ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE INGENIERÍA

DISEÑO DE UN RADIO ENLACE PARA LA RED TELEFÓNICA DEL SISTEMA MULTIACCESO PARA LAS POBLACIONES DE CALDERÓN, RÍO CHICO Y SAN PLÁCIDO EN LA PROVINCIA DE MANABÍ

PROYECTO PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ESPECIALISTA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

YANDRI PAÚL MARTÍNEZ PLAZA

DIRECTOR: ING. CARLOS HERRERA

QUITO, MARZO 2002

DECLARACIÓN

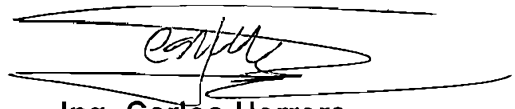
Yo, Yandri Paúl Martínez Plaza, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Yandri Paúl Martínez Plaza

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Yandri Paúl Martínez Plaza, bajo mi supervisión.



Ing. Carlos Herrera

DIRECTOR DEL PROYECTO

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres
quienes con fé y esperanza
en silencio y desde la distancia
supieron desde niño enseñarme
a dar siempre lo mejor de mi
y ante nada rendirme.

AGRADECIMIENTO

A los técnicos e ingenieros de Pacifictel S.A. en las provincias de Manabí y Guayas, así como también a los ingenieros y personal de otras empresas e instituciones en la ciudad de Quito, quienes aportaron con información y documentación de vital importancia; y en general a todos quienes supieron apoyarme con su granito de arena e hicieron posible la culminación de este proyecto.

ÍNDICE

ÍNDICE

RESUMEN Y PRESENTACIÓN I

RESUMEN II
PRESENTACIÓN III

CAPITULO 1 1
SITUACION ACTUAL DE LA PROVINCIA DE MANABI Y DEL CANTON PORTOVIEJO

1.1. DIAGNÓSTICO SOBRE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA PROVINCIA DE MANABÍ 2
1.2. ASPECTOS GEOGRÁFICOS DE LA PROVINCIA DE MANABÍ 3
1.2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA 3
1.2.2. OROGRAFÍA 3
1.2.3. HIDROGRAFÍA 4
1.2.4. CLIMA 5
1.3. ASPECTOS ECONÓMICOS DE LA PROVINCIA DE MANABÍ 8
1.3.1. INFRAESTRUCTURA 11
1.3.1.1. Aeroportuaria 11
1.3.1.2. Portuaria 11
1.3.1.3. Pesquera 11
1.3.1.4. Vial 12
1.3.1.5. Educativa 12
1.3.1.6. Turística 13
1.3.2. HISTORIA 13
1.3.2.1. División Política 14
REFERENCIAS DEL CAPÍTULO 15

CAPITULO 2 16
ANALISIS DE LA TELEFONIA RURAL Y PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES A LA PROBLEMATICA DEL SECTOR

2.1. LA TELECOMUNICACIONES EN EL ECUADOR 17
2.1.1. SITUACIÓN ACTUAL 17
2.1.2. SITUACIÓN DE LOS SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES EN LA PROVINCIA DE MANABÍ 19
2.1.2.1. Sistema Satelital DOMSAT 21
2.1.2.1.1. *Estación Terrena* 22
2.1.2.1.2. *Estación Maestra* 22
2.1.2.1.3. *Estaciones Remotas* 22
2.1.2.2. Sistemas Digitales de Acceso Múltiple 23
2.1.2.2.1. *Diseños de Sistemas Digitales de Acceso Múltiple* 24
2.2. CÁLCULOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LA RED 26
2.2.1. DEFINICIONES PRELIMINARES 26
2.2.1.1. Pronóstico 26
2.2.1.1.1. *Pronóstico Global* 26
2.2.1.1.2. *Pronóstico Detallado* 26
2.2.1.2. Plan 27
2.2.1.2.1. *Distribución de Abonados en un Área de Telecomunicaciones* 27
2.2.1.2.2. *Tráfico* 27
2.2.1.2.3. *Periodos de Planificación* 28
2.2.1.3. Programa 28
2.2.1.4. Área Rural 28
2.2.2 OPCIONES PARA LA PREDICCIÓN DEL DESARROLLO TELEFÓNICO 29
2.2.2.1. Tendencia 29
2.2.2.2. Comparación 29
2.2.2.3. Matemático 30
2.2.2.4. Económico 30
2.2.3. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA TELEFÓNICA (PREDICCIÓN DE ABONADO) 31

2.2.4. MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE LÍNEAS TELEFÓNICAS (NÚMERO DE ABONADOS) 31
2.2.4.1. Método Normativo 32
2.2.4.1.1. *Categorías de Tráfico* 33
2.2.4.2. Método del Modelo Logístico Exponencial 34
2.2.4.3. Método de los Factores 36
2.2.4.3.1. *Demanda Potencial* 36
2.2.4.4. Método del Tipo de Edificación 37
2.2.5. TRÁFICO TELEFÓNICO 39
2.2.5.1. Cálculo del Número de Circuitos 39
2.3. RESULTADOS DEL CASO EN ESTUDIO 41
2.3.1. DESCRIPCIÓN DE LOS POBLADOS 41
REFERENCIAS DEL CAPÍTULO 49

CAPITULO 3 50
PLANIFICACION Y DISENO DE LA RED MULTIACCESO MEDIANTE RADIOENLACES

3.1. ELECCIÓN DEL MEDIO DE TRANSMISIÓN 51
3.1.1. OPCIONES EN TRANSMISIÓN VOCAL Y DE DATOS 51
3.1.1.1. Enlaces por Cable Metálico 51
3.1.1.2. Enlaces por Fibra Óptica 52
3.1.1.3. Radio Enlaces 53
3.1.1.3.1. *Enlaces por Satélite* 53
3.1.1.3.2. *Enlaces Terrestres* 54
3.1.2. VENTAJA DE LOS SISTEMAS DE RADIO SOBRE OTROS 55
3.1.3. TRANSMISIÓN DE SEÑALES DIGITALES SOBRE ENLACES DE RADIO 56
3.1.4. SEGURIDAD Y COMPATIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE MICROONDAS 57
3.2. PLANIFICACIÓN Y EQUIPAMIENTO PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE MICROONDAS DIGITALES 60

3.2.1.	MODELO GENERAL PARA LA PLANIFICACIÓN DE UN SISTEMA	60
3.2.1.1.	Tópicos a Considerarse en la Planificación	60
3.2.1.2.	Principales Parámetros en el Diseño de Ingeniería	60
3.2.1.3.	Documentación Indispensable en el Diseño de Ingeniería	61
3.2.1.3.1.	*Esquemas del Sistema*	61
3.2.1.3.2.	*Plan de Tráfico E1/T1*	61
3.2.1.3.3.	*Diagramas de Bloques del Sistema*	61
3.2.1.3.4.	*Diagramas de Bloque y de Nivel*	61
3.2.1.3.5.	*Perfiles de los Armarios*	62
3.2.2.	ACCESO DIGITAL Y SISTEMAS DE CONEXIÓN CRUZADA	64
3.2.3.	BREVE ACERCAMIENTO A LOS FORMATOS E1, E2, Y E3	66
3.2.3.1.	Estructura de Trama	67
3.2.3.2.	Código de Línea	67
3.2.3.3.	Sincronización	68
3.2.3.4.	Jitter y Wander	68
3.2.3.5.	Cableado E1	69
3.2.3.6.	Formato de Señales E2	69
3.2.3.7.	Formato de Señales E3	70
3.3.	LINEAMIENTOS PARA EL DISEÑO ÓPTIMO DE SISTEMAS DE MICROONDAS	71
3.3.1.	ESTÁNDARES INTERNACIONALES DE TRANSMISIÓN	71
3.3.1.1.	Vigants, 1975	71
3.3.1.2.	Recomendaciones ITU-R 1986	72
3.3.1.3.	Recomendación ITU-R PN.530, 1994	72
3.3.2.	CARACTERÍSTICAS DESEABLES DE UN SISTEMA DE MICROONDAS DIGITAL	72
3.3.3.	DISPONIBILIDAD	73
3.3.3.1.	Lluvia	74
3.3.4.	DESEMPEÑO	75
3.3.4.1.	Estado de Desempeño de Radios Digitales	75
3.3.4.2.	Estados de Corte de Radios Digitales	75
3.3.4.3.	Estados de Calidad de Radios Digitales	76
3.3.4.4.	Eventos de BER de 10E-6	77

3.3.5.	NECESIDAD DE ESQUEMAS DE PROTECCIÓN Y ARREGLOS DE DIVERSIDAD	77
3.3.5.1.	Esquemas de Protección	78
3.3.5.2.	Arreglos de Diversidad	79
3.3.5.3.	Niveles de Protección y Efectividad Relativa	80
3.3.5.4.	Hot Standby Monitoreado	82
3.3.5.5.	Diversidad de Espacio	82
3.3.5.6.	Diversidad de Espacio con Transmisores Compartidos	83
3.3.5.7.	Diversidad de Espacio con Combinación de Frecuencia Intermedia	84
3.3.5.8.	Diversidad Angular	85
3.3.5.9.	Diversidad de Frecuencia y Diversidad Híbrida	86
3.3.5.10.	Diversidad de Polarización	87
3.3.5.11.	Protección de Anillo en Sistemas de Transmisión Digital	87
3.3.5.11.1.	*Características Únicas y Ventajas de la Protección SR para Redes Digitales*	88
3.3.5.11.2.	*Consideraciones de Diseño*	88
3.3.5.11.3.	*Tipos de Conmutación con Protección SR*	89
3.4.	INGENIERÍA EN ENLACES DE MICROONDAS DIGITALES	90
3.4.1.	PROPAGACIÓN	90
3.4.1.1.	Campo Cercano y Campo Lejano de las Antenas	91
3.4.1.2.	Trazado del Rayo	93
3.4.1.3.	Desvanecimiento Debido al Factor de Corrección del Radio Terrestre (K)	94
3.4.1.4.	Efectos Ópticos en la Propagación de Ondas	95
3.4.1.5.	Perfiles del Trayecto	96
3.4.1.6.	Criterios de Claridad de Trayecto	96
3.4.1.7.	Alineación de la Antenas	98
3.4.1.7.1.	*Procedimientos para el Alineamiento de las Antenas*	98
3.4.2.	PARÁMETROS EN EL DISEÑO DEL ENLACE DEL SISTEMA	99
3.4.2.1.	Ganancia del Sistema y Pérdidas Netas de Trayectoria	99

3.4.2.2.	Umbral Estático y Umbral Dinámico en Radios Digitales	100
3.4.2.3.	Interferencia	100
3.4.2.4.	Selección de la Banda de Frecuencia	101
3.5.	PRINCIPALES CÁLCULOS DE TRAYECTO	104
3.5.1.	CÁLCULOS INICIALES	104
3.5.1.1.	Azimut y Distancia	104
3.5.1.2.	Factor de Corrección de Altura y Ecuación del Rayo	105
3.5.1.3.	Zona de Fresnel y Apertura del Trayecto	106
3.5.1.4.	Punto de Reflexión	107
3.5.1.5.	Altura Mínima Recomendada de las Antenas	109
3.5.2.	CÁLCULOS DE ATENUACIÓN Y GANANCIA EN LOS ENLACES	109
3.5.2.1.	Atenuación de Espacio Libre	109
3.5.2.2.	Atenuación en los Alimentadores y del Equipo Interno	109
3.5.2.3.	Atenuación por Lluvia	110
3.5.2.4.	Atenuación por Gases Atmosféricos	114
3.5.2.4.1.	*Margen de Desvanecimiento Requerido para Cortes por Gases en la Atmósfera o por Lluvia*	115
3.5.2.5.	Atenuación por Trayectos Múltiples	115
3.5.2.5.1.	*Predicción de Cortes*	116
3.5.2.5.2.	*Desvanecimiento Plano*	118
3.5.2.5.3.	*Desvanecimiento Selectivo*	120
3.5.2.6.	Margen de Desvanecimiento	121
3.5.2.7.	Ganacia de las Antenas	122
3.5.2.8.	Potencia de Umbral del Receptor y Potencia de Transmisión	122
3.5.2.9.	Confiabilidad de Propagación y Tiempo Fuera de Servicio	124
3.5.3.	CÁLCULOS ADICIONALES DE TRAYECTO	124
3.5.3.1.	Apertura del Ancho del Haz	124
3.5.3.2.	Cáculos de la Disponibilidad de Equipo	125
3.5.3.3.	Factor de Mejora por Diversidad de Espacio	125
3.5.3.4.	Factor de Mejora por Diversidad de Frecuencia	126
3.5.3.5.	Factor de Mejora por Diversidad Híbrida	126

3.5.3.6. Margen de Desvanecimiento Compuesto Requerido 127
3.5.3.7. Margen de Seguridad Mínimo 127
3.5.3.8. Geometría del Trayecto 128
3.6. RESULTADOS DEL CASO EN ESTUDIO 130
3.6.1. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA 130
3.6.2. INTERCONEXIÓN 130
3.6.3. DOCUMENTACIÓN 131
REFERENCIAS DEL CAPÍTULO 138

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 140

CONCLUSIONES 141
RECOMENDACIONES 145

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 146

ANEXOS 150

A ALGUNOS DATOS SOBRE PORTOVIEJO 151
B GESTIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO 154
C EQUIPOS EMPLEADOS 157
D CÁLCULOS DE PROPAGACIÓN COMPLETOS 161
E CÁLCULOS DEL PROGRAMA STARLINK 173

FIGURAS

1.1 MAPA FÍSICO DE MANABÍ 4
1.2 RÉGIMEN DE PRECIPITACIONES ANUALES 6
1.3 PRINCIPALES REGIONES CLIMÁTICAS 6

1.4	REGIONES DE VEGETACIÓN	7
1.5	DIVISIÓN POLÍTICA DE LA PROVINCIA DE MANABÍ	14
2.1	SISTEMA DE ENLACE DE LA AGENCIA PORTOVIEJO	25
3.1	JERARQUÍA PCM (NORTE AMÉRICA)	57
3.2	JERARQUÍA PCM (CEPT)	57
3.3	ESQUEMA DEL SISTEMA	62
3.4	PLAN DE TRÁFICO	62
3.5	DIAGRAMAS DE BLOQUES DEL SISTEMA	63
3.6	DIAGRAMA DE BLOQUE Y DE NIVEL	63
3.7	PERFILES DE LOS ARMARIOS	64
3.8	ACCESO DIGITAL Y SISTEMAS DE CONEXIÓN CRUZADA	64
3.9	SEGREGACIÓN Y CONSOLIDACIÓN	65
3.10	ARREGLO DE TERMINAL HOT-STANDBY (HS)	82
3.11	ARREGLO DE DIVERSIDAD DE ESPACIO CON TRANSMISORES HS	83
3.12	ARREGLO DE SD CON TRANSMISORES COMPARTIDOS (ST) PARA PROTEGER EL SISTEMA ALIMENTADOR DE ANTENAS	84
3.13	SD CON COMBINADORES DE IF EN SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE ANILLO	84
3.14	SD CON COMBINADORES DE IF EN SISTEMAS DE PROTECCIÓN n + 1	85
3.15	DIVERSIDAD ANGULAR: HAZ DUAL Y ACOPLE HÍBRIDO	85
3.16	DIVERSIDAD DE FRECUENCIA Y DIVERSIDAD HÍBRIDA	86
3.17	MODELO DE CONFIABILIDAD	89
3.18	CAMPO CERCANO Y LEJANO DE UNA ANTENA (RADIADOR ISOTRÓPICO)	92
3.19	CAMPO CERCANO Y LEJANO (CASO ESPECÍFICO)	92
3.20	TRAZADO DEL RAYO	93
3.21	ILUSTRACIÓN DEL DESVANECIMIENTO POR EL FACTOR K	95
3.22	OBTENCIÓN DE A1 A PARTIR DE q Y Q	108
3.23	ATENUACIÓN POR LLUVIA	111
3.24	ABSORCIÓN ATMOSFÉRICA	111

3.25	REGIONES DE LLUVIA ALRREDEDOR DEL MUNDO SEGÚN ITU-R	112
3.26	TEMPERATURA PROMEDIO (°F) POR REGIONES SEGÚN ITU-R	117
3.27	FACTOR CLIMA-TERRENO (c)	119
3.28	ESQUEMA DEL SISTEMA	131
3.29	PLAN DE TRÁFICO	131
3.30	DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA	132
3.31	PERFIL DEL TRAYECTO 1	135
3.32	PERFIL DEL TRAYECTO 2	136
3.33	PERFIL DEL TRAYECTO 3	137

CUADROS

1.1	POBLACIÓN ECONÓMICAMENTE ACTIVA POR RAMAS DE ACTIVIDAD	10
1.2	INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA	12
2.1	OFERTA DE TELEFONÍA FIJA EN EL ÁMBITO NACIONAL	18
2.2	DEMANDA DE ACCESO A LA TELEFONÍA FIJA _ LÍNEAS PRINCIPALES	18
2.3	DEMANDA DE TELEFONÍA FIJA _ MILLONES DE MINUTOS	18
2.4	DEMANDA DE ACCESO A LA TELEFONÍA MÓVIL _ CELULAR Y PCS	19
2.5	DEMANDO DE ACCESO A OTROS SERVICIOS _ MILES DE USUARIOS	19
2.6	ESTADO DEL SISTEMA TELEFÓNICO: AGENCIA PORTOVIEJO	20
2.7	SISTEMA DONSAT GUAYAQUIL	21
2.8	TIPOS DE ESTACIONES REMOTAS	21
2.9	TIEMPO DE ALCANCE DEL PRONÓSTICO	28
2.10	PARÁMETROS POR CATEGORÍA DE TRÁFICO	33
2.11	ABONADOS POR TIPO DE EDIFICACIÓN	38
2.12	ABONADOS POR HECTÁREA CONSTRUÍDA	38

2.13	ESTIMACIÓN DE DEMANDA Y DENSIDAD TELEFÓNICA	42
2.14	PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN HASTA EL AÑO 2015	43
3.1	JERARQUÍA DIGITAL (T1 - NORTE AMÉRICA)	58
3.2	JERARQUÍA DIGITAL (E1 - CEPT)	58
3.3	PRINCIPIOS DE SONET - TASAS	59
3.4	PRINCIPIOS DE SDH - TASAS	59
3.5	CARACTERÍSTICAS DESEABLES DE UN ENLACE DE MICROONDAS DIGITAL	73
3.6	OBJETIVOS DE CORTE	76
3.7	OBJETIVOS DE CALIDAD	76
3.8	EFCTIVIDAD RELATIVA	81
3.9	TASAS DE LLUVIA (mm/h) vs TIEMPO Y REGIÓN SEGÚN ITU-R	112
3.10	COEFICIENTES DE ATENUACIÓN POR LLUVIA SEGÚN ITU-R	113
3.11	CONVERSIÓN DE FAHRENHEIT A CELCIUS	118
3.12	FACTORES DE CLIMA	120
3.13	RELACIÓN PORTADORA A RUIDO	123
3.14	RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE PROPAGACIÓN	133
A.1	POBLACIÓN DEFICITARIA Y PORCENTAJE POBLACIONAL DEFICITARIO POR SERVICIOS BÁSICOS	151
A.2	VIVIENDAS PARTICULARES OCUPADAS, POR SERVICIOS QUE DISPONE SEGÚN PARROQUIA Y ÁREA	152
A.3	VIVIENDAS PARTICULARES OCUPADAS, POR UTILIZACIÓN DE LA VIVIENDA EN ALGUNA ACTIVIDAD ECONÓMICA SEGÚN EL MATERIAL PREDOMINANTE EN LA CONSTRUCCIÓN	153
B.1	ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS EN LA BANDA ESCOGIDA	156

RESUMEN

PRESENTACIÓN

RESUMEN

Los sistemas de radio con técnicas de acceso múltiple no son nada nuevo, la técnica no es nueva, mucho menos el medio; sin embargo, el desarrollo continúa tanto en técnicas de diversas índole como en equipos que las incorporan y hacen mejor su desempeño. Las radiocomunicaciones son, y lo han sido desde varias décadas, el mejor medio de comunicaciones de larga distancia, por ello el presente trabajo pone en conocimiento técnicas y posibilidades para el máximo provecho de estos sistemas, acierta en aplicar una metodología de cálculo que reúne varios aspectos que además va ligada a una estimación previa de la penetración telefónica y la demanda (con proyección), para una correcta determinación de los equipos.

PRESENTACIÓN

Apoyado en el conocimiento referente a la futura implementación de un plan de desarrollo de servicios de telefonía a largo plazo para las zonas rurales de la costa presentado por Pacifictel S.A., la empresa propuso inicialmente generar un modelo que se ajuste a las condiciones propias de la región y que incluso tenga un carácter más general de modo que sirva de referencia para futuros planes; sin embargo el alcance de dicho estudio implicaría un análisis mucho más detallado de un sinnúmero de otros aspectos que no se incluyen en el presente libro. En vista de esto, la empresa realizó ciertas reconsideraciones, y el resultado de ello es éste trabajo.

El libro se presenta entonces como una entidad informativa que aparentemente desliga cada capítulo del otro pero que visto en conjunto constituye una unidad lógica y coherente. Comienza pues, con una breve descripción sobre múltiples aspectos de la provincia de Manabí para luego mostrar la situación de las telecomunicaciones en el país, la provincia, el cantón, la parroquia. Luego el enfoque cambia para dar paso a una presentación más técnica en lo referente a la estimación de la demanda de servicios de telecomunicaciones y las consideraciones que se hacen para el caso particular. La siguiente sección por otro lado hace hincapié en las múltiples posibilidades que ofrecen los sistemas basados en microondas; finalmente se muestra el desarrollo seguido para el diseño de los radio enlaces propuestos.

Debe decirse también que éste trabajo no ahonda en temas adicionales, pues no son el objeto del mismo, sino que simplemente los muestra esperando que el lector curioso al sentirse atraído por ellos, los busque en las fuentes que se detallan u otras y saque sus propias conclusiones; así mismo no es de extrañar que no se mencione mucho sobre otros medios a través de los cuales también se pueda dar solución al problema, ya que éste

estudio concierne exclusivamente a sistemas de radio que emplean técnicas de acceso múltiple.

En virtud de ello, el presente proyecto tiene como finalidad primera proponer una alternativa confiable y segura de comunicaciones para una zona rural ubicada hacia el nororiente de la capital de la provincia de Manabí, por cuanto la cercanía de esta zona a la urbe obliga a acompañar el crecimiento y desarrollo de la misma junto con los lugares en donde ésta (la urbe) tiene mayor influencia, toda vez que el movimiento diario de gente entre estos pueblos y la capital es ciertamente considerable, lo mismo que la necesidad de comunicarse de sus pobladores.

Considerando entonces lo antes expuesto, el presente proyecto muestra más bien a modo de ejemplo tan solo tres enlaces sencillos, buscando sin embargo, que en ellos se incluya la mayor cantidad de información necesaria, para así dejar sentado un modelo de cálculo que implique un menor número de complicaciones que aquel empleado normalmente. Como era de esperarse, para lograr este objetivo, se vuelve imprescindible la presentación de múltiples ecuaciones y al menos una breve explicación (en el mismo sitio) de su significado para dar discernimiento sobre lo que se hace; a fin de cuentas, es éste el segundo objetivo del libro.

Finalmente debe aclararse, aunque suene repetitivo, que con el presente trabajo se espera únicamente, dar solución a un problema específico de telecomunicaciones a través de un medio específico, y más allá de eso, dar las herramientas con las que futuros proyectos de la misma índole puedan resolverse de manera sencilla.

CAPÍTULO 1

SITUACIÓN ACTUAL DE LA PROVINCIA DE MANABÍ Y DEL CANTÓN PORTOVIEJO

1.1. DIAGNÓSTICO SOBRE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA PROVINCIA DE MANABÍ.

En la actualidad la provincia de Manabí se encuentra en una etapa de desarrollo económico como no lo había visto antes, múltiples actividades han alcanzado tal importancia que se hace imprescindible acompañar este desarrollo de los adelantos tecnológicos que permitan obtener aún un mayor crecimiento; pero estos adelantos no solo deben abarcar las zonas en donde se manifiestan de manera tangible las ventajas de dicha creciente economía, sino también a las regiones que posteriormente se incorporarán al desarrollo y a otras regiones con particulares características de desarrollo casi inexistente.

Por ello, en virtud del importante desarrollo que experimenta la provincia en los campos: industrial, agrícola, ganadero y turístico, se hace necesario imponerse como meta la dotación general y/o mejoramiento de las redes terminales, que permitan así atender una demanda de servicio en todas las cabeceras parroquiales (o la mayoría al menos); y que ésta misma infraestructura sirva de base para futuros requerimiento y ampliaciones. Como se verá más adelante, en cuanto a servicios, en especial el telefónico, la provincia cuenta con una pobre penetración, por ello es imprescindible llevar a término este proyecto, pues de esta manera se puede llegar a corregir, al menos en parte, la falta de servicios .

Ante todo debe considerarse que cada región en donde se realiza un estudio posee características propias y únicas en muchos aspectos (elevaciones, tasas de lluvia, vegetación, población, economía, etc.), debido a esto uno de los primeros pasos debe ser la adquisición de ciertos conocimientos sobre el lugar en el que se realiza el estudio, para que de esta manera se pueda proporcionar la solución óptima de acuerdo a los requerimientos reales de cada servicio en las comunidades donde se los necesita.

1.2. ASPECTOS GEOGRÁFICOS DE LA PROVINCIA DE MANABÍ.

1.2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.

La provincia de Manabí se encuentra ubicada en la zona central de la región litoral de la república del Ecuador; abarcando un territorio de 18.878.8 Km^2, mismo que está comprendido entre los 79° 27´ y los 80° 55´ de Longitud Oeste y entre los 0° 23´ de Latitud Norte y los 1° 43´ de Latitud Sur[1].

Limita al norte con la provincia de Esmeraldas; al sur con la provincia del Guayas; al este con las provincias de Pichincha, Los Ríos y Guayas y al oeste con el Océano Pacífico.

1.2.2. OROGRAFÍA.

El relieve de Manabí es muy irregular, presenta llanos con altitud cero al nivel del mar y elevaciones que alcanzan hasta casi los 800 m de altura.

En la zona sudeste de la provincia se elevan algunas montañas y cerros pertenecientes a la cordillera de Chongón–Colonche que tiene su origen en la provincia del Guayas, al ingresar a la provincia, ésta misma cadena montañosa cambia de nombre a cerros de Paján y Pucal, pues son éstos los que se destacan.

Hacia la zona central occidental están los cerros de Montecristi, Cerro de Hojas, Cerro Verde, y otros que constituyen restos aislados de la cadena antes mencionada.

---

[1] Jiménez; opus citatum # 14

Al norte sobresalen ciertos accidentes orográficos que aparentemente forman macizos independientes entre sí pero que también presentan el aspecto general de una cordillera entre éstos cerros y montañas se puede nombrar los de Canoa, Chindul, Los Liberales, Jama, Convento y Coaque.

Al oeste, se extienden innumerables playas, hacia cuyo interior predominan manglares, matorrales y áreas madereras.

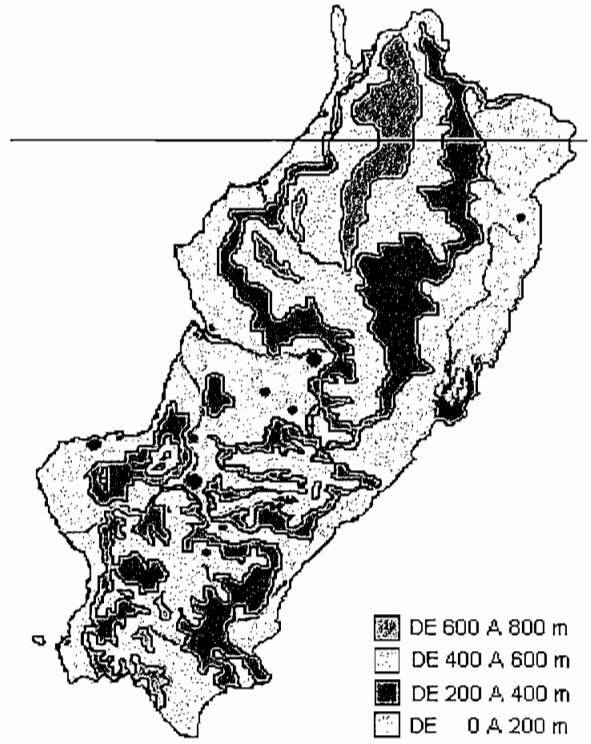


FIGURA 1.1: **MAPA FÍSICO DE MANABÍ (opus citatum # 8).**

1.2.3. HIDROGRAFÍA.

Antes de hablar de los recursos hídricos de Manabí, debe mencionarse que ésta, es la única provincia costera del país que no posee una irrigación proveniente del deshielo de los nevados andinos como en el caso de las cuatro restantes provincias; así mismo, debe recordarse que el nombre de la provincia proviene de la voz nativa "Mana Pi" de los Xipi

Xapa que significa "Tierra Seca", denotando así su condición[2]. Sin embargo, el suelo manabita está casi en su totalidad, asentado sobre corrientes subterráneas de mediana a gran profundidad[3].

El sistema hidrográfico manabita lo conforman numerosos ríos y esteros, ninguno de los cuales son de gran caudal; estos además disminuyen considerablemente dicho caudal o se secan por completo durante el periodo de verano, el resto, que podría estimarse en aproximadamente un 20% son de carácter permanente.

El Río Chone junto con el Río Carrizal, son dos de los más caudalosos, vienen del interior de la provincia recogiendo las aguas de varios tributarios y regando fértiles campos de cultivo hasta desembocar en Bahía de Caráquez. Otros ríos importantes que desembocan en el Océano Pacífico son los ríos Portoviejo, Manta, Jama y Briceño. Además de estos, se suma e Manbí una cuenca hidrográfica alimentada por los ríos Daule y Peripa.

La mayoría de los ríos dirigen sus cursos hacia el noroeste alimentando la cuenca del río Daule en la provincia del Guayas, o bien al norte llevando sus aguas a la cuenca del río Quinindé en Esmeraldas.

1.2.4. CLIMA.

La precipitación pluvial en el ámbito provincial muestra una tendencia de descenso promedio anual de 8 mm; esto se debe a cambios climáticos a nivel mundial desde hace ya más de 50 años. Sin embargo, estos mismos determinan la aparición, cada vez más fuerte y frecuente, del fenómeno conocido como "El Niño", que trae consigo inviernos particularmente fuertes (tasas superiores a los 4000 mm anuales).

---

[2] Villavicencio; opus citatum # 38
[3] Gómez; opus citatum # 8

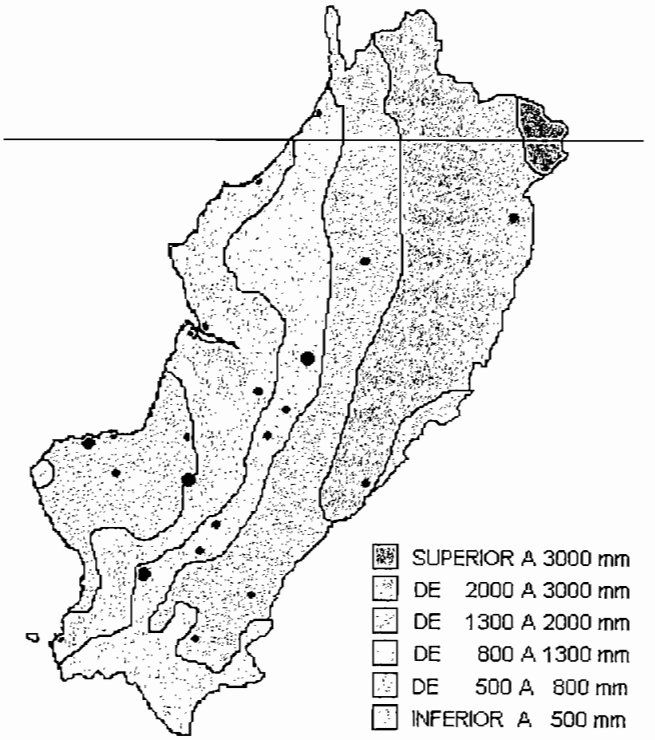


FIGURA 1.2: RÉGIMEN DE PRECIPITACIONES ANUALES (opus citatum # 8).

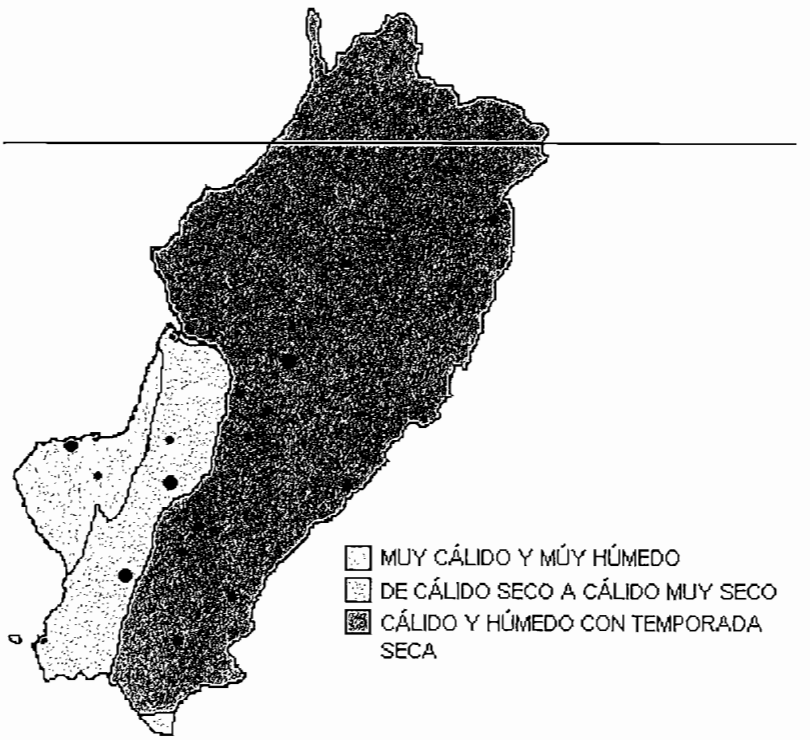


FIGURA 1.3: PRINCIPALES REGIONES CLIMÁTICAS (opus citatum *# 8*).

Las temperaturas promedio máxima y mínima son 27 °C y 18°C respectivamente (disminuyendo aproximadamente 2°C por cada 200 m de altura en las zonas montañosas)[4].

La humedad es bastante uniforme presentando un valor promedio del 80% con fluctuaciones entre 75% y 85%[5].

Estos factores determinan el tipo de vegetación al interior de la provincia.

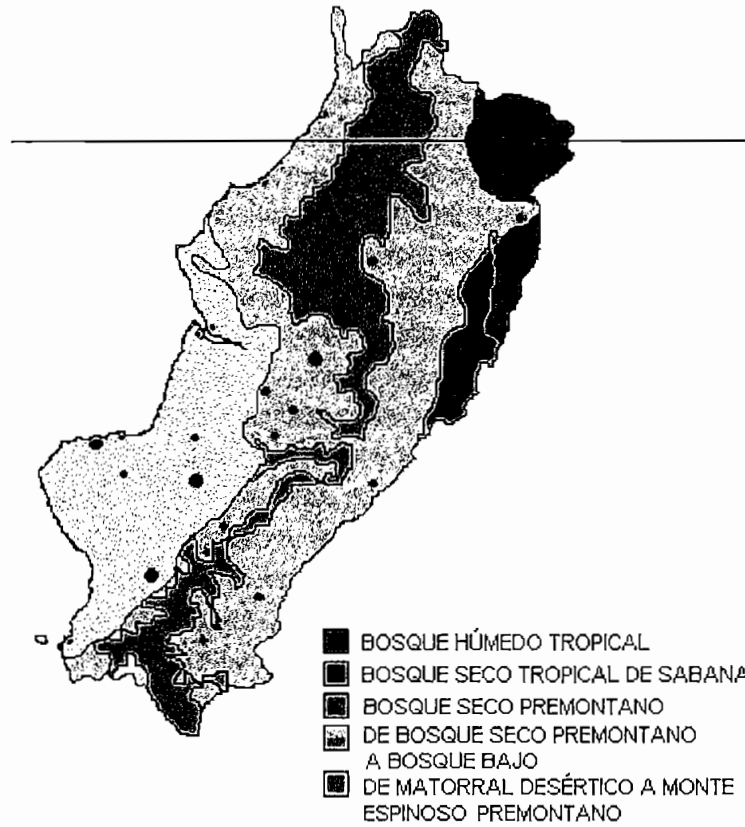


FIGURA 1.4: REGIONES DE VEGETACIÓN (opus citatum # 8).

[4] Gómez; opus citatum # 8
[5] Gómez; opus citatum # 8

1.3. ASPECTOS ECONÓMICOS DE LA PROVINCIA DE MANABÍ.

La economía en la provincia de Manabí se basa principalmente en las actividades agrícolas, agro–industriales, ganaderas y pesqueras.

La vocación agrícola de Manabí se ha sustentado en el apego del hombre por la tierra y a la existencia de alrededor de un millón de hectáreas aptas para la explotación agropecuaria. En la provincia se poduce gran varidad de frutas y hortalizas, así como también especias y productos no tradicionales.

Otro aspecto importante en la economía de la provincia es el relacionado la ganadería, con cuyo potencial (el mayor del país), es factible desarrollar industrias tanto cárnicas como de sus subproductos.

Una de las más importantes actividades en la provincia es la avicultura, pues muchas de las granjas poseen técnicas y procedimientos modernos, integradas incluso a sus propias plantas procesadoras de alimentos balanceados; de igual manera la industrialización de los desperdicios de las aves en la elaboración de abonos y otros balanceados.

El sector pesquero de Manabí es considerado el más importante del país, ya que gran cantidad de los pobladores de sus costas se han dedicado desde hace mucho tiempo a la actividad pesquera en forma artesanal, habiéndose desarrollado al momento una gran flota pesquera (192 modernas embarcaciones) y numerosas procesadoras de productos de mar, que aunque pequeñas cubren la demanda nacional y exportan cerca del 80% de su producción[6]. De igual manera, la variedad de productos del mar (moluscos y crustáceos) que se capturan en sus costas tienen muy buena demanda en países asiáticos.

[6] Villavicencio; opus citatum # 38

También es importante el cultivo del camarón ya que el sector camaronero ocupa más 12.400 hectáreas de piscinas donde se producen anualmente mas de cinco millones de libras en tres cosechas. La mayor parte de esta producción es exportada.

Los empresarios agro–industriales manabitas, han orientado su gestión hacia el procesamiento e industrialización de café para la exportación, cacao, granos, alimentos, grasas y aceites, químicos, madera, papel, paja toquilla, atún y sardinas.

Los porcentajes por rama de actividad en Manabí son: Agricultura 44%, Servicios 24%, Comercio 13%, Manufacturas 6%, Construcción 5%, Transportes 4%, Sector Informal 4%. Esto se detalla en el cuadro que se muestra a continuación.

