

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y
AMBIENTAL**

**CARRERA PROFESIONAL INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**



**“IMPLEMENTACIÓN DE UN ENLACE MICROONDAS CON
TECNOLOGÍAS 2G, 3G Y LTE, PARA EL OPERADOR ENTEL,
EN EL DISTRITO DE NUEVA REQUENA - UCAYALI”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES

PRESENTADO POR EL BACHILLER

COYLLO SOLIS, CLAUDIA STEFANNY

**Villa El Salvador
2016**

DEDICATORIA

A mi familia, que me dan su apoyo día a día para culminar con mis metas propuestas. Quienes con esfuerzo me han otorgado siempre lo necesario para así seguir con mis sueños.

A Dios, que me permitió culminar con satisfacción uno de mis metas. Y para finalizar a todas las personas que me acompañaron durante toda esta etapa.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a mis padres por brindarme los ánimos y fortaleza para afrontar nuevos retos.

A la empresa donde laboré por primera vez, por darme la oportunidad de afianzar más mis conocimientos y aprender nuevos.

Y mis profesores, que me enseñaron el valor del amor y compromiso por mi profesión.

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1 Descripción de la realidad problemática	3
1.2 Justificación del Proyecto	5
1.3 Delimitación del Proyecto	6
1.4 Formulación del Problema.....	7
1.4.1 Problema General	7
1.4.2 Problema Específico:.....	7
1.5 Objetivos	8
1.5.1 Objetivo General.....	8
1.5.2 Objetivos Específicos	9
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	10
2.1 Antecedentes de la Investigación	10
2.2 Bases Teóricas.....	17
2.2.1 Sistema Electrónico de Comunicaciones	17
2.2.2 Espectro Electromagnético	19
2.2.3 Frecuencias de Transmisión.....	20
2.2.4 Corrección de Errores	24

2.2.4.1	Tipos de errores.....	25
2.2.4.2	Técnicas de Corrección de Errores.....	28
2.2.4.3	La Tasa de Error.....	36
2.2.5	La Modulación en Amplitud por Cuadratura (QAM)	37
2.2.6	Definición de Microondas y Radioenlace	47
2.2.6.1	Microondas	47
2.2.6.2	Radioenlace.....	47
2.2.7	Importancia de los enlaces microondas.....	48
2.2.8	Presupuesto del enlace microondas (Link Budget)	49
2.2.8.1	Lado Transmisor.....	52
2.2.8.2	Pérdidas de Propagación.....	57
2.2.8.3	El lado del Receptor	67
2.2.9	Componentes de un enlace microondas.....	70
2.2.10	Ventajas y Desventajas de un Enlace de Microondas	77
2.2.10.1	Ventajas de los enlaces microondas.....	77
2.2.10.2	Desventajas de los enlaces microondas	79
2.2.11	La indisponibilidad o corte de un radioenlace	79
2.3	Marco Conceptual	85
2.3.1	IDU (Indoor Unit)	85
2.3.2	ODU (Outdoor Unit).....	85
2.3.3	Antenas Microondas.....	85
2.3.4	Acoplador	87
2.3.5	Cableado.....	87
2.3.6	RTN 950.....	87
2.3.7	Site Survey	90
2.3.8	Topologías de instalación	91
2.3.8.1	All Indoor	92
2.3.8.2	All Outdoor.....	94
2.3.8.3	Split Mount.....	96

