0,00033659	0,02019516

**Tabla 3.24 Cálculo disponibilidad del enlace y potencia de recepción de calidad.**

Donde:

$P_{RXcalidad}$ : Potencia de recepción mínima en el receptor para mantener los parámetros de calidad.

$Pw(At)$ : Porcentaje de tiempo durante el cual se rebasa la profundidad desvanecimiento.

HORA AL DIA (At): Horas al día en que se rebasa la profundidad de desvanecimiento At.

MINUTOS AL DIA (At): Minutos al día en que se rebasa la profundidad desvanecimiento At.

### **3.2.4.8 Sistema de antenas.**

Cerro Pan de Azucar: Antena direccional con ganancia de 3 db con respecto al dipolo de  $\frac{1}{2}\lambda$ .

Cerro Versalles: Antena direccional con ganancia de 3 db con respecto al dipolo de  $\frac{1}{2}\lambda$ .

### **3.2.4.9 Potencia mínima de transmisión.**

Para los transmisores y receptores ubicado en el Cerro Pan de Azúcar y el cerro Versalles se obtienen:

$P_{RXcalidad} = -122,3$  dBW.

$L_{PROP} = 125,426$  dB.

$P_{cc}=3,724$  dB.

$G_{antTx}=3$  dB.

$G_{antRx}=3$  dB.

$P_{minTx} = -122,3$  dBW  $+125,426$  dB  $+3,724$  dB  $-3$  dB  $-3$  dB =  $0,84$  dBW

La potencia mínima que se puede tener a la salida del transmisor para mantener los objetivos de calidad debe ser de  $0,84$  dBW o en vatios de  $1,21$  W.

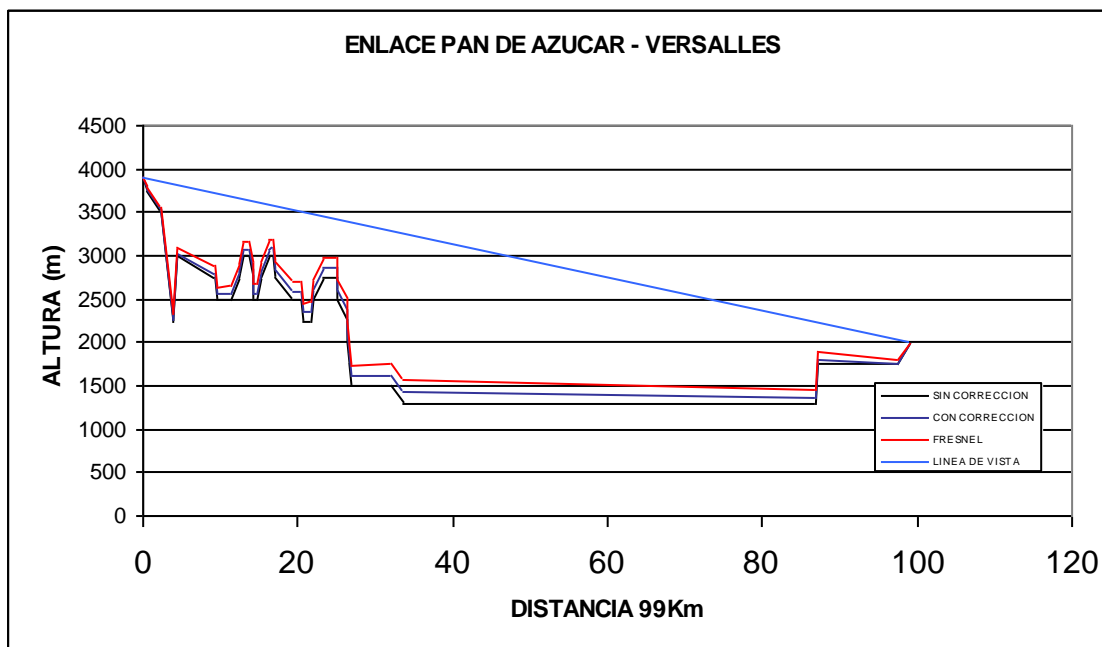


Figura 3.4 Perfil enlace Pan de Azúcar – Versalles.

### 3.2.5 TRAYECTO CERRO PAN DE AZUCAR – Munchique

CERRO PAN DE AZUCAR		CERRO MUNCHIQUE	
Altura:	3900 metros	Altura:	3057 metros.
Ubicación:	Departamento del Valle del Cauca Latitud 3°40'12 Longitud 76° 07'	Ubicación:	Departamento de Cauca. Latitud 02°31'19" Longitud 76°57'38"
Distancia total del trayecto:	160,2 Km		
Frecuencia:	450 MHz		
Disponibilidad del enlace:	99,995%		

**Tabla 3.25 Enlace Pan de Azúcar - Munchique**

#### 3.2.5.1 Corrección de altura de obstáculos.

En la tabla 3.26 se listan los obstáculos así como su corrección y primer radio de Fresnel.

HPAZ: Cerro Pan de Azúcar.

HM: Cerro Munchique (Popayán).

	ho (m)	DTx (Km)	DRx (Km)	Corrección (m)	hk (m)	FRESNEL	HTOTAL(m)
HPAZ	3900	0	0	0	3900	0	3900
	3250	1,2	10,0185307	11,2185307	3261,218531	28,14477464	3289,363305
	3000	2,4	19,86772508	22,26772508	3022,267725	39,65223859	3061,919964
	2500	3,6	29,54758316	33,14758316	2533,147583	48,37886993	2581,526453
	2000	6,9	55,2940525	62,1940525	2062,194052	66,26805334	2128,462106
	1500	8,7	68,79782174	77,49782174	1577,497822	73,97322161	1651,471043
	1500	11,4	88,33908802	99,73908802	1599,739088	83,91942155	1683,65851
	1750	23,1	163,1117343	186,2117343	1936,211734	114,6656422	2050,877377

	<b>1000</b>	25,5	176,4600114	201,9600114	1201,960011	119,4159886	1321,376
	<b>1000</b>	52,2	279,2758316	331,4758316	1331,475832	152,9874196	1484,463251
	<b>1500</b>	110,2	213,7732922	323,9732922	1823,973292	151,2461714	1975,219464
	<b>1750</b>	111,8	206,3594121	318,1594121	2068,159412	149,8829295	2218,042342
	<b>1750</b>	114,2	194,6741377	308,8741377	2058,874138	147,6796173	2206,553755
	<b>1500</b>	115,4	188,577496	303,977496	1803,977496	146,5043439	1950,48184
	<b>1500</b>	119,6	165,9057265	285,5057265	1785,505727	141,9832775	1927,489004
	<b>2000</b>	134,2	70,95564629	205,1556463	2205,155646	120,3570466	2325,512693
	<b>2000</b>	136,6	52,94848283	189,5484828	2189,548483	115,6884338	2305,236917
	<b>2250</b>	138,2	40,56740427	178,7674043	2428,767404	112,3502265	2541,117631
	<b>2250</b>	145,8	-22,3538282	123,4461718	2373,446172	93,36166718	2466,807839
	<b>2500</b>	149,4	-54,529331	94,87066904	2594,870669	81,84568104	2676,71635
	<b>2500</b>	155,4	-111,541895	43,85810492	2543,858105	55,64866066	2599,506766
	<b>2750</b>	157,4	-131,48684	25,91315959	2775,91316	42,77499526	2818,688155
<b>HM</b>	<b>3057</b>	160,2	-160,2	0	3057	0	3057

**Tabla 3.26 Corrección de altura enlace Cerro Pan de Azúcar-Cerro Manjui.**

Se calcula a que altura pasa la línea de vista por encima de cada obstáculo con su zona de Fresnel.

En la tabla 3.26 se muestran los resultados.

	<b>ho (m)</b>	<b>DTx (Km)</b>	<b>HTOTAL(m)</b>	<b>LV-HTOTAL</b>
<b>HPAZ</b>	<b>3900</b>	0	3900	3900
	<b>3250</b>	1,2	3289,36331	3288,16331
	<b>3000</b>	2,4	3061,91996	3059,51996
	<b>2500</b>	3,6	2581,52645	2577,92645
	<b>2000</b>	6,9	2128,46211	2121,56211
	<b>1500</b>	8,7	1651,47104	1642,77104
	<b>1500</b>	11,4	1683,65851	1672,25851
	<b>1750</b>	23,1	2050,87738	2027,77738
	<b>1000</b>	25,5	1321,376	1295,876
	<b>1000</b>	52,2	1484,46325	1432,26325
	<b>1500</b>	110,2	1975,21946	1865,01946
	<b>1750</b>	111,8	2218,04234	2106,24234
	<b>1750</b>	114,2	2206,55375	2092,35375



	<b>1500</b>	115,4	1950,48184	1835,08184
	<b>1500</b>	119,6	1927,489	1807,889
	<b>2000</b>	134,2	2325,51269	2191,31269
	<b>2000</b>	136,6	2305,23692	2168,63692
	<b>2250</b>	138,2	2541,11763	2402,91763
	<b>2250</b>	145,8	2466,80784	2321,00784
	<b>2500</b>	149,4	2676,71635	2527,31635
	<b>2500</b>	155,4	2599,50677	2444,10677
	<b>2750</b>	157,4	2818,68815	2661,28815
<b>HM</b>	<b>3057</b>	160,2	3057	2896,8

**Tabla 3.27 Interrupción de la línea de vista.**

### 3.2.5.2 Cálculo de altura de antenas.

Para una altura de una antena receptora de cero metros y considerando todos los obstáculos se obtienen los datos mostrados en la tabla 3.27.

	<b>ho (m)</b>	<b>DTx (Km)</b>	<b>HTOTAL(m)</b>	<b>H1-</b>
<b>HPAZ</b>	<b>3900</b>	0	3900	
	<b>3250</b>	1,2	3289,36331	-80676,9987
	<b>3000</b>	2,4	3061,91996	-55098,8424
	<b>2500</b>	3,6	2581,52645	-57829,0728
	<b>2000</b>	6,9	2128,46211	-40287,4885
	<b>1500</b>	8,7	1651,47104	-40560,947
	<b>1500</b>	11,4	1683,65851	-30302,4304
	<b>1750</b>	23,1	2050,87738	-11980,7855
	<b>1000</b>	25,5	1321,376	-15356,8261
	<b>1000</b>	52,2	1484,46325	-6570,19899
	<b>1500</b>	110,2	1975,21946	-1955,09294
	<b>1750</b>	111,8	2218,04234	-1567,10391
	<b>1750</b>	114,2	2206,55375	-1532,56995
	<b>1500</b>	115,4	1950,48184	-1863,35017
	<b>1500</b>	119,6	1927,489	-1799,10921
	<b>2000</b>	134,2	2325,51269	-1036,52956
	<b>2000</b>	136,6	2305,23692	-1027,28584

	<b>2250</b>	138,2	2541,11763	-732,202283
	<b>2250</b>	145,8	2466,80784	-731,742004
	<b>2500</b>	149,4	2676,71635	-468,713793
	<b>2500</b>	155,4	2599,50677	-497,66291
	<b>2750</b>	157,4	2818,68815	-257,54738
	<b>3057</b>	160,2	3057	

**Tabla 3.28 Altura de antena receptora.**

Por los resultados obtenidos anteriormente se puede decir que cualquier altura de antena es apropiada para realizar el enlace.