CUADRO 1.1: POBLACIÓN ECONÓMICAMENTE ACTIVA POR RAMAS DE ACTIVIDADES

FUENTE: INEC, V CENSO DE POBLACIÓN Y IV DE VIVIENDA 1990

PRINCIPALES GRUPOS DE OCUPACIÓN:

0–1 : PROFESIONALES TÉCNICOS Y TRABAJADORES ASIMILADOS
2 : DIRECTORES Y FUNCIONARIOS PÚBLICOS SUPERIORES
3 : PERSONAL ADMINISTRATIVO Y TRABAJADORES ASIMILADOS
4 : COMERCIANTES Y VENDEDORES
5 : TRABAJADORES DE LOS SERVICIOS
6 : TRABAJADORES AGRÍCOLAS Y FORESTALES, PESCADORES Y CAZADORES
7 : MINEROS, HILANDEROS, TEJEDORES, SASTRES, OBREROS (METALÚRGICOS, DE LA MADERA, DE TRATAMIENTOS QUÍMICOS, PREPARACIÓN DE ALIMENTOS, DE TABACOS Y OTROS)
8 : ZAPATEROS, EBANISTAS, RELOGEROS, ELECTRICISTAS, OPERADORES DE RADIO, TELEVISIÓN Y CINE, FONTANEROS, JOYEROS Y VIDRIEROS
9 : CONDUCTORES DE QUIPOS DE TRANSPORTE, TRABAJADORES DE. ARTES GRÁFICAS, ESTIBADORES, OBREROS (FABRICACIÓN DE PRODUCTOS DE CAUCHO, DE CARTÓN, DE LA CONSTRUCCIÓN)
10 : TRABAJADORES QUE NO PUEDEN SER CLASIFICADOS SEGÚN LA CATEGORÍA
11 : TRABAJADOR NUEVO

MANABI

RAMA DE ACTIVIDAD POR PRINCIPALES GRUPOS DE OCUPACIÓN
POBLACIÓN DE 8 AÑOS Y MÁS SEGÚN CENSO DE 1990

RAMA DE ACTIVIDAD	PRINCIPALES GRUPOS DE OCUPACIÓN												
	0-1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	TOTAL	%
ACTIVIDADES NO BIEN ESPECIFICADAS	289	116	1025	75	640	144	49	91	896	5147	0	**8472**	**3**
AGRICULTURA, CAZA, SILVICULTURA Y PESCA	477	147	194	170	688	130120	344	108	1979	250	0	**134477**	**44**
EXPLORACIÓN DE MINAS Y CANTERAS	13	2	4	25	14	55	90	3	23	8	0	**237**	**0**
INDUSTRIAS MANUFACTURERAS	260	124	391	282	217	157	9035	3936	3857	506	0	**18765**	**6**
ELECTRICIDAD, GAS Y AGUA	88	12	145	14	48	36	4	158	137	74	0	**716**	**0**
CONSTRUCCIÓN	509	19	69	126	101	47	23	511	14379	55	0	**15839**	**5**
COMERCIO AL POR MAYOR Y AL POR MENOR, RESTAURANTES Y HOTELES	174	136	706	33610	2318	452	216	100	933	227	0	**38872**	**13**
TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO Y COMUNICACIONES	126	39	1219	40	113	56	22	93	8530	267	0	**10505**	**3**
ESTABLECIMIENTOS FINANCIEROS, SEGUROS Y SERVICIOS PRESTADOS A EMPRESAS	785	65	1260	58	341	25	8	37	81	76	0	**2736**	**1**
SERVICIOS COMUNALES, SOCIALES Y PERSONALES	16798	306	4416	193	16083	418	199	7070	3315	23748	0	**72546**	**24**
TRABAJADOR NUEVO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2884	**2884**	**1**
TOTAL	**19519**	**966**	**9429**	**34593**	**20563**	**131510**	**9990**	**12107**	**34130**	**30358**	**2884**	**306049**	**100**

1.3.1. INFRAESTRUCTURA.

1.3.1.1. Aeroportuaria[7].

Se presta servicio aeronáutico y aeroportuario a través de los aeropuertos de:

- Reales Tamarindos de Portoviejo con una pista de 1.200 metros.
- Eloy Alfaro de la Base Aérea de Manta con 2.290 metros de pista y muy alta tecnología en sistemas aeronáuticos como en los grandes aeropertos del mundo.
- Los Perales en San Vicente, cuya pista mide 1.190 metros.
- Coaque y Guadual, con 800 metros de longitud cada una.
- Además pistas particulares en la zona camaronera de Pedernales y Cojimíes.

1.3.1.2. Portuaria.

Manta es el primer Puerto Marítimo del Ecuador, en ella funcionan las modernas y amplias instalaciones del puerto internacional con sus áreas pesquera y de transferencia de carga.

Además del puerto de Manta, Manabí cuenta con otras alternativas para el servicio de carga marítima, destacándose: Bahía de Caráquez, Puerto López, Machalilla y Jaramijó.

1.3.1.3. Pesquera.

Según la Dirección Nacional de Pesca, en Manabí existe un total de 192 embarcaciones distribuidas entre los puertos de: Jaramijó (un atunero), Machalilla (seis de pesca blanca), Puerto López (uno de pesca blanca),

[7] Ministerio de Turismo; opus citatum # 26

Salango (siete sardineros) y Manta (tres camaroneros, tres sardineros, 66 atuneros y 105 de pesca blanca).

1.3.1.4. Vial.

Un sistema vial es una herramienta fundamental para el desarrollo de las actividades económicas; por ello la provincia cuenta con una infraestructura vial secundaria (caminos vecinales) de aproximadamente 5.000 Km; mientras que los subtramos de la red vial estatal, a cargo del Ministerio de Obras Públicas, totalizan 1.050,21 kilómetros.

1.3.1.5. Educativa.

MANABÍ
ESTABLECIMIENTOS EDUCATIVOS

TIPO DE ESTABLECIMIENTO	NIVEL DEL ESTABLECIMIENTO					
	PREPRIMARIOS		PRIMARIOS		SECUNDARIOS	
	U	R	U	R	U	R
TOTAL	273		2565		281	
TOTAL	150	123	537	2028	184	97
FISCALES	13	104	266	1793	85	89
MUNICIPALES	1	0	4	3	1	0
PARTICULARES	136	19	267	230	98	8

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CULTURA.

U URBANO

R RURAL

CUADRO 1.2: INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA.

La educación superior está a cargo de:

- Universidad Técnica de Manabí en Portoviejo, Chone y Jipijapa.
- Universidad Laica Eloy Alfaro en Manta, Chone, Bahía de Caráquez, Jipijapa y El Carmen.
- Universidad Técnica Particular de Loja; en Manta y Chone.
- Universidad Laica Vicente Rocafuerte; en Portoviejo.

- Universidad Católica del Ecuador; en Portoviejo, Chone y Bahía de Caráquez.

1.3.1.6. Turística[8].

La provincia cuenta con 142 establecimientos que prestan servicios de alojamiento, restaurante, bar, diversión, entretenimiento, agencias de viaje, operadores de turismo y transporte, entre otros.

Manabí es un atractivo destino para turistas nacionales y extranjeros que visitan las encantadoras playas de Crucita, Camarones, Canoa, Punta Ballena, San Vicente, Bahía de Caráquez, Pajonal, San Jacinto, San Clemente, Pedernales, Cojimíes, La Chorrera, Los Frailes, Palmar, Puerto Cayo, La Boca de Cantagallo, San José, Punta Blanca, Punta Jaramijó, El Murciélago, y muchas otras de excitante belleza.

La geografía manabita ofrece muchas alternativas para la excursión y la investigación científica, como el Parque Nacional Machalilla con 55.000 hectáreas y que encierra, entre otras maravillas naturales, las zonas de Puerto López, las islas de Salango y de La Plata, Montecristi y los bosques secos, semi–húmedos y húmedos de El Barro, Homo, Cerro Rodadero, Cascarilla, La Botija, Olina y El Chorrillo, en Jipijapa.

1.3.2. HISTORIA.

Machalilla, Valdivia, Chorrera, Jama–Coaque y Bahía de Caráquez, son culturas precolombinas que habitaron la provincia de Manabí durante los periodos Formativo (3.500 a.C. hasta 500 a.C.) y de Desarrollo Regional (500 a.C. hasta 500 d.C).

Posteriormente la ocuparon los incas, luego los españoles, que se establecieron en afán de conquista y colonización.

[8] Ministerio de Turismo; opus citatum # 26

El 12 de Marzo de 1535, el capitán Francisco Pacheco por encargo de Francisco Pizarro, fundó la ciudad de San Gregorio de Portoviejo. La independencia manabita fue proclamada el 18 de Octubre de 1820 y la creación definitiva de la provincia, el 25 de Junio de 1824, de acuerdo con la Ley de División Territorial de Colombia.

Manabí ha estado presente en importantes hechos de nuestra historia política, como la Revolución Liberal cuyo ideólogo, Eloy Alfaro, nacido en esta tierra, donde inició las gestas políticas junto con su coterráneo, Leonidas Plaza Gutiérrez.

1.3.2.1. División Política.

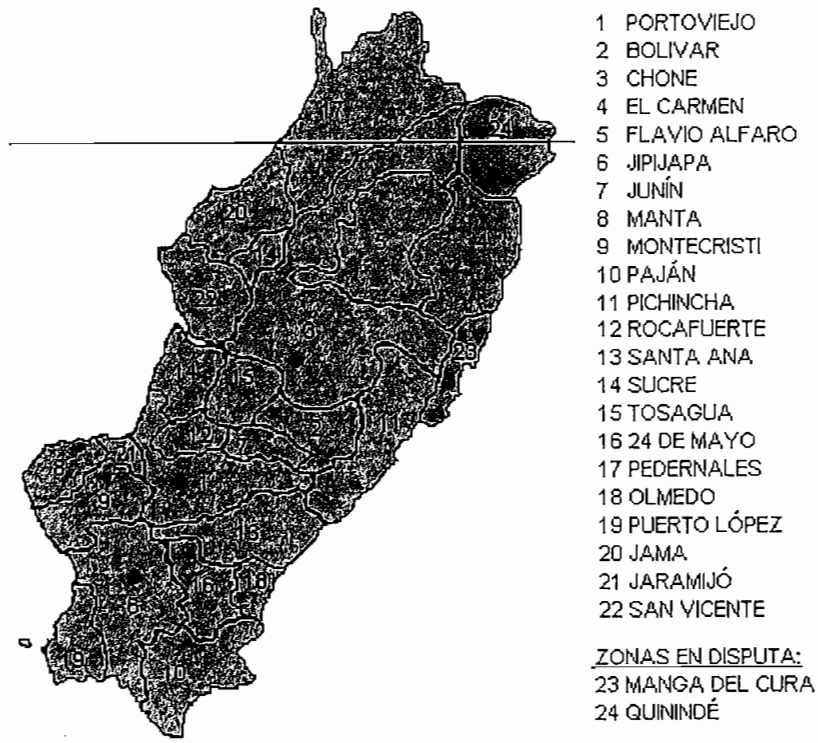


FIGURA 1.5: DIVISIÓN POLÍTICA DE LA PROVINCIA DE MANABÍ.

REFERENCIAS DEL CAPÍTULO.

Los números corresponden al orden designado en las Referencias Bibliográficas citadas al final del libro.

8. GÓMEZ, Nelson; **Atlas del Ecuador: Geografía y Economía**; 1994; Quito.

10. INEC; **República del Ecuador: División Político Administrativa 2001**.

14. JIMENEZ A., José; **Estudio de las Telecomunicaciones Rurales en la Provinvia de Manabí**; 1976; Quito.

26. MINISTERIO DE TURISMO; **Folletos Informativos**; Quito.

38. VILLAVICENCIO V., A.; **Proyecto Complementario de Transmisión Telefónica Digital Rural para las Provincias de Bolivar, Manabí, Napo y Tungurahua**; 1995; Quito.

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS DE LA TELEFONÍA RURAL Y PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES A LA PROBLEMÁTICA DEL SECTOR

2.1. LAS TELECOMUNICACIONES EN EL ECUADOR.

2.1.1. SITUACIÓN ACTUAL[1].

Hasta 1992 en el Ecuador los servicios de telecomunicaciones eran prestados por una empresa estatal y una municipal en régimen de monopolio. Con la expedición de la Ley Especial de Telecomunicaciones se conformó un mercado de competencia parcial. Su situación a diciembre de 1999 era: el servicio de telefonía fija se presta en régimen de exclusividad temporal a través de dos empresas de propiedad del Fondo de Solidaridad y una municipal, todas ellas con acuerdos de corresponsalía con operadores internacionales de larga distancia. Los servicios, a partir de entonces se concesionaron como sigue:

- El servicio de telefonía pública de pre–pago, está en libre competencia y concesionado a 4 empresas.
- Los servicios de telefonía móvil celular se han concesionado a dos sociedades anónimas (CONECELL S.A., 196.632 usuarios y OTECEL S.A., 186.553 usuarios) que operan dentro de un régimen de competencia regulada.
- Los servicios de valor agregado están concesionados a ANDINATEL S.A., PACIFICTEL S.A. y a otras 17 empresas.
- Los servicios de radiocomunicación móvil troncalizado se concesionaron a siete empresas.
- El servicio de radio búsqueda, concesionado a 43 empresas.
- El servicio portador cuenta con 7 proveedores de los cuales dos son de propiedad del Fondo de Solidaridad y cuenta con 343 usuarios.

Una visión más clara, incluyendo la estimación de la demanda para tales servicios se muestra a continuación (opus citatum # 28).

[1] SENALTEL; opus citatum # 28

ECUADOR
OFERTA DE TELEFONIA FIJA POR EMPRESAS OPERADORAS

EMPRESA	POBLACIÓN	CAPACIDAD INSTALADA	LÍNEAS PRINCIPALES	
			ABONADOS	PREPAGO
ANDINATEL S.A.	5069817	597779	508452	1936
PACIFICTEL S.A.	6921741	676731	538467	1415
ETAPA	419674	79434	72394	195
TOTAL	**12411232**	**1348944**	**1119313**	**3546**

EMPRESA	POBLACIÓN	USO DE CENTRAL	DENSIDAD TELEFÓNICA	
			ABONADOS	PREPAGO
ANDINATEL S.A.	5069817	85,38%	10,03%	0,04%
PACIFICTEL S.A.	6921741	80,37%	7,80%	0,02%
ETAPA	419674	91,38%	17,25%	0,05%
TOTAL	**12411232**	**85,71%**	**9,01%**	**0,03%**

CUADRO 2.1: OFERTA DE TELEFONÍA FIJA EN EL ÁMBITO NACIONAL.

ECUADOR
DEMANDA DE ACCESO A LA TELEFONIA FIJA
LÍNEAS PRINCIPALES

DEMANDA	1999	2000	2002	2004
URBANA RESIDENCIAL	1558300	1613750	1700800	1844350
COMERCIAL E INDUSTRIAL	480250	503300	537450	581150
RURAL	121830	122320	126640	131100
PÜBLICA DE PREVIO PAGO	56296	57720	60376	63184
TOTAL	**2216676**	**2297090**	**2425266**	**2619784**

CUADRO 2.2 :DEMANDA DE ACCESO A LA TELEFONÍA FIJA – LÍNEAS PRINCIPALES.

ECUADOR
DEMANDA DE USO DE TELEFONIA FIJA
MILLONES DE MINUTOS

DEMANDA DE USO	1999	2000	2002	2 004
TRÁFICO LOCAL	13667.6	14442.1	15834.4	17721.8
TRÁFICO DE L.D. REGIONAL	2020.8	2132.9	2343.1	2640.6
TRÁFICO DE L.D. NACIONAL	1517	1603.6	1760.9	1975
TRÁFICO A SISTEMAS CELULARES.	611.3	645.6	708.8	795.5
TRÁFICO INTERNACIONAL SALIENTE	61.9	66.3	74.9	85.6
TOTAL TRÁFICO ORIGINADO	**17878.6**	**18890.5**	**20722.1**	**23218.5**
TRÁFICO INTERNACIONAL ENTRANTE	**247.5**	**231.6**	**262.5**	**300.5**
TOTAL DEMANDA DE USO	**18126.1**	**19122.1**	**20984.6**	**23519**

CUADRO 2.3: DEMANDA DE TELEFONÍA FIJA – MILLONES DE MINUTOS.

ECUADOR DEMANDA DE ACCESO A LA TELEFONÍA MÓVIL CELULAR Y PCS MILES DE USUARIOS				
DEMANDA DE ACCESO	**1999**	**2000**	**2002**	**2 004**
TOTAL PAÍS	383,2	440,7	542,9	633,8

CUADRO 2.4: DEMANDA DE ACCESO A LA TELEFONÍA MÓVIL CELULAR Y PCS.

ECUADOR DEMANDA DE ACCESO A OTROS SERVICIOS MILES DE USUARIOS				
DEMANDA DE ACCESO	**1999**	**2000**	**2002**	**2 004**
RADIO MÓVIL TRONCALIZADA	12	14.8	21.8	30.3
RADIO BÚSQUEDA	24.4	29.5	42.5	61.2
VALOR AGREGADO	35.6	46.3	75.9	114.8
TV POR SUSCRIPCIÓN	96.2	120.3	180.5	249.2

CUADRO 2.5: DEMANDA DE ACCESO A OTROS SERVICIOS – MILES DE USUARIOS.

2.1.2. SITUACIÓN DE LOS SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES EN LA PROVINCIA DE MANABÍ.

En Manabí los servicios de Telecomunicaciones, concretamente el de Telefonía está concesionado a Pacifictel S.A., que en la provincia toma el nombre de Pacifictel Manabí S.A. y divide sus operaciones en cuatro agencias que administran de modo independiente sus zonas de influencia.

Estas agencias son Bahía, Chone, Manta y Portoviejo; siendo la agencia Portoviejo la que sirve al mayor número de poblaciones y por consiguiente más abonados.

El presente estudio se encuentra dentro de los planes de la agencia Portoviejo en lo referente a sustitución y ampliación de redes con nuevas líneas; así pues se prevén 500 nuevas líneas tanto para Río Chico como

para San Plácido, ampliación de 250 líneas para Calderón; además de capacidades similares en otras poblaciones.

PORTOVIEJO
ESTADO DEL SISTEMA TELEFÓNICO

TIPO DE CENTRAL		CENTRAL	CAPACIDAD DE CENTRAL	CAPACIDAD DE PLANTA EXTERNA
A	SIEMENS CPR-30	CRUCITA	300	300
A	SIEMENS CPR-30	JIPIJAPA	2300	4500
A	SIEMENS CPR-30	PAJÁN	300	300
A	SIEMENS CPR-30	PICHINCHA	500	390
A	SIEMENS CPR-30	PUERTO LÓPEZ	150	300
A	SIEMENS CPR-30	ROCAFUERTE	600	1560
A	SIEMENS CPR-30	SANTA ANA	500	700
A	SIEMENS CPR-30	SUCRE	600	350
A	SIEMENS CPR-30	MACHALILLA	150	200
A	ARF 102	PORTOVIEJO I	4000	–
D	ALCATEL E 108	PORTOVIEJO II	10000	21750
D	UR/E10B-PVJ	TAMARINDOS	5000	6600
D	UR/E10B-PVJ	CALDERÓN	232	260
D	MULTIACCESO	ALHAJUELA	24	50
D	MULTIACCESO	AMÉRICA	48	70
D	MULTIACCESO	CASCOL	48	70
D	MULTIACCESO	EL HIGUERÓN	24	50
D	MULTIACCESO	HONORATO VAZQUEZ	56	100
D	MULTIACCESO	PUEBLO NUEVO	32	50
D	MULTIACCESO	RÍO CHICO	56	100
D	MULTIACCESO	SANCÁN	16	30
D	MULTIACCESO	SOSOTE	40	100

PACIFICTEL MANABÍ S.A.

A: CENTRAL ANALLÓGICA
D: CENTRAL DIGITAL

CUADRO 2.6 : ESTADO DEL SISTEMA TELEFÓNICO: AGENCIA PORTOVIEJO.

La agencia Portoviejo, (así como las otras en la provincia) cuenta además de los servicios de telefonía directa (por cable), con servicios a través de sistemas satelitales y sistemas de radio enlaces (analógicos y digitales de acceso múltiple) como se indica brevemente a continuación.

2.1.2.1. Sistema Satelital DOMSAT.

DOMSAT constituye una red satelital doméstica que comunica estaciones terrenas remotas con una estación maestra[2] (en este caso son 28 estaciones remotas comunicadas con Guayaquil), permite servicios digitales de canales de voz (ADPCM 16 Kbps; CELP 6.4 Kbps), de fax y de datos, y utiliza además técnicas de compresión para optimizar el ancho de banda.

MANABÍ SISTEMA DOMSAT GUAYAQUIL						
ESTACIÓN	TIPO	CANALES				TOTAL
		REMOTOS		TRONCALES		
		ADPCM	CELP	ADPCM	CELP	
FLAVIO ALFARO	5	_	_	26	4	30
MACHALILLA	5	_	_	26	4	30
OLMEDO*	2	6	2	_	_	8
AYACUCHO*	1	3	1	_	_	4
CONVENTO	1	3	1	_	_	4
GUALE*	1	3	1	_	_	4
SAN PLÁCIDO*	1	3	1	_	_	4
TOTAL		18	6	52	8	84

*PERTENECE A LA AGENCIA PORTOVIEJO

CUADRO 2.7: SISTEMA DONSAT GUAYAQUIL.

DOMSAT ESTACIONES REMOTAS							
TIPO	ANCHO DE BANDA (Kbps)	CANALES			INTERFAZ		DIÁMETRO DE ANTENA
		TOTAL	ADPCM 16 Kbps	CELP 6.4 Kbps	DE CANAL (HILOS)	FÍSICA (HILOS)	
6	1024	60	56	4	6	2	7.2
5	512	30	26	4	6	2	6.1
4	256	16	13	3	6	2	4.5
2	128	8	6	2		2	4.5
1	64	4	3	1		2	4.5

CUADRO 2.8: TIPOS DE ESTACIONES REMOTAS.

[2] Arias; opus citatum # 4

2.1.2.1.1. Estación Terrena.

- Interconecta nodos remotos con nodos de Estación Maestra a través de enlaces satelitales individuales.
- Agrupa Estaciones Remotas tipo 1 y 2 (4 y 8 canales) dentro de agregados de 2 Mbps.
- Permite la utilización de canales de servicio provenientes de Estaciones Remotas.
- Enruta el tráfico de toda la red hacia la Estación Maestra.

2.1.2.1.2. Estación Maestra.

- Interconecta tráfico de nodos remotos con la central de tránsito nacional o central local.
- Agrupa canales de central, provenientes de las Estaciones Remotas, en tributarios de 2Mbps para accesar a la central de tránsito.
- Permite conversión análoga–digital de los canales de las estaciones con central para accesar a la central de tránsito.
- Permite conversión digital–análoga de los números remotos de las estaciones sin central para accesar a la central local a nivel de abonado.
- Realiza conversión de señalización (satelital) para acceder a la central de tránsito nacional y cancelación de eco de los canales remotos.

2.1.2.1.3. Estaciones Remotas.

- Dotan de servicio telefónico a poblaciones de difícil acceso a través de enlaces satelitales digitales.
- Realiza conversión de señalización (satelital) para acceder a una central analógica local y cancelación de eco de los canales remotos.

- Agrupa y realiza conversión digital–análoga de los canales de central, de la central de tránsito nacional para accesar a una central analógica local.
- Realiza conversión digital–análoga de números de central local, para interconectar abonados remotos.

2.1.2.2. Sistemas Digitales de Acceso Múltiple.

Los sistemas digitales de acceso múltiple se basan en las comunicaciones por radio Punto a Multipunto, empleando multiplexación por división de tiempo en el enlace que va desde la estación base a los terminales y acceso múltiple por división de tiempo en el enlace en sentido inverso, es decir, desde los terminales hacia la base[3].

El sistema emplea (generalmente) modulación QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) previo al envío de la información a través de una señal de microondas; permite obtener alta calidad de detección, alta eficiencia en el uso del ancho de banda y admite el uso de un amplificador de potencia saturado para maximizar la eficiencia en RF (Radio Frecuencia). Usa además modulación coherente con adquisición rápida para dar la más alta calidad de detección y mínimo deslizamiento en el tiempo de sincronización[4].

Estos sistemas se usan generalmente para la transmisión de voz y datos desde una estación central a pequeños grupos de abonados de áreas rurales o suburbanas. A través del sistema puede ofrecerse prácticamente los mismos servicios que con los métodos tradicionales aplicados a redes urbanas digitales (alta calidad de voz, alta velocidad para fax, transmisión de datos y compatibilidad con ISDN)[5].

---

[3] Alcatel; opus citatum # 1
[4] Alcatel; opus citatum # 1
[5] *Verdugo; opus citatum* # 36

El sistema establece enlaces bidireccionales entre una estación central (base) y un conjunto de unidades terminales de abonado, distribuidas dentro del área. Cada una de estas unidades terminales da servicio a abonados telefónicos y de datos, se realiza una concentración con el fin de compartir el total de canales disponibles en el sistema. La estación central se enlaza por medio de señales de radio con todas las unidades terminales y realiza la conexión a la central de conmutación[6].

2.1.2.2.1. Diseño de Sistemas Digitales de Acceso Múltiple: Criterios.

Debido a su popularidad para proyectos de telefonía rural y a su relativa accesibilidad económica, estos sistemas constituyen una de las mejores opciones al momento de pensar en servicios de telecomunicaciones para comunidades alejadas de los centros urbanos. Por ello, para obtener el mayor provecho de los mismos, es indispensable seguir los siguientes lineamientos.

- Escoger un centro de conexión, es decir, una ciudad o localidad cercana que posea central telefónica a la cual enlazar los nuevos números. Este centro de conexión debe ser el más cercano a la población o el que ofrezca las condiciones más favorables.
- Agrupar las poblaciones de tal forma que se optimice el número de repetidores, y se aproveche al máximo la cobertura de cada uno.
- Dotar a cada estación terminal el número de abonados necesarios.
- Elaborar los perfiles topográficos y realizar los cálculos de propagación.
- Escoger los equipos adecuados.

[6] Benavides; opus citatum # 5

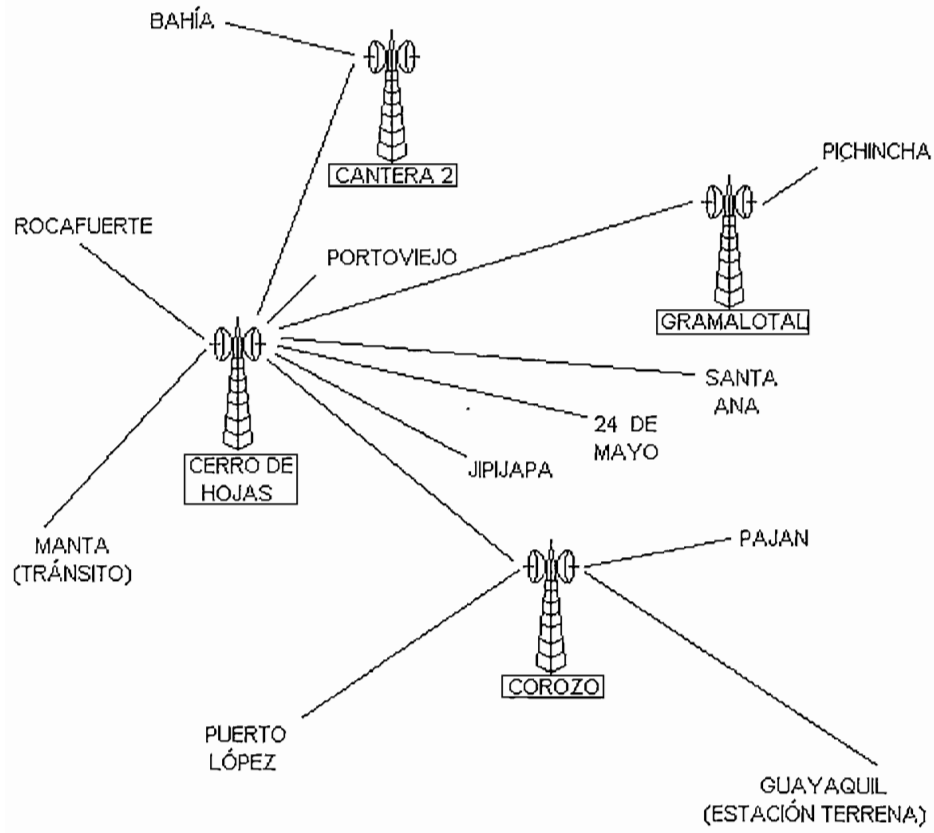


FIGURA 2.1: SISTEMA DE ENLACE DE LA AGENCIA PORTOVIEJO.

2.2. CÁLCULOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LA RED.

2.2.1. DEFINICIONES PRELIMINARES[7].

2.2.1.1. Pronóstico.

Un pronóstico es una predicción del futuro y es de carácter pasivo desde el punto de vista de quien toma la decisión.

Los pronósticos normalmente son la base para la planificación de redes y centrales. Con estos fines, se necesitan dos tipos de pronóstico.

2.2.1.1.1. Pronóstico Global.

Es necesario para pronosticar el tráfico futuro (dimensionamiento de la red de empalme). El pronóstico global es una descripción numérica del desarrollo de los abonados dentro de un país, ciudad o área de central, sin importar la ubicación exacta de cada abonado.

2.2.1.1.2. Pronóstico Detallado.

Éste considera ubicaciones exactas como principal objetivo. Con éste se planifica la ubicación de centrales locales. El pronóstico de tráfico debe basarse en el número de líneas principales, de ser posible, divididas en categorías con respecto a la carga de tráfico.

Como el pronóstico de tráfico se basa en el desarrollo telefónico, se vuelve importante conocer el tipo de medición empleada para determinar dicho desarrollo.

---

[7] Leijon; opus citatum # 23

2.2.1.2. Plan.

Un plan es una propuesta de acción futura. El plan puede contener una evaluación de líneas alternativas de acción y se dirige a las actividades sobre las cuales hay control.

Un planificador debe estar preparado para presentar los datos de diferentes maneras, dependiendo de las diferentes necesidades de planificación, como por ejemplo:

2.2.1.2.1. Distribución de Abonados en un Área de Telecomunicaciones.

- Ubicación exacta de los abonados individuales.
- Número de abonados en cada cuadrícula de un mapa de cuadrícula.
- Número de abonados por área de tráfico en el área de telecomunicación.
- Número de abonados por clase de abonado en cada área de tráfico.

2.2.1.2.2. Tráfico.

- Tráfico de origen y de destino por abonado.
- Tráfico de origen y de destino por abonado, en cada área de tráfico.
- Tráfico de origen y de destino por abonado, por clase de abonado.
- Flujos de tráfico entre cada dos áreas.

2.2.1.2.3. Periodos de Planificación.

El período para el cual se requieren los pronósticos depende de la política específica sobre el tema en consideración, requiriéndose de pronósticos de demanda para tomar decisiones en las áreas:

ITU ALCANCE DEL PRONÓSTICO	
PARÁMETRO EN CONSIDERACIÓN	**TIEMPO (AÑOS)**
REQUERIMIENTO DE APARATOS PARA LOS CLIENTES	1 a 2
APROVISIONAMIENTO DE EQUIPOS DE CONMUTACIÓN CENTRAL	3 a 4
PLANIFICACIÓN DE LÍNEAS LOCALES	6 a 10
DUCTOS	10 a 15
PLANIFICACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS	10 a 20
ADQUISICIÓN DE TERRENOS Y POLÍTICAS DE DISPOSICIÓN	hasta 50

CUADRO 2.9: TIEMPO DE ALCANCE DEL PRONÓSTICO.

2.2.1.3. Programa.

Un programa es una descripción de medidas, usualmente derivadas de los planes sobre los que se ha decidido.

2.2.1.4. Área Rural[8].

La ITU define como rural a un área en la cual están esparcidos pequeños grupos de potenciales usuarios de telecomunicaciones y que tienen al menos una de las siguientes características:

- Indisponibilidad de fuentes de energía.
- Carencia de alternativas técnicas.
- Topografía adversa.
- Bajo nivel de actividades económicas.
- Clima severo.

[8] Villavicencio; opus citatum # 38

Las áreas rurales generalmente están lejos de centrales telefónicas, y los posibles suscriptores están, a menudo, separados por grandes distancias o sobre terrenos de difícil acceso. Estas condiciones hacen imperativo el estudio de alternativas viables que permitan desarrollar sistemas que garanticen facilidad de instalación y mantenimiento, al mismo tiempo que involucren el menor despliegue de infraestructura. Por este motivo la mayoría de las veces se considera como primera o única opción, las tecnologías de acceso vía radio (el tendido de cables es costoso e involucra más tiempo de instalación, volviéndose muy vulnerables al vandalismo)[9].

2.2.2. OPCIONES PARA LA PREDICCIÓN DEL DESARROLLO TELEFÓNICO.

El desarrollo de las telecomunicaciones muestra la tendencia que sigue la demanda de servicios. Para esta finalidad existen cuatro métodos[10] que son el resultado de estudios realizados en otros países pero aplicados para áreas urbanas, ellos son:

2.2.2.1. Tendencia.

Se fundamenta en el conocimiento de los datos históricos de la variación del número de abonados y de la demanda telefónica total en la población; por lo que el porcentaje anual de crecimiento telefónico (tasa) será en el futuro aproximadamente igual al producido en el pasado.

2.2.2.2. Comparación.

Se basa en el conocimiento del desarrollo telefónico de poblaciones de características geo–económicas similares a la considerada, es decir,

[9] Reinoso; opus citatum # 27
[10] Leijon; opus citatum # 22

aplicar a la población la densidad telefónica que otra similar tuvo hace X años, y darle para el futuro la densidad actual de la considerada.

2.2.2.3. Matemático.

Se fundamenta en la adopción de hipótesis de desarrollo, previa e independientemente elaborados. Existen diferentes fórmulas para calcular la densidad telefónica basándose: en el valor de saturación del servicio, en la probabilidad de futuras instalaciones telefónicas, y de que su densidad crezca en función del número de abonados existentes.

Lineal	$yL := a + b \cdot t$	ec. 2.1
Parabólica	$yP := a + b \cdot t + c \cdot t^2$	*ec. 2.2*
Exponencial	$yE := a \cdot e^{b \cdot t}$	ec. 2.3
Gompertz	$yG := e^{a - b \cdot r^t}$	ec. 2.4

- **yi**, relación entre densidad y densidad máxima.
- **a**, **b**, **c**, **r**, constantes que se obtienen de una curva de tendencia temporal.
- **t**, variable de tiempo.

2.2.2.4. Económico.

Se basa en la correlación de funciones y en la variación del número de habitantes, variación del ingreso *per cápita*, ingresos económicos por grupos de población, consumo de combustible, etc.

Conviene recordar, que los métodos a mencionados, aun cuando se basan en análisis matemáticos o en comparaciones con otras regiones, sirven solo para evaluar las magnitudes de las demandas que han de atenderse.

2.2.3. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA TELEFÓNICA (PRONÓSTICO DE ABONADO).

El estudio de la demanda es el paso previo al diseño del sistema de telecomunicaciones, ya que dá las pautas en lo referente a capacidad del equipo, número de sistemas a implementar, etc; pero antes de iniciar dicho estudio es importante reconocer lo que es la **población concentrada** y la **población dispersa**, para tener una idea más clara de la situación de la zona en estudio y poder tomar decisiones de diseño de los sistemas de telecomunicaciones de forma adecuada[11].

- Se denominará **Población Concentrada** a aquella que se ubica en la cabecera cantonal o parroquial; sin considerar alrededores.
- Se denominará **Población Dispersa** a la población que habita en los alrededores del grupo principal de población, es decir, diseminada.

A fin de determinar los requerimientos mínimos de líneas telefónicas, es necesario estimar la demanda y el tráfico telefónico de cada una de las localidades, tal estimación puede realizarse a diferentes niveles (a nivel total, por provincias, por cantones y por parroquias).

2.2.4. MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE LÍNEAS TELEFÓNICAS (NÚMERO DE ABONADOS).

Históricamente se ha observado que existe una fuerte correlación entre el producto interno bruto (PIB) de una nación y la disponibilidad de líneas telefónicas para su población.

Para el análisis de la demanda telefónica se ha tomado en cuenta ciertos métodos de pronostico que pueden servir de referencia o para comparación; así pues:

[11] Velecela; opus citatum # 35

- Métodos de pronóstico de abonados rurales vigentes en la ITU.
- Necesidad de servicio por parte de la población (que debería ser la aproximación más real).
- Ecuaciones para el cálculo de la demanda empleada por la empresa de telecomunicaciones y modificada en base a la experiencia rural.

Para cualquiera de los casos tomados en cuenta en el presente pronostico, se analiza el mismo al último nivel (de poblados).

2.2.4.1. Método Normativo.

Es un método presentado por el ITU para zonas rurales que clasifica a las comunidades, dependiendo del número de viviendas, y sobre la importancia de la comunidad con respecto a la industria, comercio y posición administrativa, entonces se asigna a cada grupo un cierto valor de densidad telefónica.

Éste modelo requiere que se determine un límite de saturación para la penetración (densidad) telefónica. Por tanto, se ha tratado de asociar un nivel de densidad dado con una categoría de tráfico dada.

Se ha elaborado la siguiente tabla que muestra lo que se espera en el futuro (o lo que fue la política en ese momento) y los valores estándares asumidos para la situación actual, la de tasas de llamadas al presente y las tasas de llamadas que corresponderían a los niveles de "densidad de saturación". Los valores actuales se deben usar como una guía, ya que si no coinciden con los predichos, es posible aplicar un factor de ajuste a criterio personal.

METODO NORMATIVO - ITU PARÁMETROS POR CATEGORÍA DE TRÁFICO					
CATEGORÍA DE TRÁFICO	DENSIDAD ACTUAL	TRÁFICO DE ORIGEN	TASA DE LLAMADAS TOTAL	TASA DE LLAMADAS (SATURACIÓN)	DENSIDAD MÁXIMA (SATURACIÓN)
I	0,251	0,478	0,113	0,107	0,530
II	0,155	0,495	0,097	0,079	0,428
III	0,161	0,511	0,090	0,074	0,402
IV	0,122	0,526	0,076	0,059	0,330
V	0,104	0,582	0,055	0,041	0,274

CUADRO 2.10: PARÁMETROS POR CATEGORÍAS DE TRÁFICO.

NOTA 1: TC = 0 NO ESTÁ INCLUIDO, PERO SE ESTIMA EN: DMAX ALREDEDOR DE 0.61.
NOTA 2: SE SUPONE QUE LAS TASAS DE LLAMADAS BAJAN CUANDO LAS DENSIDADES SE ACERQUEL AL PUNTO DE SATURACIÓN

2.2.4.1.1. Categorías de Tráfico.

Generalmente se acepta que los pequeños poblados rurales tales como pequeños pueblos o cabeceras parroquiales, se acomodan razonablemente bien al concepto de categorías de tráfico. La idea es que diferentes lugares en una categoría dada de tráfico han alcanzado un punto de desarrollo equivalente y que se espera lo mismo en el futuro para cada uno de los diferentes lugares. Esto significa que se espera que las tasas de llamadas presentes y futuras serán las mismas en los diferentes lugares y que el nivel de densidad telefónica máxima en el futuro también será el mismo (aunque esto no sea necesariamente correcto).

Las premisas para esta categorización son las siguientes:

- Las categorías para los diferentes lugares dependen de la clase de actividad económica de las poblaciones en las áreas respectivas. Los pueblos con industria desarrollada pertenecen a categorías más altas (=números menores).

- Las seis categorías introducidas están conectadas, en gran medida, al desarrollo esperado de las telecomunicaciones.
- La densidad telefónica en el centro del distrito, por ejemplo, puede ser de unas 25 líneas por cada 100 habitantes, mientras que el valor correspondiente para las aldeas puede ser alrededor de 10 líneas por cada100 habitantes.
- La clasificación adoptada se refiere al desarrollo esperado tanto de la densidad de abonados como del promedio de llamadas[12].

Y la clasificación es:

- Categoría I: centro administrativo (ciudad propiamente dicha).
- Categoría II: ciudad (pueblo grande).
- Categoría III: pueblo provincial.
- Categoría IV: comunidad industrial insignificante.
- Categoría V: comunidad rural insignificante.

Según el método normativo, los valores de densidad telefónica indican demandas que concuerdan con los valores calculados a nivel de cabecera parroquial y resto de parroquia.

Es importante dejar sentado que el estudio de demanda de servicios abarca solo la telefonía, ya que tratándose de zonas rurales la situación socio–económica de sus habitantes es inferior a la de sus similares urbanos y por tanto, se descartan servicios adicionales.

2.2.4.2. Método del Modelo Logístico Exponencial.

El modelo logístico exponencial supone que el desarrollo sigue una curva, la cual primero acelera, luego pasa un punto de inflexión y finalmente disminuye y se acerca a una asíntota que es el nivel de

[12] Leijon; opus citatum # 22

saturación o densidad máxima. Este nivel de saturación de la demanda telefónica depende de factores económicos y sociales, entre otros[13].

La función logística tiene propiedades de valor; combina el uso de datos históricos con un nivel de saturación superpuesto, estimado separadamente, y puede, por tanto, trabajar bien aun con grupos limitados de datos; también puede utilizar más extensivamente grupos de datos históricos a través del ajuste de la curva estadística. Sin embargo existe una limitación, ya que una curva logística siempre aumentará o disminuirá monótonamente hacia el límite de saturación.

$$Yac := \frac{Nac - Lac}{Pac \cdot Dmax} \qquad \text{ec. 2.5}$$

$$M := \frac{-\ln(2)}{\ln(Yac)} \qquad \text{ec. 2.6}$$

$$Yan := \frac{Nan - Lan}{Pan \cdot Dmax} \qquad \text{ec. 2.7}$$

$$C := 0.2 \cdot \ln\left(Yan^{-M} - 1\right) \qquad \text{ec. 2.8}$$

$$Y := \frac{1}{\left[1 + e^{-C \cdot (T - To)}\right]^{\frac{1}{M}}} \qquad \text{ec. 2.9}$$

$$D := Y \cdot Dmax \qquad \text{ec. 2.10}$$

- **Yi**, relación entre densidad y densidad máxima.
- **Ni**, número de abonados conectados (actuales o anteriores).
- **Lí**, número de abonados en lista de espera (actuales o anteriores).
- **C** y **M**, curvas constantes (pronóstico de densidad).
- **Y**, relación entre densidad (proyectada) y densidad máxima.
- **T** y **To**, tiempos final e inicial de pronóstico.
- **D**, densidad proyectada.
- **Dmax**, densidad máxima (saturación).