CAPÍTULO III: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ENLACE MICROONDAS CON TECNOLOGÍAS 2G, 3G Y LTE PARA EL DISTRITO DE NUEVA REQUENA.	98
3.1 Diseño del Enlace Microondas	98
3.1.1 Determinar la Línea de Vista	99
3.1.2 Path Planner.....	102
3.1.3 Cálculo del Presupuesto del Enlace	104
3.2 Implementación y Configuración del Enlace Microondas.....	107
3.2.1 Equipamiento para el Enlace Microondas.....	107
3.2.2 Cableado	110
3.2.2.1 Posicionamiento del cableado en las escalerillas	111
3.2.2.2 Posicionamiento del cableado vertical en Torre.....	115
3.2.2.3 Descripción de cables a utilizar.....	117
3.2.3 Breakers.....	118
3.2.4 Sellado de tubería, entradas a Gabinetes y cables.....	119
3.2.5 Vulcanizado de Conectores BNC	119
3.2.6 Etiquetado del RTN 950 y XMC-2.....	121
3.2.6.1 Etiquetas Amarillas	121
3.2.6.2 Etiquetas tipo L.....	121
3.2.6.3 Etiquetado de Breaker a IDU (MAIN)	122
3.2.6.4 Etiquetado de IDU a Breaker (MAIN)	124
3.2.6.5 Etiquetado de Breaker a IDU (Stand By)	125
3.2.6.6 Etiquetado de IDU a Breaker (Stand By)	127
3.2.6.7 Rotulado de IDU RTN 950 A.....	128
3.2.6.8 Rotulado de la Antena	130
3.2.7 Instalación de la IDU RTN 950 A	132
3.2.7.1 Distribución de los SLOTS de la IDU RTN 950 A.....	132
3.2.7.2 Asignación de SLOTS para tarjetas de RTN 950 A.....	133
3.2.8 Consideraciones para el cableado de transmisión.....	136

3.2.9 Consideraciones para el aterrado de los equipos en sala.....	137
3.2.10 Consideraciones para el aterrado de RTN950A	138
3.2.11 Instalación en exteriores.....	140
3.2.11.1 Instalación del soporte	140
3.2.11.2 Instalación de la antena	144
3.2.11.3 Instalación de la ODU	146
3.2.11.4 Configuración de la ODU RTN XMC-2.....	148
3.2.11.5 Instalación de un Acoplador.....	149
3.2.11.6 Aterramiento de la ODU.....	153
3.2.11.7 Aterramiento del cable IF	157
3.2.11.8 Preparación del Grounding Kit	161
3.2.11.9 Engrasado de Pernería.....	162
3.3 Revisión y Consolidación de Resultados.....	163
CONCLUSIONES	170
RECOMENDACIONES.....	172
BIBLIOGRAFÍA.....	173
ANEXOS.....	175

LISTADO DE FIGURAS

Figura 2.1: Diagrama simplificado de bloques de un sistema de comunicaciones electrónicas.....	17
Figura 2.2: El espectro electromagnético y su uso en las comunicaciones.....	20
Figura 2.3: Error de Bit	25
Figura 2.4: Error de Ráfaga	27
Figura 2.5: Ejemplos de constelaciones QAM.	38
Figura 2.6: Diagrama de bloques de un modulador 16 – QAM	40
Figura 2.7: “Curvas de cascada” para modulación QAM y M-PSK	45
Figura 2.8: Trayectoria completa de transmisión entre el transmisor y el receptor.	50
Figura 2.9: Potencia en dBm en función de la distancia para un enlace MW.....	51
Figura 2.10: Pérdida en dB en función de la distancia en metros.	59
Figura 2.11: Zona de Fresnel.	64
Figura 2.12: Diagrama de bloques de un transmisor.	70
Figura 2.13: Diagrama de bloques de un receptor.....	71
Figura 2.14: Factores que interfieren en sistema móviles.....	74
Figura 2.15: Pérdida de línea de vista.	75
Figura 2.16: Desvanecimiento de un radioenlace.....	80
Figura 2.17: Relación del MTBBF vs MTTR.	83
Figura 2.18: Equipos de la serie RTN 950 A Huawei.....	90
Figura 2.19: Topología de instalación All Indoor.....	92
Figura 2.20: Topología de instalación All Outdoor.....	94
Figura 2.21: Topología de instalación Split Mount.....	96