### **3.2.5.3 Pérdidas de espacio libre.**

Para este enlace de 450 MHz y una distancia de 160.2 Km se tienen unas pérdidas de espacio libre de **129,6075 dB**.

### **3.2.5.4 Pérdidas por difracción.**

En la tabla 3.28 se evalúan todos los obstáculos para saber con cual se obtiene el mayor resultado de la variable **v** y por consiguiente con el cual se debe trabajar para obtener las pérdidas por difracción.

	<b>ho (m)</b>	<b>DTx (Km)</b>	<b>hk (m)</b>	<b>V</b>
<b>HPAZ</b>	<b>3900</b>	0	3900	
	<b>3250</b>	1,2	3261,21853	-29,916848
	<b>3000</b>	2,4	3022,26773	-28,7561028
	<b>2500</b>	3,6	2533,14758	-37,161413
	<b>2000</b>	6,9	2062,19405	-35,8413249
	<b>1500</b>	8,7	1577,49782	-40,7867229
	<b>1500</b>	11,4	1599,73909	-34,7915384
	<b>1750</b>	23,1	1936,21173	-19,0832998
	<b>1000</b>	25,5	1201,96001	-26,6593577
	<b>1000</b>	52,2	1331,47583	-16,7902768
	<b>1500</b>	110,2	1823,97329	-9,58278804

	<b>1750</b>	111,8	2068,15941	-7,34530604
	<b>1750</b>	114,2	2058,87414	-7,53318751
	<b>1500</b>	115,4	1803,9775	-10,061264
	<b>1500</b>	119,6	1785,50573	-10,5752432
	<b>2000</b>	134,2	2205,15565	-7,82213431
	<b>2000</b>	136,6	2189,54848	-8,42314717
	<b>2250</b>	138,2	2428,7674	-5,72267383
	<b>2250</b>	145,8	2373,44617	-8,24961191
	<b>2500</b>	149,4	2594,87067	-5,93644601
	<b>2500</b>	155,4	2543,8581	-11,196659
	<b>2750</b>	157,4	2775,91316	-7,53830905
<b>HM</b>	<b>3057</b>	160,2	3057	

**Tabla 3.29 Análisis de la variable v para cada uno de los obstáculos.**

Para ningún obstáculo se obtiene un valor de  $v$  mayor que  $-0,78$  por lo cual las pérdidas por difracción son consideradas como cero.

### 3.2.5.5 Pérdidas de propagación.

Las pérdidas de propagación son equivalentes a las pérdidas por espacio libre mas las pérdidas por difracción.

$$L_{PROP} = 129,6075 \text{ dB} + 0 \text{ dB} = \mathbf{129,6075 \text{ dB}}.$$

### 3.2.5.6 Margen de desvanecimiento.

El ancho de banda de los equipos usados es de 30 KHz con una potencia umbral en el receptor de  $-149 \text{ dB}$  o  $0,25 \mu\text{V}$  y una disponibilidad de 99,995 % .

Para estas características el margen de desvanecimiento FM es de 28,978 dB.

### 3.2.5.7 Porcentaje de tiempo durante el cual se supera el margen de desvanecimiento.

Para los cálculos realizados se obtuvo,  $A_t = 26,2756 \text{ dB}$  siendo mayor el margen de desvanecimiento FM hallado antes. Esto hace que el margen de desvanecimiento con el que se trabaje sea  $26,2756 \text{ dB}$ , dando esto como resultado los datos mostrados en la tabla 3.29.

<b>At</b>	<b>PRXcalidad</b>	<b>Pw(FM)</b>	<b>HORA AL DIA (FM)</b>	<b>MINUTOS AL DIA (FM)</b>
26,2756776	-121,39	0,01462805	0,00351073	0,21064396

**Tabla 3.29** Calculo disponibilidad del enlace y potencia de recepción de calidad.

Donde:

$P_{RXcalidad}$ : Potencia de recepción mínima en el receptor para mantener los parámetros de calidad.

$P_w(FM)$ : Porcentaje de tiempo durante el cual se rebasa la profundidad desvanecimiento.

HORA AL DIA (FM): Horas al día en que se rebasa la profundidad de desvanecimiento FM.

MINUTOS AL DIA (FM): Minutos al día en que se rebasa la profundidad desvanecimiento FM.

### 3.2.5.8 Sistema de antenas.

Cerro Pan de Azúcar: Antena direccional con ganancia de 3 db con respecto al dipolo de  $\frac{1}{2}\lambda$ .

Cerro Munchique: Antena direccional con ganancia de 3 db con respecto al dipolo de  $\frac{1}{2}\lambda$ .

### 3.2.5.9 Potencia mínima de transmisión.

Para los transmisores y receptores ubicados en el cerro Pan de azúcar y el cerro Munchique (Popayán) tenemos:

$$P_{RX\text{calidad}} = -121,39 \text{ dBW.}$$

$$L_{PROP} = 129,6 \text{ dB.}$$

$$P_{cc} = 3,724 \text{ dB.}$$

$$G_{antTx} = 3 \text{ dB.}$$

$$G_{antRx} = 3 \text{ dB.}$$

$$P_{minTx} = -121,39 \text{ dBW} + 129,6 \text{ dB} + 3,724 \text{ dB} - 3 \text{ dB} - 3 \text{ dB} = 5,94 \text{ dBW}$$

La potencia mínima que se puede tener a la salida del transmisor para mantener los objetivos de calidad debe ser de 5,94 dBW o en vatios 3,93 W.

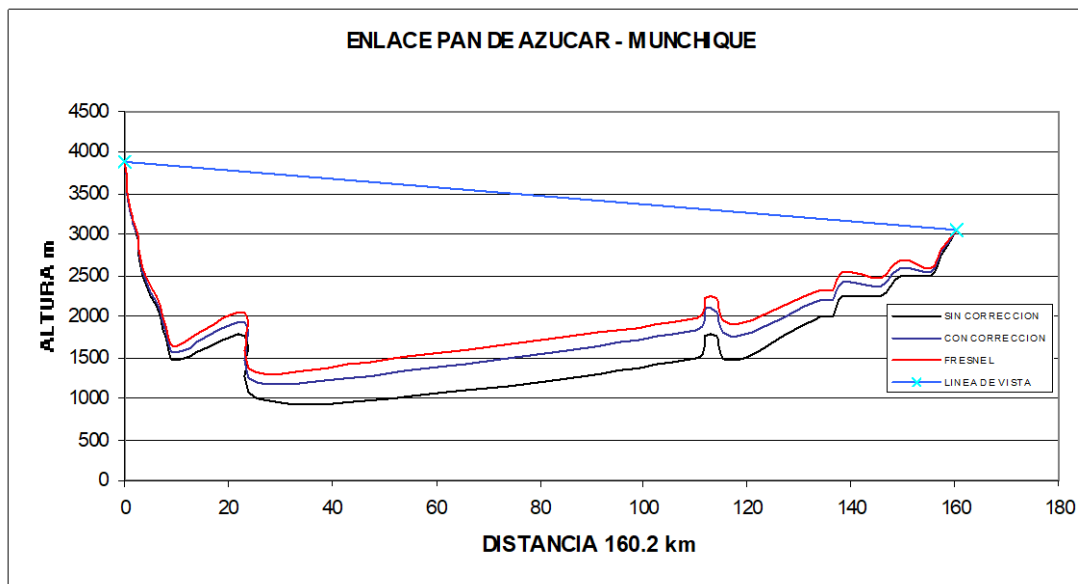


Figura 3.5 Perfil enlace Pan de Azúcar – Munchique.

### 3.2.6 TRAYECTO MUNCHIQUE – CRUZ DE AMARILLO.

CERRO MUNCHIQUE		CERRO CRUZ AMARILLO	
Altura:	3057 metros	Altura:	3200 metros.
Ubicación:	Departamento de Cauca Latitud 02°31'19" Longitud 76°57'38"	Ubicación:	Departamento de Nariño. Latitud 01°07'47" Longitud 77°19'08"
Distancia total del trayecto:	159,82 Km		
Frecuencia:	450 MHz		
Disponibilidad del enlace:	99,995%		

**Tabla 3.30 Enlace Cerro Munchique-Cerro Cruz Amarillo.**

#### 3.2.6.1 Corrección de altura de obstáculos.

En la tabla 3.31 se listan los obstáculos así como su corrección y primer radio de Fresnel.

HM: Cerro Munchique (Popayán).