[13] Leijon; opus citatum # 23

2.2.4.3. Método de los Factores.

Los procedimientos utilizados en el cálculo de la demanda en áreas rurales difieren de los procedimientos para redes locales, debido a obvias diferencias socio–económicas de sus habitantes y topografía; pero son siempre una fiel representación del PIB de los mismos.

Un modelo modificado en base a experiencias en el sector rural, considera el número de líneas telefónicas como una función de la población, viviendas, factor PEA (población económicamente activa) y otras de importancia que se detallan a continuación[14].

2.2.4.3.1. Demanda Potencial.

Conformada por la suma de la demanda potencial residencial más la demanda potencial comercial.

$$DPR := NVu \cdot fiu + NVr \cdot fir \qquad \text{ec. 2.11}$$

- **DPR**, demanda potencial residencial.
- **NVi**, número de viviendas (urbana o rural).
- **fiu y fir**, factor de posibilidades adquisitivas (ingreso promedio del hogar – urbana o rural).

$$DPC := \frac{PEAu}{feu} + \frac{PEAr}{fer} \qquad \text{ec. 2.12}$$

- **DPC**, demanda potencial comercial.
- **PEAi**, población económicamente activa (urbana o rural).
- **feu y fer**, factor de situación económica (urbana o rural).

La demanda potencial total se debe a la demanda potencial residencial (incluye categoría popular) más la demanda potencial

[14] Cáceres; opus citatum # 6

comercial. Las mismas que consideran áreas urbanas y rurales (implícitas en las ecuaciones se encuentran las características socioeconómicas de cada parroquia)

$$F1 := \frac{CSb + 2 \cdot CSt + 2 \cdot FPEA}{5} \qquad \text{ec. 2.13}$$

$$Lp := \frac{CSb \cdot P}{F2} + F1 \cdot NV \cdot Fv \qquad \text{ec. 2.14}$$

- **F1**, factor de ingresos por región.
- **CSb**, cobertura de servicios básicos.
- **CSt**, cobertura de servicios de telecomunicaciones.
- **FPEA**, factor de población económicamente activa caracterizado por grupos ocupacionales.
- **Lp**, número de líneas principales.
- **P**, población.
- **F2**, factor de habitantes (de cada 100) socio–económicamente calificados que hacen uso del servicio telefónico.
- **NV**, número de viviendas.
- **Fv**, factor de vivienda.
  - 1 si mas del 65 % de las viviendas son de cemento
  - 0.5 si más del 65 % de las viviendas no son de cemento.

2.2.4.4. Método del Tipo de Edificación[15].

Éste método es válido para un país en desarrollo con una densidad de entre cuatro a ocho (4 – 8) abonados por cada 100 habitantes; pues evalúa la cantidad de abonados según el tipo y magnitud de la construcción, actividad para la que se utiliza; considera el número de edificaciones por hectárea en el poblado y el tipo de actividad que se desarrolla mayoritariamente en dichas zonas.

[15] Leijon; opus citatum # 22

ITU

NÚMERO DE ABONADOS POR EDIFICACIÓN

TIPO DE EDIFICACIÓN		ABONADOS
EDIFICIOS OFICIALES, OFICINAS, BANCOS, ASEGURADORAS, CLUBES, HOSPITALES, GRANDES: HOTELES, RESTAURANTES O ALMACENES		INVESTIGAR
TIENDAS DE ABARROTES, CASAS DE HOSPEDAJE, PEQUEÑOS: HOTELES O RESTAURANTES		1 a 2
FARMACIAS, MÉDICOS, ABOGADOS, etc.		1 a 1.5
TIENDAS		0.5 a 1
GRANDES FÁBRICAS		INVESTIGAR
PEQUEÑAS: FÁBRICAS O TALLERES		0.5 a 1.5
CINES, GASOLINERAS		1 a 2
CASAS PRIVADAS	DE CLASE ALTA	1
	DE CLASE BAJA	0.3 a 0.5
VIVIENDAS UNIFAMILIARES		0.3/apartamento
BLOQUES DE APARTAMENTOS	DE CLASE ALTA	0.5 a 1/apartamento
	DE CLASE BAJA	0.2/apartamento

CUADRO 2.11: ABONADOS POR TIPO DE EDIFICACIÓN,

ITU

ABONADOS POR HECTÁREA SEGÚN EL TIPO DE EDIFICACIÓN

TIPO DE ÁREA EDIFICADA	ABONADOS
BARRIOS DE CLASE BAJA	0.25
PARQUES, JARDINES, etc.	0.5
CASAS PRIVADAS ANTIGUAS CON JARDINES GRANDES	1
DISTRITOS RESIDENCIALES DE TRABAJADORES POBRES	1.5
DISTRITOS RESIDENCIALES DE TRABAJADORES MÁS ACOMODADOS	2
CASAS PRIVADAS MODERNAS CON JARDINES GRANDES	3
DISTRITOS RESIDENCIALES DE TRABAJADORES MODERNOS	4
ÁREAS INDUSTRIALES	5
CASAS PRIVADAS MODERNAS CON JARDINES PEQUEÑOS	7
CASAS DE TIPO ANTIGUO NO DISPERSAS	8
ÁREA CON VIVIENDAS DE CLASE TRABAJADORA Y TALLERES PEQUEÑOS	10
CASAS MODERNAS NO DISPERSAS	13
RESIDENCIAS DE 1 A 2 PISOS NO DISPERSAS Y TIENDAS PEQUEÑAS	18
BLOQUES DE APARTAMENTOS DE HASTA 4 PLANTAS	25
BLOQUES DE APARTAMENTOS Y TIENDAS DE HASTA 4 PLANTAS	28
CENTROS COMERCIALES EN ÁREAS RESIDENCIALES	30
BLOQUES DE APARTAMENTOS DE MÁS DE 4 PLANTAS	40
EDIFICIOS DE OFICINAS DE HASTA 3 PLANTAS	80
EDIFICIOS DE OFICINAS DE 4 A 6 PLANTAS	150
EDIFICIOS DE OFICINAS DE MÁS DE 6 PLANTAS	250

CUADRO 2.12: ABONADOS POR HECTÁREA CONSTRUÍDA.

2.2.5. TRÁFICO TELEFÓNICO.

El tráfico telefónico es en esencia el tiempo de ocupación que de los equipos telefónicos realiza el usuario para lograr comunicarse, por ello, el tráfico no lo produce la empresa telefónica, sino que es atributo del usuario[16].

Se define como intensidad de tráfico telefónico al flujo de ocupaciones simultáneas en un grupo de órganos durante un periodo de tiempo dado.

El cálculo del tráfico telefónico permite determinar el número de canales que requiere una localidad para satisfacer en forma adecuada un valor de demanda existente.

$$Lp := \frac{FPEA \cdot P}{F2} + F1 \cdot NV \qquad \text{ec. 2.15}$$

$$Ts := (1.31 - 0.0099 \cdot \ln(Lp)) \cdot To \qquad \text{ec. 2.16}$$

$$Te := (0.47 + 0.0714 \cdot \ln(Lp)) \cdot Ts \qquad \text{ec. 2.17}$$

- **Ts**, trafico saliente.
- **Lp**, líneas principales.
- **To**, tráfico de origen.
- **Te**, tráfico entrante.

Éste cálculo se lo puede realizar como complemento de cualquiera de los casos anteriores para determinar la cantidad de tráfico por líneas principales (abonados).

[16] Villavicencio; opus citatum # 38

2.2.5.1. Cálculo del Número de Circuitos.

Sobre la base de los resultados de tráfico telefónico saliente y entrante se determina el número de circuitos que se requieren; para este fin, se utilizan las tablas normalizadas existentes, llamada "Tablas de Erlang", las cuales permiten obtener el número de circuitos sobre la base de los datos de tráfico telefónico y de la probabilidad de pérdida que se desea.

En el caso de una red rural, la ITU recomienda un grado de servicio del 5% (*Grade of Service* – GOS), esto es, que de 100 llamadas realizadas se pierden 5.

2.3. RESULTADOS DEL CASO EN ESTUDIO.

2.3.1. DESCRIPCIÓN DE LOS POBLADOS.

En un sentido amplio se puede decir que los tres pueblos a los que se pretende servir (de modo general, todo Manabí), poseen las mismas características poblacionales y socio–económicas, así como también similar división por actividades económicas.

Debido a las características topográficas de la zona (predominantemente plana y bien irrigada), la población se dedica en su mayoría a las actividades puramente agrícolas (Río Chico y Calderón), el segundo lugar lo ocupa la actividad ganadera (en especial San Plácido), luego de lo cual viene la actividad comercial a nivel interno (principalmente Calderón). A todo esto debe decirse que según la importancia económica de la población, éstas pueden ordenarse como sigue: Calderón, Río Chico y San Plácido (esto se evidencia en su población).

En cuanto a la ocupación de la vivienda para actividades económicas, ésta es mínima (ligeramente inferior al 5%), siendo además el cemento, característico tan solo en la tercera parte (aproximadamente 30%) del total de construcciones. Se sabe también, que en su mayoría la casas son de una planta, máximo dos, con no más de dos familias por casa.

El número de habitantes por vivienda es similar en todo el cantón Portoviejo (entre 5.53 y 6.16). De igual manera se considera que la concentración de viviendas por hectárea tiene un rango de variación por cuanto debe diferenciarse entre las afueras del pueblo (de 4 a 6 casa/ha) y el centro (de 16 a 24 casas/ha).

Estas últimas consideraciones son importantes, por *cuanto los* datos que se tienen corresponden al V Censo de Población y IV de Vivienda

realizado en 1990; por ello se toma en cuenta la proyección de la población en cada parroquia a un año X y con el número promedio de habitantes por vivienda en 1990 se determina el número de viviendas en ese año. Se debe suponer también que el porcentaje de edificaciones de cemento aumentado (tal vez entre un 5 y 10 % cada 10 años), que el porcentaje de utilización de la vivienda en actividades económicas aumentado (quizá en un 2% en el mismo periodo). Estos valores serán aplicables de modo general a todas las poblaciones del cantón, que según la clasificación de la ITU corresponden a la Categoría V (comunidad rural insignificante – población concentrada < 5000 habitantes).

A continuación se incluyen ciertos datos que resultan relevantes para poner en práctica los pronósticos.

PORTOVIEJO Y MANABÍ
ESTIMACIÓN DE DEMANDA Y DENSIDAD TELEFÓNICA

AÑO	PORTOVIEJO					RESTO DE MANABÍ				
	DR	DC	DT	P	d	DR	DC	DT	P	d
2000	4186	10683	14869	180641	8	11509	44282	55791	918561	6
2001	5022	11024	16046	185470	9	14204	45693	59897	930506	6
2002	7117	11373	18490	190429	10	22662	47139	69801	942606	7
2003	8745	11730	20475	195520	10	28891	48621	77512	954863	8
2004	10245	12097	22342	200747	11	34402	50140	84542	967280	9
2005	11129	12472	23601	206113	11	37205	51697	88902	979858	9
2006	12061	12857	24918	211624	12	40110	53293	93403	992600	9
2007	13044	13252	26296	217281	12	43120	54929	98049	1005507	10
2008	14082	13659	27741	223090	12	46238	56615	102853	1018582	10
2009	15177	14078	29255	229054	13	49470	58353	107823	1031828	10

DIRECCIÓN DE PLANIFICACIÓN DE PACIFICTEL

DR: DEMANDA RESIDENCIAL
DC: DEMANDA COMERCIAL
DT: DEMANDA TOTAL
P: POBLACIÓN
d: DENSIDAD

CUADRO 2.13: ESTIMACIÓN DELA DEMANDA Y DENSIDAD TELEFÓNICA.

PORTOVIEJO

POBLACIÓN AL AÑO 1990 Y PROYECCIONES HASTA EL AÑO 2015

PARROQUIAS: CABECERAS Y RESTO	POBLACIÓN Y TASA DE CRECIMIENTO POBLACIONAL										
	1990	t	1995	t	2000	t	2005	t	2010	t	2015
TOTAL **PORTOVIEJO**	210932	2,162	235008	1,969	259319	1,785	283529	1,610	307300	1,446	330341
URBANA	138751	2,796	159566	2,481	180642	2,198	201629	1,944	222207	1,715	242096
PERIFERIA	21421	0,883	22388	0,840	23348	0,792	24291	0,739	25205	0,680	26076
PARROQUIAS RURALES	50760	0,884	53054	0,840	55329	0,808	57609	0,776	59888	0,748	62169
TOTAL **CALDERÓN**	12590	0,884	13159	0,841	13724	0,808	14290	0,777	14856	0,748	15422
CABECERA PARROQUIAL	3003	0,886	3139	0,847	3274	0,812	3409	0,781	3544	0,753	3679
RESTO DE LA PARROQUIA	9587	0,882	10019	0,843	10450	0,808	10881	0,777	11312	0,749	11743
TOTAL **ALHAJUELA**	7334	0,885	7666	0,838	7994	0,804	8322	0,771	8649	0,742	8976
CABECERA PARROQUIAL	1547	0,887	1617	0,847	1686	0,810	1755	0,777	1824	0,748	1893
RESTO DE LA PARROQUIA	5787	0,883	6048	0,843	6308	0,806	6567	0,773	6825	0,744	7083
TOTAL **CRUCITA**	8627	0,884	9017	0,843	9405	0,809	9793	0,777	10181	0,748	10569
CABECERA PARROQUIAL	1862	0,886	1946	0,847	2030	0,812	2114	0,781	2198	0,753	2282
RESTO DE LA PARROQUIA	6766	0,882	7071	0,843	7375	0,808	7679	0,777	7983	0,749	8287
TOTAL **PUEBLO NUEVO**	2855	0,884	2984	0,827	3110	0,800	3237	0,770	3364	0,741	3491
CABECERA PARROQUIAL	547	0,886	571	0,847	595	0,812	619	0,781	643	0,753	667
RESTO DE LA PARROQUIA	2308	0,882	2412	0,843	2515	0,808	2618	0,777	2721	0,749	2824
TOTAL **RÍO CHICO**	9957	0,882	10406	0,839	10852	0,813	11302	0,784	11754	0,758	12208
CABECERA PARROQUIAL	1892	0,884	1977	0,849	2062	0,817	2148	0,789	2234	0,763	2320
RESTO DE LA PARROQUIA	8065	0,880	8427	0,845	8790	0,813	9154	0,785	9520	0,759	9888
TOTAL **SAN PLÁCIDO**	9397	0,885	9822	0,841	10244	0,806	10665	0,771	11084	0,742	11503
CABECERA PARROQUIAL	1533	0,887	1602	0,847	1671	0,810	1740	0,777	1808	0,748	1876
RESTO DE LA PARROQUIA	7865	0,883	8220	0,843	8573	0,806	8925	0,773	9276	0,744	9627

FUENTE: INEC, V CENSO DE POBLACIÓN Y IV DE VIVIENDA 1990

t: TASA DE CRECIMIENTO

CUADRO 2.14: PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN HASTA EL AÑO 2015.

Si se considera que el valor de densidad telefónica en el Resto de Manabí (d = 10 teléfonos/100 habitantes al 2009) refleja la densidad en los pueblos bajo estudio y además se toma en cuenta la proyección de la población al año 2010, se tiene para ese año:

- Calderón: 14856 habitantes, entonces 1486 aparatos telefónicos.
- Río Chico: 11754 habitantes, entonces 1175 aparatos telefónicos.
- San Plácido: 11084 habitantes, entonces 1108 aparatos telefónicos.

Pero, como tan solo se busca dar servicio a la población concentrada ya que el resto se encuentra muy dispersa, los resultados son:

- Calderón: 3544 habitantes, entonces **355 aparatos telefónicos.**
- Río Chico: 2234 habitantes, entonces **224 aparatos telefónicos.**
- San Plácido: 1808 habitantes, entonces **181 aparatos telefónicos.**

Estos valores constituyen una aproximación de lo que espera Pacifictel S.A. al año 2010 para la zona en cuestión.

Por otro lado, atendiendo al método del tipo de edificación se debe seguir aproximadamente el siguiente procedimiento. Si en 1990 en las cabeceras parroquiales se contaba con:

- Calderón: 3003 habitantes y 517 viviendas, entonces 5.8 hab/viv.
- Río Chico: 1892 habitantes y 342 viviendas, entonces 5.5 hab/viv.
- San Plácido: 1533 habitantes y 254 viviendas, entonces 6.0 hab/viv.

Y pensando que el número de personas por vivienda no cambiará en el futuro, se tendrá pues en el 2010:

- Calderón: 3544 habitantes y 5.8 hab/viv, entonces **610 viviendas**.
- Río Chico: 2234 habitantes y 5.5 hab/viv entonces **404 viviendas**.
- San Plácido: 1808 habitantes y 6.0 hab/viv entonces **299 viviendas**.

Siendo que en los tres pueblos la utilización de la vivienda para actividades económicas sería al 2010 no superior al 10%, que al mismo año las construcciones de cemento (dos o tres plantas) se acerquen al 50%, concentradas principalmente en la zona céntrica y finalmente considerando un promedio de 15 viviendas por hectárea (4 cuadras) para esta zona (10 en las afueras) se puede realizar el siguiente análisis aproximado.

Entonces, por lo antes dicho, se divide el total de viviendas como sigue:

- 90% del total de edificaciones son exclusivamente viviendas.
- 50% del total de edificaciones son de cemento.
- 50% del total de edificaciones son viviendas en las afueras.
- 40% del total de edificaciones son viviendas céntricas de cemento.
- 10% del total de edificaciones son oficinas, negocios o similares y son de cemento.
- 6% del total de edificaciones son oficinas, negocios o similares céntricos de cemento.
- 4% del total de edificaciones son oficinas, negocios o similares en las afueras y son de cemento.

Entonces, según el cuadro 2.11:

- Calderón: con 610 edificaciones al año 2010 debería tener **335.5 abonados**.
  - 305 edificaciones (50%) son viviendas unifamiliares (0.3), es decir, 91.5 abonados.
  - 244 edificaciones (40%) son casas privadas de clase baja (0.3 a 0.5), es decir, máximo 122 abonados.

- 61 edificaciones (10%) son oficinas, negocios o similares (0.5 a 2), es decir, máximo 122 abonados.

➢ Río Chico: con 404 edificaciones al año 2010 debería tener **222.2 abonados**.

- 202 edificaciones (50%) son viviendas unifamiliares (0.3), es decir, 60.6 abonados.
- 161.6 edificaciones (40%) son casas privadas de clase baja (0.3 a 0.5), es decir, máximo 80.8 abonados.
- 40.4 edificaciones (10%), son oficinas, negocios o similares, (0.5 a 2), es decir, máximo 80.8 abonados.

➢ San Plácido: con 299 edificaciones al año 2010 debería tener **164.5 abonados**.

- 149.5 edificaciones (50%) son viviendas unifamiliares (0.3), es decir, 44.9 abonados.
- 119.6 edificaciones (40%) son casas privadas de clase baja (0.3 a 0.5), es decir, máximo 59.8 abonados.
- 29.9 edificaciones (10%), son oficinas, negocios o similares, (0.5 a 2), es decir, máximo 59.8 abonados.

Si por el contrario atendemos a las especificaciones del cuadro 2.12:

➢ Calderón: con 610 edificaciones al año 2010 debería tener **351.8 abonados**.

- 305 edificaciones (50%) se agrupan en un número de 10 por hectárea (30.5 edif/ha) y se clasifican como casas privadas modernas (3), es decir, 91.5 abonados.
- 244 edificaciones (40%) se agrupan en un número de 15 por hectárea (16.3 edif/ha) y se clasifican como casas modernas no dispersas (13), es decir, 211.5 abonados.

- 36.6 edificaciones (6%) se agrupan en un número de 15 por hectárea (2.4 edif/ha) y se clasifican como áreas de clase trabajadora y talleres pequeños (10), es decir, 24 abonados.
- 24.4 edificaciones (4%) se agrupan en un número de 10 por hectárea (2.4 edif/ha) y se clasifican como áreas de clase trabajadora y talleres pequeños (10), es decir, 24 abonados.

➢ Río Chico: con 404 edificaciones al año 2010 debería tener entre **232.9 abonados**.

- 202 edificaciones (50%) se agrupan en un número de 10 por hectárea (20.2 edif/ha) y se clasifican como casas privadas modernas (3), es decir, 60.6 abonados.
- 161.6 edificaciones (40%) se agrupan en un número de 15 por hectárea (10.8 edif/ha) y se clasifican como casas modernas no dispersas (13), es decir, 140 abonados.
- 24.2 edificaciones (6%) se agrupan en un número de 15 por hectárea (1.6 edif/ha) y se clasifican como áreas de clase trabajadora y talleres pequeños (10), es decir, 16 abonados.
- 16.2 edificaciones (4%) se agrupan en un número de 10 por hectárea (1.6 edif/ha) y se clasifican como áreas de clase trabajadora y talleres pequeños (10), es decir, 16 abonados.

➢ San Plácido: con 299 edificaciones al año 2010 debería tener entre **172.5 abonados**.

- 149.5 edificaciones (50%) se agrupan en un número de 10 por hectárea (15 edif/ha) y se clasifican como casas privadas modernas (3), es decir, 45 abonados.
- 119.6 edificaciones (40%) se agrupan en un número de 15 por hectárea (8.9 edif/ha) y se clasifican como casas modernas no dispersas (13), es decir, 103.7 abonados.
- 17.9 edificaciones (6%) se agrupan en un número de 15 por hectárea (1.2 edif/ha) y se clasifican como áreas de clase trabajadora y talleres pequeños (10), es decir, 12 abonados.

- 12 edificaciones (4%) se agrupan en un número de 10 por hectárea (1.2 edif/ha) y se clasifican como áreas de clase trabajadora y talleres pequeños (10), es decir, 12 abonados.

Como se ve, la caracterización propuesta "al azar" genera valores que hasta cierto punto son muy parecidos a los resultados que espera Pacifictel S.A. en su proyección.

Si se calcula el promedio del número de abonados, y se compara con la capacidad actual, puede determinarse entonces el requerimiento en cuanto a capacidad de equipos.

- Calderón posee al momento 232 abonados y se estima necesitará 344 al 2010, por tanto debe aumentar su capacidad en 112 líneas.
- Río Chico posee al momento 56 abonados y se estima necesitará 237 al 2010, por tanto debe aumentar su capacidad en 172 líneas.
- San Plácido posee al momento 4 abonados y se estima necesitará 180 al 2010, por tanto debe aumentar su capacidad en 165 líneas.

REFERENCIAS DEL CAPÍTULO.

Los números corresponden al orden designado en las Referencias Bibliográficas citadas al final del libro.

1. ALCATEL; **Digital Microwave Radio, Systems Performance Calculations and Network Planning.**
4. ARIAS A., Gonzalo; **Estudio de Factibilidad de un Plan de Emergencia de Telecomunicaciones para la Amazonía Ecuatoriana**; 1996; Quito.
5. BENAVIDES, Manuel; **Diseño de un Sistema Multiacceso Digital para le Área Rural de la Provincia de Loja y Zamora Chinchipe**; 2000; Quito.
6. CÁCERES V., Jorge; **Estudio para la Configuración de un Sistema de Transmisión Rural, para Servicio Telefónico en la Provinvia de Cotopaxi**; 1989, Quito.
13. JARAMILLO V., Patricio; **Diseño de un Enlace de Microondas entre Guayaquil y Cuenca**; 1978; Quito.
22. LEIJON, Herbert; **Pronóstico de Abonado y de Tráfico Para una Red Rural**; ITU–doc–63–s.
23. LEIJON, Herbert; **Teorías Básicas de Pronóstico: Una Breve Introducción**; ITU–doc–60–s.
27. REINOSO C., Anibal; **Sistema de Transmisión de Radioenlace Rural para la Provincia de Tungurahua**; 1989; Quito.
28. SENATEL; **Plan Nacional de Frecuencias**; 2000; Quito.
35. VELECELA C., Freddy; **Estudio de Factibilidad de un Sistema de Telecomunicaciones vía Radio para las Zonas Rurales del Cantón Cuenca**; 1997; Quito.
36. VERDUGO F., René; **Diseño de un Radioenlace entre las Centrales Telefónicas de Monjas y Quito Centro**; 1986; Quito.
38. VILLAVICENCIO V., A.; **Proyecto Complementario de Transmisión Telefónica Digital Rural para las Provincias de Bolivar, Manabí, Napo y Tungurahua**; 1995; Quito.

CAPÍTULO 3

PLANIFICACIÓN Y DISEÑO DE LA RED MULTIACCESO MEDIANTE RADIOENLACES

3.1. ELECCIÓN DEL MEDIO DE TRANSMISIÓN.

Entre las múltiples opciones, respecto de medios de transmisión, se cuenta con servicios sobre: Cobre, Fibra Óptica y Microondas (a través de enlaces satelitales o terrestres), cada una de ellos con sus ventajas y desventajas en virtud de la propiedad de dichos medios (propios o arrendados), de la capacidad de transporte, de la tecnología de transmisión, etc.

Los servicios arrendados, por Cobre o Fibra Óptica, necesitan de un pago mensual y nunca llegan a ser propias, a menudo requieren de mucho tiempo para su reparación (clientes fuera de servicio). Su disponibilidad es limitada (aproximadamente 99.7% – 24 h/año en pérdidas de tráfico)[1].

La elección final dependerá, del entorno real y de las preferencias de los abonados. Antes de tomar una decisión debe considerarse.

- Densidad de Abonados (de Penetración).
- Agrupamiento de la Población.
- Requerimientos de Tráfico.
- Velocidad de Ampliación.
- Nivel y calidad de servicio.

3.1.1. OPCIONES EN TRANSMISIÓN VOCAL Y DE DATOS.

3.1.1.1. Enlace por Cable Metálico.

Los primeros medios de transmisión de las señales digitales fueron los cables metálicos, que permitían transmitir una capacidad superior de canales con relación al caso analógico, lográndose de esta manera que el costo canal/Km no se encarezca. A través de los cables se

[1] Laine; opus citatum # 15

transmiten sistemas de primer orden jerárquico en el caso de los pares, y hasta de quinto orden en el caso del cable coaxial[2].

En el cable de pares al aumentar la banda de transmisión, la atenuación y diafonía empiezan a ser notorios. El incremento del costo de los cables y la utilización de repetidores a distancias cortas han hecho que este medio de transmisión se encarezca en favor de otros medios de larga distancia como fibra óptica y radioenlaces.

En la actualidad se cuenta con mejoras de los sistemas a través de cobre, permitiendo mayor ancho de banda y velocidades de transmisión por la misma línea ya instalada (lo que constituye una ventaja sobre otros sistemas por instalar); éste es el caso de las tecnologías xDSL (*x Digital Suscriber Line* – x Línea Digital de Abonado).

3.1.1.2. Enlaces por Fibra Óptica.

Este tipo de enlaces permite que la distancia entre repetidoras sea grande comparado con los enlaces por cables de capacidad similar, esto produce disminución del número de equipos intermedios y consecuentemente la reducción del costo del sistema. Por otro lado, el costo de la fibra se ve potencialmente reducido conforme el tamaño del sistema se vuelve mayor, esto acompañado del hecho que el ancho de banda es mucho más grande y por tanto también su capacidad de transmisión (sobre 1 Gbps), le confieren a la Fibra Óptica características especialmente ventajosas. Posee un completo aislamiento electromagnético, así como insensibilidad a la interferencia y además presenta diafonía despreciable[3].

[2] Tanenbaum; opus citatum # 31
[3] Tanenbaum; opus citatum # 31

Sin embargo, en general las Fibras Ópticas (propias o arrendadas) son muy vulnerables a daños en la ruta, provocando largas interrupciones del servicio.

3.1.1.3. Radio Enlaces.

En los sistemas de radios, el ancho de banda está limitado, es rígido y normalmente está especificado y definido para que no exista interferencia entre canales. El radio enlace es por lo general más conveniente que otros medios de transmisión cuando las condiciones topográficas del trayecto dificultan el tendido físico. Al igual que con el cable coaxial y con la fibra óptica, los radioenlaces admiten la transmisión de hasta el quinto nivel jerárquico.

3.1.1.3.1. Enlaces por Satélite.

Un satélite es utilizado generalmente como un elemento de repetición entre dos puntos que desean establecer una comunicación. El enlace ascendente es una señal enviada por la estación base origen, que se encuentra en tierra hacia el satélite y a una cierta frecuencia. El satélite toma esta señal, la amplifica y la cambia de frecuencia para enviarla por el enlace de descenso, el mismo que es recibido en tierra por la estación base destino. En este caso las estaciones base están ubicadas en tierra y son fijas, mientras que el satélite está en una posición geoestacionaria, es decir, que el satélite no se encuentra en movimiento respecto de la tierra[4].

Las antenas utilizadas en el enlace ascendente deben ser altamente dirigibles a puntos extremadamente pequeños en el espacio; por esto, las microondas son utilizadas en las comunicaciones satelitales, ya que pueden atravesar la atmósfera hacia el espacio y

[4] Tomasi; opus citatum # 33

además tienen capacidad de transmitir mayores cantidades de información debido a su gran ancho de banda.

En comunicaciones satelitales se puede hablar de configuración Punto a Punto (que comunica dos sitios apartados) y configuración Punto a Multipunto (que comunica una estación principal con otras).

3.1.1.3.2. Enlaces Terrestres.

En cierto momento de la historia, los sistemas de microondas terrestres llevaban la mayoría de las comunicaciones de larga distancia para la red telefónica pública, agencias militares y gubernamentales, y redes especializadas para comunicaciones privadas[5]. En la actualidad, con el advenimiento de nuevas y mejoradas tecnologías inalámbricas, los proveedores de servicios, regresan con ímpetu a emplear esta atractiva alternativa que es, con relación a la capacidad de transmisión y número de pasos intermedios, comparativamente mejor que los sistemas por cable y similar a los sistemas de Fibra Óptica.

- La capacidad de canales varía desde menos de 12 canales hasta más de 22.000.
- El rango de frecuencias está comprendido entre 2 y 40 GHz.
- Para redes regionales con sistemas de 34 Mbps, se puede alcanzar una distancia de hasta 2000 Km.
- Los sistemas de microondas de entre 2 y 8 Mbps se aplican a zonas de media y débil densidad telefónica y también a regiones con relieve desigual. Distancias de hasta 30 Km.

Los Radios de Microondas propios ofrecen un bajo costo por su ciclo de vida y además responden a la implementación de servicios con control total, es decir seguridad.

[5] Tomasí; opus citatum # 33

Así como en comunicaciones satelitales, en enlaces terrestres también se puede hablar de configuración Punto a Punto (que comunica dos sitios apartados) y configuración Punto a Multipunto (que comunica una estación principal con otras).

Este es el caso de los **Sistemas de Multiacceso Digital**, que funcionando en configuración Punto a Multipunto pueden extender el área de servicio de la red de telecomunicaciones para cubrir tanto localidades de abonados remotos como dispersos; ofreciendo una gama completa de servicios a redes privadas o públicas. Estos sistemas están diseñados para satisfacer la demanda en áreas de baja densidad y son capaces de operar a muy larga distancia con estaciones repetidoras en caso de ser necesario y con calidad similar a la que se ofrece por cable, presentando una amplia gama de frecuencias de operación según el fabricante o la necesidad, y requieren tan solo de una pareja de frecuencias para su funcionamiento[6].

3.1.2. VENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE RADIO SOBRE OTROS.

- En general los sistemas de radio presentan una mayor confiabilidad, más alta seguridad y más estrictos estándares de desempeño y calidad.
- Son sistemas de fácil expansión o reubicación futura.
- Los sistemas de radio tienen una vida operacional larga.
- Estos sistemas tienen capacidad para canales en claro y canales de protección.
- El usuario tiene control total de acceso al sitio y tiempo de restitución.

[6] Alcatel; opus citatum # 1

- En comparación con los sistemas basados en Fibra Óptica que tienen a favor básicamente su gran capacidad de transporte, los sistemas de radio proporcionan mayor seguridad y disponibilidad, así como también menor tiempo de implementación y consideraciones de terreno, lo que redunda en una mayor efectividad por costo.

3.1.3. TRANSMISIÓN DE SEÑALES DIGITALES SOBRE ENLACES DE RADIO[7].

Los sistemas basados en Microondas han proporcionado soluciones efectivas de comunicación en todo el mundo por más de 50 años, permitiendo en la actualidad que los usuarios tengan mayores opciones en cuanto a desempeño, estándares técnicos e incluso opciones económicas.

Entre los atributos de los sistemas de microondas podemos mencionar:

- Son ventajosos sobre rutas que atraviesan terrenos difíciles que requieren de una pronta implementación, es decir, admiten un rápido despliegue sobre los mismos.
- Tienen un alto nivel de seguridad de ruta y elevada calidad ya que no presentan adición de ruido por saltos múltiples, son robustos frente al desvanecimiento y la interferencia, así como también insensibles a los ecos provocados por la trayectoria o los alimentadores.
- Son altamente eficientes en el transporte de datos.
- Son económicos en cuanto al bajo costo de multiplexado.
- Presentan interconectividad similar a otros sistemas de transporte digital en expansión.

[7] Feher; opus citatum # 7

3.1.4. SEGURIDAD Y COMPATIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE MICROONDAS[8].

Los equipos de microondas deben cumplir con FCC parte 15 y con ETS 300 385, de modo que no causen interferencias, deben estar blindados para operar en la vecindad de estaciones base de VHF y UHF, y otros equipos de comunicación. De igual manera, los radios punto a punto deben utilizan transmisores de baja potencia y antenas directivas de haces estrechos que reducen los niveles de radiación en muchos órdenes de magnitud para radiar dentro de los límites de seguridad.

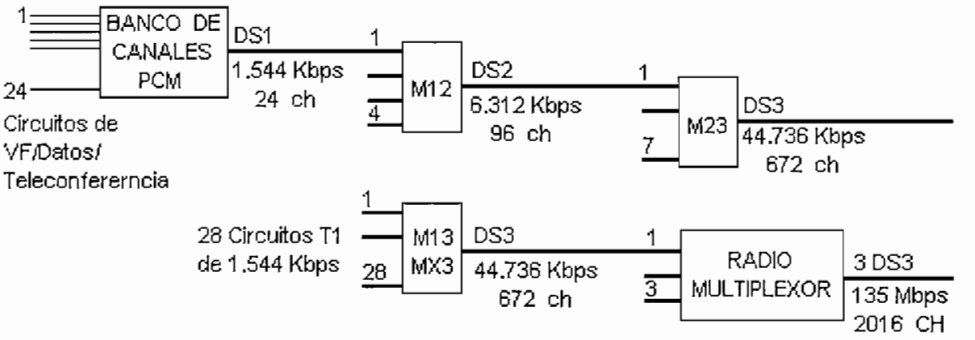


FIGURA 3.1: JERARQUÍA PCM (NORTE AMÉRICA).

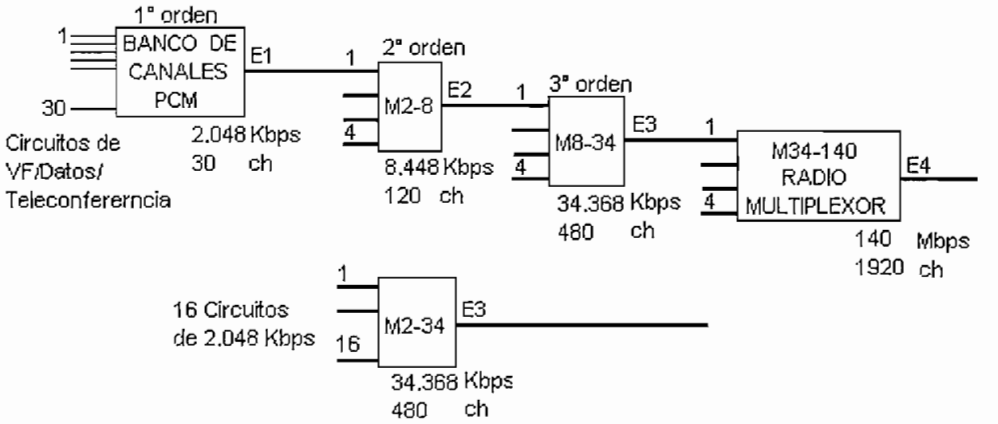


FIGURA 3.2: JERARQUÍA PCM (CEPT).

[8] Lunan; opus citatum 25

NORTE AMÉRICA JERARQUÍA DIGITAL (T1)						
DESIGNACIÓN	NÚMERO DE DS1	TASA (Kbps)	CÓDIGO DE LÍNEA	EQUIVALENCIA EN CANALES DE VOZ	LONGITUD DE LÍNEA (ft)	(m)
DS0	24/DS1	64	AMI	1	—	—
DS1	1	1.544	AMI/B8ZS	24	655	200
DS2	4	6.312	B6ZS	96	1000	300
DS3	28	44.736	B3ZS	672	450	140

TIPO DE CABLES: PARA TRENZADO 100/110 OHM, O COAXIAL 75 OHM.
REF.: ITU–T G.703, G.704; BELLCORE TR–TSY–000499.

CUADRO 3.1: JERARQUÍA DIGITAL (T1 – NORTE AMÉRICA).

CEPT JERARQUÍA DIGITAL (E1)				
DESIGNACIÓN	NÚMERO DE E1	TASA (Kbps)	CÓDIGO DE LÍNEA	EQUIVALENCIA EN CANALES DE VOZ
E0	30/E1	64	AMI	1
E1	1	2.048	HDB3	30
E2	4	8.448	HDB3	120
E3	16	34.368	HDB3	480
E4	64/63*	139.26	CMI	1.920/1.890*

LOS CÓDIGOS AMI, HDB3 Y CMI SON BIPOLARES AL IGUAL QUE LOS B#ZS).
TIPO DE CABLES: PAR TRENZADO 120 OHM, COAXIAL 75 OHM.
REF.: ITU–T G.703, G.704. 63 E1 (1.890 CH) SE MAPEAN EN SISTEMAS SDH.

CUADRO 3.2: JERARQUÍA DIGITAL (E1 – CEPT).

PRINCIPIOS DE SONET TASAS			
TASA DE LÍNEA (Mbps)	SEÑAL SONET	SEÑAL PDH NÚMERO DE T1 (1.544 Kbps)	CANALES DE VF
1,544	VT - 1.5	1	24
44,736	DS - 3	28	672
51,84	STS - 1	28	672
ATM	STS - 3c	—	—
155,52	STS - 3	84	2.016
622,08	STS - 12	336	8.064
2488,32	STS - 48	1344	32.256
9953,28	STS - 192	5376	129.024

SDH SYNCHRONOUS GIGITAL HIERARCHY.

PDH PLESIOCHRONOUS DIGITAL HIERARCHY.

VF VOICE FRECUENCY CHANNEL.

VT VIRTUAL TRIBUTARY.

ATM ASYNCHRONOUS TRANSFER MODE.

STS – N SYNCHRONOUS TRANSPOT SIGNAL – LEVEL (1 = 51 Mbps, 1 DSE).

STS – 3C CANALES EN CLARO PARA TRANSMISIÓN POR BANDA ANCHA.

CUADRO 3.3: PRINCIPIOS DE SONET – TASAS.

PRINCIPIOS DE SDH TASAS			
TASA DE LÍNEA (Mbps)	SEÑAL SDH	SEÑAL PDH NÚMERO DE E1 (2.048 Kbps)	CANALES DE VF
2,048	VC - 12	1	30
34,368	VC - 3	16	480
51,84	SUB-STM - 1	21	630
139,264	VC - 4	64	1.920
155,52	STM - 1	63	1.890
622,08	STM - 4	252	7.560
2488,32	STM - 16	1.088	30.240
9953,28	STM - 64	4.032	120.960

REF: ITU_R REC. F.750–1 (1994).

STM–RR SUB–STM – 1 SYNCHRONOUS TRANSFER MODE (51 MBPS)

CUADRO 3.4: PRINCIPIOS DE SDH – TASAS.