Figura 3.1: Vista Superior del site Nueva Requena.	100
Figura 3.2: Vista Superior del site Campo Verde.	101
Figura 3.3: Vista Superior del Enlace MW Nueva Requena - Campo Verde.....	101
Figura 3.4: Simulación de línea de vista del enlace MW.....	102
Figura 3.5: Línea de vista del enlace MW del Site Nueva Requena al Site Campo Verde.	103
Figura 3.6: Enlace Microondas Nueva Requena – Campo Verde.....	105
Figura 3.7: Cableado General.	111
Figura 3.8: Separación de cables.	112
Figura 3.9: Cableado en escalerilla.	113
Figura 3.10: Cableado IF en escalerilla Outdoor.	114
Figura 3.11: Curva de Drenaje.	115
Figura 3.12: Cableado vertical con cintillos y reserva de cable IF en Torre.	116
Figura 3.13: Ubicación de los breakers.	118
Figura 3.14: Tubo Sikaflex 11 FC.....	119
Figura 3.15: Vulcanizado del conector.....	120
Figura 3.16: Dimensiones y diseño de la etiqueta amarilla.	121
Figura 3.17: Dimensiones y diseño del etiquetado tipo L.....	122
Figura 3.18: Etiqueta de Breaker a IDU 0 (MAIN).....	123
Figura 3.19: Etiquetado de IDU a Breaker (MAIN).....	125
Figura 3.20: Etiquetado de Breaker a IDU (Stand By).	126
Figura 3.21: Rotulado de Breakers.....	128
Figura 3.22: Rotulado de IDU RTN 950 A.	129

Figura 3.23: Rotulado de IDU RTN 950A instalada en cada cable coaxial.	130
Figura 3.24: Rotulado de Antena con plumón indeleble.	131
Figura 3.25: Rotulado de la antena con etiqueta autoadhesiva.	132
Figura 3.26: Posición de los SLOLT's.....	133
Figura 3.27: Peinado de cables.	137
Figura 3.28: Barra de Tierra Interna.	139
Figura 3.29: Soporte para torres autosoportadas.	140
Figura 3.30: Soporte para torres arriostradas.	141
Figura 3.31: Soporte para torres arriostradas.	141
Figura 3.32: Tipo de soporte para torres Monopolo.	142
Figura 3.33: Identificación de azimuth para instalación de soporte.	143
Figura 3.34: Tipos de montaje de la ODU.	145
Figura 3.35: Montaje de Antena y colocación de la ODU.	147
Figura 3.36: Interfaz del Coupler.	148
Figura 3.37: Interfaz del OMT.....	149
Figura 3.38: Aterramiento a la barra.	154
Figura 3.39: Aterramiento a la barra.	155
Figura 3.40: Aterramiento al cable principal.	156
Figura 3.41: Aterramiento a la escalerilla rack de torre.....	157
Figura 3.42: Ubicación de los grounding kits.	158
Figura 3.43: Ubicación del segundo grounding kit.	159
Figura 3.44: Grounding Kit a la salida del Shelter.....	160
Figura 3.45: Instalación en cable IF del grounding kit.....	161

Figura 3.46: Engrasado de Pernería.	162
Figura 3.47: Medidas de Anti-Corrosión para la antena.....	163
Figura 3.48: Niveles iniciales en los Sites A y B.	165
Figura 3.49: Niveles RF en los Sites A y B.	166
Figura 3.50: Rendimiento de la tarjeta ISV3 – Slot 3 (Nueva Requena).	167
Figura 3.51: Rendimiento de la tarjeta ISV3 – Slot 5 (Nueva Requena).	168
Figura 3.52: Rendimiento de la tarjeta ISV3 – Slot 4 (Campo Verde).	169
Figura 3.53: Rendimiento de la tarjeta ISV3 – Slot 6 (Campo Verde).	169

LISTADO DE TABLAS

Tabla 2.1: Designaciones de Banda CCIR.	24
Tabla 2.2: Valores típicos de pérdida en los cables para 2,4GHz.	54
Tabla 2.3: Pérdidas en Espacio Abierto (PEA) en dB para diferentes distancias y frecuencias	60
Tabla 2.4: Radio expresado en metros para la primera zona de Fresnel.....	66
Tabla 2.5: Valores típicos de la sensibilidad del receptor de las tarjetas de red inalámbrica.	68
Tabla 3.1: Relación de Tarjetas con SLOTS para las RTN 950 A.	133

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de titulación trata sobre la implementación de un enlace de microondas, con las tecnologías 2G, 3G y LTE, en la localidad de Nueva Requena. En el Capítulo I se presenta el planteamiento del problema precisando cual es la situación actual de cobertura móvil en la mencionada localidad. Así mismo, se resalta la realidad local de la tecnología móvil que se traduce en el uso de una única cabina telefónica para la realización de llamadas telefónicas por parte de los pobladores de la localidad.