HCA: Cerro Cruz Amarillo.

	ho (m)	DTx (Km)	DRx (Km)	Corrección (m)	hk (m)	FRESNEL	HTOTAL(m)
<b>HM</b>	<b>3057</b>	0	159,82	0	3057	0	3057
	<b>2795,3162</b>	0,5	159,32	4,683795364	2800	18,2072533	2818,20725
	<b>2590,66181</b>	1	158,82	9,338192063	2600	25,7085084	2625,70851
	<b>2622,33821</b>	3	156,82	27,6617922	2650	44,2471839	2694,24718
	<b>2677,8308</b>	3,5	156,32	32,16919558	2710	47,7161701	2757,71617
	<b>2454,48499</b>	5	154,82	45,5150137	2500	56,7574424	2556,75744
	<b>2515,73477</b>	6	153,82	54,26523245	2570	61,9735411	2631,97354
	<b>2020,18968</b>	9	150,82	79,81032075	2100	75,1579639	2175,15796

2711,90984	10	149,82	88,09016086	2800	78,9603709	2878,96037
2491,72472	12,5	147,32	108,2752845	2600	87,5407261	2687,54073
2264,70029	16	143,82	135,2997136	2400	97,857455	2497,85745
1435,57914	20	139,82	164,4208556	1600	107,875775	1707,87578
1321,72414	22	137,82	178,2758586	1500	112,328962	1612,32896
1204,97303	23	136,82	185,0269681	1390	114,436086	1504,43609
1708,33952	24	135,82	191,660483	1900	116,469381	2016,46938
976,935863	29	130,82	223,0641373	1200	125,649381	1325,64938
1006,70253	32,5	127,32	243,2974747	1250	131,224304	1381,2243
887,909722	36	123,82	262,0902776	1150	136,198064	1286,19806
558,196153	40	119,82	281,8038466	840	141,227391	981,227391
596,200072	45	114,82	303,799928	900	146,635563	1046,63556
788,224802	47	112,82	311,775198	1100	148,547812	1248,54781
566,304481	47,5	112,32	313,6955188	880	149,004586	1029,00459
790,719911	49	110,82	319,2800892	1110	150,325064	1260,32506
662,768836	58	101,82	347,2311643	1010	156,767065	1166,76706
735,568515	61	98,82	354,4314854	1090	158,384116	1248,38412
639,426545	64	95,82	360,5734546	1000	159,750547	1159,75055
983,598554	67,5	92,32	366,401446	1350	161,036405	1511,03641
632,883578	68	91,82	367,1164216	1000	161,193447	1161,19345
1030,31766	70	89,82	369,6823371	1400	161,755788	1561,75579
815,442188	76	83,82	374,5578117	1190	162,818934	1352,81893
975,04119	77	82,82	374,9588095	1350	162,906067	1512,90607
824,613146	81	78,82	375,3868541	1200	162,999025	1362,99903
1129,93771	82,5	77,32	375,0622928	1505	162,928545	1667,92855
1216,21621	94	65,82	363,7837889	1580	160,460133	1740,46013
818,833868	95,5	64,32	361,1661317	1180	159,881784	1339,88178
1448,27437	100	59,82	351,7256323	1800	157,778378	1957,77838
1304,54804	102,5	57,32	345,4519571	1650	156,364913	1806,36491
2197,69277	107	52,82	332,3072258	2530	153,361155	2683,36115
1990,93721	108	51,82	329,0627891	2320	152,610658	2472,61066
2391,37609	111	48,82	318,623911	2710	150,170511	2860,17051
2388,92331	113	46,82	311,0766857	2700	148,381313	2848,38131
2255,4289	117	42,82	294,571099	2550	144,39114	2694,39114
988,706764	122	37,82	271,2932358	1260	138,568642	1398,56864
1794,08462	125	34,82	255,9153819	2050	134,584075	2184,58407
1150,52082	128	31,82	239,4791761	1390	130,190518	1520,19052
1978,01538	131	28,82	221,9846183	2200	125,344972	2325,34497
2490,26639	133	26,82	209,7336065	2700	121,837082	2821,83708
2396,56829	134	25,82	203,4317086	2600	119,992693	2719,99269
2599,52487	136	23,82	190,4751288	2790	116,108661	2906,10866
2416,17955	137	22,82	183,8204469	2600	114,062369	2714,06237
2861,21688	142	17,82	148,7831175	3010	102,617707	3112,61771
2808,57713	143	16,82	141,4228677	2950	100,047283	3050,04728
2973,9	145	14,82	126,349584	3100,24958	94,5654266	3194,81501

	<b>2783,65042</b>	145,5	14,32	122,5077664	2906,15818	93,1166383	2999,27482
	<b>2581,36345</b>	146	13,82	118,6365501	2700	91,6335965	2791,6336
	<b>2964,96149</b>	156	3,82	35,03850531	3000	49,7987296	3049,79873
	<b>3200</b>	159,82	0	0	3200	0	3200

**Tabla 3.31 Corrección de altura enlace Cerro Munchique – Cerro Cruz  
Amarillo.**

Se calcula a que altura pasa la línea de vista por encima de cada obstáculo con su zona de Fresnel.

En la tabla 3.39 se muestran los resultados.

	<b>ho (m)</b>	<b>DTx (Km)</b>	<b>HTOTAL(m)</b>	<b>LV-HTOTAL</b>
<b>HM</b>	<b>3057</b>	0	3057	0
	<b>2795,3162</b>	0,5	2818,20725	239,240125
	<b>2590,66181</b>	1	2625,70851	432,186248
	<b>2622,33821</b>	3	2694,24718	365,437086
	<b>2677,8308</b>	3,5	2757,71617	302,415478
	<b>2454,48499</b>	5	2556,75744	504,716341
	<b>2515,73477</b>	6	2631,97354	430,394999
	<b>2020,18968</b>	9	2175,15796	889,894846
	<b>2711,90984</b>	10	2878,96037	186,987195
	<b>2491,72472</b>	12,5	2687,54073	380,643731
	<b>2264,70029</b>	16	2497,85745	573,458651
	<b>1435,57914</b>	20	1707,87578	1367,01936
	<b>1321,72414</b>	22	1612,32896	1464,35568
	<b>1204,97303</b>	23	1504,43609	1573,14332
	<b>1708,33952</b>	24	2016,46938	1062,00478
	<b>976,935863</b>	29	1325,64938	1757,29856
	<b>1006,70253</b>	32,5	1381,2243	1704,85529
	<b>887,909722</b>	36	1286,19806	1803,01317
	<b>558,196153</b>	40	981,227391	2111,56287
	<b>596,200072</b>	45	1046,63556	2050,62848
	<b>788,224802</b>	47	1248,54781	1850,50575
	<b>566,304481</b>	47,5	1029,00459	2070,49635
	<b>790,719911</b>	49	1260,32506	1840,51801
	<b>662,768836</b>	58	1166,76706	1942,12882
	<b>735,568515</b>	61	1248,38412	1863,19604
	<b>639,426545</b>	64	1159,75055	1954,51388



	983,598554	67,5	1511,03641	1606,35967
	1030,31766	70	1561,75579	1557,87717
	815,442188	76	1352,81893	1772,18257
	975,04119	77	1512,90607	1612,99019
	824,613146	81	1362,99903	1766,47626
	1129,93771	82,5	1667,92855	1462,88887
	1216,21621	94	1740,46013	1400,64699
	818,833868	95,5	1339,88178	1802,56747
	1448,27437	100	1957,77838	1188,69728
	1304,54804	102,5	1806,36491	1342,34764
	2197,69277	107	2683,36115	469,377801
	1990,93721	108	2472,61066	681,023055
	2391,37609	111	2860,17051	296,147471
	2388,92331	113	2848,38131	309,726183
	2255,4289	117	2694,39114	467,295382
	988,706764	122	1398,56864	1767,59166
	1794,08462	125	2184,58407	984,2605
	1150,52082	128	1520,19052	1651,33833
	1978,01538	131	2325,34497	848,868142
	2490,26639	133	2821,83708	354,165546
	2396,56829	134	2719,99269	456,904691
	2599,52487	136	2906,10866	272,578237
	2416,17955	137	2714,06237	465,519286
	2861,21688	142	3112,61771	71,4377306
	2808,57713	143	3050,04728	134,902911
	2973,9	145	3194,81501	-8,07530337
	2783,65042	145,5	2999,27482	187,912265
	2581,36345	146	2791,6336	396,000867
	2964,96149	156	3049,79873	146,7833
	3200	159,82	3200	0

**Tabla 3.32 Interrupción de la línea de vista.**

### 3.2.6.2 Cálculo de altura de antenas.

En la tabla 3.39 se puede ver como el obstáculo el cual esta a 145 Km del Nevado del Ruiz y que tiene una altura total (con corrección y primer radio de Fresnel) de 3194,81501 obstruye la línea de vista. Esto da una idea inicial de que necesitaremos cierta altura en las antenas para poder superar en un 100% la zona de Fresnel.

Para el cálculo de las alturas de las antenas transmisoras y receptoras se tienen en cuenta todos los obstáculos para ver con cual tiene el caso mas critico aunque la tabla 3.39 muestra cual es el obstáculo que más problemas da en el enlace. Para una altura de una antena receptora de 8 metros y considerando todos los obstáculos se obtienen los datos mostrados en la tabla 3.40.

	<b>ho (m)</b>	<b>DTx (Km)</b>	<b>HTOTAL(m)</b>	<b>H1-</b>
<b>HM</b>	<b>3057</b>	0	3057	
	<b>2795,3162</b>	0,5	2818,20725	-240,016048
	<b>2590,66181</b>	1	2625,70851	-434,957853
	<b>2622,33821</b>	3	2694,24718	-372,581017
	<b>2677,8308</b>	3,5	2757,71617	-309,365671
	<b>2454,48499</b>	5	2556,75744	-521,274807
	<b>2515,73477</b>	6	2631,97354	-447,495311
	<b>2020,18968</b>	9	2175,15796	-943,475628
	<b>2711,90984</b>	10	2878,96037	-200,001959
	<b>2491,72472</b>	12,5	2687,54073	-413,619883
	<b>2264,70029</b>	16	2497,85745	-638,146027
	<b>1435,57914</b>	20	1707,87578	-1563,70357
	<b>1321,72414</b>	22	1612,32896	-1699,38561
	<b>1204,97303</b>	23	1504,43609	-1838,93996
	<b>1708,33952</b>	24	2016,46938	-1251,0794
	<b>976,935863</b>	29	1325,64938	-2148,62755
	<b>1006,70253</b>	32,5	1381,2243	-2142,08272
	<b>887,909722</b>	36	1286,19806	-2329,55553
	<b>558,196153</b>	40	981,227391	-2819,1452
	<b>596,200072</b>	45	1046,63556	-2857,4416
	<b>788,224802</b>	47	1248,54781	-2624,74587
	<b>566,304481</b>	47,5	1029,00459	-2949,49009
	<b>790,719911</b>	49	1260,32506	-2657,85588
	<b>662,768836</b>	58	1166,76706	-3052,98593
	<b>735,568515</b>	61	1248,38412	-3018,25532
	<b>639,426545</b>	64	1159,75055	-3265,31421
	<b>983,598554</b>	67,5	1511,03641	-2786,70279
	<b>632,883578</b>	68	1161,19345	-3411,62931
	<b>1030,31766</b>	70	1561,75579	-2778,22233
	<b>815,442188</b>	76	1352,81893	-3386,28272
	<b>975,04119</b>	77	1512,90607	-3120,06873
	<b>824,613146</b>	81	1362,99903	-3590,0309
	<b>1129,93771</b>	82,5	1667,92855	-3032,31893
	<b>1216,21621</b>	94	1740,46013	-3412,38835
	<b>818,833868</b>	95,5	1339,88178	-4490,83229

	1448,27437	100	1957,77838	-3189,19424
	1304,54804	102,5	1806,36491	-3757,04814
	2197,69277	107	2683,36115	-1436,42484
	1990,93721	108	2472,61066	-2117,04177
	2391,37609	111	2860,17051	-987,674905
	2388,92331	113	2848,38131	-1076,55785
	2255,4289	117	2694,39114	-1765,9773
	988,706764	122	1398,56864	-7495,30671
	1794,08462	125	2184,58407	-4546,36741
	1150,52082	128	1520,19052	-8326,23794
	1978,01538	131	2325,34497	-4743,72333
	2490,26639	133	2821,83708	-2150,13935
	2396,56829	134	2719,99269	-2869,65561
	2599,52487	136	2906,10866	-1874,53627
	2416,17955	137	2714,06237	-3308,29501
	2861,21688	142	3112,61771	-704,443216
	2808,57713	143	3050,04728	-1349,83254
	2973,9	145	3194,81501	8,81207722
	2783,65042	145,5	2999,27482	-2178,50127
	2581,36345	146	2791,6336	-4664,0274
	2964,96149	156	3049,79873	-6467,77671
HCA	3200	159,82	3200	

**Tabla 3.33 Altura de antena receptora.**

En la tabla 3.40 se puede ver que el obstáculo que esta a 145 Km de distancia del cerro Munchique obliga a tener una altura en la antena transmisora de 9 metros cuando la altura de la antena receptora sea de 8 metros.