3.2. PLANIFICACIÓN Y EQUIPAMIENTO PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE MICROONDAS DIGITALES.

3.2.1. MODELO GENERAL PARA LA PLANIFICACIÓN DE UN SISTEMA.

3.2.1.1. Tópicos a Considerarse en la Planificación.

- Selección de sitios y equipos.
- Determinación del tipo de antenas, tamaño y línea central.
- Estudios de interferencia, planificación y selección de frecuencias y permisos.
- Torres y otros tipos de estructuras de antenas.
- Aspectos ambientales y de radiación.
- Guías de ondas y líneas de transmisión coaxiales.
- Puesta a tierra, tormentas eléctricas y sobretensión.
- Análisis de obstrucción y reflexión.
- Estudios de propagación y confiabilidad.
- Efectos electromagnéticos de los sismos y condiciones climáticas (viento, lluvia, hielo).
- Estudios de campo.
- Estudios de factibilidad y diseño del sistema.
- Criterios de diseño para requerimientos civiles y mecánico–estructurales.

3.2.1.2. Principales Parámetros en el Diseño de Ingeniería.

- Modelos de radios, bandas de frecuencias y configuraciones (NP – *Non Protectted* – No Protegidas, HS – *Hot Standby*, Diversidad de Frecuencia/Espacio/Híbrida).
- Requerimientos de los canales de voz y datos.
- Banco de canales PCM, multiplexores, capacidad de E1, plan de E1.
- Sistemas de alarmas y extensiones.

- Fuentes de voltaje.
- Tamaño del Armario (*Rack*).
- Bloques de *racks* o terminaciones de pared, campo de conectores E1/T1 & y de frecuencia de voz.
- Sistema de antenas.
- Planta de energía DC.

3.2.1.3. Documentación Indispensable en el Diseño de Ingeniería[9].

3.2.1.3.1. Esquemas del sistema.

Se utiliza para generar el diagrama de rutas del sistema, en él deben constar: nombres de sitios, tipo y capacidad de los radios digitales, longitud de los trayectos, frecuencias, esquemas de protección, etc.

3.2.1.3.2. Plan de Tráfico E1/T1.

Es el documento más crítico en la planificación de redes; genera una lista de equipos y materiales, da una referencia para la planificación de crecimiento y requerimientos de canales de voz y datos.

3.2.1.3.3. Diagramas de Bloques del Sistema.

Ilustra: conectividad de la señal E1, E2, E3; configuración de los multiplexores (Terminal o Repetidor), componentes en cada sitio, sistema de alarmas y refleja el plan de tráfico E1.

3.2.1.3.4. Diagramas de Bloque y de Nivel.

Ilustran con detalle la configuración de equipos, generadores de timbrado, terminaciones, niveles e impedancias de interconexión.

---

[9] Laine; opus citatum # 21

3.2.1.3.5. Perfiles de los Armarios.

Muestra: montaje del equipo, altura y cantidad de armarios por sitio.

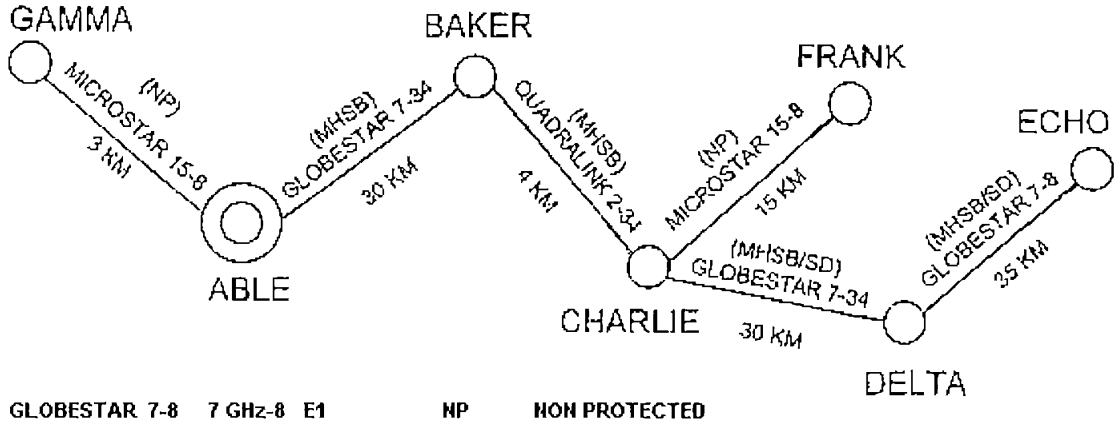


FIGURA 3.3: ESQUEMA DEL SISTEMA.

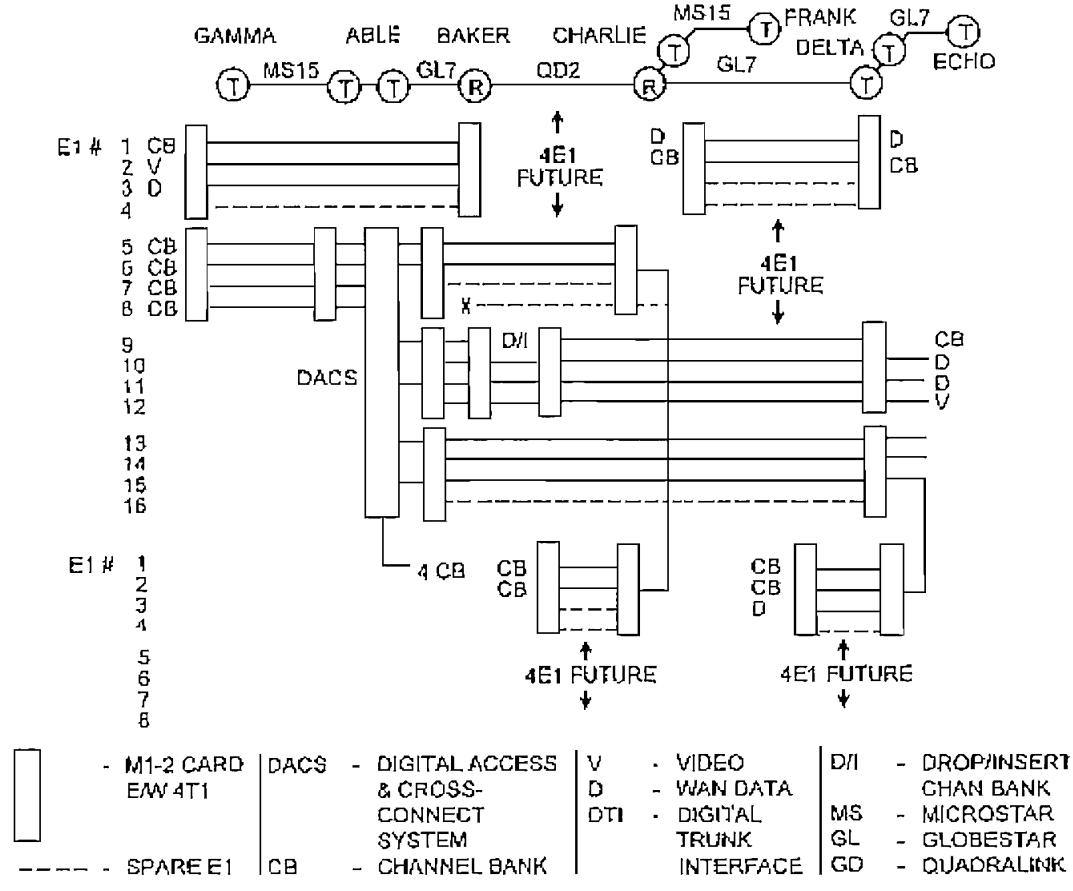


FIGURA 3.4: PLAN DE TRÁFICO.

digital E1/T1. Tales sistemas son controlados por un programa interno del *firmware* al que se tiene acceso por cualquier terminal (computador) estándar.

En el pasado, las conexiones cruzadas se hacían en las oficinas centrales trayendo la señal digital E1/T1 a un banco de canales; de allí, la señal digital se multiplexaba y convertía en una señal análoga, luego esta señal era conectada a otro banco de canales (vía par trenzado) donde se la convertía de nuevo a señal digital y se la enviaba a la línea.

Cuando se habla de DACS, existen dos posibilidades:

- **Segregación o *Grooming***, que ocurre cuando una ráfaga E1/T1 contiene una mezcla de circuitos de mensaje y circuitos de servicio especial; en este caso los circuitos de mensajes (X) se segregan a una troncal (*trunk*) E1/T1, mientras los circuitos de servicio especial (O) se conectan a otra troncal E1/T1.
- **Consolidación o *Hubbing***, con el que se tiene la posibilidad de combinar canales de líneas E1/T1 parcialmente utilizadas en un número menor de líneas E1/T1 completas para mejorar los servicios.

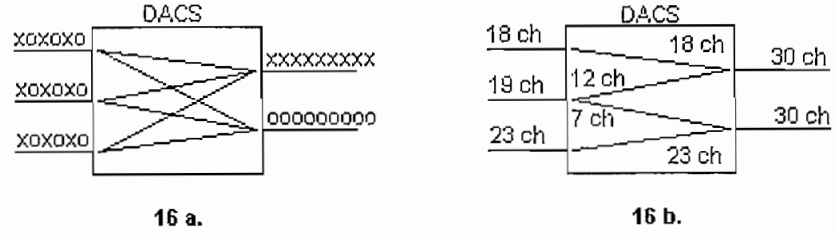


FIGURA 3.9: SEGREGACIÓN (16 a) Y CONSOLIDACIÓN (16 b).

El mayor beneficio de los sistemas digitales *cross–connect* está asociado con la posibilidad de poner a prueba cualquier canal E0/DS0 de 64 Kbps, esto es, que dichos canales pueden llevarse a un puerto de pruebas ya sea en bases remotas o locales.

Además de lo mencionado en torno a los DACS debe decirse que permite la reconfiguración en cualquier instante, acceso y pruebas desde cualquier punto local o remoto, difusión de video, puenteo analógico y digital, etc.

3.2.3. BREVE ACERCAMIENTO A LOS FORMATOS E1, E2, Y E3[11].

E1 es la jerarquía digital internacional de nivel 1 a 2480 Kbps según la Conferencia Europea de Administración Postal y de Telecomunicaciones (CEPT), es también la señal digital adecuada actual según CEPT, y de igual manera, es el método de acceso preferido para los servicios en alta velocidad de datos como *Frame Relay*, Servicios Multimedios de Datos Conmutados (*Switched Multimedia Data Services* – SMDS), Modo de Trasferencia Asíncrono (*Asynchronous Transfer Mode* – ATM).

La mayoría de los productos tales como, bancos de canales PCM, DACS, PBX, *codecs* de video, puentes y ruteadores, se basan en señales E1

Una troncal E1 es un equipo de transmisión digital que funciona como "una super autopista de 30 carriles libre de baches" para voz y datos, en la que cada uno de los 30 carriles es capaz de trasmitir y recibir 64.000 bitios por segundo (64 Kbps), o, lo que es lo mismo, una ranura de tiempo (*time slot*) E0; de modo que una línea E1 posee un ancho de banda de 30 * 64 Kbps = 1.92 Mbps. Un *time slot* adicional de 64 Kbps se usa como el equivalente del marcador de carril para permitir el tráfico restante en su carril asignado, este *time slot* (TS0) se utiliza como bitios de entramado. Otro *time slot* (TS16) de 64 Kbps se usa para señalización de canales de frecuencia de voz. Estos dos *time slots* en adición a los 30 E0 conforman la conocida tasa de datos de 2.048 Kbps.

[11] Lunan; opus citatum # 24

3.2.3.1. Estructura de Trama.

- El número de bitios por *time slot* es 8.
- El número de *time slots* por trama es 32, numerados de 0 a 31.
- El número de bitios por trama es 256, y la repetición de trama es 8.000 Hz.
- Cada uno de los *time slots*, de 1 a 15 y de 17 a 31 se asigna o bien a un canal telefónico PCM o bien a una señal de datos.
- TS16 puede emplearse para señalización, y en el caso de no ser necesaria la señalización puede utilizarse para llevar tráfico.
- Se recomienda el uso del canal TS16 como Canal Común de Señalización (*Common Channel Signaling* – CCS) o como Señalización de Canal Asociado (*Channel Associated Signaling* – CAS).

3.2.3.2. Código de Línea.

La codificación de línea se emplea para asegurar que suficiente información de tiempo acompañe a la señal digital de modo que sea posible recuperar de forma precisa todos los bitios. Un código de línea es parte de un sistema de transmisión de pulsos, en donde se emplean diferentes niveles de señal para codificar cada símbolo directo transmitido.

El código de línea más comúnmente utilizado para estos formatos de transmisión es el Código de Línea Bipolar de Alta Densidad de orden 3 (*High Density Bipolar 3* – HDB3), que reemplaza una fila de cuatro ceros con secuencias que contienen una violación bipolar en el 4° bitio; es decir, impide filas de ceros mayores que tres. HDB3 es el código que permite transmitir los datos con completa Capacidad de Canal en Claro a 64 Kbps (*Clear Channel Capability* – CCC64).

Las ventajas de esta codificación son:

- No existen secuencias de más de tres ceros.
- Permite el control de errores en la línea para garantizar el funcionamiento regular de los sistemas de transmisión de datos.
- Se crea un vocabulario de palabra de error relativa al mismo código, y también un medidor de violaciones para detectar y marcar errores.

3.2.3.3. Sincronización.

Sincronizar significa coincidir o estar de acuerdo al mismo tiempo. En la comunicación de datos hay cuatro tipos de sincronización que deben lograrse, estos son: sincronización de reloj, sincronización de portadora, sincronización de caracter y sincronización de mensaje.

Cada vez que las señales digitales se transmiten sobre enlaces de comunicación, el extremo receptor debe "seguirle el paso" al extremo transmisor para prevenir pérdidas de señal, pues ésta (la señal) debe por lo general atravesar una completa red que consiste en nodos de conmutación, DACS y multiplexores; así pues, la tarea de mantener a todas estas entidades operando a la misma frecuencia se conoce como sincronización de red.

3.2.3.4. Jitter y Wander.

De modo general son daños que se producen en los circuitos E1.

- ***Jitter*** es la compensación cíclica de la posición esperada en el tiempo de los bitios E1, y es uno de los daños más onerosos en todo E1; su fuente principal son los multiplexores asíncronos, de modo que constituyen un problema mayor cuanto más grande sea la red. El *jitter* de fase causa compensación de los pulsos que se presentan en los demultiplexores de un banco de canales.

- ***Wander*** es un daño de E1 muy similar al *jitter*, que se define como un *jitter* que ocurre a frecuencias menores a los 10 Hz; este causa deslizamiento en la regulación del tiempo en una señal E1. El *wander* se produce a menudo por la inestabilidad en la fuente maestra de temporización.

3.2.3.5. Cableado E1.

Las señales E1 se transmiten comúnmente sobre cable coaxial de 75 Ω de impedancia y en menor medida sobre par trenzado (simétrico) de 120 Ω de impedancia (para largas distancias y entre edificios).

La longitud de un cable se ve limitada por el máximo valor de pérdidas permitido (6 dB), que para el par trenzado es de 400 m y para el cable coaxial es de 750 m; más allá de estos límites, los repetidores E1 de oficina central pueden usarse para extender dicha longitud en aproximadamente 2.600 m

3.2.3.6. Formato de Señales E2.

Este formato no está tan ampliamente difundido como E1 y E3, sin embargo utiliza el mismo código de línea (HDB3) e incluso cable coaxial de 75 Ω en longitudes de hasta 375 m operando a 4.224 MHz, con un nivel máximo de pérdida de señal de 6 dB. Un E2 puede tener hasta cuatro tributarios E1

Las señales E2 (8.448 Mbps) puede emplearse para conexión cruzada entre multiplexores en lugar de los E1 en conexión cruzada. Además el formato E2 está disponible para WANs usando puentes y ruteadores.

Señales por sobre la tasa E2 pueden acomodarse usando multiplexores inversos; un multiplexor inverso convierte señales no estándar, tales como 4.9 Mbps, 5 Mbps o 6 Mbps en tres señales E1 estándar.

3.2.3.7. Formato de Señales E3.

E3 es un circuito digital *full–duplex* que opera a 34.368 Mbps utilizando el código de línea HDB3 con un nivel máximo de pérdida de señal de 12 dB a 17.184 MHz, siendo necesario para las conexiones E3 un cable coaxial de 75 Ω y con longitudes de hasta 375 m.

E3 es la interfaz para sistemas de multiplexado digital donde se derivan señales E1 y E2. E3 es entonces, la designación para multiplexar 16 señales E1 en cuatro E2 mismas que a su vez se multiplexan finalmente en una señal E3.

Los multiplexores digitales pueden ser Muldex 8–34, los mismos que aceptan hasta cuatro entradas de 8 Mbps para multiplexarlas o demultiplexarlas en una salida de 34 Mbps. Los Muldex de salto aceptan, en su lugar, hasta 16 entradas de 2 Mbps para multiplexarlas o demultiplexarlas en una salida de 34 Mbps (se saltan las señales de 8 Mbps); estos multiplexores pueden emplearse como multiplexores *add/drop.*

3.3. LINEAMIENTOS PARA EL DISEÑO ÓPTIMO DE SISTEMAS DE MICROONDAS.

El propósito de la ingeniería de transmisión es asegurar al usuario que se cumplan los objetivos de desempeño, que no ocurran periodos de indisponibilidad de largo plazo (cortes, y desconexión de equipos). Y sobre todo diseñar sistemas que operen por sí mismos y en "armonía" con otros sistemas en su vecindad, cumpliendo con los estándares establecidos y con las regulaciones estatales.

Además deben considerarse y definirse ciertos parámetros, por ejemplo:

- Definir los objetivos de calidad, corte – *outage* (< 10 segundos por evento) y disponibilidad (duración de interrupciones de circuito > 10 segundos).
- Considerar si la arquitectura es Linear o de Anillo, y también equipos repetidores *add/drop*.
- Especificar requerimientos de capacidad y elección de bandas de frecuencias disponibles.
- Determinar los requerimientos de protección de equipos (infraestructura, ruta) para conseguir los objetivos de disponibilidad.
- Determinar los arreglos de diversidad para conseguir los objetivos de confiabilidad de trayecto (corte).
- Designar las responsabilidades de Ingeniería y Administración del Proyecto.

3.3.1. ESTÁNDARES INTERNACIONALES DE TRANSMISIÓN.

3.3.1.1. Vigants, 1975.

El *Paper "Space Diversity Engineering"*, propone fórmulas mejoradas para desvanecimiento por trayecto múltiple, corte y diversidad de

espacio, frecuencia y N + 1. Así mismo en reporte ITU–R Rep.338 se hace dicha mención pero con notación en sistema métrico. Recomienda la claridad de trayecto principal y de diversidad. De igual manera proporciona mapas de temperatura promedio anual, clima–terreno (t y c) y además cálculo alterno del factor c empleando la rugosidad del terreno calculada en el perfil del trayecto

3.3.1.2. Recomendaciones ITU–R, 1986.

Se proponen los objetivos de Desempeño y Disponibilidad para enlaces y sistemas. Se definen los términos y objetivos de Corte (SES – Segundos Severamente Errados – *Severely Errored Seconds*) y Calidad (%EFS/RBER – Porcentaje de Segundos Libres de Error/Tasa de Bitios Errados Residual – *Percentage of Error–Free Seconds/Residual Bit Error Rate*). Se define Disponibilidad (duración de corte > 10 segundos), Desempeño ($BER > 10^{-3}$) y Calidad ($BER < 10^{-3}$).

3.3.1.3. Recomendación ITU–R Rec. PN.530, 1994.

Referente al los modelos de trayecto múltiple y corte por lluvia, que reemplaza al modelo de corte por trayecto múltiple de Vigants y al modelo de corte por lluvia de Crane en algunos sistemas de microondas del ITU–R.

3.3.2. CARACTERÍSTICAS DESEABLES DE UN SISTEMA DE MICROONDAS DIGITAL[12].

En cualquier enlace de microondas, sea este analógico o digital, lo más importante es tener siempre en cuenta cuales son las características de mayor relevancia para conseguir los objetivos propuestos.

[12] Laine; opus citatum # 15

ENLACE DE MICROONDAS DIGITAL CARACTERÍSTICAS DESEABLES		
PARA	PARA BUEN DESEMPEÑO	
ALTA DISPONIBILIDAD	ALTA CONFIABILIDAD	ALTA CALIDAD
Protección completa *Hot Standby* Platos de transmisión duales Pocos cortes anuales por lluvia (sobre los 10 GHz) Infraestructura robusta Bajo Tiempo Medio para Reparar (*Mean Time To Repair* - MTTR) Manejo de redes integral Diagnósticos de sistema	Alta Ganacia del Sistema Alto Margen de Desvanecimiento Dispersivo en el enlace (en trayectos de difícil geometría) Esquemas de Diversidad Optimos Tiempo de Recuperación del Receptor rápida Buen Plan de Frecuencias y caracteristias robustas de los circuitos T1/E1 Buena Ingeniería de Trayecto	Corrección Adelantada de Errores (Forward *Error Correction* - FEC) Alto Margen de Desvanecimiento Dispersivo en el enlace Óptima Ingeniería de Trayecto Alineación Exacta de las Antenas Conmutación de datos sin errores Espectro de radio frecuencias estrecho

ALTA DISPONIBILIDAD: POCOS CORTES DE 10 S POR EVENTO.
ALTA CONFIABILIDAD: POCOS CORTES DE SES POR EVENTO.
ALTA CALIDAD: BAJO RBER, ES´s.

CUADRO 3.5: CARACTERÍSTICAS DESEABLES DE UN ENLACE DE MICROONDAS DIGITAL

3.3.3. DISPONIBILIDAD.

El desempeño de un enlace de microondas digital se predice (y luego confirma con mediciones de campo) solo para periodos de disponibilidad de trayecto. Sin embargo para la mayoría de los usuarios estos periodos de indisponibilidad son inaceptables, excepto para enlaces de alta frecuencia (sobre los 10 GHz) en los que son predecibles los cortes por lluvia.

Un enlace de microondas digital se define como "indisponible" luego de que un periodo de corte de 10 CSES (*Continuous* – SES – Continuo, BER > 10^{-3}) desconecta el tráfico por un lapso largo (circuitos de voz y datos). Como causas de indisponibilidad se puede citar:

- Cortes por lluvia (predecibles y por tanto aceptables).

- Falla dual de equipo dentro del Tiempo Medio de Restauración (*Mean Time to Restore* – MTR).
- Error de mantenimiento o por intervención manual.
- Fallas de infraestructura.
- Bajo margen de desvanecimiento en enlaces sin diversidad.
- Desvanecimientos de energía en enlaces sobre 6 GHz.

3.3.3.1. Lluvia[13].

La dispersión o absorción de la energía de microondas debido a la precipitación atmosférica (lluvia o niebla) se presenta en algún grado en cualquier frecuencia de microondas, este efecto combinado de atenuación indeseada aumenta significativamente conforme la longitud de onda se acerca al tamaño de una partícula de agua o gota de lluvia. Comúnmente para sistemas que operan a 8 GHz o menores, los efectos pueden considerarse insignificantes. Además el tamaño, dirección e intensidad de la lluvia es muy significativa respecto a su ubicación, de igual manera, la consideración de si la lluvia pasa a través del trayecto o a lo largo del mismo.

La lluvia puede considerarse como un fenómeno de desvanecimiento plano ya que la atenuación por lluvia aumenta con la frecuencia. Esta variación en bandas relativamente angostas es mínima.

Hay que recordar también que se asume que los desvanecimientos por trayectos múltiples no ocurren durante el periodo de mayor cantidad de lluvias, de modo que el margen de desvanecimiento total del enlace está disponible para compensar su reducción debida a la atenuación por lluvia; y que ni la diversidad de espacio ni la diversidad de frecuencia en banda proporciona mejoras contra la atenuación por lluvia (considerando lo anterior).

[13] Alen; opus citatum # 3

3.3.4. DESEMPEÑO.

El desempeño de un enlace de microondas digital se define por su:

- **Tiempo de Corte:** SES anuales en Norteamérica y SESR (Tasa SES *Ratio*) de cualquier mes para las regiones ITU–R, predecibles según el modelo de Vigants (ITU–R Rep.338) o métodos 1 y 2 ITU–R Rec.PN. 530 (solo para algunas regiones ITU–R).
- **Calidad:** RBER, ES (*Errored Seconds* – Segundos Errados), ESR (Tasa ES *Ratio*), %EFS, etc., predecible si se optimiza con radios robustos, conmutación por errores, exacta ingeniería de trayecto, equipos y alineación de antena precisos.

3.3.4.1. Estados de Desempeño de Radios Digitales.

- En el **Buen Estado** los circuitos E1/T1 están libres de errores.
- En el **Estado de Error Aleatorio** los circuitos E1/T1 tienen un RBER de 10^{-6} o mejor.
- En el **Estado de Ráfagas de Error** los circuitos E1/T1 tienen un BER entre 10^{-6} y 10^{-3}.
- En el **Estado de Corte** los circuitos E1/T1 tienen un BER mayor a 10^{-3} (SES).
- En el **Estado de Ráfaga muy Severa** (VSB) de 2 a 10 CSES que pueden producir desconexión de los suscriptores

3.3.4.2. Estados de Corte de Radios Digitales.

- El **Estado SES** (BER > 10^{-3}) a menudo va acompañada por un evento de alarma E1/T1 conocido como Fuera de Trama (*Out–Of–Frame* – OOF), Trama Perdida (*Loss–Of–Frame* – LOF), o AIS.
- En el **Estado VSB** (BER > 10^{-3} para de 2 a 10 CSES) ocurre desconexión de tráfico.

CORTES OBJETIVOS TÍPICOS			
PARÁMETRO	BELLCORE *SHORT-HAUL*	ITU-R *HIGH-GRADE*	NORTE AMÉRICA *LONG-HAUL***
Longitud del sistema (km/mi)	400/250	2500/1500	6400/4000
Confiabilidad extremo a extremo (%)	99.995	99.986*	99.995
Cortes de extremo a extremo (SES/año)	1600	4200*	1600
Cortes por salto (SES/año)	160	70*	20
Cortes por salto (SES/km-mi/año)	4 (6.4)	1.8 (2.8)*	0.5 (0.8)
Cortes por salto (SES/cualquier mes)	52*	24	7*
Confiabilidad anual por salto (%)	99.9995	99.9998	99.99993

SHORT–HAUL: TRANSPORTE SOBRE CORTAS DISTANCIAS.

HIGH–GRADE: ALTA ESTÁNDAR DE CALIDAD.

LONG.HAUL: TRANSPORTE SOBRE LARGAS DISTANCIAS.

OBJETIVOS DE CORTE POR SALTO EN SISTEMAS DE MUY CORTAS DISTANCIAS (1 – 5 SALTOS): 99.999 % (315 SES/AÑO).

*OBJETIVO NO ESTABLECIDO PERO MEDIDO A UN PROMEDIO ANUAL DE 10 °C (50°F).

**OBJETIVOS QUE ASUMEN 50% DE LOS TRAYECTOS CON DESVANECIMIENTO.

CUADRO 3.6: OBJETIVOS DE CORTE.

3.3.4.3. Estados de Calidad de Radios Digitales.

CALIDAD OBJETIVOS TÍPICOS							
PARÁMETROS	BELLCORE		ITU-R	AT&T ACUNET			
	DS1	DS3	64 Kbps	T1.5 (DS1)		T45 (DS3)	
Longitud del sistema (km)	400	400	2500	400	1600	400	1600
% EFS del sistema	99.96 99.86*	99.6 99*	99.68	99.9	99.3	97.1	92
% EFS por salto	99.996 99.986*	99.96 99.9*	99.995	99.99	99.99	99.7	99.8
RBER del sistema	2*E-10 (-9)		5*E-9				
RBER por salto	2*E-11 (-10)		8*E-11	no está especificado, pero			
Ráfaga ES del sistema	4/día		345/día	ocurren ráfagas ocasionales			
Ráfaga ES por salto	2 - 5/día		2 - 5/día				

*SON REQUERIMIENTOS; TODOS LOS OTROS SON OBJETIVOS.

CUADRO 3.7: OBJETIVOS DE CALIDAD.

- **Estado Libre de Errores** de largo plazo.

- **Estado de ES Aleatorio** con uno o dos bitios errados (*Bit Error* – BE por segundo medido en tasas E1/T1 (RBER < 10^{-6}).
- El **Estado de Ráfaga ES** con múltiple BE por segundo medido (10^{-6} < BER < 10^{-3}).

3.3.4.4. Eventos con BER de 10^{-6}.

Este tipo de eventos raramente se contribuyen del desvanecimiento de los enlaces de microondas digitales, de modo que dicho BER no debe asignarse al umbral Dinámico (Corte). Este BER aleatorio y eventos de ráfagas ES se incluyen en la Calidad del desempeño de los radios.

3.3.5. NECESIDAD DE ESQUEMAS DE PROTECCIÓN Y ARREGLOS DE DIVERSIDAD[14].

En el pasado las interrupciones cortas de tráfico que no involucraban desconexión en los enlaces de microondas eran a menudo aceptados por muchos usuarios privados; pero las expectativas han cambiado con el transporte digital por microondas de interconexiones LAN, datos de alta velocidad, teleconferencia, imagen y nuevas tecnologías; por eso un excesivo número de desvanecimientos cortos (interrupción de circuitos) y peor aún cortes de largo plazo (desconexión de tráfico) son inaceptables para la mayoría de usuarios.

Para combatir de la mejor manera estas interrupciones se han definido:

- Los **Esquemas de Protección**: que proveen un cierto nivel de seguridad contra los cortes de largo plazo (> 10 CSES por evento) que causan la desconexión del tráfico y la pérdida de datos; y
- Los **Arreglos de Diversidad**: que reducen el número y duración de los cortes de corto plazo (< 10 CSES por evento), mismos que no provocan desconexión de tráfico.

[14] Laine; opus citatum # 18

3.3.5.1. Esquemas de Protección.

Protección implica redundancia, o sea, reemplazo de subsistemas defectuosos por entidades iguales "en línea" o "sustitutos" (*on–line* o *standby*). Considerando esto, el tipo de protección que se seleccione para el diseño de un sistema depende del criterio de disponibilidad (cortes de largo plazo) y características de los equipos; así pues, se puede mencionar:

- **1 + 1** o Protección Completa (*Hot Standby* – HS).
- **1 + 1 En Línea** o Protección por Elementos Paralelos (HS).
- **N + 1** o Protección Multimódulo o Multilínea (HS)
- Compartición de Transmisores con Conmutación de Canal Reverso (*Split Transmitters + Reverse Channel Switch* – HS + ST).
- Arquitectura de Anillo Auto Sanante (*Self–Healing Ring Architecture* – SR).

Por otro lado, la probabilidad de un corte de largo plazo con desconexión de circuitos se reduce enormemente con el adecuado esquema de protección, según el caso:

- Falla por **Degradación de Equipos**:
  - 1 + 1, módulo completamente redundante (HS).
  - N + 1, un "sustituto" para dos o más módulos (HS).
- Falla por **Mala Alineación del Sistema de Antenas**:
  - (HS + ST).
  - Si se permite, dos platos con Diversidad Híbrida (*Hybrid Diversity* – HD).
- Falla por **Desvanecimiento de Potencia**:
  - Si se debe a lluvia o desacople, (SR).
- Falla de **Infraestructura**:
  - De la energía, de la torre, etc., SR

- Falla por **Intervención Manual**:
  - Ninguna, las fallas en módulos de transmisión o recepción cerrados o en el trayecto causan largos cortes.

3.3.5.2. Arreglos de Diversidad[15].

Las configuraciones de diversidad también poseen buenos atributos de protección y ayudan a disminuir el impacto de la degradación por margen de desvanecimiento debida a: la Interferencia Co–canal y de Canal Adyacente; el Desacople del Factor K de la Antena, el Mal Alineamiento de la Antena, los Desvanecimientos Dispersivos (Distorsión de Espectro), los Desvanecimientos por Obstrucción y Desenfoques así como también los efectos ambientales.

El tipo específico de arreglo de diversidad que se asigna a un enlace de microondas está sujeta a la disponibilidad del usuario, a los objetivos de desempeño, a las configuraciones de los equipos, a la geometría del trayecto, y a las condiciones atmosféricas. Entre estos arreglos de diversidad se tiene:

- Diversidad de Espacio (*Space Diversity* – SD).
- Transmisores Compartidos (*Split Transmitters* – SD + ST).
- Diversidad Angular (*Angle Diversity* – AD; dos alimentadores en el mismo plato).
- Diversidad de Frecuencia (*Frecuency Diversity* – FD; un solo plato por extremo).
- Diversidad Híbrida (*Hybrid Diversity* – HD; polarizado simple – SD + FD; dos receptores por extremo, tres o cuatro platos por trayecto).
- Diversidad Cuádruple (*Quadruple Diversity* – QD; polarizado dual – SD + FD; cuatro receptores por extremo, cuatro platos con polarizado dual por trayecto).

[15] Zebrowitz; opus citatum # 39

- Diversidad de Ruta o Anillos Auto Sanantes (*Self–Healing Rings* – SR).

3.3.5.3. Niveles de Protección y Efectividad Relativa.

Los niveles de protección de un sistema se relacionan con la probabilidad de ocurrencia de falla en los subsistemas (los módulos más complejos tienen más alta tasa de falla que los módulos sencillos). Así pues tales niveles de protección son:

- **1 + 1 En Línea**, o redundancia conmutada, para unidades complejas cuya falla podría afectar a mas de cuatro circuitos E1/T1, o, como es más común, el total de circuitos.
- Protección conmutada **N + 1**, siendo N de dos a siete unidades En Línea, para fallas en tarjetas multiplexoras menos complejas u otras fallas que talvez afecten de dos a cuatro circuitos E1/T1.
- **Ninguna** protección para elementos cuya falla afecta tan solo a un único canal, sea este, de frecuencia de voz, de datos o de servicio o incluso un único circuito E1/T1.

En cuanto a los niveles de efectividad (o efectividad relativa) que presentan dichos esquemas, se tiene:

- **1**, conmutación de datos sin error con desvanecimientos o fallas de equipo, que muestra también una gran mejora en diversidad.
- **2**, conmutación de datos usualmente sin impacto (quizá alguna pérdida ocasional de sincronismo) con fallas de equipo y menos efectiva, pero aún con conmutación sin error en el receptor.
- **3**, conmutación de circuito de anillo sin impacto que presenta el menor tiempo de interrupción (talvez 50 ms).
- **4**, conmutación de circuito de anillo sin impacto que presenta un tiempo de interrupción mayor.
- **P**, protección parcial (solo una dirección).

- **No**, sin protección o atributos de diversidad.

Mientras que los arreglos de las antenas pueden ser:

- **TTRR**, un único plato en ambos extremos.
- **TTR/R**, plato principal y otro de solo recepción.
- **TR/TR**, platos compartidos transmisores y receptores.
- **T–R/T–R**, platos únicos en anillos conmutados de trayecto unidireccional (circuitos punto a punto – *point–to–point trunks*).
- **T–R–T–R**, platos únicos en un anillo de línea conmutada bidireccional con canales de frecuencia de voz, DS0/E0 y *drop & insert* en cada circuito.

Para mostrar una comparación entre los diversos esquemas de protección y arreglos de diversidad tomando en cuenta lo mencionado en los puntos anteriores, se presenta el siguiente cuadro:

ESQUEMAS DE PROTECCIÓN Y ARREGLOS DE DIVERSIDAD
EFECTIVIDAD RELATIVA

ARREGLOS		FALLA DE	FALLA DE	DESVANECIMIENTO	CORTE POR	FALLA DE
ANTENAS	RADIOS	EQUIPO	ANTENAS	MULTITRAYECTO	LLUVIA	SITIO
TTRR	HS	2	–	–	–	–
TTR/R	SD	2	P	1	–	–
TR/TR	SD + ST	2	2	1	–	–
TTRR	AD	2	P	2	–	–
TTRR (TR/TR)	FD/HD	1	1	2/1	–	–
TTRR - TR/TR	HD	1	P	1	–	–
TRR/TRR	QD	1	1	1	–	–
T - R/T - R	SR	3	3	P	3	3
T - R - T - R	SR	4	4	P	4	4

CUADRO 3.8: EFECTIVIDAD RELATIVA.

3.3.5.4. *Hot Standby* Monitoreado.

La configuración de equipos de protección más común es el *Hot Standby* Monitoreado (HS) de módulo sencillo o de cadena de módulos, en el que se asegura un estado de monitoreo siempre listo del módulo fuera de línea y el módulo *Hot Standby*; que los diferencia de los poco utilizados módulos *Cold Standby* de sitios remotos que desconectan su energía hasta que sea necesaria.

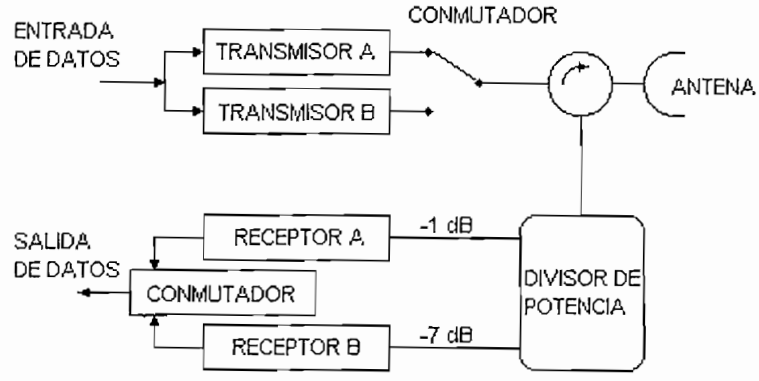


FIGURA 3.10: ARREGLO DE TERMINAL *HOT–STANDBY* (HS).

3.3.5.5. Diversidad de Espacio[16].

En esta configuración, la salida de un transmisor alimenta a dos o más antenas que se encuentran separadas físicamente por un número apreciable de longitudes de onda, en forma similar, en el extremo receptor, puede haber más de una antena, de modo que al llegar la señal, éstas se encuentren en fase y se agreguen.

Este tipo de diversidad implica receptores redundantes conmutados sin errores (o impacto) conectados de manera espaciada verticalmente al plato principal y al plato de diversidad.

A menudo se la utiliza en configuraciones de protección SR con transmisores redundantes (HS o ST). En general es más efectiva que

[16] Vigants; opus citatum # 37

FD y a menudo se usa sola o en combinación con FD para lograr el más alto desempeño y reducir el numero de antenas.

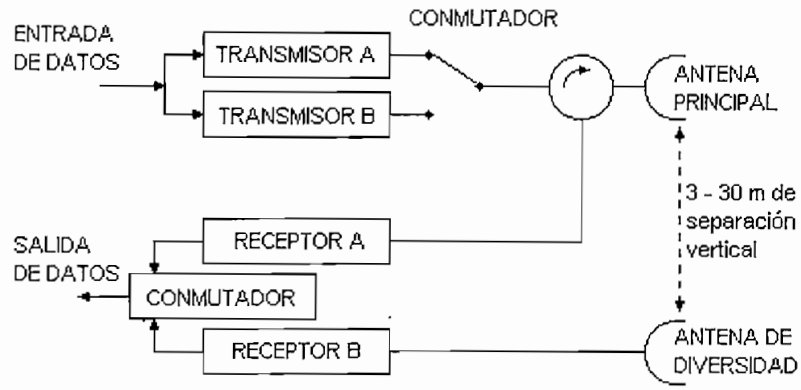
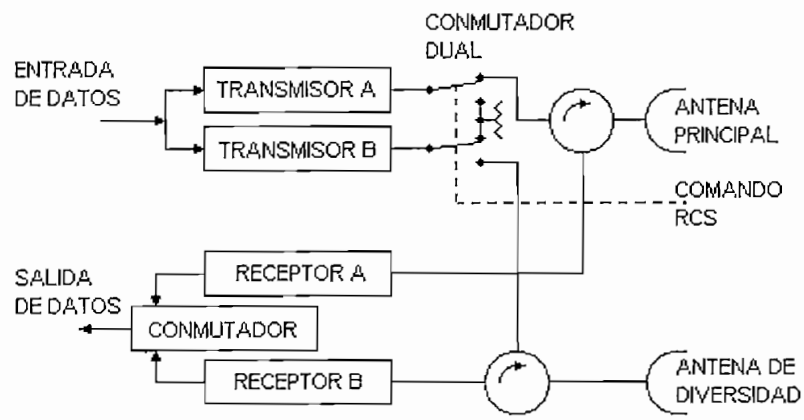


FIGURA 3.11: ARREGLO DE DIVERSIDAD DE ESPACIO (SD) CON TRANSMISORES HS.