### 3.2.6.3 Pérdidas de espacio libre.

Para este enlace de 450 MHz y una distancia de 159,82 Km tenemos unas pérdidas de espacio libre de **129,5868 dB**.

### 3.2.6.4 Pérdidas por difracción.

En la tabla 3.41 evaluamos todos los obstáculos para saber con cual se obtiene el mayor resultado de la variable  $v$  y por consiguiente con el que se debe trabajar para obtener las pérdidas por difracción.

	ho (m)	DTx (Km)	hk (m)	V
<b>HM</b>	3057	0	3057	
	2795,3162	0,5	2800	-18,2888255
	2590,66181	1	2600	-23,3501984
	2622,33821	3	2650	-10,8374226
	2677,8308	3,5	2710	-8,04041229
	2454,48499	5	2500	-11,4858799
	2515,73477	6	2570	-8,61620126
	2020,18968	9	2100	-15,3016856
	2711,90984	10	2800	-1,7781428
	2491,72472	12,5	2600	-4,41706553
	2264,70029	16	2400	-6,35658687
	1435,57914	20	1600	-15,8263618
	1321,72414	22	1500	-16,2540114
	1204,97303	23	1390	-17,2205571
	1708,33952	24	1900	-10,6087591
	976,935863	29	1200	-17,3346798
	1006,70253	32,5	1250	-15,8119854
	887,909722	36	1150	-16,0618179
	558,196153	40	840	-18,3932939
	596,200072	45	900	-16,9120298
	788,224802	47	1100	-14,7055541
	566,304481	47,5	880	-16,7381598
	790,719911	49	1110	-14,3664975
	662,768836	58	1010	-14,4431936
	735,568515	61	1090	-13,5236921
	639,426545	64	1000	-14,1649506
	983,598554	67,5	1350	-10,9312309
	632,883578	68	1000	-13,9993447
	1030,31766	70	1400	-10,4283137
	815,442188	76	1190	-12,1862887
	975,04119	77	1350	-10,7889843
	824,613146	81	1200	-12,1159045
	1129,93771	82,5	1505	-9,47870717
	1216,21621	94	1580	-9,17362529

	818,833868	95,5	1180	-12,7988672
	1448,27437	100	1800	-7,53096621
	1304,54804	102,5	1650	-9,05101004
	2197,69277	107	2530	-1,26893116
	1990,93721	108	2320	-3,27417433
	2391,37609	111	2710	0,212408454
	2388,92331	113	2700	0,012846682
	2255,4289	117	2550	-1,69829936
	988,706764	122	1260	-15,329857
	1794,08462	125	2050	-7,68298937
	1150,52082	128	1390	-15,3956041
	1978,01538	131	2200	-7,10013584
	2490,26639	133	2700	-1,68299333
	2396,56829	134	2600	-2,99894475
	2599,52487	136	2790	-1,00392911
	2416,17955	137	2600	-3,50616727
	2861,21688	142	3010	1,069976161
	2808,57713	143	2950	0,092466985
	2973,9	145	3100,24958	<b>2,017994444</b>
	2783,65042	145,5	2906,15818	-0,99720292
	2581,36345	146	2700	-4,29717832
	2964,96149	156	3000	-3,1856299
<b>HCA</b>	3200	159,82	3200	

**Tabla 3.34 Análisis de la variable v para cada uno de los obstáculos.**

Para el obstáculo que esta a 145 Km de Munchique con una altura de con corrección de 3100,249 metros se tiene el mayor valor de v, el cual es 2,017.

Debido a esto hay una perdida por difracción de **19,115 dB**.

#### **3.2.6.4 Pérdidas de propagación.**

Las perdidas de propagación son equivalentes a las perdidas por espacio libre mas las perdidas por difracción.

$$L_{PROP} = 129,5868 \text{ dB} + 19,115 \text{ dB} = 148,7 \text{ dB}.$$

### 3.2.6.5 Margen de desvanecimiento.

El ancho de banda de los equipos usados es de 30 KHz con una potencia umbral en el receptor de  $-149$  dBW o  $0,25 \mu\text{V}$  y una disponibilidad de 99,995 % .

Para estas características el margen de desvanecimiento FM es de 28,947 dB.

### 3.2.6.6 Porcentaje de tiempo durante el cual se supera el margen de desvanecimiento.

Para los cálculos realizados se obtuvo,  $A_t = 27,1434$  dB siendo mayor el margen de desvanecimiento FM hallado antes. Esto hace que el margen de desvanecimiento con el que se trabaje sea **27,1434 dB**, dando esto como resultado los datos mostrados en la tabla 3.42.

<b>FM</b>	<b>PRXcalidad</b>	<b>Pw(FM)</b>	<b>HORA AL DIA (FM)</b>	<b>MINUTOS AL DIA (FM)</b>
25,1804386	-120,052	0,07787676	0,01869042	1,12142541

**Tabla 3.42 Cálculo disponibilidad del enlace y potencia de recepción de calidad.**

Donde:

$P_{RXcalidad}$ : Potencia de recepción mínima en el receptor para mantener los parámetros de calidad.

$P_w(FM)$ : Porcentaje de tiempo durante el cual se rebasa la profundidad desvanecimiento FM.

HORA AL DIA (FM): Horas al día en que se rebasa la profundidad de desvanecimiento FM.

MINUTOS AL DIA (FM): Minutos al día en que se rebasa la profundidad desvanecimiento FM.

### 3.2.6.7 Sistema de antenas.

Cerro Munchique: Antena omnidireccional con ganancia de 10 dB con respecto al dipolo de  $\frac{1}{2}\lambda$ .

Cerro Cruz Amarillo: Antena direccional con ganancia de 10 dB con respecto al dipolo de  $\frac{1}{2}\lambda$ .

### 3.2.6.8 Potencia mínima de transmisión.

Para los transmisores y receptores ubicado en el cerro Munchique (Popayán) y el cerro Cruz Amarillo tenemos:

$$P_{RX\text{calidad}} = -120,052 \text{ dBW.}$$

$$L_{PROP} = 148,7 \text{ dB.}$$

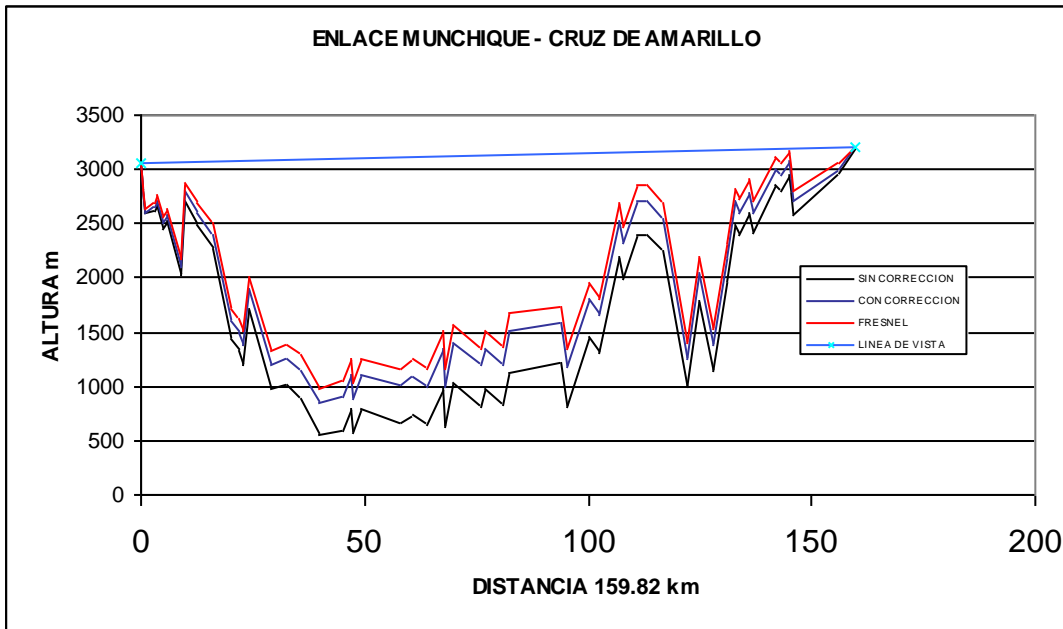
$$P_{cc} = 3,724 \text{ dB.}$$

$$G_{antTx} = 10 \text{ dB.}$$

$$G_{antRx} = 10 \text{ dB.}$$

$$P_{minTx} = -120,52 \text{ dBW} + 148,7 \text{ dB} + 3,724 \text{ dB} - 10 \text{ dB} - 10 \text{ dB} = 10,81 \text{ dBW}$$

La potencia mínima que se puede tener a la salida del transmisor para mantener los objetivos de calidad debe ser de 10,81 dBW o en vatios de 12,07 W.



**Figura 3.6 Perfil enlace Munchique – Cruz de Amarillo.**

### **3.3 CALCULO DE COBERTURA EN LAS CIUDADES.**

El método para la realización del calculo de cobertura dentro de las ciudades, es un método grafico usado ampliamente por varios fabricantes de antenas basado en la figura 3.7 y se aplica cuando se conoce la altura de la antena transmisora, la potencia de transmisión y la frecuencia.

Dentro de las ciudades hay factores que afectan la propagación de la señal de radio como lo es los cambios de clima, ruido generado por el hombre, existencia de otras fuentes de información, absorción de la señal por parte de edificios y demás construcciones. Sin embargo es posible obtener por medio de este método un estimativo del rango de cobertura para equipos móviles y portátiles teniendo en cuenta que las señales umbrales en los equipos de recepción debe estar por el orden de los  $0,25 \mu V$ .



1. A la ganancia de la antenna transmisora se le debe restar las perdidas en el equipo debido a cable coaxial, duplexores y filtros.
2. De las 4 rectas de la izquierda, ubicarse en aquella que indique la potencia de salida del transmisor.
3. Moverse sobre la recta escogida y ubicar sobre ella la altura de la antenna por encima del terreno promedio al cual se desea dar cobertura. Esta altura debe estar dada en pies (1 metro = 3,28 pies).
4. Una vez ubicada la altura de la antenna, se traza una línea horizontal desde ese valor para hallar la intersección con la columna NET ANTENNA GAIN.
5. Desde ese punto moverse el numero de decibeles hallados en el paso 1 hacia arriba o hacia abajo según sea el valor positivo o negativo.
6. Moverse a la derecha hasta la columna con la frecuencia de transmisión. El valor obtenido es el numero de millas máximo de cobertura (1 milla = 1,6 Km)

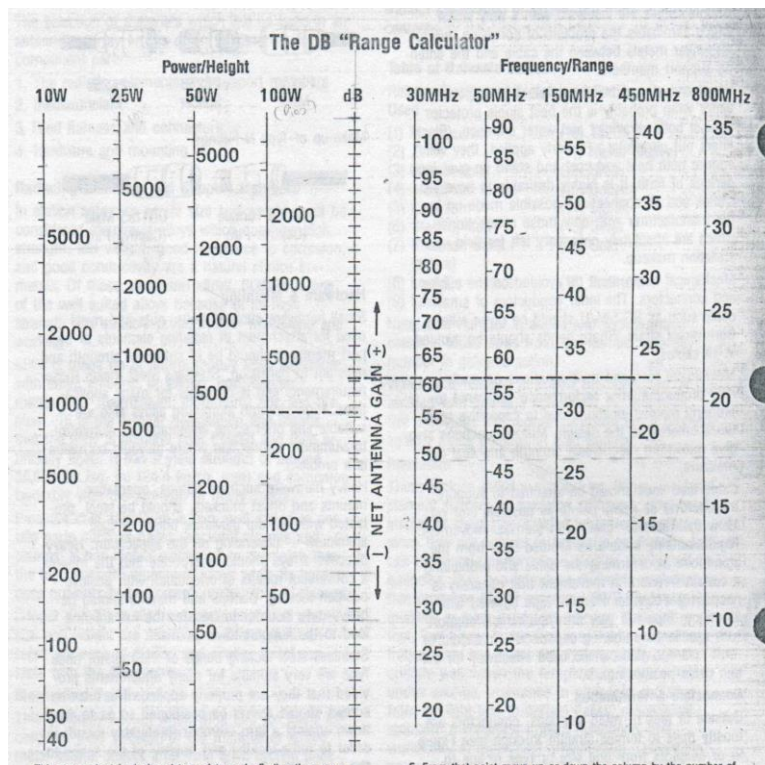


Figura 3.7 Método gráfico para cobertura en la ciudades.

Los datos obtenidos para cada una de las ciudades y el departamento del Cauca donde se necesita dar cobertura a equipos móviles son los siguientes:

<b>Sitio de cobertura:</b>	Medellín
Sitio de repetición:	Cerro Padre Amaya
Tipo de antena:	Omnidireccional de 5 dB de ganancia.
Pérdida por cable coaxial	1,862 dB (35 metros)
Perdida en el duplexor	1 dB
Altura de antena	3100 metros
Altura terreno promedio	1450 metros
Potencia de transmisión	10 vatios
Radio de cobertura	56 Km.

<b>Sitio de cobertura:</b>	<b>Bogota.</b>
Sitio de repetición:	Edificio dentro de la ciudad
Tipo de antena:	Omnidireccional de 5 dB de ganancia.
Pérdida por cable coaxial	1,862 dB (35 metros)
Perdida en el duplexor	1 dB
Altura de antena	2660 metros
Altura terreno promedio	2600 metros
Potencia de transmisión	10 vatios
Radio de cobertura	22,4 Km.

<b>Sitio de cobertura:</b>	Cali
Sitio de repetición:	Edificio torre de Cali
Tipo de antena:	Omnidireccional de 5 dB de ganancia.
Pérdida por cable coaxial	1,862 dB (35 metros)

Perdida en el duplexor	1 dB
Altura de antena	1107 metros
Altura terreno promedio	1007 metros
Potencia de transmisión	10 vatios
Radio de cobertura	25,6 Km.

<b>Sitio de cobertura:</b>	<b>departamento del Cauca</b>
Sitio de repetición:	Cerro Munchique
Tipo de antena:	Omnidireccional de 5 dB de ganancia.
Pérdida por cable coaxial	1,862 dB (35 metros)
Perdida en el duplexor	1 dB
Altura de antena	3057 metros
Altura terreno promedio	1758 metros
Potencia de transmisión	10 vatios
Radio de cobertura	52.8 Km..

<b>Sitio de cobertura:</b>	<b>Popayán</b>
Sitio de repetición:	Cerro tres Cruces
Tipo de antena:	Omnidireccional de 5 dB de ganancia.
Pérdida por cable coaxial	1,862 dB (35 metros)
Perdida en el duplexor	1 dB
Altura de antena	1820 metros
Altura terreno promedio	1738 metros
Potencia de transmisión	10 vatios
Radio de cobertura	22 Km.

<b>Sitio de cobertura:</b>	Pasto
Sitio de repetición:	Cerro cruz de Amarillo
Tipo de antena:	Omnidireccional de 5 dB de ganancia.
Pérdida por cable coaxial	1,862 dB (35 metros)
Perdida en el duplexor	1 dB
Altura de antena	3200 metros
Altura terreno promedio	2575 metros
Potencia de transmisión	10 vatios
Radio de cobertura	43,2 Km...

## 4 EQUIPOS Y COSTOS

### 4.1 INTRODUCCION

En este capítulo se darán a conocer algunos de los equipos de radiocomunicación junto con sus características más relevantes como lo son la potencia de transmisión, número de canales, rango de frecuencias y los precios en que se encuentran disponibles en el mercado y que podrían implementarse en el momento de materializar el proyecto, para mayor información a cerca de las características de los radio se encuentra información mas detallada en el anexo 3 adjunto a este documento. Estos equipos han sido tomados como referencia debido a su fácil consecución en el mercado nacional, el soporte técnico y garantía ofrecido por los proveedores de los equipos ya sean móviles, portátiles o repetidores. Además se darán a conocer las antenas que pueden ser empleadas en los radio enlaces tróncales así como las antenas empleadas para los enlaces con las ciudades. También se hará una lista de los precios de alquiler de espacios para los equipos en los sitios escogidos para la repetición de las señales de radio.

Dentro de los proveedores de equipos de radio comunicación se destacan:

- MOTOROLA
- ICOM.
- VERTEX
- JOHNSON
- YAESU
- KENWOOD

Proveedores de antenas y cables coaxiales:

- DECIBEL
- BLONDE TONGUE
- JAMRO
- TELEWAVE
- ANTENA SPECIALIST

Alquiler de espacios en los sitios de repetición:

- TELECOM
- INRAVISION

#### 4.2 LISTADO DE PRECIOS PARA EQUIPOS MOTOROLA

Todos los valores de los equipos están dados en dólares estadounidenses

RADIOS PORTATILES					
RADIO	No Ch	POT.	RANGO MHz	MODELO	VALOR
PRO1150	2	2W	150-160	LAH28HCC8AA1AA	195 Dls.
				LAH28TCC8AA1AB	195 Dls.
PRO3150	4 16	5W	136-174 136-174	LAH34KDC9AA1_N	285 Dls.
				LAH34KDH9AA6_N	345 Dls.
	4 16	5W	403-470 403-470	LAH34RDC9AA1_N	285 Dls.
				LAH34RDH9AA6_N	345 Dls.
	4 16	4W	450-527 450-527	LAH34SDC9AA1_N	285 Dls.
				LAH34SDH9AA6_N	345 Dls.
		4W			

		4W			
		4W			
PRO5150	4	5W	136-174	LAH25KDC9AA2A	388 Dls.
	16	5W	136-174	LAH25KDC9AA3A	435 Dls.
	4	4W	403-470	LAH25RDC9AA2A	388 Dls.
	16	4W	403-470	LAH25RDC9AA3A	435 Dls.
	4	4W	450-527	LAH25SDC9AA2A	388 Dls.
	16	4W	450-527	LAH25SDC9AA3A	435 Dls.
PRO5150 ELITE	16	5W	136-174	LAH38KDC9AA3A	482 Dls.
	16	4W	403-470	LAH38RDC9AA3A	482 Dls.
PRO7150	128	5W	136-174	LAH25KDH9AA6A	508 Dls.
	128	4W	403-470		508 Dls.
	128	4W	450-527	LAH25RDH9AA6A	508 Dls.
				LAH25SDH9AA6A	
PRO9150	160	5W	136-174	LAH25KDN9AA8A	592 Dls.
	160	4W	403-470	LAH25RDN9AA8A	592 Dls.
	160	4W	450-527	LAH25SDN9AA8A	592 Dls.

**Tabla 4.1 Listado de Precios de Radios Portátiles MOTOROLA**

<b>RADIOS MOVILES</b>					
<b>RADIO</b>	<b>No Ch</b>	<b>POT.</b>	<b>RANGO MHz</b>	<b>MODELO</b>	<b>VALOR</b>
<b>PRO3100</b>	4	25W	136-174	LAM25KHC9AA1	365 Dls.
	4	45W	136-174	LAM25KKC9AA1	405 Dls.
	4	25W	403-470	LAM25RHC9AA1A	365 Dls.
	4	40W	403-470	LAM25RKC9AA1A	405 Dls.
	4	25W	450-527	LAM25SHC9AA1A	365 Dls.
	4	40W	450-527	LAM25SKC9AA1A	405 Dls.
<b>PRO5100</b>	64	25W	136-174	LAM25KHD9AA2A	410 Dls.
	64	45W	136-174	LAM25KKD9AA2A	450 Dls.
	64	25W	403-470	LAM25RHD9AA2A	410 Dls.
	64	40W	403-470	LAM25RKD9AA2A	450 Dls.
	64	25W	450-527	LAM25SHD9AA2A	410 Dls.
	64	40W	450-527	LAM25SKD9AA2A	450 Dls.
<b>PRO7100</b>	128	25W	136-174	LAM25KHF9AA5A	470 Dls.
	128	45W	136-174	LAM25KKF9AA5A	510 Dls.