3.3.5.6. Diversidad de Espacio con Transmisores Compartidos.

Este tipo de configuración es muy útil pues proporciona protección al sistema alimentador de la antena (redundancia). En este sistema cada transmisor HS se conecta (con un receptor de diversidad) a su propia antena verticalmente espaciada. Dicho receptor conmuta sin errores la actividad del desvanecimiento por trayectos múltiples.



RCS: Conmutador de Canal Reverso, activado por la degradación común de ambos receptores en los extremos lejanos

FIGURA 3.12: ARREGLO DE SD CON TRANSMISORES COMPARTIDOS (ST) PARA PROTEGER EL SISTEMA ALIMENTADOR DE ANTENAS.

3.3.5.7. Diversidad de Espacio con Combinación de Frecuencia Intermedia.

Los combinadores de Frecuencia Intermedia (IF) se utilizan a en ocasiones como sustitutos de los conmutadores de datos (conmutadores sin error) a la salida de un receptor redundante (caso anterior), anillos auto sanantes no protegidos y enlaces de microondas multilínea N + 1.

La combinación de IF mejora el umbral en 3 dB comparado con la conmutación de datos, es una solución de diseño económica y efectiva.

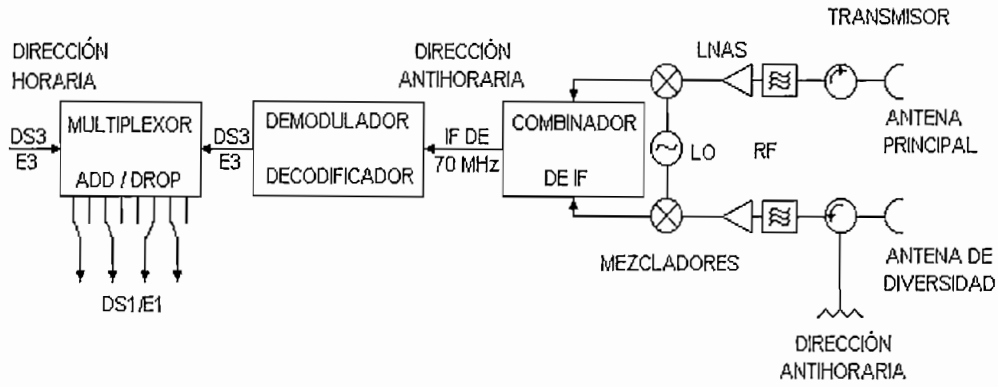


FIGURA 3.13: SD CON COMBINADORES DE IF EN SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE ANILLO.

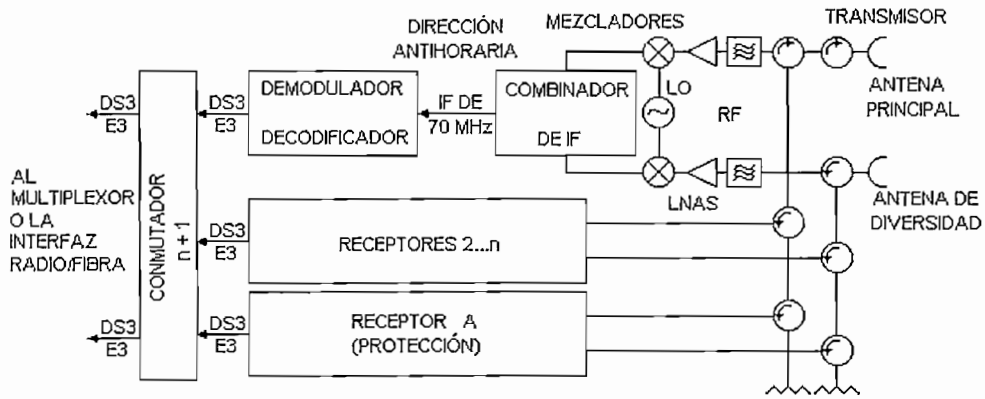


FIGURA 3.14: SD CON COMBINADORES DE IF EN SISTEMAS DE PROTECCIÓN n +1.

3.3.5.8. Diversidad Angular.

Este tipo de arreglo fue ampliamente usado en enlaces de microondas con línea de vista desde mediados de los 80´s y en largos enlaces troposféricos desde los 50´s. De acuerdo al modelo I_{SD} de Vigants, no debería ocurrir ninguna mejora por diversidad, pero este modelo asumía mayor actividad del desvanecimiento plano que el dispersivo (distorsión de espectro) sobre el trayecto, siendo el primero típico de radioenlaces analógicos o digitales de banda estrecha.

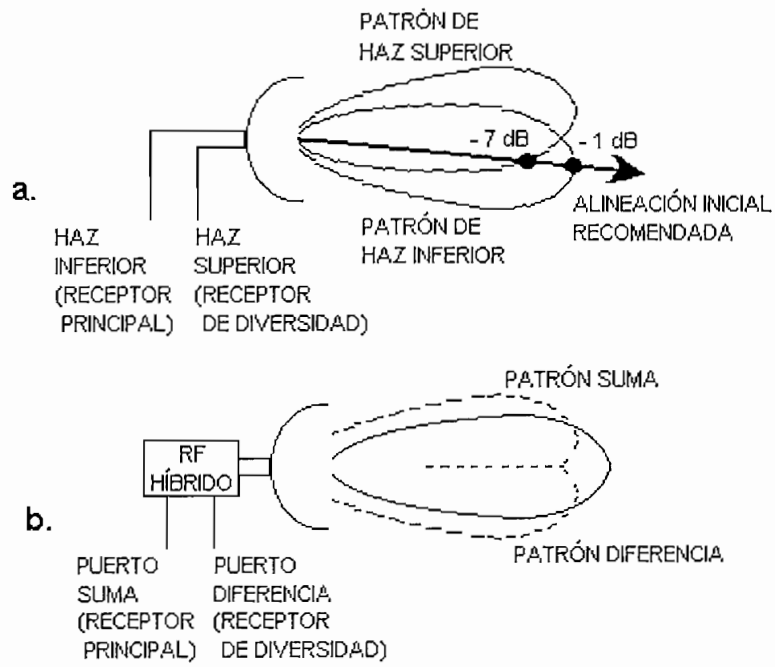


FIGURA 3.15: DIVERSIDAD ANGULAR: a. HAZ DUAL b. ACOPLE HÍBRIDO.

3.3.5.9. Diversidad de Frecuencia y Diversidad Híbrida.

La diversidad de frecuencia es la modulación sencilla de dos frecuencias diferentes de portadora de radio frecuencia (RF) con la misma inteligencia IF, y luego transmitir ambas señales a un destino determinado. En el destino, ambas portadoras son demoduladas, y la que da la señal de IF de mejor calidad es la que se selecciona.

Muchas de las condiciones atmosféricas adversas temporales que degradan una señal son selectivas en lo que a frecuencia se refiere; pueden degradar una frecuencia más que otra. Sin embargo, los arreglos de diversidad de frecuencia 1 + 1 hacen un uso ineficiente del espectro de radio frecuencias.

La diversidad híbrida es un mejoramiento de la diversidad de espacio usando diversidad de frecuencia. Es además el más efectivo arreglo de diversidad, y el preferido en áreas difíciles como cimas de montañas con espacio limitado, áreas urbanas y otros enlaces restringidos a una única antena en un extremo. El más común es el arreglo de diversidad híbrida de tres platos, pero el arreglo de cuatro platos provee protección al sistema alimentador de la antena en ambos sitios.

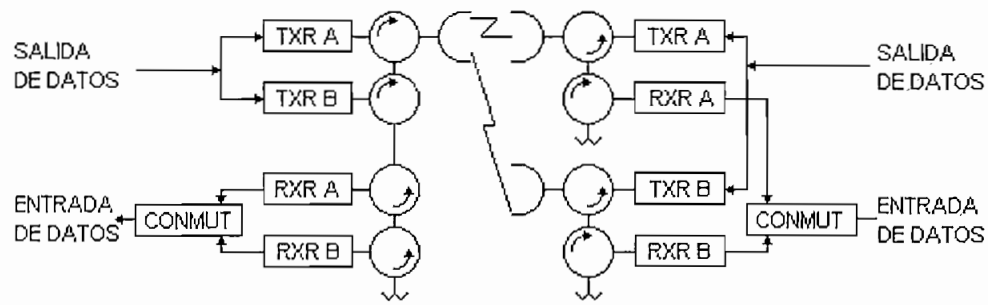


FIGURA 3.16: DIVERSIDAD DE FRECUENCIA Y DIVERSIDAD HÍBRIDA.

3.3.5.10. Diversidad de Polarización.

Con este tipo de diversidad, una sola portadora se propaga con dos diferentes polarizaciones electromagnéticas (vertical y horizontal). Las ondas electromagnéticas de diferentes polarizaciones no necesariamente experimentan el mismo deterioro en las transmisiones. Usualmente se la utiliza en conjunto con la diversidad de espacio (cada plato con polarización distinta); también se la emplea con la diversidad híbrida.

3.3.5.11. Protección de Anillo en Sistemas de Transmisión Digital[17].

El propósito de la protección de anillo es proveer un servicio confiable de comunicación que sea de bajo costo en comparación a otros métodos de protección y con menos equipo requerido para transmisión. Este sistema proporciona al usuario características tales como operación sencilla, rápida ubicación de fallas y facilidad de mantenimiento; además protege el *hardware* del sito (baterías, torres, antenas) y el equipo de radio y multiplexores contra fallas de propagación.

La protección de anillo se conoce también como Diversidad de Ruta.

La protección de anillo proporciona una ruta alterna contra fallas de largo plazo como las de trayecto, de sitio y de equipos con el uso de repetidores de radio no protegidos; así como contra largos periodos de indisponibilidad debido a lluvia pesada en altas frecuencias u otros desvanecimientos de potencia, a fallas de infraestructura, etc. Con este sistema se simplifica la ubicación de fallas, pruebas y mantenimiento.

3.3.5.11.1. Características Únicas y Ventajas de la Protección SR para Redes Digitales.

- Confiabilidad del sistema debido a los mínimos requerimientos de equipo.
- Protección frente a fallas catastróficas del sitio.
- Ninguna pérdida en el tráfico de E1/T1 debido a fallas sencillas.
- Ruteado automático de alarmas de sistema.
- Facilita el rápido mantenimiento.
- Aísla trayectorias para propósitos de mantenimiento.
- Se conmutan las fallas individuales de E1/T1.
- Pueden probarse E1/T1 individuales sin sacarlos de servicio.
- Ubicación sencilla de fallas.

[17] Laine; opus citatum # 18

- Los costos por equipamiento se reducen cerca del 40 %.
- Presentan flexibilidad y simplicidad para conmutación y ruteo de circuitos E1/T1 individuales.
- Ruteo alternado de E1/T1 por diversos medios (enlaces de microondas, enlaces satelitales, líneas arrendadas, etc.).
- Pueden removerse enlaces individuales para alineación o pruebas sin interrumpir el tráfico.
- Puede acomodar todos los escenarios de fallas sencillas de largo plazo, así como también puede aumentarse HS para acomodar múltiples fallas ("doble redundancia").
- Es necesario aumentar receptores SD para acomodar cortes por trayectos múltiples de corto plazo únicamente si los circuitos E1/T1 no pueden rutearse normalmente lejos de un trayecto con desvanecimiento.

3.3.5.11.2. Consideraciones de Diseño.

El equipo de protección de anillo se necesita únicamente en sitios de acceso E1/T1, donde se conectan las troncales a través de sitios intermedios. Cada circuito E1/T1 debe dedicarse completamente al rededor del anillo, haciendo imposible la reutilización del mismo E1/T1 en la dirección opuesta mientras se retiene la protección del anillo.

Protección adicional como la diversidad de espacio o frecuencia puede necesitarse contra Tiempo Fuera de Servicio – Corte (*Outage*) por trayectos múltiples. En el caso de necesitarse la máxima confiabilidad ("*belt & suspenders*"), por lo general en sitios remotos de difícil acceso, ambas direcciones pueden protegerse 1:1.

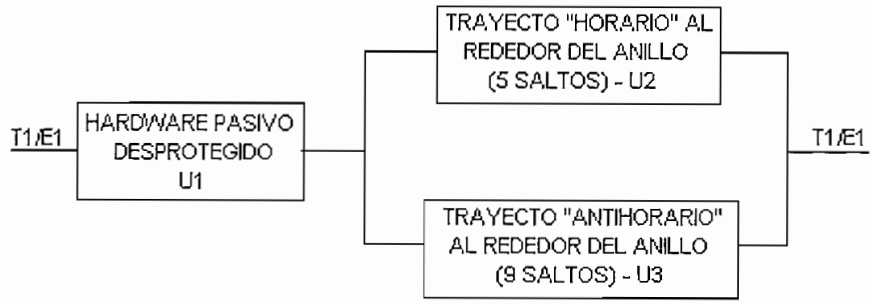


FIGURA 3.17: MODELO DE CONFIABILIDAD.

3.3.5.11.3. Tipos de Conmutación con Protección SR.

- **Anillo Unidireccional de Trayecto Conmutado**, en el que cada circuito E1/T1 se alimenta de forma dual desde su fuente, en sentido horario o antihorario, al rededor del anillo hacia su sito asignado de destino. La selección de ruta (solo en el sitio de destino) no debe ser preferencial.
- **Anillo Bidireccional de Línea Conmutada**, estos anillos "introducen y sacan" canales de un circuito E1/T1 en la dirección normal, y proveen protección de ruta únicamente en la dirección opuesta con lazos de retorno automáticos.

3.4. INGENIERÍA EN ENLACES DE MICROONDAS DIGITALES.

3.4.1. PROPAGACIÓN DE LAS MICROONDAS.

En los sistemas de radio, las ondas se propagan de varias formas, (según el sistema y el ambiente) y viajan en línea recta, excepto cuando la Tierra y su atmósfera alteran su trayectoria.

Existen tres formas de propagación de las ondas electromagnéticas: ondas de tierra, ondas espaciales, y propagación de onda del cielo; que se manifiestan en todo sistema de radio (algunos despreciables a ciertas frecuencias o en ciertos terrenos). En frecuencias bajo 1.5 MHz, las ondas de tierra dan la mayor cobertura (las pérdidas de tierra aumentan rápidamente con la frecuencia). Las ondas del cielo se usan en aplicaciones HF y para aumentar la cobertura nocturna (cuando la absorción ionosférica es mínima), y las ondas espaciales para aplicaciones VHF y superiores.

La propagación de las microondas es espacial, ya sea directa (transmisión por línea de vista) o bien reflejada a tierra conforme se propaga. En este tipo, la intensidad del campo en la antena receptora depende de la distancia entre las antenas (atenuación y absorción) y si las ondas, directas y reflejada están en fase (interferencia). En el rango de las microondas la onda de superficie es despreciable y la onda del cielo es una fuente de interferencia ocasional de larga distancia[18].

3.4.1.1. Campo Cercano y Campo Lejano de las Antenas.

El campo de radiación que se encuentra cerca de una antena no es igual al que se encuentra a gran distancia; el término campo cercano se refiere al patrón del campo que está cerca de la antena.

[18] Tomasi; opus citatum # 33

Durante la mitad del ciclo, la potencia se irradia desde una antena, en donde parte de la potencia se guarda temporalmente en el campo cercano, luego, en la segunda mitad del ciclo, la potencia que está en el campo cercano regresa a la antena.

El campo cercano se llama a veces *Campo de Inducción* (por la acción de guardar y soltar energía); por otro lado, al campo lejano se lo llama a menudo *Campo de Radiación,* pues la potencia que alcanza el campo lejano continúa irradiando lejos y nunca regresa a la antena[19].

El campo lejano de una antena empieza donde el frente de onda se desvía del plano por al menos 1/16^{avo} de longitud de onda (λ/16) a través de su abertura. También ocurre si: $K_1 > 2$ siendo $K_1 = 1/K$

$$d_{ff} := 2 \cdot \frac{D^2}{\lambda} \qquad \text{ec. 3.1}$$

$$d_{nf} := \frac{a^2}{2 \cdot \lambda} \qquad \text{ec. 3.2}$$

$$K_1 := \pi \cdot \lambda \cdot \frac{d_{if}}{4 \cdot a^2} \qquad \text{ec. 3.3}$$

- **d_{ff}** (m), distancia del campo lejano.
- **D** (m), diámetro del plato.
- λ (m), longitud de onda.
- **d_{nf}** (m), distancia del campo cercano.
- **a^2** (m^2), área proyectada de la antena.
- **d_{if}** (m), distancia del campo cercano o lejano (según se requiera)

[19] Siemens; opus citatum # 29

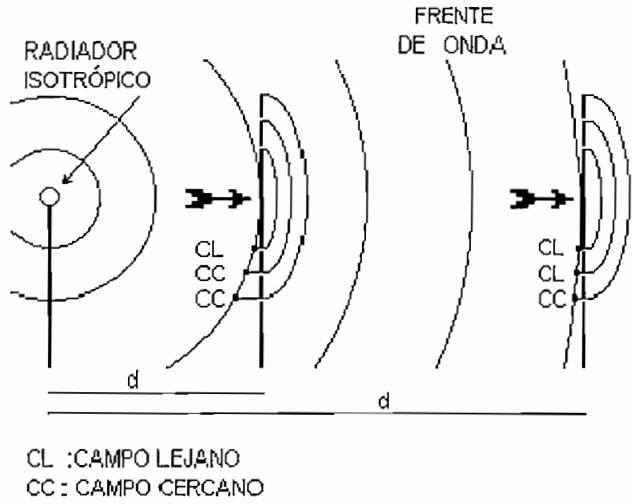


FIGURA 3.18: CAMPO CERCANO Y LEJANO DE UNA ANTENA (RADIADOR ISOTRÓPICO). (CL Y CC SON PARA UNA DISTANCIA DADA).

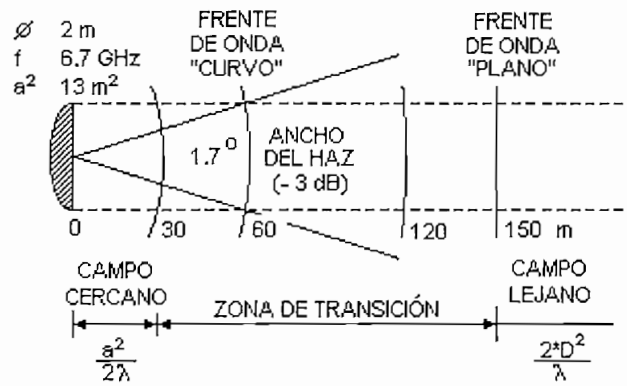


FIGURA 3.19: CAMPO CERCANO Y LEJANO (CASO ESPECÍFICO).

El efecto de los campos está presente en todo el trayecto; además:

- Todos los perfiles del trayecto y claridad de Fresnel se consideran campo lejano.
- Debido a que la energía de la antena está contenida dentro de su área proyectada, no se requiere de ningún tipo de claridad dentro de su campo cercano.
- La energía del frente de onda se difunde en el campo lejano, perdiendo 6 dB/oct (cada vez que se duplica la distancia, por la ley del inverso del cuadrado) por la apertura de la antena receptora.
- Todas las ganancias de la antena se consideran campo lejano a menos que el campo cercano de la curvatura del frente de onda se

acomode a la forma del reflector o que se incluyan las pérdidas de campo cercano de la ganancia de la antena.

3.4.1.2. Trazado del Rayo.

Un rayo es una línea dibujada a lo largo de la dirección de propagación de la onda electromagnética (los rayos ilustran la dirección relativa de propagación de la onda). Un frente de onda se forma cuando los puntos de igual fase sobre rayos propagados de la misma fuente se unen. Cuando la superficie es plana, su frente de onda es perpendicular a la dirección de propagación, esto ocurre a una distancia suficiente de la fuente pues los rayos dentro de un área pequeña son casi paralelos y convierten al frente de onda en un plano.

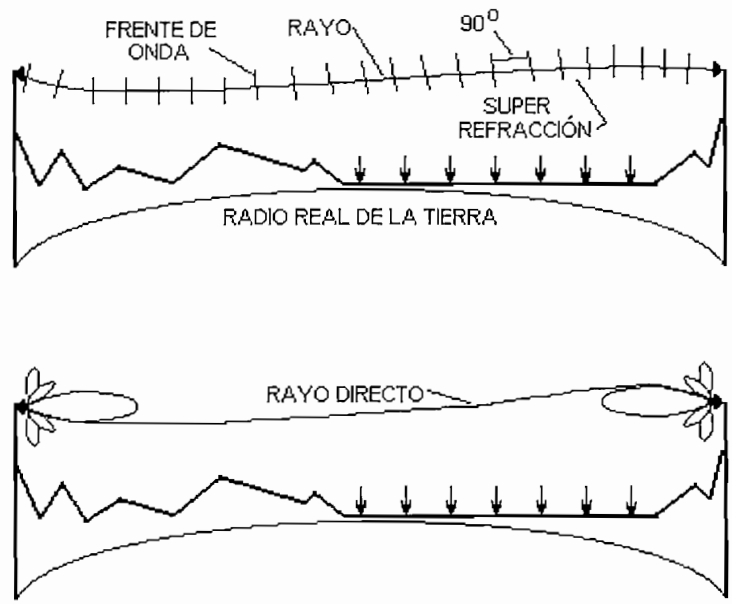


FIGURA 3.20: TRAZADO DEL RAYO.

El frente de onda de un "rayo" de microondas es circular, sin embargo, la parte de mayor interés es igual al diámetro (apertura) de la antena. Más allá del campo cercano de la antena y dentro del campo lejano, el frente de onda es plano, como lo muestra el gráfico; de modo que los rayos, uno directo y otros multi trayecto, si es que existen, son siempre

perpendiculares al frente de onda (solo un rayo se asigna a cada ruta, sea esta directo o multi trayecto)[20].

Las antenas son útiles únicamente para proporcionar el máximo acoplamiento de energía del rayo directo hacia el alimentador de la guía de onda (excluyendo cualquier otro rayo multi trayecto)

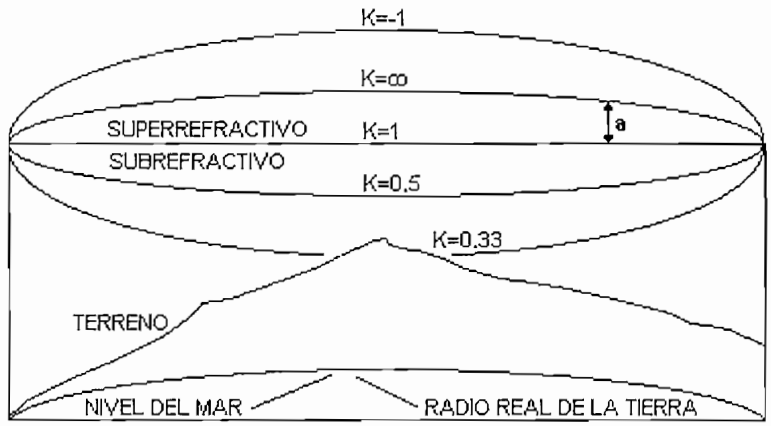
Como se desprende de lo anterior, toda la ingeniería de trayecto y perfilado se basa en el análisis de los rayos; además, se deduce que la alineación de las antenas es muy importante para conseguir el mínimo desvanecimiento.

3.4.1.3. Desvanecimiento Debido al Factor de Corrección del Radio Terrestre (K).

La imagen idealizada de un amplio rango de factores K (influenciada por los gradientes de densidad atmosférica a lo largo del trayecto) difícilmente podría ocurrir; de ser así, los rayos fluctuarían como un cordón suelto bajo la influencia del viento que conecta a los dos platos. Sin embargo, mientras se use K = 1 para establecer la mayoría de las claridades de trayecto, pueden ocurrir valores de K desde infinitos hasta negativos.

Los valores de K inferiores a uno (que significan bloqueo del trayecto debido a la "protuberancia" de la tierra), suceden muy esporádicamente, pero pueden ocurrir si se presentan frentes fríos u otras condiciones atmosféricas adversas. Cuando se establece la claridad del trayecto con valores de K inferiores a uno, se lo hace para elevar dicha claridad sobre las capas "de trampa"[21].

[20] Alcatel; opus citatum # 2
[21] ITU; opus citatum # 12



$$K = \frac{\text{RADIO EFECTIVO DEL TRAYECTO}}{\text{RADIO REAL DE LA TIERRA}}$$

a: EL ÁNGULO DE LLEGADA CAMBIA 1° (UN GRADO) EN TRAYECTOS LARGOS QUE ATRAVIESAN ZONAS HÚMEDAS.

FIGURA 3.21: ILUSTRACIÓN DEL DESVANECIMIENTO POR EL FACTOR K.

3.4.1.4. Efectos Ópticos en la Propagación de Ondas.

Debido a la naturaleza de las señales de radio, efectos tales como la refracción, difracción y reflexión se analizan principalmente en términos de la óptica geométrica (rayos y frentes de onda); esto se debe a que los principios físicos de la luz son perfectamente aplicables a la propagación de ondas, donde también se manifiestan dichos fenómenos[22].

- **Efectos de la refracción.** La refracción afecta a la propagación de ondas, dispersando o desviando el haz principal del trayecto esperado debido a mínimas variaciones acumulativas por el índice de refracción entre capas atmosféricas (cuando existe gran diferencia de altura entre los extremos de transmisión y recepción), o por la presencia de agua en el aire (humedad) o cambios de temperatura, y/o presión.

[22] Siemens; opus citatum # 30

- **Efectos de la difracción.** El principio de Huygens considera que en un punto dentro de un frente de onda, se radían ondas esféricas secundarias, que a una cierta distancia dan lugar a la formación de nuevos frentes. Si a lo largo del camino radioelectrico se encuentra un obstáculo, se espera que haya una zona de sombra tras el obstáculo, y por tanto ninguna señal presente; sin embargo, en la práctica sí existe campo tras el obstáculo. La forma del obstáculo influye en el valor de atenuación que produzca el mismo, siendo mínimo para una única obstruccion en forma de arista, y máximo por la protuberancia (esfericidad) de la tierra.
- **Efectos de la reflexión.** La presencia de una onda que se refleja, principalmente sobre superficies planas (como espejos de agua), provoca que el haz desviado siga su curso hacia el receptor, llegando, en el peor de los caso, a anular la onda principal si el trayecto reflejado ha alcanzado una fase opuesta.

3.4.1.5. Perfiles de Trayecto.

El trazado del perfil del trayecto es fundamental para establecer la existencia de línea de vista directa o de obstrucciones que pudiesen interferir con el haz. Para la generación de perfiles de trayecto (perfiles topográficos) debe tomarse en cuenta detalles tales como elevaciones, pantanos, lagos, ríos, terrenos reflejantes expuestos, altura de árboles, estructuras hechas por el hombre, factores de rugosidad del terreno (S_m), factores climáticos, etc; sin olvidar la forma del perfil, esto es, un perfil con radio real de la tierra, o un perfil con radio "plano" de la tierra.

3.4.1.6. Criterios de Claridad de Trayecto[23].

La Claridad de Trayecto se relaciona íntimamente con la altura a la que se ubican las antenas, buscando con esto minimizar el *impacto* que tienen los límites de las capas atmosféricas en el margen de

[23] ITU; opus citatum # 12

desvanecimiento de largo plazo y por consiguiente en el desempeño del enlace. Dicha altura de las antenas se basa en:

- Factor Clima–Terreno (c o K*Q) como una medida del número de ocurrencias de tales capas atmosféricas, y
- La banda de Frecuencia, como una medida de la sensibilidad del trayecto a dichas capas atmosféricas.

En el caso de rutas "pesadas" (al rededor y por sobre los 6 GHz, en áreas con desvanecimientos de moderado a pesado y con factor clima–terreno entre 2 y 6); los criterios son:

- Para el trayecto principal (antena más elevada):
  - si K = 2/3, entonces se considera claridad con 0.3F1.
  - si K = 4/3, entonces se considera claridad con F1.
- Para los trayectos de diversidad (considerando las antenas desde arriba hacia abajo):
  - si K = 4/3, entonces se considera claridad con 0.6F1 y con 3 m de proximidad de vegetación; típicamente de 10 a 12 m bajo el plato principal.
- *Ducting,* claridad del trayecto principal con superficie de enclaustramiento conocida del "ducto" (trayectos de más de 30 Km):
  - si K = 1, entonces se considera claridad con 50 m por sobre la superficie del "ducto".
  - si K = ½ entonces se considera al rayo rozando tal superficie.

En el caso de emplearse los criterios de K = 2/3 (0.3F) o *Ducting* en rutas "pesadas", es siempre necesario diversidad de espacio u otro tipo.

Para el caso de rutas "livianas" (al rededor y bajo los 2 GHz, en todo trayecto, en áreas con desvanecimiento bueno a promedio y con factor clima–terreno entre 0.25 y 1):

- Para el trayecto principal:
  - si K = 1, entonces se considera claridad con 0.6F.
- Para los trayectos de diversidad (antenas desde arriba a abajo):
  - si K = 4/3, entonces se considera claridad con 0.6F1 y con 3 m de proximidad de vegetación; típicamente de 10 a 12 m bajo el plato principal.
- *Ducting,* sin asignación específica.

3.4.1.7. Alineación de las Antenas[24].

El desempeño de un enlace depende de la correcta alineación de las antenas; esto se realiza con el fin de lograr un óptimo Nivel de Señal Recibida (*Recieve Signal Level* – RSL), para evitar las reflexiones del suelo que causan desvanecimiento y pueden reducir el margen de desvanecimiento dispersivo del enlace (*Dispersive Fade Margin* – DFM) y finalmente para acomodarlas por tamaño, inclinación, y variaciones – por el factor K – del ángulo de llegada que pueden causar desacople y desvanecimiento severo.

3.4.1.7.1. Procedimientos para el Alineamiento de las Antenas.

- Buscar para cada plato el máximo acimut, elevación y polarización para conseguir el mejor RSL.
- Verificar la alineación del eje en la alimentación de señal.
- Inclinar hacia arriba los platos más grandes al rededor de 1 dB, cuando se trate de trayectos largos con frecuencias por sobre los 6 GHz en áreas costeras o de alta humedad, para minimizar el desvanecimiento de energía debido al desacople nocturno de las antenas.
- Inclinar hacia arriba los platos que tengan el lóbulo principal (no el lateral) acoplado a una señal de alto nivel y largo retraso para un mayor DFM.

[24] Laine; opus citatum # 17

Una vez realizados los pasos anteriores se continúa con el análisis y corrección de alineación en el caso de tener un bajo RSL; esto se consigue de la siguiente manera.

- Rotar exactamente 90° una polarización alimentada. Una caída mayor a 25 dB en RSL (X–pol) denota ausencia de reflexión especular de trayecto.
- Un bajo X–pol (< 20 dB) indica reducción de RSL debido a la reflexión especular de trayecto; en ese caso inclinar un plato (o ambos) hacia arriba o abajo o aumentar diversidad.
- Un trayecto bajo con adecuada X–pol (> 25 dB), sugiere un mal componente del sistema alimentador de la antena o un trayecto obstruido. Chequear pérdidas en alimentadores con un medidor de potencia. Chequear cada antena para su sustitución.

3.4.2. PARÁMETROS EN EL DISEÑO DEL ENLACE DEL SISTEMA.

3.4.2.1. Ganancia del Sistema y Pérdidas Netas de Trayectoria.

En su forma más sencilla la ganancia del sistema es la diferencia entre la potencia nominal de salida de un transmisor y la potencia mínima de entrada requerida por un receptor[25]. La ganancia del sistema debe ser mayor que o al menos igual a la suma de todas las ganancias y pérdidas incurridas por una señal, conforme se propaga de un transmisor a un receptor. En esencia, representa la pérdida neta de un sistema de radio. La ganancia del sistema se utiliza para predecir la confiabilidad de un sistema para determinados parámetros.

[25] Tomasi; opus citatum # 33

Las pérdidas netas de trayectoria se definen como las pérdidas incurridas por una onda electromagnética conforme se propaga en una línea recta entre un transmisor y un receptor.

3.4.2.2. Umbral Estático y Umbral Dinámico en Radios Digitales[26].

El umbral estático de 10^{-6} BER (u otro BER < 10^{-6}) se emplea para verificación de campo (*in–service* y *factory*) de los niveles de interferencia y de ruido en el receptor, medido manualmente con atenuadores.

El umbral dinámico de 10^{-3} BER se emplea para cálculos de corte (*outage*) y mediciones de campo en ambientes con desvanecimiento normal con instrumentación BER.

3.4.2.3. Interferencia.

La interferencia de ondas de radio ocurre, cuando dos o más ondas electromagnéticas se combinan de tal forma que el funcionamiento del sistema se degrada. La interferencia, a diferencia de la refracción, reflexión y difracción que se analizan principalmente en términos de rayos y frentes de onda (óptica geométrica), se sujeta al principio de *superposición lineal* de ondas, y ocurre cada vez que dos o más ondas ocupan, simultáneamente, el mismo punto en el espacio[27].

El principio de superposición lineal indica que la intensidad total del voltaje en un punto dado del espacio, es la suma de los vectores de ondas individuales. Con la propagación en espacio libre, puede existir una diferencia de fase, simplemente porque la polarización de dos ondas difiere.

---

[26] Laine; opus citatum # 15
[27] Laine; opus citatum # 19

Cuando dos ondas ocupan el mismo lugar en el espacio, en la transmisión y recepción, pero han recorrido trayectos distintos, es decir, sus ángulos de fase relativos pueden ser diferentes, puede ocurrir el refuerzo o la cancelación total tan solo si la diferencia de la longitud viajada es un número entero impar o par de medias longitudes de onda respectivamente. El caso más probable es que se produzca una cancelación parcial (por ser dicha diferencia de longitud un número no entero). Los tipos de interferencia conocidas más comunes[28].

- **Interferencia Cocanal:** ocurre cuando la frecuencia de las ondas interferentes son las mismas que la de la onda deseada, lo que induce a perturbaciones radioeléctricas y a la disminución de la sensibilidad para la onda deseada.
- **Interferencia de Canal Adyacente:** ocurre cuando la frecuencia de las ondas interferentes son distintas a la de la onda deseada, pero de intensidad muy fuerte. Consecuentemente produce perturbaciones, ruido y disminución de la sensibilidad de la onda deseada.
- **Intermodulación:** debido a la utilización de circuitos no lineales se generan diversas ondas de intermodulación entre dos o más ondas utilizadas en otros canales radioeléctricos. Aunque cada una de ellas no perturbe individualmente, las ondas resultantes de la intemodulación lo hacen, pues la frecuencia resultante se aproxima a la onda deseada.

3.4.2.4. Selección de la Banda de Frecuencia[29].

Para la selección de la más adecuada banda frecuencia deben considerarse las características propias de cada una de estas bandas, así como sus ventajas y desventajas.

[28] TIA/EIA; opus citatum # 32
[29] Siemens; opus citatum # 30

- En la banda de **2 GHz**: se consigue la mejor propagación y sin desvanecimientos de potencia (por desacople o *ducting*), además una efectiva diversidad de espacio. Sin embargo estos enlaces son vulnerables a los desvanecimientos dispersivos, presentan un reducido margen de desvanecimiento debido a la baja ganancia de las antenas así como altos niveles de interferencia; los trayectos de alta claridad se vuelven muy vulnerables a desvanecimientos por reflexión.
- En la banda de **6 – 8 GHz**: se presenta el más bajo nivel de cortes en áreas sin *ducting*, el mejor desempeño en sistemas de moderada longitud, una efectiva diversidad de espacio y una buena discriminación de la interferencia en reflexiones de retardo prolongado. Por otro lado, los trayectos más largos son vulnerables a desvanecimientos de energía debido al desacople y *ducting* en climas adversos, requiriendo la mayor claridad de trayecto en algunas áreas; así mismo en ciertas áreas estas bandas son muy "solicitadas".
- En la banda de **10 GHz**: se obtiene buen desempeño en los trayectos más largos, también una efectiva diversidad de espacio y un bajo nivel de cortes por lluvia en áreas de tormentas eléctricas. Su principal desventaja es que presenta un limitado ancho de banda de canales de radio frecuencia (4 – 16 E1/T1).
- En la banda de **11 GHz**: se tiene disponible un amplio espectro (1000 MHz) y de igual manera también se dispone de muchos canales de gran capacidad. En algunas áreas, empero, presentan frecuentes cortes por lluvia.
- En la banda de **13 – 18 GHZ**: se presentan canales tanto de banda estrecha como amplia y además sus bandas no son muy solicitadas (2000 MHz en 18 GHz). Su mayor punto en contra es la limitada longitud de los trayectos ya que presenta cortes frecuentes por lluvia en áreas de tormenta eléctrica.
- En la banda de **23 – 38 GHz**: no existen restricciones por el ancho de banda, además, al igual que en el caso anterior sus bandas son

poco solicitadas (2400 MHz en 23 GHz). No obstante, presentan muy alta sensibilidad a la lluvia, por esto, es necesario de 12 a 16 dB adicionales en la ganancia del sistema (o trayectos 50 % más cortos) en áreas de lluvia para un cierto objetivo de corte.

3.5. PRINCIPALES CÁLCULOS DE TRAYECTO.

3.5.1. CÁLCULOS INICIALES.

3.5.1.1. Azimut y Distancia.

El cálculo de estos dos parámetros ayuda a ubicar en forma adecuada los sistemas radiantes en las estructuras de soporte. Dichos cálculos han sido desarrollados por el Instituto Geográfico del Japón.

$$e := \frac{A^2 - B^2}{A^2} \qquad \text{ec. 3.4}$$

- **e²** (0.00672267002), **A** (6'378.140 m) –radio ecuatorial de la tierra–, **B** (6'356.911,96413 m) –radio polar de la tierra–.

$$Lts := \frac{Lt1 + Lt2}{2} \qquad \text{ec. 3.5}$$

$$Ltd := \frac{Lt1 - Lt2}{2} \qquad \text{ec. 3.6}$$

$$Lnd := \frac{Ln1 - Ln2}{2} \qquad \text{ec. 3.7}$$

- **Lts** (°), **Ltd** (°), **Lnd** (°), elementos de valoración.
- **Lt1** (°), latitud geográfica de la estación 1.
- **Lt2** (°), latitud geográfica de la estación 2.
- **Ln1** (°), longitud geográfica de la estación 1
- **Ln2** (°), longitud geográfica de la estación 2.

$$c := \frac{1 - e^2}{1 - e^2 \cdot \sin^2(Lts)} \qquad \text{ec. 3.8}$$

$$\alpha := \operatorname{atan}\left(\frac{\cos(c \cdot Ltd)}{\sin(Lts) \cdot \tan(Lnd)}\right) \qquad \text{ec. 3.9}$$

$$\beta := \operatorname{atan}\left(\frac{\sin(c \cdot Ltd)}{\cos(Lts) \cdot \tan(Lnd)}\right) \qquad \text{ec. 3.10}$$

si Lnd > 0 entonces: $\alpha 1 := \alpha - \beta$ ec. 3.11a

$\alpha 2 := 360 + (\alpha - \beta)$ ec. 3.12a

si Lnd < 0 entonces: $\alpha 1 := 360 + (\alpha - \beta)$ ec. 3.11b

$\alpha 2 := |\alpha - \beta|$ ec. 3.12b

- **c,** α (°), β (°), elementos de valoración.
- α**1** (°), acimut de la estación 1.
- α**2** (°), acimut de la estación 2.

$$Rn := \frac{A}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2(Lts)}} \qquad \text{ec. 3.13}$$

$$d := 0.5 \cdot Rn \cdot \operatorname{atan}\left[\left|\left(\frac{\sin(\alpha) \cdot \tan(c \cdot Ltd)}{\sin(\beta)}\right)\right|\right] \qquad \text{ec. 3.14}$$

- **Rn** (Km), elemento de valoración
- **d** (Km), longitud del trayecto (distancia entre estaciones).

si Lnd = 0 y si Ltd > 0, entonces: Lnd = 1*E–9

o si Ltd ≤ 0, entonces: Lnd =–1*E–9

si Ltd = 0 y si Lnd > 0, entonces: Ltd = 1*E–9

o si Lnd ≤ 0, entonces: Ltd = –1*E–9

3.5.1.2. Factor de Corrección de Altura y Ecuación del Rayo.

Al realizar el trazado del perfil topográfico deben realizarse correcciones en la altura del mismo según el valor de K (factor de corrección de curvatura terrestre) que se emplee.

$$fca := \frac{d1 \cdot d2}{12.7 \cdot K} \qquad \text{ec. 3.15}$$

$$Hc := fca + Hi \qquad \text{ec. 3.16}$$

- **fca** (m), factor de corrección de altura por la curvatura de la tierra.
- **d1** (Km), distancia del punto i a la estación 1.
- **d2** (Km), distancia del punto i a la estación 2.
- **Hc** (m), altura corregida
- **Hi** (m), altura del punto i según la carta topográfica.

$$Hri := \frac{d1}{d} \cdot (h2 - h1) + h1 \qquad \text{ec. 3.17}$$

- **Hri** (m), altura del rayo en el punto i.
- **h1** (m), altura de la estación 1.
- **h2** (m), altura de la estación 2.