	128	25W	403-470	LAM25RHF9AA5A	470 Dls.
	128	40W	403-470	LAM25RKF9AA5A	510 Dls.
	128	25W	450-527	LAM25SHF9AA5A	470 Dls.
	128	40W	450-527	LAM25SKF9AA5A	510 Dls.

**Tabla 4.2 Listado de Precios de Radios móviles MOTOROLA**

### 4.3 LISTADO DE PRECIOS PARA EQUIPOS ICOM

<b>RADIOS PORTÁTILES</b>					
<b>BANDA</b>	<b>POT.</b>	<b>MODELO</b>	<b>DTMF</b>	<b>CON CARGADOR STANDAR.</b>	<b>CON CARGADOR RAPIDO</b>
136-160	5 W	F3GTL 05*	SI	\$450 Dls.	\$522Dls.
136-160		F3GSL 55*	--	\$423 Dls.	\$488 Dls.
140-178		F3GT 36	SI	\$450 Dls.	\$522 Dls.
140-178		F3GS 86	--	\$423 Dls.	\$488 Dls.
400-430	4 W	F4GTL 09*	SI	\$505 Dls.	\$579 Dls.
		F3GSL 59*	--	\$455 Dls.	\$522 Dls.
440-470	4 W	F4GT 40	SI	\$505 Dls.	\$579 Dls.
		F4GS 90	--	\$455 Dls.	\$522 Dls.
470-500	4 W	F4GTT1 11*	SI	\$505 Dls.	\$579 Dls.
		F4GST1 61*	--	\$455 Dls.	\$522 Dls.
490-512	4 W	F4GTT2 12*	SI	\$505 Dls.	\$579 Dls.
		F4GST2 62*	--	\$455 Dls.	\$522 Dls.
136-174	5 W	F30GS 52	--	\$721 Dls.	\$805 Dls.
		F30GT 02	SI	\$800 Dls.	\$887 Dls.
450-490	4 W	F40GS 52	--	\$773 Dls.	\$859 Dls.
		F40GT 02	SI	\$852 Dls.	\$941 Dls.
480-520		F40GS 53	--	\$773 Dls.	\$859 Dls.
		F40GT 03	SI	\$852 Dls.	\$941 Dls.

**Tabla 4.3 Listado de Precios de Radios Portátiles ICOM Serie G**



BANDA	MODELO	POT.	DTMF	Con CARGADOR DE PARED SYSCOM	Con CARGADOR DE ESCRITORIO	Con CARGADOR RAPIDO BC119A / AD81
136-	F3SH*	5 W	-	\$ 383.00 Dls.	\$ 407.00 Dls.	\$ 477.00 Dls.
174	F3H*		SI	\$ 410.00 Dls.	\$ 434.00 Dls.	\$ 510.00 Dls.
400-	F4SL	4 W	-	\$ 415.00 Dls.	\$ 439.00 Dls.	\$ 510.00 Dls.
430	F4L		SI	\$ 463.00 Dls.	\$ 487.00 Dls.	\$ 566.00 Dls.
440-	F4SH*	4 W	-	\$ 415.00 Dls.	\$ 439.00 Dls.	\$ 510.00 Dls.
474	F4H*		SI	\$ 463.00 Dls.	\$ 487.00 Dls.	\$ 566.00 Dls.
490-	F4ST	4 W	-	\$ 415.00 Dls.	\$ 439.00 Dls.	\$ 510.00 Dls.
520	F4T		SI	\$ 463.00 Dls.	\$ 487.00 Dls.	\$ 566.00 Dls.

**Tabla 4.4 Listado de Precios de Radios Portátiles ICOM Serie S**

Banda	Pot.	Modelo	Canales	Con Carg. ICOM Std.	Con Carg. ICOM Std.
146-174	5 W	IC-F11S	2	\$311.00 Dls.	\$380.00 Dls.
		IC-F11	16	\$342.00 Dls.	\$386.00 Dls.
450-470	4 W	IC-F21S	2	\$331.00 Dls.	\$386.00 Dls.
		IC-F21	16	\$350.00 Dls.	\$405.00 Dls.

**Tabla 4.5 Listado de Precios de Radios Portátiles ICOM Serie F3 y F4**

RADIO MOVILES				
MODELO	CANALES	POTENCIA	FRECUENCIA	PRECIO
IC-F320S	4	45 W	135-155 MHz	497 Dls.
			142-174 MHz	
IC-F320	32	45 W	135-155 MHz	652 Dls.
			142-174 MHz	
IC-F420S	4	35 W	400-430 MHz	550 Dls.
			430-480 MHz	
			470-490 MHz	

			490-512 MHz	
IC-F420	32	35 W	400-430 MHz	721 Dls.
			430-480 MHz	
			470-490 MHz	
			490-512 MHz	
IC-F1020	32	45 W	146-174 MHz	862 Dls.
IC-F2020	32	40 W	450-470MHz	937 Dls.

**Tabla 4.6 Listado de Precios de Radios Móviles ICOM**

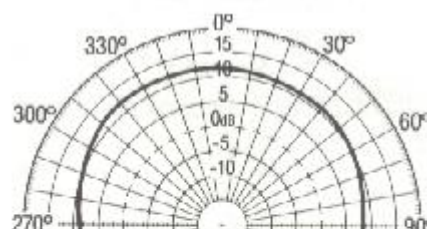
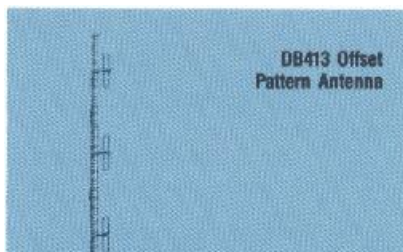
#### 4.4 SISTEMA DE ANTENA

Antena Semi-direccional DECIBEL DB413

##### Características eléctricas

Ganancia	12dBd
Rango de frecuencia	406-512 MHz
VSWR	1,5
Impedancia nominal	50Ω
Lóbulo vertical (-3dB)	7°
Precio	666 Dls.

En la figura se observa la antena junto a su patrón de radiación.



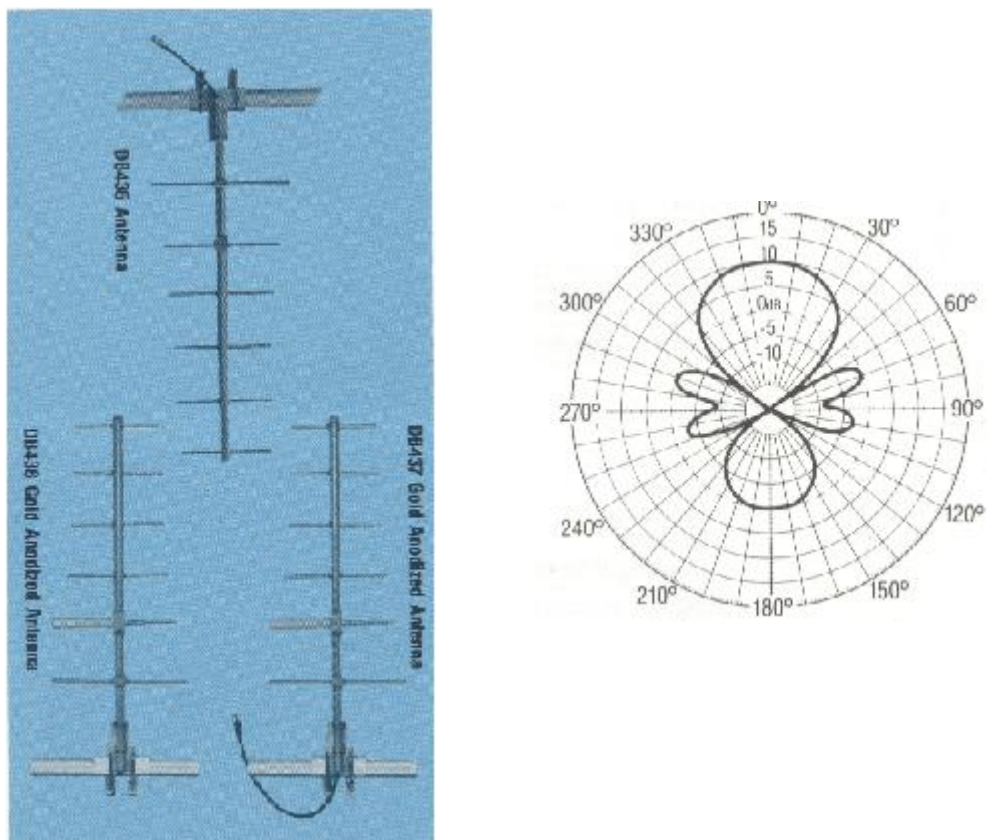
## Figura 4.1 Antena Semi-Direccional

### Antena direccional YAGI DB436, DB437 y DB438

#### Características eléctricas

Ganancia	10dBd
Rango de frecuencia	406-512 MHz
VSWR	1,5
Impedancia nominal	50Ω
Lóbulo vertical (-3dB)	44°
Lóbulo Horizontal (-3dB)	60°
Precio	239 Dls.

A continuación se muestran las antenas junto a su patrón de radiación



**Figura 4.2 Antena Semi-Direccional**

#### **4.5 CABLE COAXIAL**

Cable coaxial HELIAX.

Atenuación:4.1dB/100m

Potencia Prom. Max. de salida a 512 MHz

Costo: 8 Dls. Por metro



**Figura 4.3 Cable Coaxial DB2068**

#### **4.6 CALCULO DEL COSTO POR ALQUILER DE FRECUENCIAS**

Para realizar el calculo de alquiler de una frecuencia para enlaces punto a punto el Ministerio de Comunicaciones ha establecido la siguiente formula, que se encuentra consignada en le articulo 1705 de 1999.

$$VAC(SMLMV) = K * e^{(0.63AB - 0.00014f)}$$

VAC: Valor anual de la contraprestación en salarios mínimos legales mensuales vigentes

AB: Ancho de banda

f: Frecuencia central del segmento en MHz

K: 3.3 Para  $f > 1\text{GHz}$

1.75 Para  $f > 1\text{GHz}$

<b>Frecuencia</b>	<b>K</b>	<b>AB(MHz)</b>	<b>Costo (Pesos)</b>	<b>Costo por 8 Frecuencias</b>
450 MHz(8)	1.75	.0125	537.777	4.302.219 Pesos

**Tabla 4.7 Costo por Alquiler de Frecuencias Punto a Punto**

Formula empleada para el calculo de alquiler de frecuencia para enlaces punto multipunto

$$VAC(SMLMV) = \frac{AB * N(SMLMV) * Z}{1MHZ}$$

VAC: Valor anual de la contraprestación en salarios mínimos legales mensuales vigentes

AB: Ancho de banda

N: Valor de 1 MHz de acuerdo con la posición del ancho de banda en el espectro radioeléctrico. Se define en salarios mínimos

Z: Valor relativo de acuerdo con el mercado del área de servicio. El área de servicio se define como el área donde se deben instalar y operar los equipos

El valor de Z depende del tipo de cubrimiento que se desea dar, este puede ser nacional, departamental o municipal, todos los valores correspondientes tanto a Z como a N se encuentran consignados en el artículo 1705 de 1999.