3.5.1.3. Zona de Fresnel y Apertura del Trayecto[30].

Al propagarse las ondas electromagnéticas entre los puntos A y B, se configuran elipsoides cuya sección transverasl aumente conforme se aleja de los punto indicados. De acuerdo con la teoría de difracción de Fresnel, el frente de onda queda dividido en zonas; y como la mayor porción de la potencia radiada se transmite a través de la primera de estas zonas, debe procurarse en el diseño de radioenlaces que ningún obstáculo intercepte dicha porción.

$$h0 := 17.3 \cdot \sqrt{\frac{d1 \cdot d2}{f \cdot d}} \qquad \text{ec. 3.18}$$

$$hn := h0 \cdot \sqrt{n} \qquad \text{ec. 3.19}$$

- **f** (GHz), frecuencia de operación del sistema.
- **h0** (m), radio de la primera zona de Fresnel.

[30] Laine; opus citatum # 16

- **hn** (m), radio de la n–ésima zona de Fresnel.

$$c := h1 - hs - 0.0588 \cdot ds \cdot d2 - \frac{ds}{d} \cdot (h1 - h2) \qquad \text{ec. 3.20}$$

- **c** (m), apertura del trayecto.
- **hs** (m), altura del supuesto punto de sombra.
- **ds** (Km), distancia al punto de posible sombra.

3.5.1.4. Punto de Reflexión[31].

A lo largo del trayecto de propagación, la onda se dispersa por múltiples caminos, provocando que en muchos casos, cuando las condiciones del terreno son propicias (p. ej. superficies muy planas o espejos de agua), se genere una onda reflejada de potencia particularmente alta que puede llegar a cancelar en forma parcial e incluso total a la onda que se transmite. Considerando este aspecto, resulta muy importante conocer la ubicación del punto y la zona de reflexión (proyectada por la onda) a fin de evitar la cancelación de la señal o bien para buscar que las señales principal y reflejada se sumen.

$$h12 := \frac{h1 + h2}{2} \qquad \text{ec. 3.21}$$

$$hme := \frac{d^2}{68} \qquad \text{ec. 3.22}$$

$$q := \frac{h1 - h2}{h1 + h2} \qquad \text{ec. 3.23}$$

$$Q := \frac{h12}{hme} \qquad \text{ec. 3.24}$$

$$dr := 0.5 \cdot d \cdot A1 \qquad \text{ec. 3.25}$$

- **h12** (m), **hme** (m), **q**, **Q** y **A1**; cocientes de valoración.
- **dr** (Km), distancia al punto de reflexión desde la estación 1.

[31] Ietel; opus citatum # 9

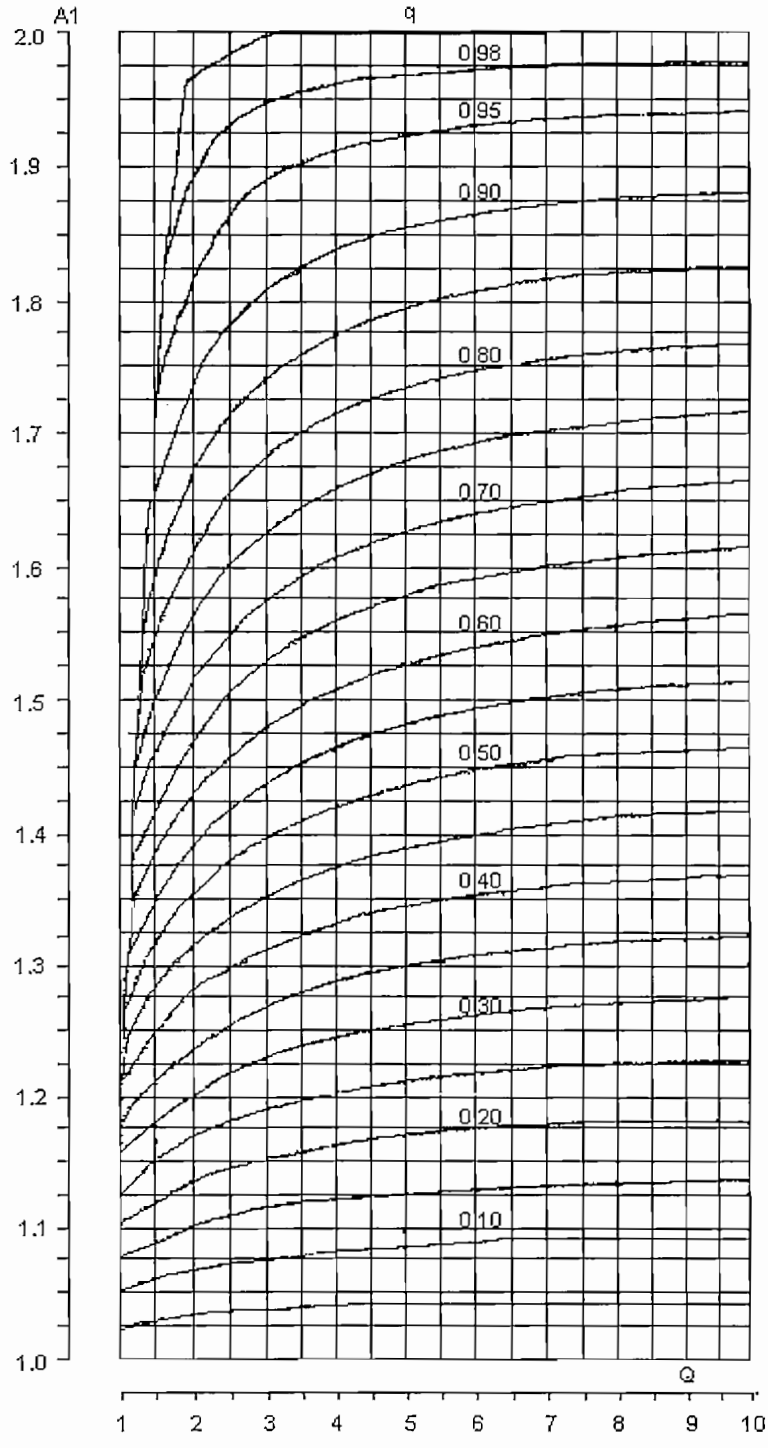


FIGURA 3.22: OBTENCIÓN DE A1 A PARTIR DE q Y Q.

3.5.1.5. Altura Mínima Recomendada de las Antenas.

Con este cálculo se verifica que la altura donde se ubicarán las antenas alcanza un nivel suficiente de modo de conservar la línea de vista.

$$\lambda := \frac{300}{f} \qquad \text{ec. 3.26}$$

$$hra := 30 \cdot \lambda^{\frac{2}{3}} \qquad \text{ec. 3.27}$$

- λ (m), longitud de onda.
- **hra** (m), altura mínima recomendada de la antena.

3.5.2. CÁLCULOS DE ATENUACIÓN Y GANANCIA EN LOS ENLACES.

3.5.2.1. Atenuación de Espacio Libre.

Es la pérdida incurrida por una onda electromagnética conforme se propaga en línea recta a través de un vacío sin ninguna absorción o reflexión de la energía de los objetos cercanos.

$$L0 := 92.4 + 20 \cdot \log(f) + 20 \cdot \log(d) \qquad \text{ec. 3.28}$$

- **L0** (dB), atenuación de trayecto de espacio libre.
- **d** (Km), longitud del trayecto (distancia entre estaciones).
- **f** (GHz), frecuencia de operación del sistema.

3.5.2.2. Atenuación en los Alimentadores y del Equipo Interno.

La atenuación en los alimentadores son las perdidas que se producen en los cables y guías de onda, que comprenden la longitud entre la red de distribución y su antena respectiva. Dependiendo de los equipos (montaje respecto de la antena) y, el tipo y longitud del alimentador se

puede tener pérdidas desde 0 hasta un máximo de 6.5 dB por cada 100 m del mismo.

La atenuación del equipo interno se genera por la múltiple combinación de dispositivos (filtros, circuladores, diplexores, etc.) tendientes a unir en una sola antena las operaciones de transmisión y recepción, es decir, la pérdida total de acoplamiento o ramificación generada entre la salida de un transmisor (o entrada de un receptor) y su alimentador. Esta es pues, otra característica que depende del equipo que se emplee. Tiene un rango de entre 0 y 2 dB.

3.5.2.3. Atenuación por Lluvia[32].

La propagación de las microondas a través de la atmósfera siempre va acompañada de un valor de atenuación debida a la absorción atmosférica y a la dispersión causada por la presencia de hidrometeoros (lluvia, granizo, nieve y neblina). Tal atenuación por lluvia es despreciable a bajas frecuencias, pero se vuelve considerable cuando el tamaño de los hidrometeoros (gotas en el caso de la lluvia) es comparable a la longitud onda de la señal.

Es muy importante mencionar que el cálculo de la atenuación por lluvia, se lo realiza para determinar cierto valor de margen de desvanecimiento con el fin de alcanzar un objetivo de disponibilidad debido a los cortes por lluvia y no como un factor de adición a la atenuación total.

En el caso de áreas urbanas, enlaces con cortes por lluvia esporádica y disponibilidad para trayectos con enlaces sobre los 10 GHz, los cálculos se hacen variando la tasa de lluvias hasta que la atenuación por lluvia iguale el margen de desvanecimiento plano del enlace; en caso de no disponer de dichos programas, pueden emplearse las tablas de Tasa de

[32] Alen; opus citatum # 3

Lluvia vs Tiempo, según el área geográfica, que proporcionan el tiempo de corte y disponibilidad anual.

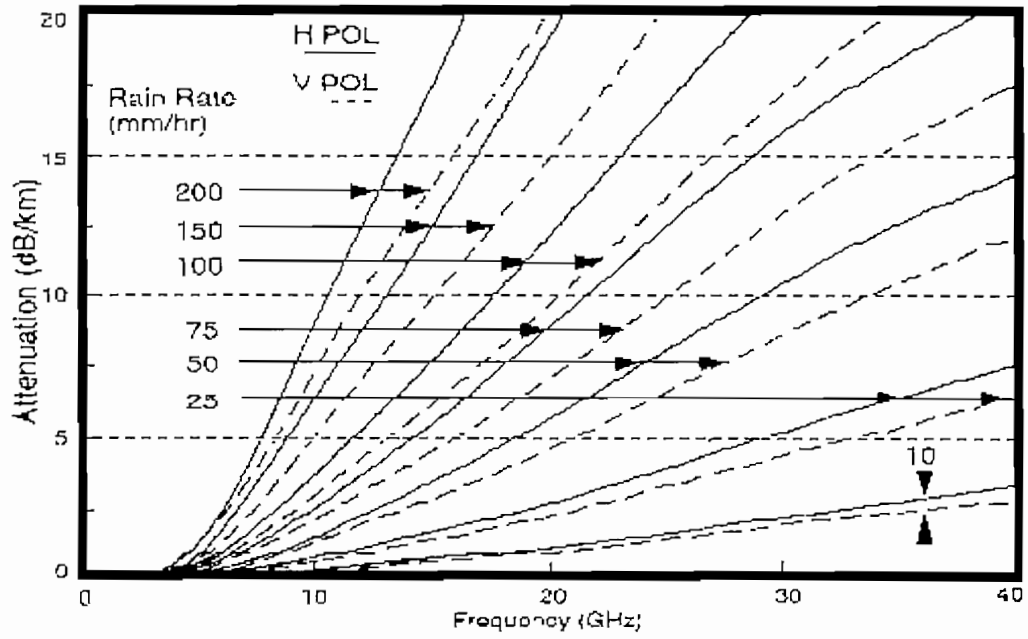


FIGURA 3.23: ATENUACIÓN POR LLUVIA (opus citatum # 3).

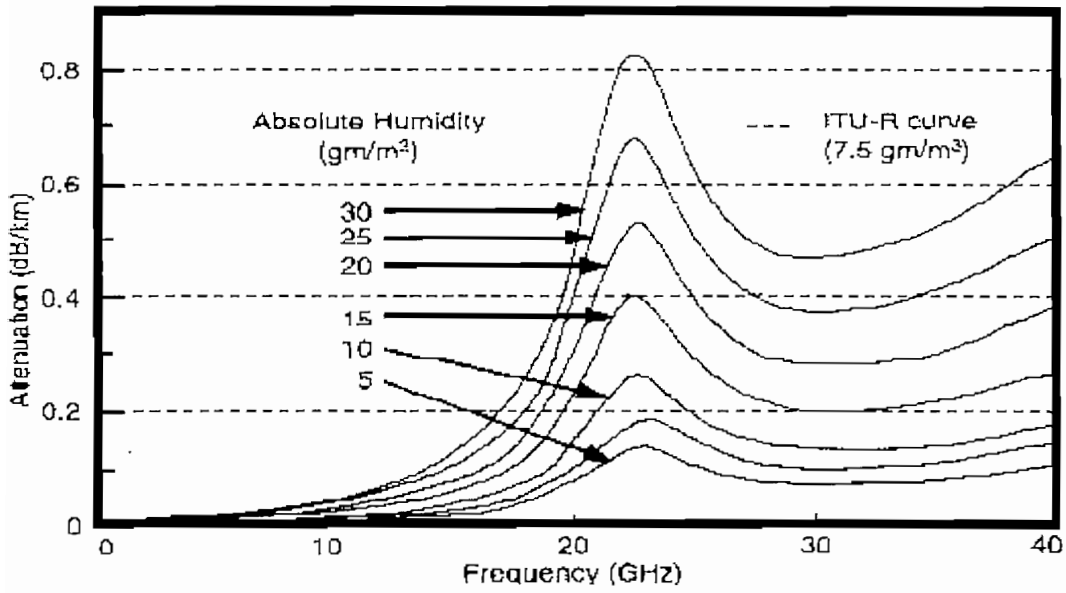


FIGURA 3.24: ABSORCIÓN ATMOSFÉRICA (opus citatum # 3).

$$L_{R\%} := ap \cdot R^{bp} \cdot \frac{d \cdot de}{d + de} \qquad \text{ec. 3.29}$$

- $L_{R\%}$ (dB), atenuación por lluvia que excede un x tiempo.

- **ap**, factor función de la frecuencia y polarización.
- **R** (mm/h), tasa de lluvias que exceden un x porcentaje de tiempo.
- **bp**, exponente función de la frecuencia y polarización.
- **de** (Km), longitud efectiva del trayecto.

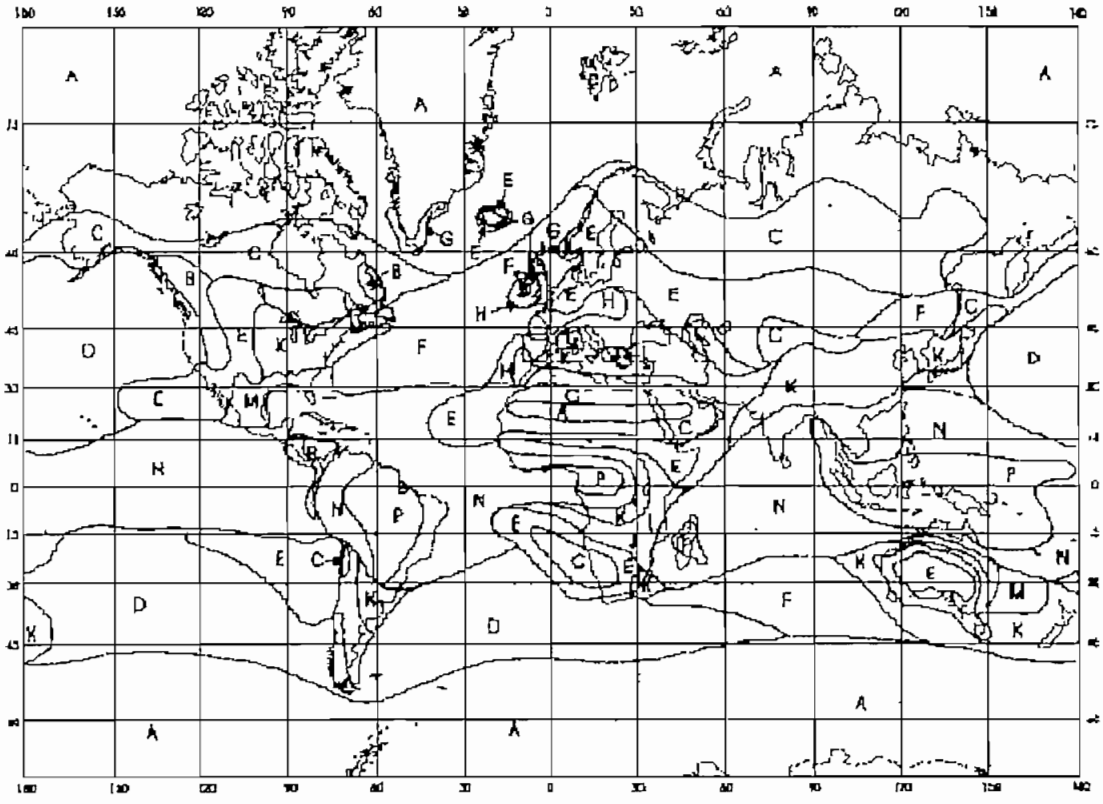


FIGURA 3.25: REGIONES DE LLUVIAS ALREDEDOR DEL MUNDO SEGÚN ITU–R.

ITU-R

TASA DE LLUVIA vs TIEMPO Y REGIÓN

TIEMPO	REGIONES DE LLUVIA SEGÚN CCIR													
(%)	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P
1.000	0.5	1	2	3	1	2	3	2	8	2	2	4	5	12
0.300	1	2	3	5	3	4	7	4	13	6	7	11	15	34
0.100	2	3	5	8	6	8	12	10	20	12	15	22	35	65
0.030	5	6	9	13	12	15	20	18	28	23	33	40	65	105
0.010	8	12	15	19	22	28	30	32	35	42	60	63	95	145
0.003	14	21	26	29	41	54	45	55	45	70	105	95	140	200
0.001	22	32	42	42	70	78	65	83	55	100	150	120	180	250

TIEMPO (%): ES EL PORCENTAJE DE TIEMPO ESPERADO QUE LA TASA DE LLUVIA ANUAL SE EXCEDE DE SU VALOR NORMAL.

CUADRO 3.9: TASAS DE LLUVIA (mm/h) vs TIEMPO Y REGIÓN SEGÚN ITU–R.

ITU-R COEFICIENTES DE ATENUACIÓN POR LLUVIA				
FRECUENCIA (GHz)	a_v	b_v	a_h	b_h
1.00	352*E-7	0.880	387*E-7	0.912
1.50	866*E-7	0.902	963*E-7	0.938
2.00	138*E-6	0.923	154*E-6	0.963
4.00	591*E-6	1.075	650*E-5	1.121
6.00	155*E-5	1.265	175*E-5	1.308
7.00	265*E-5	1.312	301*E-5	1.332
8.00	395*E-5	1.310	454*E-5	1.327
10.00	887*E-5	1.264	101*E-4	1.276
10.60	113*E-4	1.243	124*E-4	1.258
11.20	132*E-4	1.224	143*E-4	1.242
12.00	168*E-4	1.200	188*E-4	1.217
13.00	244*E-4	1.182	262*E-4	1.203
15.00	335*E-4	1.128	367*E-4	1.154
18.70	583*E-4	1.080	644*E-4	1.112
20.00	691*E-4	1.065	751*E-4	1.099
22.40	891*E-4	1.047	973*E-4	1.080
25.00	113*E-3	1.030	124*E-3	1.061
30.00	167*E-3	1.000	187*E-3	1.021
35.00	233*E-3	0.963	263*E-3	0.979
38.00	278*E-3	0.942	314*E-3	0.954
40.00	310*E-3	0.929	350*E-3	0.939
45.00	393*E-3	0.897	442*E-3	0.903
50.00	479*E-3	0.868	536*E-3	0.873
60.00	642*E-3	0.824	707*E-3	0.826
70.00	784*E-3	0.793	851*E-3	0.793
80.00	906*E-3	0.769	975*E-3	0.769
90.00	999*E-3	0.754	106*E-2	0.753
100.00	106*E-2	0.744	112*E-2	0.743
120.00	113*E-2	0.732	118*E-2	0.731
150.00	127*E-2	0.711	131*E-2	0.710
200.00	142*E-2	0.690	145*E-2	0.689
300.00	135*E-2	0.689	136*E-2	0.688
400.00	131*E-2	0.684	132*E-2	0.683

SE CONSIDERAN GOTAS PERFECTAMENTE ESFÉRICAS

AV: MULTIPLICADOR (POLARIZACIÓN VERTICAL).

BV: EXPONENTE (POLARIZACIÓN VERTICAL).

AH: MULTIPLICADOR (POLARIZACIÓN HORIZONTAL).

BH: EXPONENTE (POLARIZACIÓN HORIZONTAL).

CUADRO 3.10: COEFICIENTES DE ATENUACIÓN POR LLUVIA SEGÚN ITU–R.

3.5.2.4. Atenuación por Gases Atmosféricos.

La atenuación molecular experimentada durante la propagación de las ondas radioeléctricas a través de la atmósfera, para longitudes de onda minúsculas, se deben principalemete al vapor de agua y al oxígeno, según lo estipula ITU–R Rep.719–1. Este cómputo requiere la evaluación de parámetros como temperatura, presión y concentración del vapor de agua; por lo que se emplea ciertas aproximaciones prácticas.

$$\gamma_0 := \left[\frac{0.19}{(f - 118.7)^2 + 2} + \frac{4.13}{(f - 63)^2 + 1.1} \right] \cdot f^2 \cdot 10^{-3} \qquad \text{ec. 3.30}$$

$$\gamma_w := \left[\frac{7.33}{(f - 183.5)^2 + 5} + \frac{2.4}{(f - 22.3)^2 + 6.6} + \frac{4.4}{(f - 323.8)^2 + 10} + 0.067 \right] \cdot f^2 \cdot \varepsilon \cdot 10^{-4} \qquad \text{ec. 3.31}$$

$$L_G := \int_0^d \left[\gamma_0(r) + \gamma_w(r) \right] dr \qquad \text{ec. 3.32}$$

- γ_0 (dB/Km), atenuación específica provocada por el oxígeno.
- γ_w (dB/Km), atenuación específica provocada por el vapor de agua.
- ε (g/cm^3), densidad del vapor de agua.
- **Lg** (dB), atenuación debida a los gase de la atmósfera a lo largo de un trayecto dado.

En trayectos sobre tierra, la expesión puede simplificarse a:

$$L_G := d \cdot (\gamma_0 + \gamma_w) \qquad \text{ec. 3.33}$$

Al igual que con la atenuación por lluvia el cálculo de la atenuación por gases atmosféricos, se lo realiza para determinar cierto valor de margen de desvanecimiento con el fin de alcanzar un objetivo de disponibilidad debido a cortes y no como un factor de adición a la atenuación total.

3.5.2.4.1. Margen de Desvanecimiento Requerido para Cortes por Gases en la Atmósfera o por Lluvia.

El margen de desvanecimiento requerido para cortes por la totalidad de efectos atmosféricos se calcula considerando tanto la atenuación por lluvia como la producida por gases en la atmósfera, o bien solo uno de estos factores.

Procedimiento del **Modelo de Lluvia** del **ITU–R PN.530**

$$RFM_{p\%} := \left(L_{R\%} + L_G\right)\cdot 0.12\cdot p^{-(0.546 + 0.043\cdot \log(p))} \qquad \text{ec. 3.34}$$

- **$RFM_{p\%}$** (dB), (*Required Fade Margin*) margen de desvanecimiento requerido para disponibilidad por cortes por efectos atmosféricos o lluvia que excede un porcentaje p de tiempo.
- **p** (%), probabilidad de corte (% = 100 – Disponibilidad Requerida).

3.5.2.5. Atenuación por Trayectos Múltiples.

En condiciones normales debería existir tan solo un trayecto de propagación entre dos antenas con visibilidad directa; sin embargo, durante parte del tiempo pueden producirse otros trayectos, dando lugar a desvanecimiento de las señales recibidas por interferencia.

Cuando un sistema de radiocomunicaciones se encuentra bajo condiciones atmosféricas estratificadas, capas de propagación por *Ducting* o gran diferencia de altura entre antenas; pueden producirse diferentes efectos de desvanecimiento, (como que la onda atraviese en un ángulo pequeño una capa de propagación y quede atrapada en esta o se aleje del punto de recepción, dejando al receptor en una región de

sombra). De esto se desprende que la degradación de la calidad en un radioenlace se debe a la no–homogeneidad de la atmósfera.

3.5.2.5.1. Predicción de Cortes.

El primer paso en el análisis de trayectos múltiples es la predicción de cortes mediante el cálculo de la probabilidad de corte (U), conocida por el ITU–R como tasa de segundos severamente errados (SESR). Existen varios métodos de cálculo para cortes por trayectos múltiples.

$$U_{ND} := \left(\frac{K}{100}\right) \cdot f^{0.89} \cdot d^{3.6} \cdot (1 + \xi p)^{-1.4} \cdot 10^{-0.1 \cdot CFM} \qquad \text{ec. 3.35}$$

$$U_{ND} := \left(\frac{K}{100}\right) \cdot f^{0.93} \cdot d^{3.3} \cdot (1 + \xi p)^{-1.1} \cdot \psi^{-1.2} \cdot 10^{-0.1 \cdot CFM} \qquad \text{ec. 3.36}$$

- $\mathbf{U_{ND}}$ (SESR), probabilidad de corte sin uso de diversidad.
- **K**, factor climático con el más alto porcentaje de *Ducting*.
- ξ**p** (mr), ángulo de inclinación del trayecto (de 0 a 24 mr).
- **CFM** (dB), margen de desvanecimiento compuesto (*Composite Fade Margin*).
- ψ (mr), ángulo promedio de rozadura de trayecto (de 1 a 12 miliradianes).

NOTA 1: EL FACTOR K DE LA ITU–R VIENE DADO EN PORCENTAJE; DE MODO QUE K*Q Y K/100 DERIVAN LAS PROBABILIDADES DE CORTE O SESR.

NOTA 2: 1° = 17.5 mr 1mr = 0.0573° mr = MILIRADIAN.

Esta probabilidad de corte se calcula con el objetivo de conocer el tiempo de corte debido a trayectos múltiples, mismo que puede aplicarse bajo condiciones de desvanecimiento plano y desvanecimineto selectivo.

$$T_{NDy} := U_{ND} \cdot fs \cdot \frac{T}{50} \qquad \text{ec. 3.37}$$

$$T_{NDm} := U_{ND} \cdot fp \qquad \text{ec. 3.38}$$

$$T_{NDy} := T_{NDm} \cdot \frac{T}{50} \qquad \text{ec. 3.39}$$

- T_{NDy} (SES/yr), tiempo de corte anual.
- **fs** (s), estación (3 meses) de desvanecimiento (*Fade Season*).
- **T** (°C), temperatura promedio de una cierta región durante dicha estación/periodo de desvanecimiento.
- T_{NDm} (SES/mo), tiempo de corte mensual.
- **fp** (s), periodo (30 días) de desvanecimiento (*Fade Period*).

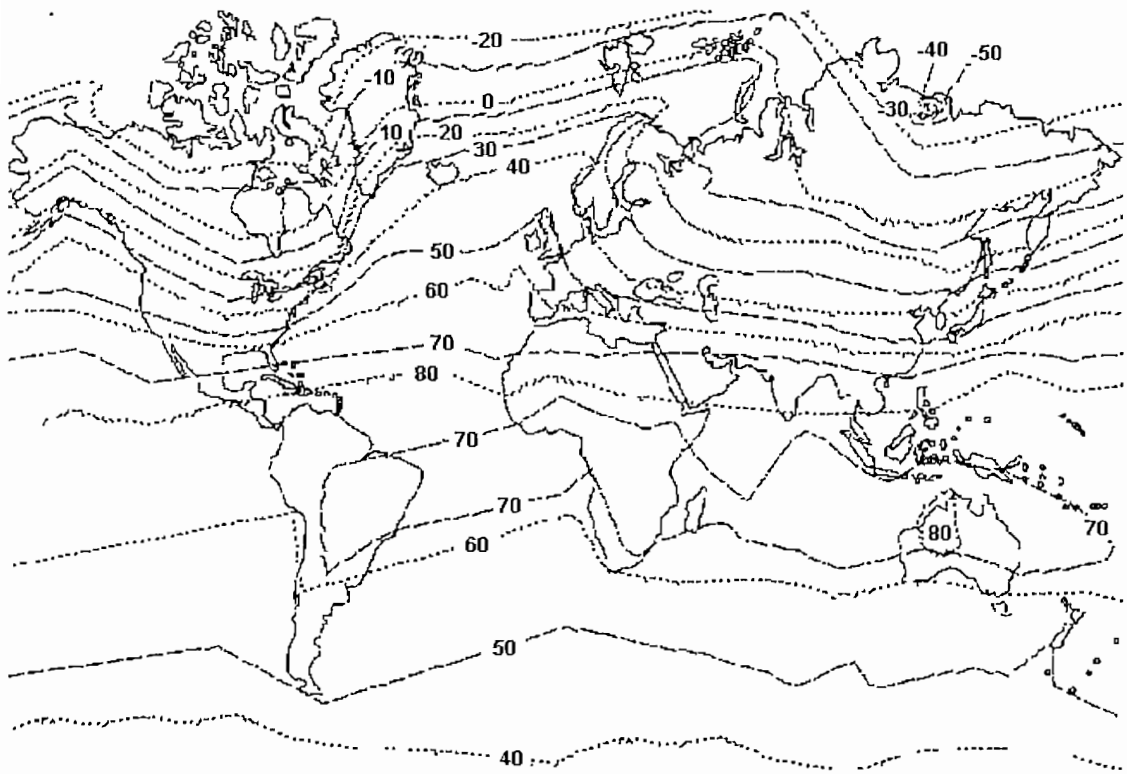


FIGURA 3.26: TEMPERATURA PROMEDIO (°F) POR REGIONES SEGÚN ITU–R.

$$DM := \frac{hn}{2 \cdot f} \qquad \text{ec. 3.40}$$

- **DM** (ηs), retardo por trayectos múltiples.
- **hn**, radio de la n–ésima zona de Fresnel.

- **f** (GHz), frecuencia de operación del sistema.

CONVERSIÓN DE TEMPERATURAS DE FAHRENGHEIT A CELCIUS														
°F	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80
°C	-46	-40	-32	-29	-23	-18	-12	-7	-1	4	10	16	21	27

CUADRO 3.11: CONVERSIÓN DE FAHRENHEIT A CELCIUS.

3.5.2.5.2. Desvanecimiento Plano[33].

Se produce cuando todos los componentes del espectro son igualmente atenuados y provoca que la totalidad del espectro se desvanezca. En este caso la probabilidad de corte será:

$$U_{ND} := 2.5 \cdot 10^{-6} \cdot c \cdot f \cdot D^3 \cdot 10^{-0.1 \cdot CFM} \qquad \text{ec. 3.41}$$

- **c**, factor clima–terreno que se obtiene de los mapas.
- **D** (mi), longitud del trayecto (distancia entre estaciones).

Atendiendo a una variación de parámetros.

$$U_{ND} := K \cdot Q \cdot f \cdot d^3 \cdot 10^{-0.1\ CFM} \qquad \text{ec. 3.42}$$

- **K.Q**, factor clima–terreno que se obtiene de los mapas.
- **d** (Km), longitud del trayecto.

En los cálculos del ITU–R, en donde se usa el modelo de Vigants para un trayecto dado, U y SESR son numéricamente los mismos; siendo el periodo de desvanecimiento de 30 días ($2.6*10^6$ s) para el "peor mes". Dicho tiempo de corte se mide en SES/yr o SES/mo.

[33] Laine; opus citatum # 16

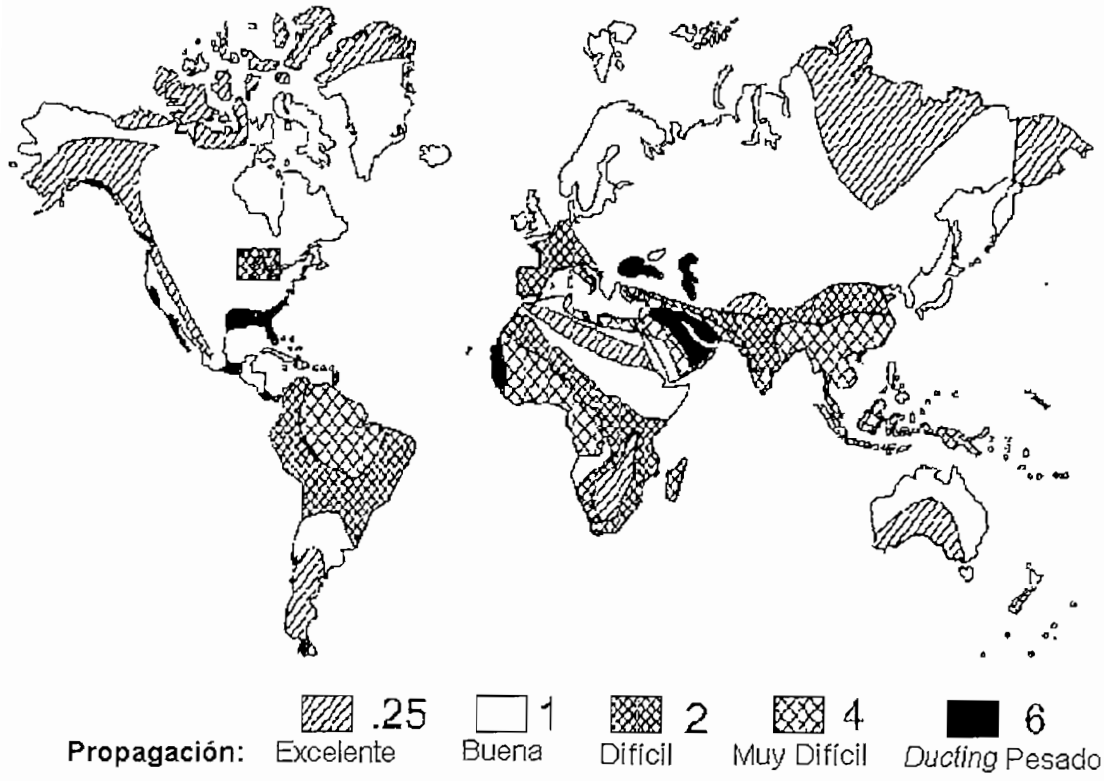


FIGURA 3.27: FACTOR CLIMA–TERRENO (c) (opus citatum # 3).

$$KQ := x \cdot S^{-1.3} \qquad \text{ec. 3.43}$$

$$c := x \cdot \left(\frac{w}{15}\right)^{-1.3} \qquad \text{ec. 3.44}$$

- **x**, factor de clima según región.
- **S, w** (m), rugosidad del terreno calculada como la desviación estándar típica del nivel del suelo, muestreada cada1 Km.

Cuando se emplea el factor de rugosidad del terreno **w** medido en pies, el valor del denominador en la ecuación 38 debe cambiarse de 15 a 50 y medir los intervalos cada 1 milla (1600 m). El rango de **S** o **w** varía entre los 6 y los 42 m.

MODELO DE VINGANTS FACTOR DE CLIMA vs REGIONES CLIMÁTICAS		
REGIONES CLIMÁTICAS	x ITU-R	x NA
Marítimo templado, costero o de alta humedad y/o temperatura	4.1*E-5	2.0
Marítimo subtropical	3.1*E-5	1.4
Continental templado o de media latitud tierra adentro	2.1*E-5	1.0
Montañoso alto y seco	1.0*E-5	0.5

ITU–R Rep.338

CUADRO 3.12: FACTORES DE CLIMA.

3.5.2.5.3. Desvanecimiento Selectivo[34].

Se produce cuando solo parte de los componentes espectrales se atenúan, provocando que el espectro se distorsione. Se ha comprobado en la práctica que U_{SEL} es mucho menor que U_{PL}.

$$r := K \cdot Q \cdot f \cdot d^3 \qquad \text{ec. 3.45}$$

$$\sigma \quad \text{si} \quad r \le 0.01 \Rightarrow 1.44*r \qquad \text{ec. 3.46a}$$

$$\text{si} \quad 0.01 < r < 0.1 \Rightarrow 0.243*r + 0.012 \qquad \text{ec. 3.46b}$$

$$\text{si} \quad 0.1 \le r \le 2 \Rightarrow 0.182*r^{0.7} \qquad \text{ec. 3.46c}$$

$$\text{si} \quad 2 < r < 10 \Rightarrow 0.0875*r + 0.125 \qquad \text{ec. 3.46d}$$

$$\text{si} \quad r \ge 10 \Rightarrow 1 \qquad \text{ec. 3.46e}$$

$$sf := w \cdot e^{\frac{-Bc}{3.8}} \qquad \text{ec. 3.47}$$

$$\Gamma_B := 0.7 \cdot (0.02 \cdot d)^{1.5} \qquad \text{ec. 3.48}$$

$$U_{ND} := 9.245 \cdot 10^{-3} \cdot \sigma \cdot sf \cdot \frac{(\Gamma_B)^2}{\Gamma_0} \qquad \text{ec. 3.49}$$

[34] Siemens; opus citatum # 29

- **r**, factor de ocurrencia del desvanecimiento.
- σ, factor de actividad del desvanecimiento.
- **sf**, factor de firma del equipo (*signature factor*)
- **w**, ancho de banda de firma.
- **Bc** (dB), valor crítico de la ordenada de la curva de firma.
- Γ_B, eco típico del salto.
- Γ_0, tiempo de retardo del eco.

Para la predicción de cortes se asume que: el desvanecimiento por trayectos múltiples es "normal", no hay reducción del margen de desvanecimiento por desvanecimiento de potencia (desacople o desalineamiento de antena, *Ducting, etc.*) y óptima separación de platos en enlaces con diversidad de espacio (SD); se excluyen cortes por desvanecimiento dispersivo (enlaces con DFM < 50 dB), cortes por SES debido a fallas y conmutación de módulos, cortes por reflexión especular en enlaces sin diversidad (ND) y se excluye o acomoda interferencia.

3.5.2.6. Margen de Desvanecimiento.

Es un factor de "acolchamiento" que se incluye en la ganancia del sistema, que considera las características no ideales y menos predecibles de la propagación de ondas (propagación por trayectos múltiples o la sensibilidad a superficies rocosas). El margen de desvanecimiento también considera los objetivos de confiabilidad del sistema; por ello se lo incluye como una pérdida en el sistema[35].

$$FM := 30 \cdot \log(d) + 10 \cdot \log(6 \cdot a \cdot b \cdot f) - 10 \cdot \log(1 - R) - 70 \qquad \text{ec. 3.50}$$

- **FM** (dB), margen de desvanecimiento.
- **R** , confiabilidad expresada como decimal.

[35] Tomasi; opus citatum # 33

- **1 – R**, objetivo de confiabilidad.
- **a**, factor de rugosidad del terreno.
  - **4.0** sobre agua o en un terreno muy parejo.
  - **1.0** sobre terreno normal.
  - **0.25** sobre terreno montañoso muy disparejo.
- **b**, factor para convertir una probabilidad del peor mes a anual.
  - **1** para convertir disponibilidad anual al peor mes.
  - **0.5** en áreas calientes y húmedas
  - **0.25** en áreas normales tierra adentro.
  - **0.125** en áreas montañosas o muy secas.

3.5.2.7. Ganancia de las Antenas[36].

$$G_A := 17.8 + 20\cdot\log(f) + 20\cdot\log(D) \qquad \text{ec. 3.51}$$

- G_A (dB), ganancia de la antena.
- **D** (m), diámetro del plato.

3.5.2.8. Potencia de Umbral del Receptor y Potencia de Transmisión.

El umbral del receptor es la potencia de portadora de banda ancha mínima en la entrada de un receptor que proporcionará una salida de banda base que pueda utilizarse, es decir, expresa el nivel mínimo de potencia que el receptor es capaz de captar, para un objetivo de calidad[37].

$$P_N := -174 + 10\cdot\log(BW) + NF \qquad \text{ec. 3.52}$$

$$P_U := P_N + CN \qquad \text{ec. 3.53}$$

- P_N (*dBm*), *potencia de ruido térmico.*
- **BW** (Hz), ancho de banda de ruido del receptor.

[36] Laine; opus citatum # 16
[37] Laine; opus citatum # 16

- **NF** (dB), figura o factor de ruido.
- P_U (dBm), potencia de umbral.
- **C/N** (dB), relación portadora a ruido (dependiente de la modulación).

RENDIMIENTO DE MODULACIÓN RELACIÓN PORTADORA A RUIDO RELACIÓN ENERGÍA DE BIT A RUIDO				
TÉCNICA DE MODULACIÓN	BER 10E-3		BER 10E-6	
	C/N	Eb/No	C/N	Eb/No
FSK (coherente)	13.8	8.8	17.6	12.8
FSK (no coherente)	15.8	11	19.2	14.4
BPSK	6.8	6.8	10.6	10.6
QPSK	9.8	6.8	13.6	10.6
8PSK	14.7	10	18.7	14
16PSK	20.1	14.1	24.4	18.4
32PSK	25.3	18.3	—	—
4QAM	10.8	7.8	13.6	10.6
8QAM	14.8	7.8	17.6	10.6
16QAM	16.4	10.4	20.5	14.5
32QAM	20.5	13.6	24.5	17.5
64QAM	22.7	14.9	26.7	18.9

CUADRO 3.13: RELACIÓN PORTADORA A RUIDO.

Una vez obtenidos todos los parámetros anteriores, es posible realizar los cáculos concernientes a la potencia de transmisión y a la potencia de recepción.

$$Ptx := FM + P_U + Lt - 2 \cdot G_A \qquad \text{ec. 3.54}$$

- **Ptx** (dB), potencia de transmisión.
- **Lt** (dB), atenuación total del enlace (considerada como la suma de todas las atenuaciones del sistema).

La potencia de recepción se calcula con la potencia de transmisión, más dos veces la ganacia de la antena menos las pérdidas totales.

La gananacia del sistema es un parámetro que se utiliza para predecir la confiabilidad de un sistema, dados determinados parámetros.

3.5.2.9. Confiabilidad de Propagación y Tiempo Fuera de Servicio[38].

Por último, se realizan los cálculos de confiabilidad de propagación y tiempo fuera de servicio (o corte), que son los que determinarán la calidad del enlace.

$$Cp := 100\left(1 - U_{ND}\right) \qquad \text{ec. 3.55}$$

$$C\% := 100 - 250\cdot 10^{-9}\cdot a\cdot b\ f\cdot d^{3}\cdot 10^{-0.1\cdot FM} \qquad \text{ec. 3.56}$$

$$Tf := U_{ND}\cdot t \qquad \text{ec. 3.57}$$

- **Cp** (%), confiabilidad de propagación considerando la probabilidad de corte.
- **C%** (%), confiabilidad de propagación considerando una variación de los parámetros.
- **Tf** (s), tiempo fuera de servicio (corte).
- **t** (s), factor de conversión a segundos anuales.

3.5.3. CÁLCULOS ADICIONALES DE TRAYECTO[39].

Los objetivos de desempeño son para "cualquier mes" o el "peor mes".

3.5.3.1. Apertura del Ancho del Haz.

$$DBW := \frac{20}{f\cdot D} \qquad \text{ec. 3.58}$$

- **DBW** (°), apertura del ancho del haz.
- **f** (GHz), frecuencia de operación del sistema.
- **D** (m), diámetro del plato.

[38] Alcatel; opus citatum # 1
[39] Laine; opus citatum # 15

3.5.3.2. Cálculos de la Disponibilidad de Equipo.

Para cortes de largo periodo (> 10 CSES) con desconexión de tráfico.

$$MTR := MTTR + TT + r \qquad \text{ec. 3.59}$$

$$A\% := 100 \cdot \frac{MTBF}{(MTBF + MTR)} \qquad \text{ec. 3.60}$$

$$U := 1 - \frac{A\%}{100} \qquad \text{ec. 3.61}$$

- **MTBF** (= 10^6 horas para una terminal protegida), Tiempo Medio Entre Fallas (*Mean Time Between Failures*).
- **MTTR** (h), Tiempo Medio de Reparación (*Mean Time To Repair*).
- **MTR** (h), Tiempo Medio de Restauración (*Mean Time to Restore*).
- **TT** (h), Tiempo de Viaje y diagnóstico (*Time Travel*).
- **r** (h), margen de reserva (r*24 h).
- **A%**, disponibilidad porcentual.
- **U**, indisponibilidad del equipo.

3.5.3.3. Factor de Mejora por Diversidad de Espacio (I_{SD}).

Debido a que en la mayoría de los casos el número de SES/yr (T_{ND}) es excesivo, se hace necesario la implementación de protección por diversidad de propagación. El siguiente factor de mejora asume que ambos platos (principal y de diversidad) tienen el mismo CFM.

$$s := 127 \cdot \frac{d}{f \cdot h} \qquad \text{ec. 3.62}$$

- **s** (m), separación de los platos de diversidad.
- **d** (Km), longitud del trayecto (distancia entre estaciones).
- **h** (m), altura del plato de principal respecto del plano de reflexión

aunque en algunos casos se hace una suma de ambos factores para reflejar de mejor manera el desempeño.

$$I_{HD} := I_{SD} + I_{FD} \qquad \text{ec. 3.67}$$

$$T_{HD} := \frac{T_{ND}}{I_{HD}} \qquad \text{ec. 3.68}$$

- I_{HD}, factor de mejora por diversidad híbrida.
- T_{HD} (SES/mo), tiempo de corte mensual con mejora por diversidad de híbrida.

3.5.3.6. Margen de Desvanecimiento Compuesto Requerido.

En conjunto, las ecuaciones anteriores pueden combinarse para derivar el margen de desvanecimiento requerido para un enlace con diversidad de espacio de la siguiente ecuación, dado el objetivo de corte para cualquier mes de la ITU–R (ITU–R Rep.338): T = 22 SES/anymo.

$$RCFM := -5 \cdot \log\left(4.6 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{T \cdot s^2}{K \cdot Q \cdot d^4}\right) \qquad \text{ec. 3.69}$$

La ocurrencia del desvanecimiento por trayecto múltiple aumenta con las Radio Frecuencias (xF), Longitud de Trayecto (de xD^2 a D^4), Gradientes de Humedad/Temperatura, Terrenos Llanos, Calma del Viento, *Ducting*, Niebla. Pero disminuye con la Inclinación del Trayecto, Turbulencia Atmosférica y Rugosidad del Terreno.

3.5.3.7. Margen de Seguridad Mínimo.

Para saber si en un determinado trayecto radioeléctrico existe atenuación por difracción o por sombra, se calcula el llamado margen de seguridad, el cual se define sobre cada obstáculo.

- Si las antenas son demasiado pequeñas, habría pobre discriminación a la reflexión o interferencia.
- Si las antenas son demasiado grandes, estarían sujetas a gran actividad del desvanecimiento por trayectos múltiples y a más cortes por desacople de las mismas.
- Si las antenas están demasiado altas, se expondrían a la reflexión o más pérdidas de alimentador.
- Si las antenas están demasiado bajas, tendrían trayectos obstruidos y desvanecimiento de potencia con ductos.
- Si las antenas están inapropiadamente espaciadas, habría actividad de desvanecimiento correlacionado entre platos.
- Si las antenas están horizontalmente polarizadas, existiría mayor profundidad de desvanecimiento comparado con la polarización vertical que tiene un ángulo de rozadura $> 0.2°$

3.6. RESULTADOS DEL CASO EN ESTUDIO.

3.6.1. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA.

Para el enlace Cerro de Hojas–Río Chico se necesita: en la estación Cerro de Hojas un radio de 16 E1 (16x2 Mbps), una antena y su respectiva torre (de al menos 20 m); en la estación Río Chico también un radio de 16 E1, un multiplex PCM de 30 canales, una antena, y su torre (guiada de al menos 18 m).

Para el enlace Río Chico–Calderón se necesita: en la estación Río Chico un radio de 4 E1 (4x2 Mbps), una antena y la misma torre anterior; en la estación Calderón también un radio de 4 E1, un multiplex PCM de 30 canales, una antena, y su torre (guiada de al menos 15 m).

Para el enlace Río Chico–San Plácido se necesita: en la estación Río Chico otro radio de 4 E1, una antena y la misma torre anterior; en la estación San Plácido igualmente un radio de 4 E1, un multiplex PCM de 30 canales, una antena, y su torre (guiada de al menos 15 m).

Se ha escogido trabajar en la banda de los 8 GHz con equipos Harris MicroStar M 7/8, pues ofrecen ambas configuraciones (16x2 Mbps y 4x2 Mbps), con lo que se simplifica su interconexión. En cuanto a las antenas, se ha optado por Andrew PL4–77GD, que es de tipo estándar para polarización simple y sin protección.

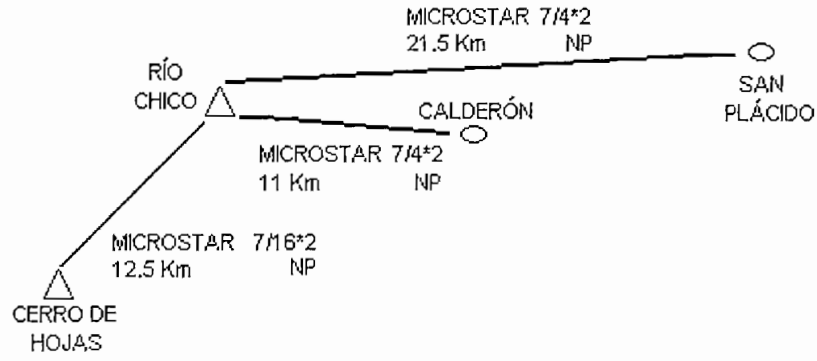
3.6.2. INTERCONEXIÓN.

La estación repetidora Cerro de Hojas se enlaza con la estación Manta a nivel de 2 Mbps, terminando en la estación madre de esta última. En la estación Río Chico se dispondrá de 16 flujos a nivel de 2 Mbps de los

cuales se repartirán 4 al enlace con dirección Calderón y 4 al enlace con dirección San Plácido. En cada estación terminal se emplearán tres E1 para central y un multiplexor digital PCM de 30 abonados para servicios de datos, líneas directas, etc.

3.6.3. DOCUMENTACIÓN.

Según el numeral 3.3.1.3., se deben incluir los siguientes documentos para la planificación del sistema.

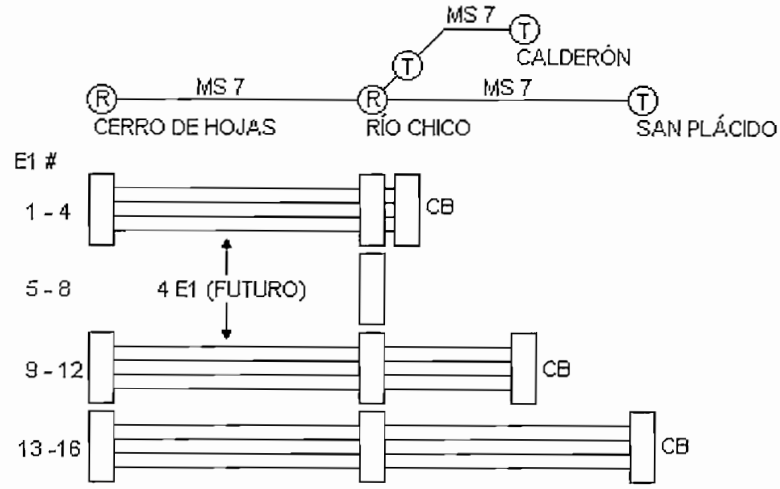


Δ ESTACIÓN REPETIDORA

o ESTACIÓN TERMINAL

NP NO PROTEGIDO

FIGURA 3.28: ESQUEMA DEL SISTEMA.



MS 7 **MICROSTAR 7/8 GHz**
CB **CHANNEL BANK**
R **REPETIDOR**
T **TERMINAL**

FIGURA 3.29: PLAN DE TRÁFICO.

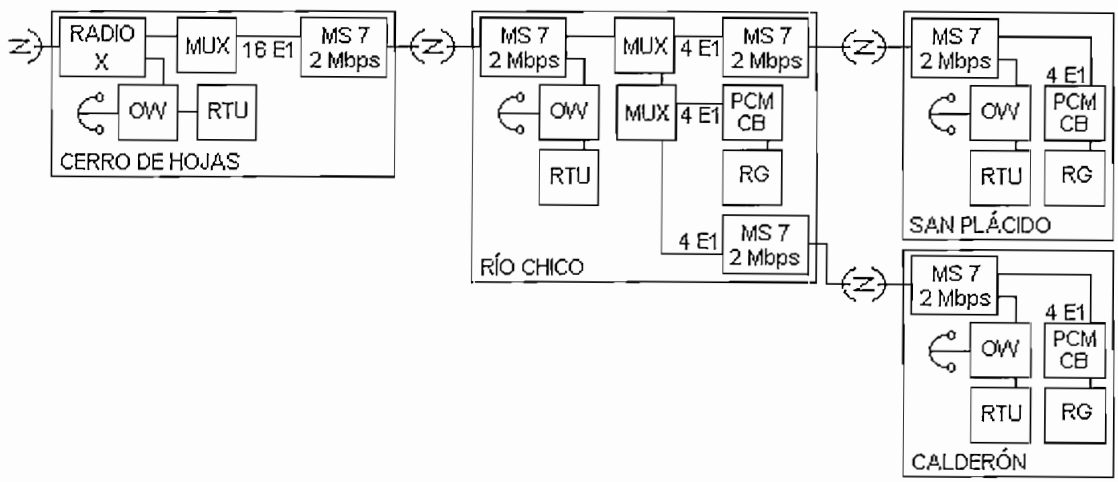


FIGURA 3.30: DIGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA.

CUADRO 3.14: RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE PROPAGACIÓN.

FIGURA 3.31 A 3.33: PERFILES DE LOS TRAYECTOS

*Se muestra en las siguientes páginas.

PROYECTO DE TESIS

DATOS DEL ENLACE Y LOS EQUIPOS

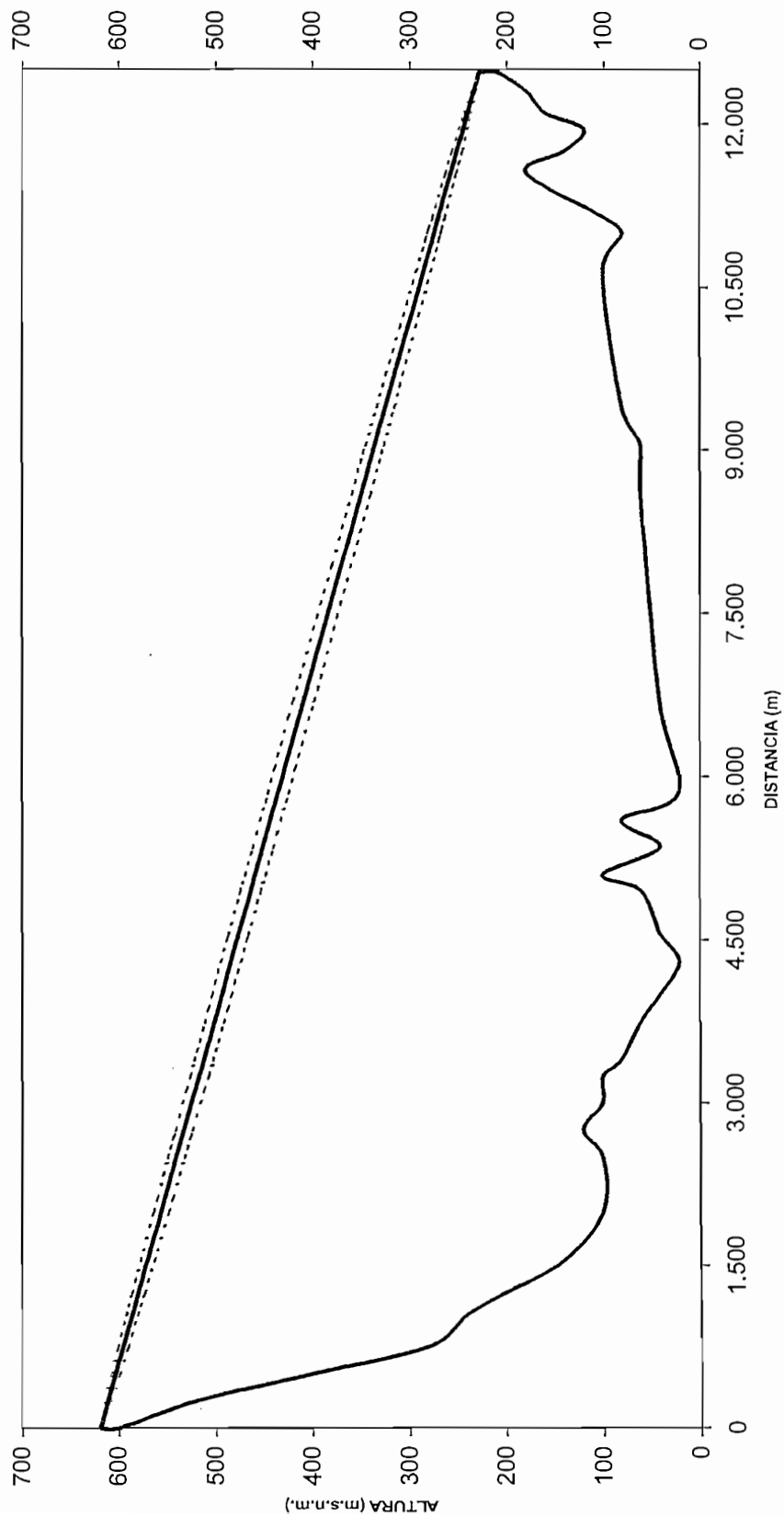
PARÁMETRO Y ACRÓNIMO			ENLACE 1		ENLACE 2		ENLACE 3	
			CH	RCh	RCh	C	RCh	SP
UBICACIÓN	Lt		1° 1′ 55.4″	0° 59′ 38.2″	0° 59′ 38.2″	1° 2′ 8.6″	0° 59′ 38.2″	1° 3′ 31.5″
	Ln		80° 32′ 1.5″	80° 25′ 41.9″	80° 25′ 41.9″	80° 20′ 17.9″	80° 25′ 41.9″	80° 14′ 45.6″
ACIMUT	Az		70° 15′ 22″	250° 15′ 29″	144° 44′ 14″	294° 44′ 19″	107° 34′ 39″	287° 34′ 51″
LONGITUD DEL ENLACE	d	Km	12,469		11,033		21,285	
ALTURA	hi	m	600	209	209	100	209	100
DISTANCIA A LA SOMBRA	dsi	Km	11,55	0,919	2,6	8,433	14,6	6,685
ALTURA DE SOMBRA	hs	m	180		160		60	
RUGOSIDAD DEL SUELO	S	m	130		49		50	
FACTOR CLIMA/REGIÓN	x		2.1*E-5		2.1*E-5		2.1*E-5	
FACTOR RUGOSIDAD	a		0,25		0,25		0,25	
FACTOR CAMBIO DE MES A ANUAL	b		0,5		0,5		0,5	
FRECUENCIA	f	GHz	7.725 - 8.275		7.725 - 8.275		7.725 - 8.275	
POTENCIA DE TRANSMISIÓN	Ptx	dBm	26,5		26,5		26,5	
UMBRAL DE RECEPCIÓN	Pth	dBm	-81,5		-87,5		-87,5	
FACTOR DE RUIDO	NF	dB	5		5		5	
PORTADORA A RUIDO	C/N	dB	13,6		13,6		13,6	
ANCHO DE BANDA DE RECEPCIÓN	BW	MHz	3,5		3,5		3,5	
NÚMERO DE CIRCUITOS	E1		16		4		4	
FRECUENCIA	f	GHz	7.750 - 8.400		7.750 - 8.400		7.750 - 8.400	
GANANCIA DE LA ANTENA	Gan	dB	37,2		37,2		37,2	
APERTURA DEL ANCHO DEL HAZ	DBW	°	2,2		2,2		2,2	
DIÁMETRO DEL PLATO	D	m	1,2		1,2		1,2	
ATENUACIÓN DEL ALIMENTADOR	Lal	dB	1.74 (/100m)		1.74 (/100m)		1.74 (/100m)	

PROYECTO DE TESIS

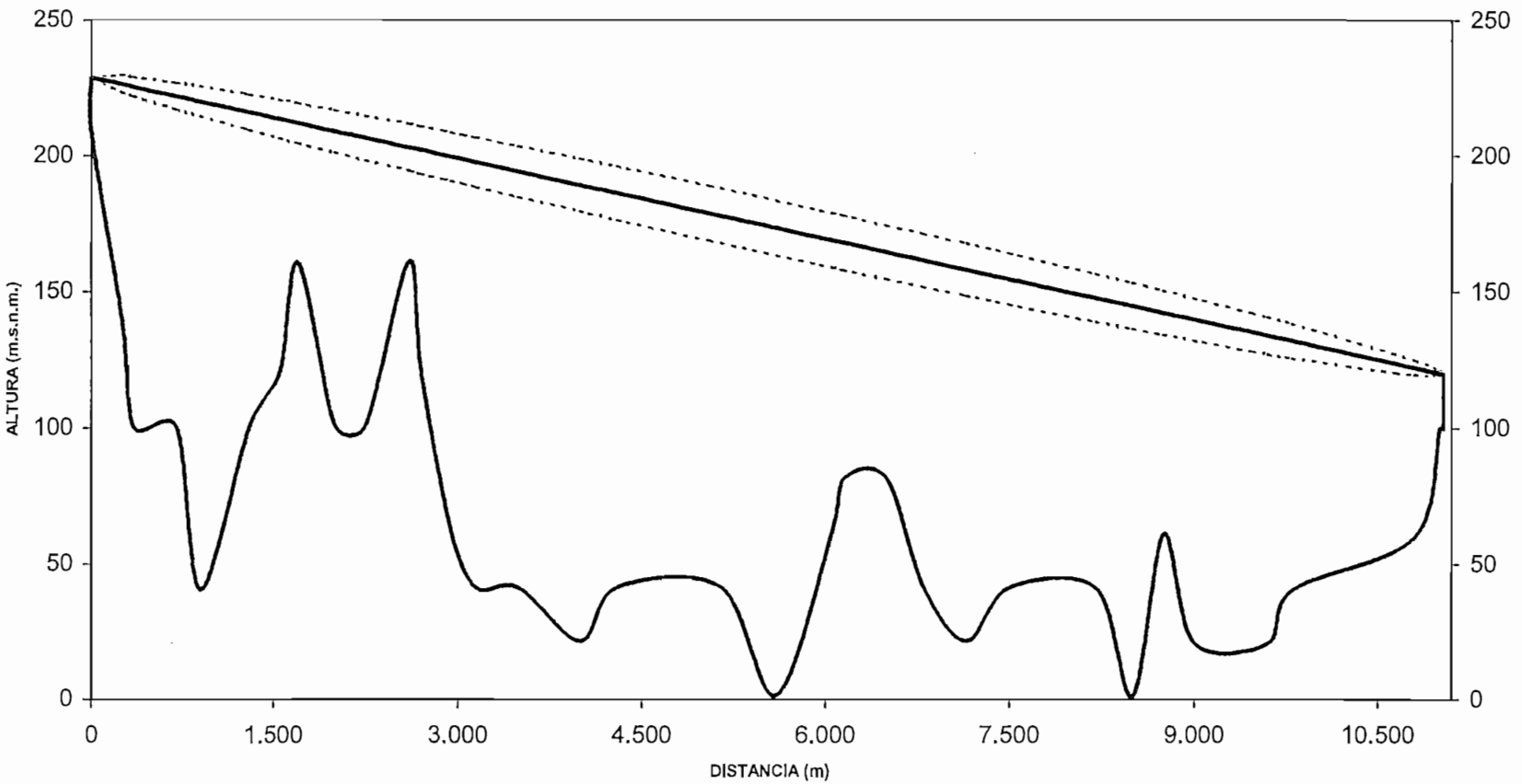
CÁLCULOS DEL ENLACE

PARÁMETRO Y ACRÓNIMO			ENLACE 1		ENLACE 2		ENLACE 3	
DIST. AL PUNTO DE REFLEXIÓN	dri	Km	8,93	3,539	7,106	3,927	13,809	7,476
PRIMERA ZONA DE FRESNEL	h0	m	5,67		8,582		13,037	
CLARIDAD DEL TRAYECTO	C	m	77,194		42,024		88,495	
MARGEN DE SEGURIDAD	Msi	m	71,577		33,442		75,458	
ALTURA DE LA ANTENA	hc	m	3,34		3,34		3,34	
APERTURA CALCULADA DEL HAZ	DBWc	°	2,064		2,064		2,064	
FACTOR CLIMA/TERRENO	KQ		3.751*E-8		1.333*E-7		1.299*E-7	
MARGEN DE DESVANECIMIENTO	FM	dB	40,697		39,103		47,664	
PROBABILIDAD DE CORTE	U	SESR	5.001*E-8		1.778*E-7		1.732*E-7	
CONFIABILIDAD DE PROPAGACIÓN	Cp	%	99,999995		99,99998		99,99998	
TIEMPO DE CORTE	Tf	s	1,577		5,607		5,461	
GANANCIA DE LA ANTENA	Gac	dB	37,526		37,526		37,526	
ATENUACIÓN DE ESPACIO LIBRE	L0	dB	132,459		131,397		137,104	
ATENUACIÓN POR OBSTÁCULOS	LS	dB	0		0		0	
ATENUACIÓN TOTAL	Lt	dB	138,168		137,105		142,813	
POTENCIA DE RUIDO	Pn	dB	-103,559		-103,559		-103,559	
POTENCIA DE UMBRAL	Pthc	dB	-69,959		-69,959		-69,959	
POTENCIA DE RECEPCIÓN	Prx	dB	-36,615		-35,552		-41,26	
MARGEN DE DESVANECIMIENTO	FM	dB	53,344		54,407		48,699	
PROBABILIDAD DE CORTE	U	SESR	2.718*E-9		5.242*E-9		1.365*E-7	
CONFIABILIDAD DE PROPAGACIÓN	Cp	%	99,9999997		99,9999995		99,99999	
TIEMPO DE CORTE	Tf	s	1,577		0,165		4,303	

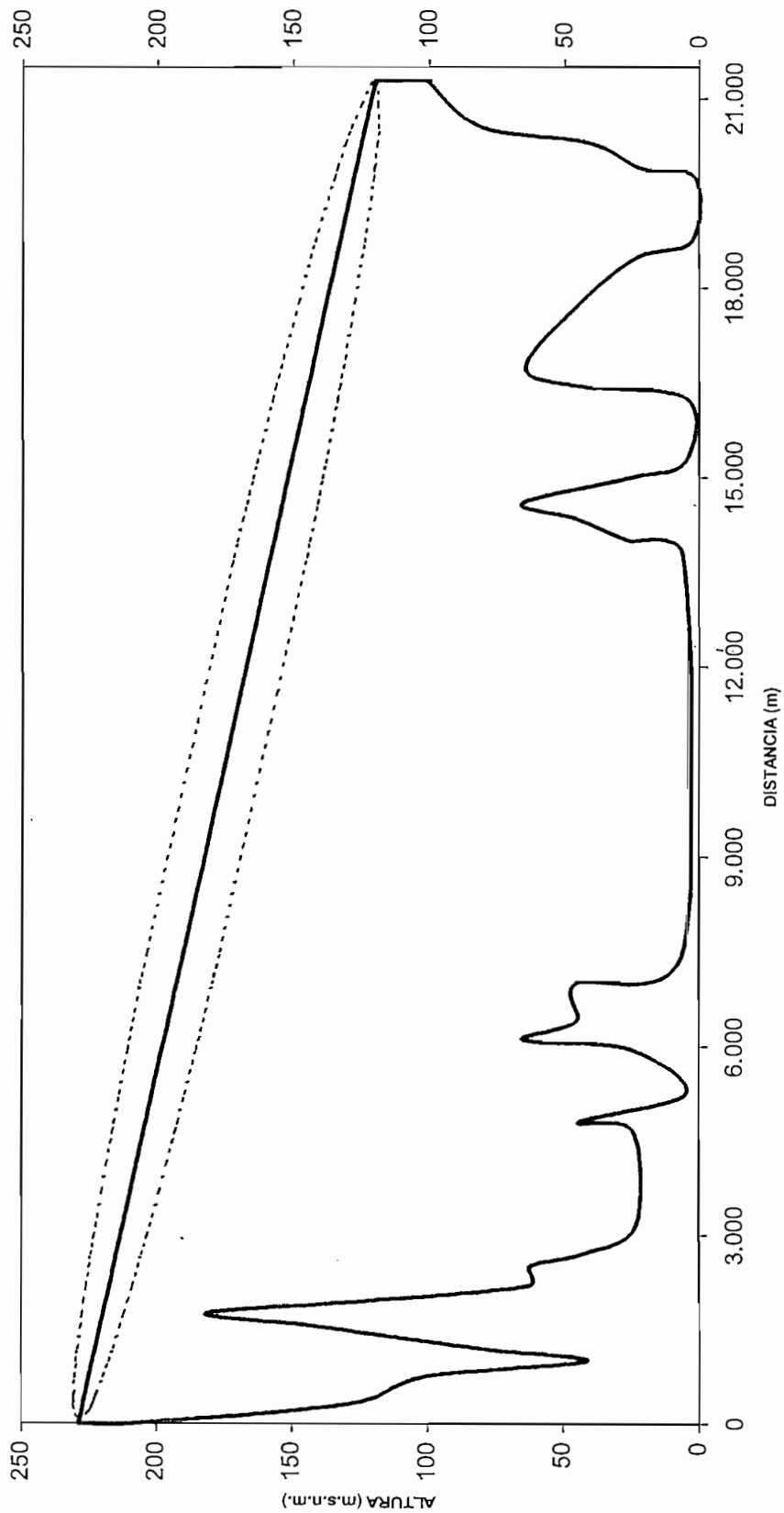
PERFIL DEL ENLACE
CERRO DE HOJAS-RÍO CHICO



PERFIL DEL ENLACE
RÍO CHICO-CALDERÓN



PERFIL DEL ENLACE
RÍO CHICO-SAN PLÁCIDO



REFERENCIAS DEL CAPÍTULO.

Los números corresponden al orden designado en las Referencias Bibliográficas citadas al final del libro.

1. ALCATEL; **Digital Microwave Radio, Systems Performance Calculations and Network Planning**.
2. ALCATEL; **High Capacity Digital Radio Link Calculations**.
3. ALLEN, E.; **Correlation of Clear-Air Fading with Meteorological Measurements**; 1988; National Radio Engineers Conference.
7. FEHER, Kamilo; **Digital Communications: Microwave Applications**.
9. IETEL; **Cálculo de Radioenlaces de Microondas**.
12. ITU-R Rep338-6; **Propagation Data and Prediction Methods for Terrestrial Line-of-Sight Systems**.
15. LAINE, Richard; LUNAN, Ross; **Digital Microwave Link Engineering – Performance Definitions and Objectives**; #215.
16. LAINE, Richard; LUNAN, Ross; **Digital Microwave Link Engineering – Performance Predictions and Path Calculations**; #216.
17. LAINE, Richard; LUNAN, Ross; **Digital Microwave Link Engineering – Path Alignment, Testing and Troubleshooting**; #217.
18. LAINE, Richard; LUNAN, Ross; **Digital Microwave Link Engineering – Protection Schemes and Diversity Arrangements**; #361.
19. LAINE, Richard; LUNAN, Ross; **Digital Microwave Link Engineering – Interference Mechanisms and In-Service Measurements**; #459.
24. LUNAN, Ross; WILEY, Quan; **E1 Applications for Digital Microwave Systems**; #570.
25. LUNAN, Ross; WILEY, Quan; **Equipment Systems Engineering for Digital Microwave Systems**; CEPT #572.
29. SIEMENS; **Cálculos de Radioenlaces Digitales**.
30. SIEMENS; **Propagation in Free Space**.
31. TANENBAUM, Andrew S.; **Computer Networks**; 1997; Mexico.

32. TIA/EIA TELECOMMUNICATIONS SYSTEMS BULLETIN TSB-10-F; **Interference Criteria for Mocrowave Systems**; 1995.

33. TOMASI, Wayne; **Electronic Communications Systems**; 1996.

37. VIGANTS, Arvids; **Space Diversity Engineering**; 1975; Bell Systems Technical Journal.

39. ZEBROWITZ, S.; **The Use of Multiple Diversity to Minimize the Effects of Ducting on a Long Path**; 1975; NTC.

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Del éxito de la planificación del sistema de telecomunicaciones depende la factibilidad del mismo. De igual manera, del adecuado análisis de la demanda dependerá el correcto diseño de la red para que con las mismas instalaciones y sin cambios significativos, se pueda proporcionar servicio de telecomunicaciones de calidad aún en el futuro, abaratando así el costo inicial de la implementación total del sistema.

Las consideraciones hechas para la estimación del número de abonados demuestran ser bastante acertadas, coherentes y lógicas por cuanto los resultados obtenidos con el método empleado se aproximan bastante bien a lo esperado por la empresa proveedora de los servicios de telecomunicaciones.

Se cree conveniente escoger un equipo con 16 E1 (480 canales) de modo que se pueda atender, hasta dentro del plazo de 10 años, las cerca de 500 nuevas líneas que establece la estimación de la demanda para el área en cuestión, y no las 1300 (aproximadamente) determinadas por el plan de reemplazo y equipamiento de la empresa proveedora.

Es importante prever circunstancias especiales que se salen de los pronósticos al momento de elegir un equipo para cumplir con un objetivo determinado (por el cálculo del pronóstico de abonado), como es el caso de Calderón que actualmente cuenta con 232 líneas, siendo que según la estimación debería tener tan solo 196 líneas. Por este motivo, nunca se escogen equipos que satisfagan estrictamente dichos parámetros, sino más bien, se busca tener cierta holgura, al menos al corto plazo de la implementación.

Adicionalmente a esto debe considerarse que aunque el número de líneas sobrepase la estimación, puede tratarse de un caso en donde se esté llegando a la saturación, por lo que el número de líneas adicionales que se pensaría en

implantar quedarían en reserva para el mismo poblado sin necesidad de ocupar alguno de los E1 en reserva del equipo.

Los equipos seleccionados para el enlace están en capacidad de satisfacer los requerimientos de comunicación presentes (al momento de la implementación) y futuros (hasta un máximo de 10 años) de los poblados bajo estudio, pues se reservan 4 E1 para su posterior empleo (en caso de necesitarlos), además necesitarían de poco equipamiento adicional para la inclusión de los canales restantes al sistema.

Si bien es cierto que no se realizó el cálculo de tráfico y por consiguiente el cálculo del número de circuitos, también es cierto que el método empleado determina de modo directo el número de abonados, esto es, el número de aparatos telefónicos y en cierto modo el número de circuitos de telecomunicaciones necesarios para satisfacer una demanda (de equipamiento más que de servicio).

De haberse realizado el cálculo del número de circuitos, por el lado del tráfico telefónico, es muy probable que sobre todo en los poblados de Río Chico y San Plácido, el número de circuitos resultara aún menor que el previsto, por cuanto su tráfico es mayormente entrante (desde Portoviejo) y de tipo local.

Los resultados obtenidos en el cálculo de los radio enlaces muestran que la metodología empleada genera valores exactos a los producidos por el programa computacional StarLink; es decir que el método se apoya sobre una buena base.

En términos generales, debe decirse que se ha cumplido con el objetivo primordial de este trabajo, cual es, proporcionar una alternativa vía radio que pueda solucionar los problemas continuos de cortes y que además se ajuste a las necesidades de comunicación de los poblados (bajo tráfico) proporcionando al mismo tiempo una implementación rápida y así mismo que prevea el crecimiento de la red.

Sin tratarse propiamente de una conclusión es importante agregar ciertos **Comentarios** sobre la razón de algunos aspectos considerados en este trabajo; como por ejemplo:

¿Por qué se eligió equipos de Harris Corporation?

En un principio, cuando se presentó el resultado de los cálculos previos de propagación a los técnicos de Pacifictel S.A. se sugirió que se intentara con GlobeStar y Quadralink (que son de la misma marca); pero al realizar algo de investigación, se averiguó que, según Harris, éstos en particular son de poca utilización actual, por ello se optó por MicroStar que a diferencia de los otros (dos equipos distintos) proporciona la posibilidad de las dos configuraciones empleadas, facilitando de esta manera su interconexión.

En cuanto al tipo y marca de las antenas ocurrió algo similar, eligiéndose antenas marca Andrew de polarización sencilla para trabajar sin arreglos de diversidad, pues implica utilización de más recursos.

Inicialmente los cálculos se realizaron con frecuencias de alrededor de 2 GHz, pero se decidió trabajar en 8GHz por cuanto se ajusta a los equipos empleados y además trabaja de forma adecuada incluso para la mayor de las distancias del proyecto; siendo por otro lado casi insensible a los efectos atmosféricos que deterioran enlaces que trabajan en frecuencias mayores.

¿Por qué un documento tan extenso sobre un tema conocido y a la vez sencillo?

Sin importar cual sea el nombre que se le dé este tipo de trabajo, el motivo para su extensión en la mayoría de los casos es tan solo la costumbre, pues es normal ver que el trabajo personal, dígase cálculos o análisis, es "rellenado" con conceptos que aunque muchas veces imprescindible para un completo entendimiento, son a la vez innecesarios cuando se busca conseguir que el trabajo sea claro, conciso y preciso, toda vez que se sobre entiende que muchos

de ellos (los conceptos) deben ser del dominio de quienes leen este tipo de documentos técnicos.

Sea el documento una Tesis de Grado (que es en un sentido amplio, la afirmación o proposición de una teoría o principio fundamental para obtener un "grado/título") o un Proyecto de Titulación (proyecto es el conjunto de toda la información escrita o gráfica necesaria para una instalación -fabricación, construcción, etc.- que debe incluir toda la documentación técnica sobre cálculos, observancia de leyes, montaje, y demás fases necesarias) no existe obligatoriedad alguna de alcanzar una cierta extensión, menos aún bajo la premisa de que el cambio de nombre del documento implica también una diferente concepción.

Si bien es cierto según el reglamento actual para la obtención del título ya no caben los términos Tesis de Grado, es también muy cierto que la frase Proyecto de Titulación carece en buena medida de un sentido lógico por cuanto la palabra titulación, según la Real Academia de la Lengua, no es aplicable al significado que se le pretende dar. En todo caso, como se menciona en el párrafo anterior, ninguno de éstos documentos tiene la obligatoriedad de una cierta extensión.

RECOMENDACIONES

Quizá la única recomendación, sería que se considere este trabajo, en particular el capítulo cuarto, referente a la metodología del cálculo de radio enlaces, como una alternativa al método empleado comúnmente en la enseñanza de la cátedra de Propagación y Antenas, pues como se pudo demostrar a través del programa computacional StarLink, los resultados arrojados por el método en cuestión son muy veraces y con un margen mínimo de error.

Aun cuando no se acostumbra a realizar diseños de redes a partir de los datos mostrados en este trabajo, la parte referente a la estimación del número de abonados también arroja resultados muy precisos, de modo que no debería dejarse de lado la posibilidad de al menos mostrar éste trabajo como un ejemplo de como realizar estimaciones sencillas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS.

1. ALCATEL; **Digital Microwave Radio, Systems Performance Calculations and Network Planning.**
2. ALCATEL; **High Capacity Digital Radio Link Calculations**.
3. ALLEN, E.; **Correlation of Clear-Air Fading with Meteorological Measurements**; 1988; National Radio Engineers Conference.
4. ARIAS A., Gonzalo; **Estudio de Factibilidad de un Plan de Emergencia de Telecomunicaciones para la Amazonía Ecuatoriana**; 1996; Quito.
5. BENAVIDES, Manuel; **Diseño de un Sistema Multiacceso Digital para le Área Rural de la Provincia de Loja y Zamora Chinchipe**; 2000; Quito.
6. CÁCERES V., Jorge; **Estudio para la Configuración de un Sistema de Transmisión Rural, para Servicio Telefónico en la Provinvia de Cotopaxi**; 1989, Quito.
7. FEHER, Kamilo; **Digital Communications: Microwave Applications**.
8. GÓMEZ, Nelson; **Atlas del Ecuador: Geografía y Economía**; 1994; Quito.
9. IETEL; **Cálculo de Radioenlaces de Microondas**.
10. INEC; **República del Ecuador: División Político Administrativa 2001**.
11. INEC; **V Censo de Población y IV de Vivienda 1990**.
12. ITU-R Rep338-6; **Propagation Data and Prediction Methods for Terrestrial Line-of-Sight Systems**.
13. JARAMILLO V., Patricio; **Diseño de un Enlace de Microondas entre Guayaquil y Cuenca**; 1978; Quito.
14. JIMENEZ A., José; **Estudio de las Telecomunicaciones Rurales en la Provinvia de Manabí**; 1976; Quito.
15. LAINE, Richard; LUNAN, Ross; **Digital Microwave Link Engineering – Performance Definitions and Objectives**; #215.