Ciudad o Departamento	Frecuencia	Z	N(SMLMV)	Costo(Pesos)
Pasto	450(1)	.03 (Mun)	3200	370.800
Son necesarias 2 frecuencia más para cubrimiento local				741.600
Cauca	450(2)	.053 (Dep)	3200	1.310.160
Popayán	450(2)	.03(Mun)	3200	741.600
Cali	450(1)	.15(Mun)	3200	1.854.000
Son necesarias 2 frecuencia más para cubrimiento local				3.708.000
Medellín	450(1)	.15(Mun)	3200	1.854.000

Son necesarias 2 frecuencia más para cubrimiento local				3.708.000
Cundinamarca	450(1)	.357(Dep)	3200	4.412.520
Bogota	450(2)	.32(Mun)	3200	7.910.400
<b>Total</b>				21.049.080

**Tabla 4.8 Costo por Alquiler de Frecuencias Punto a Multi-Punto**

Dep: Tipo de cubrimiento departamental

Mun: Tipo de cubrimiento Municipal

#### 4.7 COSTO DE EQUIPOS PARA REPETIDORAS MOTOROLA

RADIOS MOVILES							
RADIO	No Ch	POT.	RANGO MHz	MODELO	VAL (Dis)	No. DE RADIOS	COSTO
<b>PRO3100</b>	4	25W	136-174	LAM25KHC9AA1	365	38	13.870
		45W	136-174	LAM25KKC9AA1	405		15.390
	4	25W	403-470	LAM25RHC9AA1A	365		
		40W	403-470	LAM25RKC9AA1A	405		
		25W	450-527	LAM25SHC9AA1A	365		
	4	40W	450-527	LAM25SKC9AA1A	405		
	4						
	4						
	4						
	4						
<b>PRO5100</b>	64	25W	136-174	LAM25KHD9AA2A	410	38	15.580
	64	45W	136-174	LAM25KKD9AA2A	450		17.100
	64	25W	403-470	LAM25RHD9AA2A	410		
	64	40W	403-470	LAM25RKD9AA2A	450		
	64	25W	450-527	LAM25SHD9AA2A	410		
	64	40W	450-527	LAM25SKD9AA2A	450		

<b>PRO7100</b>	128	25W	136-174	LAM25KHF9AA5A	470	38	17.860
	128	45W	136-174	LAM25KKF9AA5A	510		19.380
	128	25W	403-470	LAM25RHF9AA5A	470		
	128	40W	403-470	LAM25RKF9AA5A	510		
	128	25W	450-527	LAM25SHF9AA5A	470		
	128	40W	450-527	LAM25SKF9AA5A	510		

**Tabla 4.9 Costo de Equipos para Repetidoras MOTOROLA**

#### 4.8 COSTO DE EQUIPOS PARA REPETIDORAS ICOM

<b>RADIOS MOVILES ICOM</b>				
<b>MODELO</b>	<b>CANALES</b>	<b>POTENCIA</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>PRECIO US\$</b>
IC-F320S	4	45 W	135-155 MHz	497 *38
			142-174 MHz	18.886.
IC-F320	32	45 W	135-155 MHz	652*.38
			142-174 MHz	24.776
IC-F420S	4	35 W	400-430 MHz	550*38
			430-480 MHz	
			470-490 MHz	20.900
			490-512 MHz	
IC-F420	32	35 W	400-430 MHz	721*38
			430-480 MHz	
			470-490 MHz	27.398
			490-512 MHz	
IC-F1020	32	45 W	146-174 MHz	862*38 32756
IC-F2020	32	40 W	450-470MHz	937*38 35.606

**Tabla 4.10 Costo de Equipos para Repetidoras MOTOROLA**



## CONCLUSIONES

- Debido a la dificultad que presenta la topografía colombiana se hace necesario escoger sitios que se consideran de buena altura para asegurar la línea de vista y garantizar la zona de Fresnel y así hacer posible la realización de los enlaces de radio.
- Por la investigación que se realizó durante el proyecto se puede concluir que se pueden prestar otros tipos de servicios en esta red mediante la utilización o adición de tecnologías como Smart Trunk. Dentro de los servicios que pueden ser brindados sobre esta red se cuentan: Telefonía full-duplex o semi-duplex y transmisión de datos a una velocidad de 9600 Baudios.
- Es importante que en el momento de escoger los sitios de repetición para la realización de un proyecto en el cual se involucran enlaces de radio, estos sitios cuenten con servicio de energía, vigilancia, sistemas de tierra y sean accesibles por carretera para poder realizar en forma adecuada y rápida el mantenimiento de los equipos.
- Una de las principales ventajas de estos sistemas es que permiten llegar a lugares donde otros sistemas no pueden llegar o difícilmente podrían lograrlo.
- Los sistemas de radio convencional, también presentan la ventaja de tener un mínimo de inversión en mantenimiento y configuración ya que son sistemas que no requieren un alto grado de especialización por parte de quienes los operan.

## GLOSARIO

Términos y definiciones que se encuentran frecuentemente en el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias, tanto en las bandas de frecuencias como en las notas.

- 1** *Administración:* Todo departamento o servicio gubernamental responsable del cumplimiento de las obligaciones derivadas de la Constitución de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, del Convenio de la Unión Internacional de Telecomunicaciones y de los Reglamentos Administrativos (CS 1002).

En el caso de **Colombia**, la administración le compete al **Ministerio de Comunicaciones**.

- 2** *Cuadro de atribución de bandas de frecuencias:* Cuadro donde se inscriben las bandas de frecuencias atribuidas a diferentes servicios de radiocomunicación terrenal o espacial o por el servicio de radioastronomía. Este cuadro señala la categoría, condiciones específicas y restricciones de los diversos servicios en el uso de las bandas de frecuencias que lo conforman.

- 3** *Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias:* Cuadro de atribución de bandas de frecuencias, el cual establece la utilización del espectro radioeléctrico sobre la base de prioridades nacionales, considerando las disposiciones del Reglamento de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).

- 4** *Telecomunicación:* Toda transmisión, *emisión* o recepción de signos, señales, escritos, imágenes, sonidos o informaciones de cualquier

naturaleza por hilo, radioelectricidad, medios ópticos u otros sistemas electromagnéticos (CS).

- 5 *Banda de frecuencias*: Subdivisión del *espectro radioeléctrico* que define un conjunto de ondas electromagnéticas cuyas frecuencias se encuentran dentro de un límite inferior y un límite superior indicados explícitamente. Para los propósitos del *Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias* se definen nueve grandes bandas de frecuencias: VLF, LF, MF, HF, VHF, UHF, SHF, EHF y la banda de frecuencias que comprende frecuencias superiores a 300 GHz. Estas a su vez están subdivididas en otras bandas más pequeñas a las cuales se atribuyen los distintos servicios de radiocomunicación.
- 6 *Radiocomunicación terrenal*: Toda *radiocomunicación* distinta de la *radiocomunicación espacial* o de la *radioastronomía*.
- 7 *Radiocomunicación espacial*: Toda *radiocomunicación* que utilice una o varias *estaciones espaciales*, uno o varios *satélites reflectores* u otros objetos situados en el espacio.
- 8 *Radioastronomía*: Astronomía basada en la recepción de *ondas radioeléctricas* de origen cósmico.

## **Sección II. Términos específicos relativos a la gestión de frecuencias**

- 9 *Atribución* (de una banda de frecuencias): Inscripción en el Cuadro de atribución de bandas de frecuencias, de una banda de frecuencias determinada, para que sea utilizada por uno o varios *servicios de radiocomunicación* terrenal o espacial o por el *servicio de radioastronomía* en condiciones especificadas. Este término se aplica también a la banda de frecuencias considerada.

**10** *Adjudicación* (de una frecuencia o de un canal radioeléctrico): Inscripción de un canal determinado en un plan, adoptado por una conferencia competente, para ser utilizado por una o varias administraciones para un *servicio de radiocomunicación* terrenal o espacial en uno o varios países o zonas geográficas determinados y según condiciones especificadas.

*Asignación* (de una frecuencia o de un canal radioeléctrico): Autorización que da una administración para que una *estación* radioeléctrica utilice una frecuencia o un canal radioeléctrico determinado en condiciones especificadas.

### **Sección III. Servicios radioeléctricos**

**11** *Servicio de radiocomunicación*: Servicio definido en esta sección que implica la transmisión, la *emisión* o la recepción de *ondas radioeléctricas* para fines específicos de *telecomunicación*.

Todo servicio de radiocomunicación que se mencione en el presente Reglamento, salvo indicación expresa en contrario, corresponde a una *radiocomunicación terrenal*.

**12** *Servicio fijo*: *Servicio de radiocomunicación entre puntos fijos determinados*.

**13** *Servicio móvil*: Servicio de radiocomunicación entre estaciones móviles y estaciones terrestres o entre estaciones móviles (CV).

**14** *Servicio móvil terrestre*: Servicio móvil entre estaciones de base y estaciones móviles terrestres o entre estaciones móviles terrestres.

#### **Sección IV. Estaciones y sistemas radioelétricos**

- 15**      *Estación:* Uno o más transmisores o receptores, o una combinación de transmisores y receptores, incluyendo las instalaciones accesorias, necesarios para asegurar un *servicio de radiocomunicación*, o el *servicio de radioastronomía* en un lugar determinado.  
Las estaciones se clasificarán según el servicio en el que participen de una manera permanente o temporal.
- 16**      *Estación terrenal:* Estación que efectúa *radiocomunicaciones terrenales*. Toda *estación* que se mencione en el presente Reglamento, salvo indicación expresa en contrario, corresponde a una estación terrenal.
- 17**      *Estación fija:* Estación del *servicio fijo*.
- 18**      *Estación móvil:* Estación del *servicio móvil* destinada a ser utilizada en movimiento o mientras esté detenida en puntos no determinados.
- 19**      *Estación terrestre:* Estación del *servicio móvil* no destinada a ser utilizada en movimiento
- 20**      *Estación de base:* Estación terrestre del *servicio móvil terrestre*.
- 21**      *Estación de base:* Estación terrestre del *servicio móvil terrestre*.
- 22**      *Estación móvil terrestre:* Estación móvil del *servicio móvil terrestre* que puede cambiar de lugar dentro de los límites geográficos de un país o de un continente.

#### **Sección V. Términos referentes a la explotación**

- 23** *Telefonía:* Forma de *telecomunicación* destinada principalmente al intercambio de información por medio de la palabra (CS 1017).
- 24** *Conferencia radiotelefónica:* Conferencia telefónica cuyo origen o destino es una *estación móvil* o una *estación terrena móvil*, transmitida, en todo o en parte de su recorrido, por las vías de *radiocomunicación* del *servicio móvil* o del *servicio móvil por satélite*.
- 25** *Explotación símplex:* Modo de explotación que permite transmitir alternativamente, en uno u otro sentido de un canal de *telecomunicación*, por ejemplo, mediante control manual<sup>2</sup>.
- 25.1** Por lo general, la *explotación dúplex* y la *explotación semidúplex* de un canal de *radiocomunicación* requieren el empleo de dos frecuencias: la *explotación símplex* puede hacerse con una o dos frecuencias.
- 26** *Explotación dúplex:* Modo de explotación que permite transmitir simultáneamente en los dos sentidos de un canal de *telecomunicación*<sup>3</sup>.
- 26.1** Por lo general, la *explotación dúplex* y la *explotación semidúplex* de un canal de *radiocomunicación* requieren el empleo de dos frecuencias: la *explotación símplex* puede hacerse con una o dos frecuencias.
- 27** *Explotación semidúplex:* Modo de *explotación símplex* en un extremo del circuito de *telecomunicación* y de *explotación dúplex* en el otro<sup>3</sup>.
- 27.1** Por lo general, la *explotación dúplex* y la *explotación semidúplex* de un canal de *radiocomunicación* requieren el empleo de dos frecuencias: la *explotación símplex* puede hacerse con una o dos frecuencias.

## **Sección VI. Características de las emisiones y de los equipos**

- 28** *Emisión de banda lateral única y portadora completa: Emisión de banda lateral única sin reducción de la portadora.*
- 29** *Emisión de banda lateral única y portadora reducida: Emisión de banda lateral única con reducción de la portadora, pero en un nivel que permite reconstituirla y emplearla para la demodulación.*
- 30** *Emisión de banda lateral única y portadora suprimida: Emisión de banda lateral única en la cual la portadora es virtualmente suprimida, no pudiéndosela utilizar para la demodulación.*
- 31** *Emisión fuera de banda: Emisión en una o varias frecuencias situadas inmediatamente fuera de la anchura de banda necesaria, resultante del proceso de modulación, excluyendo las emisiones no esenciales.*
- 32** *Emisión no esencial: Emisión en una o varias frecuencias situadas fuera de la anchura de banda necesaria, cuyo nivel puede reducirse sin influir en la transmisión de la información correspondiente. Las emisiones armónicas, las emisiones parásitas, los productos de intermodulación y los productos de la conversión de frecuencia están comprendidas en las emisiones no esenciales, pero están excluidas las emisiones fuera de banda.*
- 33** *Emisiones no deseadas: Conjunto de las emisiones no esenciales y de las emisiones fuera de banda.*
- 34** *Banda de frecuencias asignada: Banda de frecuencias en el interior de la cual se autoriza la emisión de una estación determinada; la anchura de esta banda es igual a la anchura de banda necesaria más el doble*

del valor absoluto de la *tolerancia de frecuencia*. Cuando se trata de *estaciones espaciales*, la banda de frecuencias asignada incluye el doble del desplazamiento máximo debido al efecto Doppler que puede ocurrir con relación a un punto cualquiera de la superficie de la Tierra.

- 35** *Frecuencia asignada*: Centro de la *banda de frecuencias asignada* a una *estación*.
- 36** *Frecuencia de referencia*: Frecuencia que ocupa una posición fija y bien determinada con relación a la *frecuencia asignada*. La desviación de esta frecuencia con relación a la *frecuencia asignada* es, en magnitud y signo, la misma que la de la *frecuencia característica* con relación al centro de la banda de frecuencias ocupada por la *emisión*.
- 37** *Tolerancia de frecuencia*: Desviación máxima admisible entre la *frecuencia asignada* y la situada en el centro de la banda de frecuencias ocupada por una *emisión*, o entre la *frecuencia de referencia* y la *frecuencia característica* de una *emisión*.  
La tolerancia de frecuencia se expresa en millonésimas o en hertzios.
- 38** *Anchura de banda necesaria*: Para una *clase de emisión* dada, anchura de la banda de frecuencias estrictamente suficiente para asegurar la transmisión de la información a la velocidad y con la calidad requeridas en condiciones especificadas.
- 39** *Anchura de banda ocupada*: Anchura de la banda de frecuencias tal que, por debajo de su frecuencia límite inferior y por encima de su frecuencia límite superior, se emitan *potencias medias* iguales cada una a un porcentaje especificado,  $\square/2$ , de la *potencia media* total de una *emisión* dada.



En ausencia de especificaciones en una Recomendación UIT-R para la *clase de emisión* considerada, se tomará un valor  $\square/2$  igual a 0,5%.

**40** *Onda de polarización dextrógira* (en el sentido de las agujas del reloj): Onda polarizada, elíptica o circularmente, en la que, para un observador que mira en el sentido de la propagación, el vector campo eléctrico gira en función del tiempo, en un plano fijo cualquiera normal a la dirección de propagación, en el sentido dextrógiro, es decir, en el mismo sentido que las agujas de un reloj.

**41** *Onda de polarización levógira* (en el sentido contrario al de las agujas del reloj): Onda polarizada, elíptica o circularmente, en la que, para un observador que mira en el sentido de la propagación, el vector campo eléctrico gira en función del tiempo, en un plano fijo cualquiera normal a la dirección de propagación, en el sentido levógiro, es decir, en sentido contrario al de las agujas de un reloj.

**42** *Potencia*: Siempre que se haga referencia a la potencia de un transmisor radioeléctrico, etc., ésta se expresará, según la *clase de emisión*, en una de las formas siguientes, utilizando para ello los símbolos convencionales que se indican:

- *potencia en la cresta de la envolvente* (PX o pX);
- *potencia media* (PY o pY);
- *potencia de la portadora* (PZ o pZ).

Las relaciones entre la *potencia en la cresta de la envolvente*, la *potencia media* y la *potencia de la portadora*, para las distintas *clases de emisión*, en condiciones normales de funcionamiento y en ausencia de modulación, se indican en las Recomendaciones UIT-R que pueden tomarse como guía para determinar tales relaciones.

En las fórmulas, el símbolo  $p$  indica la potencia en vatios y el símbolo  $P$  la potencia en decibelios relativa a un nivel de referencia.

**43** *Potencia en la cresta de la envolvente* (de un transmisor radioeléctrico): La media de la potencia suministrada a la línea de alimentación de la antena por un transmisor en condiciones normales de funcionamiento, durante un ciclo de radiofrecuencia, tomado en la cresta más elevada de la envolvente de modulación.

*Potencia media* (de un transmisor radioeléctrico): La media de la potencia suministrada a la línea de alimentación de la antena por un transmisor en condiciones normales de funcionamiento, evaluada durante un intervalo de tiempo suficientemente largo comparado con el periodo correspondiente a la frecuencia más baja que existe realmente como componente en la modulación.

## **Sección VII. Compartición de frecuencias**

**44** *Interferencia*: Efecto de una energía no deseada debida a una o varias *emisiones, radiaciones*, inducciones o sus combinaciones sobre la recepción en un sistema de *radiocomunicación*, que se manifiesta como degradación de la calidad, falseamiento o pérdida de la información que se podría obtener en ausencia de esta energía no deseada.

**45** *Interferencia admisible*: *Interferencia* observada o prevista que satisface los criterios cuantitativos de *interferencia* y de compartición que figuran en el presente Reglamento o en Recomendaciones UIT-R o en acuerdos especiales según lo previsto en el presente Reglamento.

**45.1** <sup>1</sup> Los términos «interferencia admisible» e «interferencia aceptada» se utilizan en la coordinación de asignaciones de frecuencia entre administraciones.

- 46** *Interferencia aceptada*<sup>2</sup>: *Interferencia*, de nivel más elevado que el definido como *interferencia admisible*, que ha sido acordada entre dos o más administraciones sin perjuicio para otras administraciones.
- 46.1** Los términos «interferencia admisible» e «interferencia aceptada» se utilizan en la coordinación de asignaciones de frecuencia entre administraciones.
- 47** *Interferencia perjudicial*: *Interferencia* que compromete el funcionamiento de un *servicio de radionavegación* o de otros *servicios de seguridad*, o que degrada gravemente, interrumpe repetidamente o impide el funcionamiento de un *servicio de radiocomunicación* explotado de acuerdo con el presente Reglamento (CS).
- 48** *Relación de protección* (R.F.): Valor mínimo, generalmente expresado en decibelios, de la relación entre la señal deseada y la señal no deseada a la entrada del receptor, determinado en condiciones especificadas, que permite obtener una calidad de recepción especificada de la señal deseada a la salida del receptor.
- 49** *Zona de coordinación*: Zona asociada a una *estación terrena* fuera de la cual una *estación terrenal*, que comparte la misma banda de frecuencias, no puede producir ni sufrir ninguna *interferencia* superior a la *interferencia admisible*.
- 50** *Contorno de coordinación*: Línea que delimita la *zona de coordinación*.
- 51** *Distancia de coordinación*: En un acimut determinado, distancia a partir de la posición de una *estación terrena*, más allá de la cual una *estación terrenal*, que comparte la misma banda de frecuencias, no puede

producir ni sufrir ninguna *interferencia* superior a la *interferencia admisible*.

## BIBLIOGRAFIA

- FREEMAN, Roger L. Telecommunications Transmission Handbook. Fourth edition. Ed. Wiley interscience. N.Y, 1998.
- FREEMAN, Roger L. Telecommunications System engineering. Ed. Wiley and Sons. Inc.. N.Y, 1993.
- TOMMASI, Wayne. Sistemas de Comunicaciones Electronicos. Prentice-Hall. México, 1996
- NORMATIVIDAD UIT-R, RECOMENDACIONES E INFORMES, 1998.
- Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias. Republica de Colombia, Ministerio de Comunicaciones. 1998.
- [www.mincomunicaciones.gov.co](http://www.mincomunicaciones.gov.co)
- [www.icomamericas.com](http://www.icomamericas.com)
- [www.motorola.com](http://www.motorola.com)