16. LAINE, Richard; LUNAN, Ross; **Digital Microwave Link Engineering – Performance Predictions and Path Calculations**; #216.
17. LAINE, Richard; LUNAN, Ross; **Digital Microwave Link Engineering – Path Alignment, Testing and Troubleshooting**; #217.
18. LAINE, Richard; LUNAN, Ross; **Digital Microwave Link Engineering – Protection Schemes and Diversity Arrangements**; #361.
19. LAINE, Richard; LUNAN, Ross; **Digital Microwave Link Engineering – Interference Mechanisms and In-Service Measurements**; #459.
20. LAINE, Richard; LUNAN, Ross; WILEY, Quan; **System Design and Cutover Considerations for Upgrading Analog Microwave Links to Digital**; CEPT #109.
21. LAINE, Richard; **Most Useful Tutorial Documents Applicable to Digital Microwave Transmission Engineering**. #010.
22. LEIJON, Herbert; **Pronóstico de Abonado y de Tráfico Para una Red Rural**; ITU-doc-63-s.
23. LEIJON, Herbert; **Teorías Básicas de Pronóstico: Una Breve Introducción**; ITU-doc-60-s.
24. LUNAN, Ross; WILEY, Quan; **E1 Applications for Digital Microwave Systems**; #570.
25. LUNAN, Ross; WILEY, Quan; **Equipment Systems Engineering for Digital Microwave Systems**; CEPT #572.
26. MINISTERIO DE TURISMO; **Folletos Informativos**; Quito.
27. REINOSO C., Anibal; **Sistema de Transmisión de Radioenlace Rural para la Provincia de Tungurahua**; 1989; Quito.
28. SENATEL; **Plan Nacional de Frecuencias**; 2000; Quito.
29. SIEMENS; **Cálculos de Radioenlaces Digitales**.
30. SIEMENS; **Propagation in Free Space**.
31. TANENBAUM, Andrew S.; **Computer Networks**; 1997; Mexico.
32. TIA/EIA TELECOMMUNICATIONS SYSTEMS BULLETIN TSB-10-F; **Interference Criteria for Mocrowave Systems**; 1995.
33. TOMASI, Wayne; **Electronic Communications Systems**; 1996.

34. ULLOA A., Darwin; **Diseño de un Programa para el Cálculo de la Geometría y el Desempeño de Radioenlaces Analógicos y Digitales Usando Microcomputadores**; 1982; Quito.

35. VELECELA C., Freddy; **Estudio de Factibilidad de un Sistema de Telecomunicaciones vía Radio para las Zonas Rurales del Cantón Cuenca**; 1997; Quito.

36. VERDUGO F., René; **Diseño de un Radioenlace entre las Centrales Telefónicas de Monjas y Quito Centro**; 1986; Quito.

37. VIGANTS, Arvids; **Space Diversity Engineering**; 1975; Bell Systems Technical Journal.

38. VILLAVICENCIO V., A.; **Proyecto Complementario de Transmisión Telefónica Digital Rural para las Provincias de Bolivar, Manabí, Napo y Tungurahua**; 1995; Quito.

39. ZEBROWITZ, S.; **The Use of Multiple Diversity to Minimize the Effects of Ducting on a Long Path**; 1975; NTC.

ANEXOS

PORTOVIEJO
POBLACION DEFICITARIA Y PORCENTAJE
POBLACIONAL DEFICITARIO POR SERVICIOS BÁSICOS

PARROQUIA RURAL O PERIFERIA	TOTAL	SIN TELÉFONO	%	SIN LUZ ELÉCTRICA	%	SIN AGUA POTABLE	%
PORTOVIEJO	**159566**	133889	83,91	6902	4,33	17228	10,80
PORTOVIEJO (PERIFERIA)	**22388**	22062	98,54	5105	22,80	7050	31,49
ABDÓN CALDERÓN (SAN FRANCISCO)	**13159**	12970	98,56	4264	32,40	10232	77,76
ALHAJUELA (BAJO GRANDE)	**7666**	7630	99,53	2940	38,35	5572	72,68
CRUCITA	**9017**	8946	99,21	2127	23,59	6902	76,54
PUEBLO NUEVO	**2984**	2964	99,33	1524	51,07	2248	75,34
RIOCHICO (RÍO CHICO)	**10406**	10321	99,18	2096	20,14	8438	81,09
SAN PLÁCIDO	**9822**	9621	97,95	5337	54,34	8475	86,29
TOTAL / PROMEDIO	**235008**	**208403**	**88,68**	**30295**	**12,89**	**66145**	**28,15**

FUENTE: INEC, V CENSO DE POBLACIÓN Y IV DE VIVIENDA 1990
NOTA 1: VOLUMEN: CIFRANDO Y DESCIFRANDO MANABÍ. 1995-INEC
NOTA 2:ELBORADO POR DRL-INEC/ICHE-ESPOL

PORTOVIEJO

VIVIENDAS PARTICULARES OCUPADAS, POR SERVICIO QUE DISPONE SEGÚN PARROQUIAS Y ÁREAS

REGIÓN	TOTAL VIVIENDAS	SERVICIO ELÉCTRICO		SERVICIO TELEFÓNICO		ABASTECIMIENTO DE AGUA	
		SI TIENE	NO TIENE	SI TIENE	NO TIENE	RED PÚBLICA	OTRO
TOTAL VIVIENDAS	**36756**	**31649**	**51107**	**3978**	**32778**	**26222**	**10534**
PORTOVIEJO	**28115**	26127	1988	3898	24217	24416	3699
URBANA	**24583**	23463	1120	3846	20737	22018	2565
PERIFERIA	**3532**	2664	868	52	3480	2398	1134
ABDÓN CALDERÓN	**2126**	1405	721	26	2100	467	1659
CABECERA	**517**	422	95	4	513	279	238
RESTO	**1609**	983	626	22	1587	188	1421
ALHAJUELA	**1257**	741	516	6	1251	332	925
CABECERA	**251**	235	16	2	249	182	69
RESTO	**1006**	506	500	4	1002	150	856
CRUCITA	**1464**	1096	368	11	1453	341	1123
CABECERA	**329**	308	21	5	324	93	236
RESTO	**1135**	788	347	6	1129	248	887
PUEBLO NUEVO	**499**	231	268	3	496	122	377
CABECERA	**82**	78	14	0	92	57	25
RESTO	**407**	153	254	3	404	65	342
RIOCHICO	**1741**	1363	378	15	1726	336	1405
CABECERA	**342**	328	14	3	339	319	23
RESTO	**1399**	1035	364	12	1387	17	1382
SAN PLÁCIDO	**1554**	686	868	19	1535	208	1346
CABECERA	**254**	225	29	15	239	194	60
RESTO	**1300**	461	839	4	1296	14	1286

FUENTE: INEC, V CENSO DE POBLACIÓN Y IV DE VIVIENDA

PORTOVIEJO

VIVIENDAS PARTICULARES OCUPADAS, POR UTILIZACIÓN DE LA VIVIENDA EN ALGUNA ACTIVIDAD ECONÓMICA, SEGÚN EL MATERIAL PREDOMINANTE EN LA CONSTRUCCIÓN

MATERIAL PREDOMINANTE (TOTAL Y POR REGIÓN)	TOTAL VIVIENDAS	UTILIZACIÓN DE LA VIVIENDA					
		MANUFACTURA	COMERCIO	SERVICIOS	ACTIVIDADES AGRÍCOLAS	OTRAS	SOLO VIVIENDA
TOTAL	**36756**	**0**	**2215**	**420**	**7**	**587**	**33527**
MAYORÍA CONCRETO	**21092**	**0**	**1677**	**339**	**6**	**434**	**18636**
MAYORÍA MADERA (o similar)	**15664**	**0**	**538**	**81**	**1**	**153**	**14891**
URBANO	**24583**	0	1756	372	5	509	21941
MAYORÍA CONCRETO	**17437**	0	1380	310	4	386	15357
MAYORÍA MADERA (o similar)	**7146**	0	376	62	1	123	6584
RURAL	**12173**	0	459	48	2	78	11586
MAYORÍA CONCRETO	**3655**	0	297	29	2	48	3279
MAYORÍA MADERA (o similar)	**8518**	0	162	19	0	30	8307

B

GESTIÓN DE ESPECTRO RADIOELÉCTRICO.

El gran desarrollo de las comunicaciones inalámbricas, en particular de los servicios móviles, ha determinado un gran crecimiento de la demanda de frecuencias radioeléctricas especialmente en las bandas adecuadas para estos servicios. Lo mismo ocurre debido al incremento de la demanda de servicios de voz y datos a nivel empresarial y de voz a nivel rural amparadas en tecnologías digitales de acceso múltiple vía microondas. Al mismo tiempo, la convergencia, los adelantos técnicos y los nuevos enfoques comerciales generan nuevos servicios que directa o indirectamente redundan en nuevas demandas de acceso al espectro.

Las frecuencias a las que trabaja el equipo elegido para realizar el enlace están enmarcadas dentro del plan nacional de frecuencias, como se detalla a continuación.

- **S5.458** En la banda 6425 - 7075 MHz, se llevan a cabo mediciones con sensores pasivos de microondas por encima de los océanos. En la banda 7075 - 7250 MHz, se realizan mediciones con sensores pasivos de microondas. Conviene que las administraciones tengan en cuenta las necesidades de los servicios de exploración de la Tierra por satélite (pasivo) y de investigación espacial (pasivo) en la planificación de la utilización futura de las bandas 6425 - 7025 MHz y 7075 - 7250 MHz.
- **S5.458A** Al hacer asignaciones en la banda 6700 - 7075 MHz a estaciones espaciales del servicio fijo por satélite, se insta a las administraciones a que adopten todas las medidas posibles para proteger las observaciones de las rayas espectrales del servicio de radioastronomía, en la banda 6650 - 6675,2 MHz contra la interferencia perjudicial procedente de emisiones no deseadas.
- **S5.458B** La atribución espacio-Tierra al servicio fijo por satélite en la banda 6700 - 7075 MHz está limitada a enlaces de conexión para sistemas de

satélites no geoestacionarios del servicio móvil por satélite y está sujeta a la coordinación a tenor del número **S9.11A**. La utilización de la banda 6700 - 7075 MHz (espacio-Tierra) para enlaces de conexión de sistemas de satélites no geoestacionarios del servicio móvil por satélite no está sujeta al número **S22.2**.

- **S5.458C** Las administraciones que sometan asignaciones en la banda 7025 – 7075 MHz (Tierra–espacio) para sistemas del satélite del SFS con satélites geoestacionarios (OSG), después del 17 de noviembre de 1995 consultarán, sobre la base de las Recomendaciones UIT–R pertinentes, a las administraciones que han notificado y puesto en servicio sistemas de satélite no geoestacionarios en esta banda de frecuencias antes del 18 de noviembre de 1995 a petición de estas últimas administraciones. Esta consulta se hará con miras a facilitar las operaciones compartidas de los sistemas del SFS/OSG y no–OSG en esta banda.
- **S5.460** Atribución adicional: La banda 7145 – 7235 MHz está también atribuida, a título primario, al servicio de investigación espacial (Tierra–espacio) a reserva de obtener el acuerdo indicado en el número **S9.21**. La utilización de la banda 7145 – 7190 MHz está limitada al espacio lejano; no se efectuará ninguna emisión destinada al espacio lejano en la banda 7190 – 7235 MHz.
- **S5.461** Atribución adicional: las bandas 7250 – 7375 MHz (espacio – Tierra) y 7900 – 8025 MHz (Tierra – espacio) están también atribuidas, a título primario, al servicio móvil por satélite a reserva de obtener el acuerdo indicado en el número **S9.21**.
- **S5.461A** La utilización de la banda de frecuencias 7450 – 7550 MHz por el servicio de meteorología por satélite (espacio–Tierra) queda circunscrita a los sistemas de satélites geoestacionarios. Los sistemas de meteorología por satélites no geoestacionarios notificados antes del 30 de noviembre de 1997 en dicha banda pueden continuar funcionando a título primario hasta el final de su vida útil. **(CMR–97)**
- **S5.461B** La utilización de la banda 7750 – 7850 MHz por el servicio de meteorología por satélite (espacio–Tierra) está limitada *a los sistemas* de satélites no geoestacionarios. **(CMR–97)**

- **S5.463** No se permite a las estaciones de aeronave transmitir en la banda 8025 – 8400 MHz. **(CMR–97)**
- **S5.465** En el servicio de investigación espacial, la utilización de la banda 8400 – 8450 MHz está limitada al espacio lejano.
- **EQA.155** En las bandas 917 – 922 MHz y 941 – 946 MHz, 925 – 928 MHz y 951 – 954 MHz, 934 – 935 MHz y 955 – 956 MHz, 1.400 – 1.452 MHz, 1.492 – 1.525 MHz, 3.700 – 4.200 MHz, 5.925 – 6.700 MHz, 6.892 – 7.075 MHz, **7.075 – 8.500 MHz**, 14,5 – 15,4 GHz, 17,8 – 18,8 GHz, 21,2 – 24 GHz, operan enlaces para sistemas de transmisión de datos.

ECUADOR ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS EN LA BANDA ESCOGIDA		
BANDA DE FRECUENCIA	SERVICIOS ASIGNADOS	
	REGIÓN 2	ECUADOR
6700 - 7075	Fijo, Fijo por Satélite (Tierra-espacio, espacio-Tierra), Móvil	
7075 - 7250	Fijo, Móvil	
7250 -7300	Fijo, Fijo por Satélite (espacio-Tierra), Móvil	
7300 - 7450	Fijo, Fijo por Satélite (espacio-Tierra), Móvil (salvo aeronáutico)	
7450 - 7550	Fijo, Fijo por Satélite y Metereología por Satélite (espacio-Tierra), Móvil (salvo aeronáutico)	
7550 - 7750	Fijo, Fijo por Satélite (espacio-Tierra), Móvil (salvo aeronáutico)	
7750 - 7850	Fijo, Metereología por Satélite (espacio-Tierra), Móvil (salvo aeronáutico)	
7850 - 7900	Fijo, Móvil	
7900 - 8025	Fijo, Fijo por Satélite (Tierra-espacio), Móvil	
8025 - 8175	Exploración de la Tierra por Satélite (espacio-Tierra), Fijo, Fijo por Satélite (Tierra-espacio), Móvil	
8175 -8215	Exploración de la Tierra por Satélite (espacio-Tierra), Fijo, Fijo por Satélite y Metereología por Satélite (Tierra-espacio), Móvil	
8215 - 8400	Exploración de la Tierra por Satélite (espacio-Tierra), Fijo, Fijo por Satélite (Tierra-espacio), Móvil	
8400 - 8500	Fijo. Móvil (salvo aeronáutico), Investigación Espacial (espacio-Tierra)	

SENATEL

CUADRO B: ASIGNACIÓN DE SERVICIOS POR BANDA DE FRECUENCIA.

EQUIPOS EMPLEADOS

HARRIS

7, 8 GHz CEPT digital hierarchy

MicroStar® M

point-to-point

digital radio

MicroStar® M is a family of point-to-point digital PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) microwave radios designed for rapid, easy deployment of short, medium, and long links. A wide range of frequency bands and protection configurations are available for voice and data applications.

Based on a common platform architecture incorporating the most reliable design in the industry, MicroStar® M has features ideally suited for cellular networks, personal communications networks, and global private or public communications systems.

For long link applications, the MicroStar® M is available at frequencies ranging from 7 GHz to 8 GHz. The innovative design of the Outdoor Unit (ODU) allows two transceivers to be mounted in the same enclosure to provide a protection configuration with only a single antenna.

The Outdoor Units use the same Indoor Units for all capacities which reduce equipment sparing needs. In addition, the embedded software within the radio is also common simplifying operation, configuration, maintenance, and training requirements.

MicroStar® M 7,8 GHz CEPT digital hierarchy

System Characteristics

Frequency Range:
7,110 - 7,755 MHz 7,725 - 8,275 MHz 8,275 - 8,750 MHz

Xmtr/Rcvr Frequency Spacing : 119 MHz min. (single antenna)

Modulation: QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)

Bit Rate Capacity: 4, 8, 16 x2 Mbit/s, 34 Mbit/s + 2x2 Mbit/s

Channel Bandwidth:

4x2 Mbit/s	8x2 Mbit/s	16x2 Mbit/s	34 Mbit/s + 2x2 Mbit/s
7.0 MHz	14 MHz	28 MHz	28 MHz

Frequency Source: Programmable Synthesizer - full tuning range

Diplexer: Bandwidth 60 MHz Loss 3 dB (Tx/Rx)

Configurations: Non-protected, Monitored Hot-Standby, Frequency Diversity, Space Diversity, Hybrid Diversity

IDU/ODU Interconnection: Separation 300 m max,
Single coaxial cable, Belden 9913 (RG-8U) or equivalent

Digital Interface: 2 Mbit/s; 120 ohms, bal. or 75 ohms, unbal.
34 Mbit/s 75 ohms, unbal.

Line Code: HDB3 or AMI

Digital Service Channel: 4 channels including 1 VF channel with DTMF signaling and 1 data channel

Data Interface: RS232 (V24) or RS423 (V10)

NMS Interface: SNMP, FarScan™, dry relay contacts, and supported on HNM systems

Craft Interface: Laptop using MicroStar CIT

Fault Detection: Auto-Diagnostics, replace-me LEDs
Alarms: Indoor Unit, Outdoor Unit, Cable, Sum

Operating Environment:	Indoor	Outdoor
Guaranteed Performance:	0°C to +50°C	-33°C to +55°C
Operational:	-10°C to +55°C	-40°C to +55°C

Humidity: Indoor, 95% max 100 % *(non-condensing)*

Power Sources: 21 to 60 Vdc, positive or negative ground

Power Consumption:

Capacity	Non-Protected	Protected
4, 8x2 Mbit/s	65 Watts	120 Watts
16x2 Mbit/s or 34 Mbit/s	70 Watts	130 Watts

Transmitter Characteristics

Power Output: + 25,5 dBm at antenna port (NP transceiver)
+ 28.0 dBm at Power Amplifier

RF Power Attenuation: 20 dB in 1 dB steps

Power Mute Control: > 50 dB attenuation

Filter and Branching Loss: 1.5 dB

Frequency Stability: 7 ppm including aging

MicroStar® M 7, 8 GHz CEPT digital hierarchy

System Gain

System Gain:

BER	4x2 Mbit/s	8x2 Mbit/s	16x2 Mbit/s	34 Mbit/s + 2x2 Mbit/s
1×10^{-3}	116 dB	113 dB	110 dB	109,5 dB
1×10^{-6}	114 dB	111 dB	108 dB	107,5 dB

At the antenna port for a non-protected assembly including filter and branching losses equal to 3 dB for non-protected.

Receiver Characteristics

Noise Figure: 5 dB maximum (outdoor/indoor installation)

Sensitivity: (dBm)

BER	4x2 Mbit/s	8x2 Mbit/s	16x2 Mbit/s	34 Mbit/s + 2x2 Mbit/s
1×10^{-3}	-89,5 dBm	-86,5 dBm	-83,5 dBm	-83 dBm
1×10^{-6}	-87,5 dBm	-84,5 dBm	-81,5 dBm	-81 dBm

At the antenna port for a non-protected assembly including filter and branching losses equal to 1,5 dB for non-protected

Residual BER: $< 10^{-12}$ BER

RF Overload: - 20 dBm (no errors)

Frequency Stability: 7 ppm including aging

FEC: Built-in

Regulatory Information

Frequency Plans: ITU-R Rec. 385-5/386-4 & Report 1055-1.
Other frequency plans available.

Electromagnetic Interference Standards:
ETS 300 385 (EN55022)

Mechanical Characteristics

Antenna Connection: WR-112 Waveguide, CPR-112G Flange

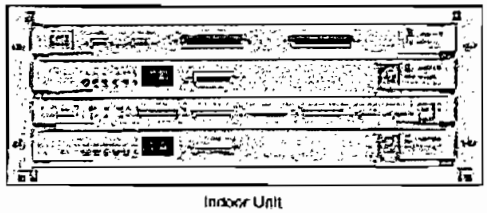
Cable Connector: Indoor to Outdoor; Type "N-Type Female

Rack Size: Indoor Unit; 483 mm EIA or ETSI relay rack
Outdoor Unit; Pole or rack mount.

Dimensions:	Height	Width	Depth
Indoor Unit;	135 mm	483 mm	300 mm
Outdoor Unit;	381 mm	216 mm	310 mm

Weight: Indoor Unit; 8.5 kg 4, 8,16x2 Mbit/s, 34 Mbit/s
Outdoor Unit; 12.5 kg

Altitude; 5000 m AMSL



Indoor Unit

Typical performance specifications given here apply to transmitters and receivers connected back-to-back and must be confirmed before they become applicable to any specific system, contract or order.

D

CALCULOS DE PROPAGACIÓN COMPLETOS

Enlace Cerro de Hojas - Río Chico (Loma Cruz Verde)

Datos Geográficos del Enlace:

Ubicación de la Estación 1:	Lat: 1° 1′ 55,36′′ S	Lng: 80° 32′ 1,52′′ W
Ubicación de la Estación 2:	Lat: 0° 59′ 38,23′′ S	Lng: 80° 25′ 41,91′′ W
Acimut de la Estación 1:	Az: 70° 15′ 22′′	
Acimut de la Estación 2:	Az: 250° 15′ 29′′	
Longitud del Enlace:	d := 12.469 Km	

Datos Topográficos del Enlace:

Altura de la Estación 1:	h1 := 620	m
Altura de la Estación 2:	h2 := 229	m
Distancia al Punto de Sombra:	ds := 11.55	Km
Altura del Punto de Sombra:	hs := 180	m
Rugosidad del Terreno:	S := 130	m

Factores Propios de la Zona:

Factor de Clima por Región:	$x := 2.1 \cdot 10^{-5}$	En clima templano, y mediana altura
Factor de Rugosidad:	a := 0.25	En zonas de relieve disparejo.
Factor de Cambiar Peor Mes a Anual:	b := 0.5	En zonas calientes y húmedas.

Datos del Equipo: Harris MicroStar 7 GHz CEPT 16x2.048 Mbps

Frecuencia Central:	f := 8.000	GHz	7.725 - 8.275 GHz
Potencia de Transmisión:	Ptx := 26.5	dBm	Estándar
Umbral de Recepción:	Pth := - 81.5	dBm	con BER = 10*E-6
Factor de Ruido:	NF := 5	dB	
Portadora a Ruido:	CN := 13.6	dB	para QPSK
Ancho de Banda de Recepción:	BW := 3.5	MHz	

Datos de las Antenas: Andrew PL4 - 77GD (Guía de Onda CPR 112)

Frecuencia Central:	f := 8.075	GHz	7.75 - 8.4 GHz
Ganancia de las Antenas:	Gan := 37.2	dBm	
Apertura del Ancho del Haz:	DBW := 2.2	°	
Diámetro del Plato:	D := 1.2	m	

Datos Adicionales:

Atenuación en el Alimentador:	Lal := 1.74	dB	dB/100 ft (30.48 m)
Longitud del Alimentador:	l := 100	m	50 m (max) por torre
Segundos Anuales:	t := 31536000	s	
Confiabilidad Esperada:	r := 0.9999999		(99.99999 %)

Cálculos Iniciales:

$h12 := 0.5 \cdot (h1 + h2)$ $h12 = 424.5$ m

$q := \frac{h1 - h2}{h1 + h2}$ $q = 0.461$

$hme := \frac{d^2}{68}$ $hme = 2.286$ m

$Q := \frac{h12}{hme}$ $Q = 185.662$

Con los valores obtenidos de **q** y **Q** se busca en el gráfico el valor de **A1** $A1 := 1.4324$

$dr := 0.5 \cdot d \cdot A1$ $dr = 8.93$ Km

Puesto que incluso el punto de reflexión está obstruído, se considera que el valor de **Lr = 0** $Lr := 0$ dB

$d2 := d - ds$ $d2 = 0.919$ Km

$h0 := 17.3 \cdot \sqrt{\frac{ds \cdot d2}{f \cdot d}}$ $h0 = 5.617$ m

$C := h1 - \frac{ds}{d} \cdot (h1 - h2) - .0588 \cdot ds \cdot d2 - hs$ $C = 77.194$ m

$SMi := C - h0$ $SMi = 71.577$ m

Puesto que **C > h0**, entonces no hay obstrucción de **rf1** y por tanto **Ls = 0** $Ls := 0$ dB

$\lambda := \frac{0.3}{f}$ $\lambda = 0.037$ m

$hc := 30 \cdot \lambda^{\frac{2}{3}}$ $hc = 3.34$ m

$DBWc := \frac{20}{f \cdot D}$ $DBWc = 2.064$ °

$KQ := x \cdot S^{-1.3}$ $KQ = 3.751 \cdot 10^{-8}$

$Ltal := \frac{l \cdot Lal}{30.48}$ $Ltal = 5.709$

Datos del Equipo:	**Harris**	**MicroStar**	**7 GHz**	**CEPT 4x2.048 Mbps**
Frecuencia Central:		f := 8.000	GHz	7.725 - 8.275 GHz
Potencia de Transmisión:		Ptx := 26.5	dBm	Estándar
Umbral de Recepción:		Pth := - 87.5	dBm	con BER = 10*E-6
Factor de Ruido:		NF := 5	dB	
Portadora a Ruido:		CN := 13.6	dB	para QPSK
Ancho de Banda de Recepción:		BW := 3.5	MHz	

Datos de las Antenas:	**Andrew**	**PL4 - 77GD**	**(Guía de Onda CPR 112)**	
Frecuencia Central:		f := 8.075	GHz	7.75 - 8.4 GHz
Ganancia de las Antenas:		Gan := 37.2	dBm	
Apertura del Ancho del Haz:		DBW := 2.2	°	
Diámetro del Plato:		D := 1.2	m	

Datos Adicionales:

Atenuación en el Alimentador:	Lal := 1.74	dB	db/100 ft (30.48 m)
Longitud del Alimentador:	l := 100	m	50 m (max) por torre
Segundos Anuales:	t := 31536000	s	
Confiabilidad Esperada:	r := 0.9999999		(99.99999 %)

Enlace Río Chico (Loma Cruz Verde) - San Plácido (Loma la Jigua)

Datos Geográficos del Enlace:

Ubicación de la Estación 1:	Lat: 0° 59′ 38,23″ S	Lng: 80° 25′ 41,91″ W
Ubicación de la Estación 2:	Lat: 1° 3′ 31,52″ S	Lng: 80° 14′ 45,60″ W
Acimut de la Estación 1:	Az: 107° 34′ 39″	
Acimut de la Estación 2:	Az: 287° 34′ 51″	
Longitud del Enlace:	d := 21.285 Km	

Datos Topográficos del Enlace:

Altura de la Estación 1:	h1 := 229	m
Altura de la Estación 2:	h2 := 120	m
Distancia al Punto de Sombra:	ds := 14.6	Km
Altura del Punto de Sombra:	hs := 60	m
Rugosidad del Terreno:	S := 50	m

Factores Propios de la Zona:

Factor de Clima por Región:	$x := 2.1 \cdot 10^{-5}$	En clima templano, y mediana altura
Factor de Rugosidad:	a := 0.25	En zonas de relieve disparejo.
Factor de Cambiar Peor Mes a Anual:	b := 0.5	En zonas calientes y húmedas.

Cálculos Iniciales:

$h12 := 0.5 \cdot (h1 + h2)$ $h12 = 174.5$ m

$q := \frac{h1 - h2}{h1 + h2}$ $q = 0.312$

$hme := \frac{d^2}{68}$ $hme = 6.663$ m

$Q := \frac{h12}{hme}$ $Q = 26.191$

Con los valores obtenidos de **q** y **Q** se busca en el gráfico el valor de **A1** $A1 := 1.2975$

$dr := 0.5 \cdot d \cdot A1$ $dr = 13.809$ Km

Puesto que incluso el punto de reflexión está obstruído, se considera que el valo **Lr = 0** $Lr := 0$ dB

$d2 := d - ds$ $d2 = 6.685$ Km

$h0 := 17.3 \cdot \sqrt{\frac{ds \cdot d2}{f \cdot d}}$ $h0 = 13.037$ m

$C := h1 - \frac{ds}{d} \cdot (h1 - h2) - .0588 \cdot ds \cdot d2 - hs$ $C = 88.495$ m

$SMi := C - h0$ $SMi = 75.458$ m

Puesto que **C > h0**, entonces no hay obstrucción de **rf1** y por tanto **Ls = 0** $Ls := 0$ dB

$\lambda := \frac{0.3}{f}$ $\lambda = 0.037$ m

$hc := 30 \cdot \lambda^{\frac{2}{3}}$ $hc = 3.34$ m

$DBWc := \frac{20}{f \cdot D}$ $DBWc = 2.064$ °

$KQ := x \cdot S^{-1.3}$ $KQ = 1.299 \cdot 10^{-7}$

$Ltal := \frac{l \cdot Lal}{30.48}$ $Ltal = 5.709$

E

CÁLCULOS DEL PROGRAMA STARLINK

HARRIS StarLink

Microwave Radio Path Calculations

Customer: **Pacifictel S.A.** Project: **Tesis**

Equipment Type:	MicroStar M 7 (QPSK)	Capacity:	16 E1
Protection Type:	Non Protected	Mid Frequency:	7.930 GHz
Transmit Power:	Standard		

Site Name:	Cerro de Hojas		Río Chico
Latitude (S):	1 ° 1 ' 55.4 "		0 ° 59 ' 38.2 "
Longitude (W):	80 ° 32 ' 1.5 "		80 ° 25 ' 41.9 "
Ground Elevation:	600 m		209 m
Path Length:		**12.5 km**	
Azimuth:	70.26 °		250.26 °

Free Space Loss:		137.0 dB	
Absorption Loss:		0.2 dB	
Feeder Length/Type:	50.0 m Elliptical		50.0 m Elliptical
Feeder Loss:	2.9 dB		4.0 dB
Miscellaneous Loss:	0.0 dB		0.0 dB
Transmitter ACU Loss:		0.0 dB	
Receiver ACU Loss:		0.0 dB	
TOTAL LOSSES:		**144.1dB**	

Antenna Size:	1.2m		1.2 m
Antenna Centerline:	20.0m		20.0 m
Antenna Gain:	36.8dB		36.8 dB
Transmit Power:		25.5 dBm	
TOTAL GAINS:		**99.1 dB**	

Unfaded Receive Signal Level:	-45.0 dBm
Threshold:	-86.0 dBm at 10^-6 BER
Flat Fade Margin:	41.0 dB
Dispersive Fade Margin:	58.0 dB
Composite Fade Margin:	40.9 dB

KQ =0.38 x 10^-5 (X = 2.1x10^-5, S = 130 m, B = 1, C = 3)

Multipath Outage (Short Term, One Way)

SESR	Objective	sec/worst month	Objective
0.0000008	0.000004648	2	12

Completed by Ing. Yandrj Martínez Plaza

HARRIS StarLink

Microwave Radio Path Calculations

Customer: **Pacifictel S.A.** Project: **Tesis**

Equipment Type:	MicroStar M 7 (QPSK)	Capacity:	4 E1
Protection Type:	Non Protected	Mid Frequency:	7.930 GHz
Transmit Power:	Standard		

Site Name:	Río Chico		Calderón
Latitude (S):	0 ° 59 ' 38.2 "		1 ° 2 ' 8.5 "
Longitude (W):	80 ° 25 ' 41.9 "		80 ° 20 ' 17.9 "
Ground Elevation:	209 m		100 m
Path Length:		**11.0 km**	
Azimuth:	114.74 °		294.74 °
Free Space Loss:		137.0 dB	
Absorption Loss:		0.2 dB	
Feeder Length/Type:	50.0 m Elliptical		50.0 m Elliptical
Feeder Loss:	2.9 dB		4.0 dB
Miscellaneous Loss:	0.0 dB		0.0 dB
Transmitter ACU Loss:		0.0 dB	
Receiver ACU Loss:		0.0 dB	
TOTAL LOSSES:		**144.1dB**	
Antenna Size:	1.2m		1.2 m
Antenna Centerline:	20.0m		20.0 m
Antenna Gain:	36.8dB		36.8 dB
Transmit Power:		25.5 dBm	
TOTAL GAINS:		**99.1 dB**	

Unfaded Receive Signal Level:	-45.0 dBm
Threshold:	-86.0 dBm at 10^-6 BER
Flat Fade Margin:	41.0 dB
Dispersive Fade Margin:	58.0 dB
Composite Fade Margin:	40.9 dB

KQ =1.33 x 10^-5 (X = 2.1x10^-5, S = 49 m, B = 1, C = 3)

Multipath Outage (Short Term, One Way)

SESR	Objective	sec/worst month	Objective
0.0000008	0.000004648	2	12

Completed by Ing. Yandrj Martínez Plaza

HARRIS StarLink

Microwave Radio Path Calculations

Customer: **Pacifictel S.A.** Project: **Tesis**

Equipment Type:	MicroStar M 7 (QPSK)	Capacity:	4 E1
Protection Type:	Non Protected	Mid Frequency:	7.930 GHz
Transmit Power:	Standard		

Site Name:	Río Chico		San Plácido
Latitude (S):	0 ° 59 ' 38.2 "		1 ° 3 ' 31.5 "
Longitude (W):	80 ° 25 ' 41.9 "		80 ° 14 ' 45.6 "
Ground Elevation:	209 m		80 m
Path Length:		**21.5 km**	
Azimuth:	109.45 °		289.45 °
Free Space Loss:		137.0 dB	
Absorption Loss:		0.2 dB	
Feeder Length/Type:	50.0 m Elliptical		50.0 m Elliptical
Feeder Loss:	2.9 dB		4.0 dB
Miscellaneous Loss:	0.0 dB		0.0 dB
Transmitter ACU Loss:		0.0 dB	
Receiver ACU Loss:		0.0 dB	
TOTAL LOSSES:		**144.1dB**	
Antenna Size:	1.2m		1.2 m
Antenna Centerline:	20.0m		40.0 m
Antenna Gain:	36.8dB		36.8 dB
Transmit Power:		25.5 dBm	
TOTAL GAINS:		**99.1 dB**	

Unfaded Receive Signal Level:	-45.0 dBm
Threshold:	-86.0 dBm at 10^-6 BER
Flat Fade Margin:	41.0 dB
Dispersive Fade Margin:	58.0 dB
Composite Fade Margin:	40.9 dB

KQ =1.30 x 10^-5 (X = 2.1x10^-5, S = 50 m, B = 1, C = 3)

Multipath Outage (Short Term, One Way)

SESR	Objective	sec/worst month	Objective
0.0000008	0.000004648	2	12

Completed by Ing. Yandrj Martínez Plaza

HARRIS StarLink

Microwave Radio Path Calculations
System Summary

Customer: **Pacifictel S.A.** Project: **Tesis**

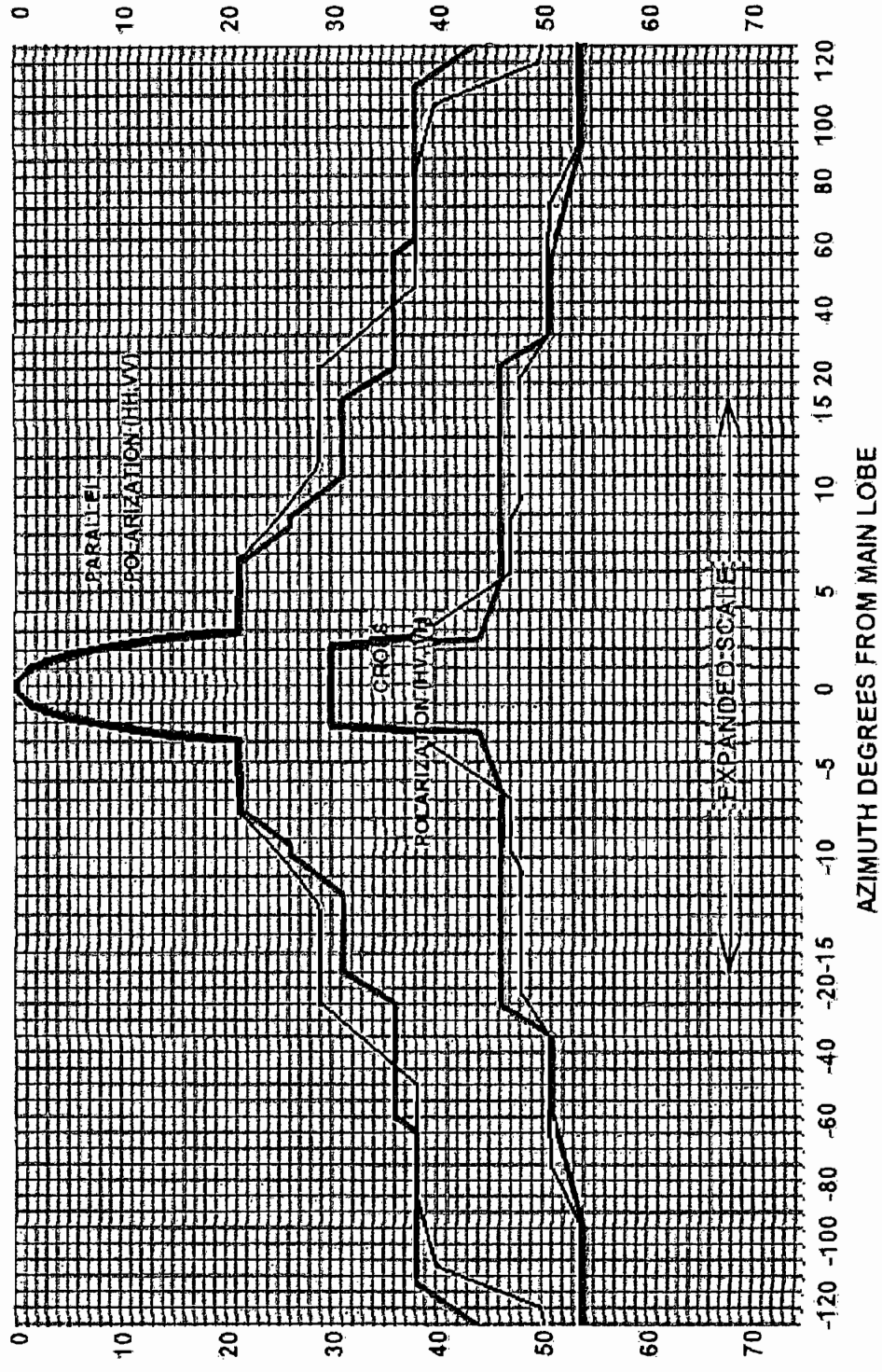
Site 1	Site 2	Distance (km)	Primary Antenna		Radio Equipment	Capacity	Transmit Power	Path Outage
			Site 1	Site 2	Configuration	Number of E1's	(dBm)	Multipath (sec/ worst month) Rain (sec/yr)
CERRO DE HOJAS	RÍO CHICO	12.5	Size (m) 1.2	1.2	MicroStar M 7 (QPSK)	16	25.5	Multipath: 2 Objective: 12
			Height (m) 20.0	20.0	Non Protected 7.930 GHz			
RÍO CHICO	CALDERÓN	11.0	Size (m) 1.2	1.2	MicroStar M 7 (QPSK)	4	25.5	Multipath; 2 Objective: 12
			Height (m) 20.0	20.0	Non Protected 7.930 GHz			
RÍO CHICO	SAN PLÁCIDO	21.5	Size (m) 1.2	1.2	MicroStar M 7 (QPSK)	4	25.5	Multipath: 2 Objective: 12
			Height (m) 20.0	20.0	Non Protected 7.930 GHz			

Completed by: Ing. Yandrj Martínez Plaza

Radiation Pattern Envelope

ANDREW

Antenna Type Number PL4-77GD
4 (1.2) ft(m) Antenna 7750-8400 MHZ
Gain: 37.20 dBi at Midband

Single Polarized Low VSWR

Envelope for a Horizontally Polarized Antenna (RH,HV)
Envelope for a Vertically Polarized Antenna (VV,VH)