Con tal precedente, se justifica la necesidad de realizar la implementación de un enlace de microondas hacia Nueva Requena que provea un enlace de banda ancha de capacidad suficiente para cubrir la demanda y necesidades de comunicación de la población e instituciones. También se establecen las delimitaciones que el proyecto presenta, así como los objetivos generales y específicos que nos ayudarán en el desarrollo del mismo.

En el Capítulo II se detalla el marco teórico donde hace referencia de los temas para entender los conceptos relacionados con los enlaces microondas; en este capítulo también se detalla el marco conceptual en el cual se da a conocer la definición de los términos claves para el desarrollo de este proyecto, es decir nos dan a conocer cuáles son los alcances y especificaciones de los equipos a instalar.

El Capítulo III presenta el diseño del enlace microondas, que en primer lugar se debe analizar el presupuesto del enlace que nos ayudará a conocer los distintos parámetros importantes para la implementación. De ahí se explica cómo se debe implementar un enlace microondas, conociendo así el estándar de calidad del cada equipo a instalar. Este tipo de trabajos se realizan en una torre de telecomunicaciones, en donde el técnico torrero deberá realizar todos los trabajos concernientes en altura, es decir instalación de la ODU y alineamiento de las antenas; mientras que el técnico instalador realizará todo lo concerniente a los trabajos en la sala de equipos.

Finalmente, en el Capítulo IV se presentan las conclusiones y recomendaciones para una óptima implementación de este radioenlace.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

El distrito de Nueva Requena pertenece a la Región Natural Selva Baja, situado a 138 m.s.n.m, se ubica al Oeste de la Provincia de Coronel Portillo y al Noroeste del departamento de Ucayali, cuenta con una superficie territorial de 1,999.78 Km². Nueva Requena es un distrito que cuenta con una población estimada de 5,406 habitantes, donde el 39% está en zona urbana.

En cuanto al desarrollo del distrito se tiene lo siguiente: En el sector económico, se tiene a la actividad agrícola como aquella que ocupa la mayor proporción en la economía del distrito; en el sector salud solo cuenta con un

centro de salud ubicado en la capital y otros 7 ubicados en los caseríos; en el sector educación existen solo 36 instituciones educativas las cuales presentan serias dificultades en términos de infraestructura e implementación de los servicios educativos; y por último en el sector de comunicaciones solo cuentan con servicios de televisión por cable y radiofonía que cuenta con 6 cabinas telefónicas que solo prestan servicios de 8 am a 5 pm.

Por lo tanto se puede decir que este distrito aún no tiene el suficiente desarrollo en los sistemas de comunicaciones, es por eso que en la actualidad se está solicitando apoyo con la inclusión de telefonía móvil para los caseríos y comunidades nativas, este pedido obedece a la necesidad de que los pobladores cuenten con línea de telefonía móvil para cubrir sus principales urgencias como salud y educación; por ejemplo, se sabe que las emergencias de salud se podrían cubrir con tan solo una llamada telefónica, ya que los promotores de salud existentes en los diferentes caseríos podrían solicitar apoyo con orientación para salvar vidas, y así avisar a los familiares de los enfermos para que estén preparados en estas emergencias médicas.

Asimismo las autoridades como tenientes gobernadores y jefes de las comunidades nativas, manifestaron también que la telefonía móvil es un servicio de telecomunicación que solo algunos pobladores tienen el privilegio de adquirirlo, pero solo puede ser usado cuando salen a la ciudad por lo que tienen que guardarlo cada vez que están en su comunidad es por ello que

urge la instalación de las antenas en diferentes puntos de la jurisdicción de Nueva Requena para que los 25 caseríos puedan usar este servicio que es necesidad pública

1.2 Justificación del Proyecto

Implementando un nuevo enlace microonda los pobladores de las zonas rurales de Nueva Requena contarán en sus caseríos la suficiente cobertura y tecnología móvil, las cuales conciernen en una mejora en la calidad de servicio de telefonía móvil rural a nivel nacional, con el uso de nuevas aplicaciones multimedia, transferencias de imágenes, vídeo y audio, y acceso a la navegación por internet, para que así se puedan comunicar a diferentes lugares, sin tener la necesidad de salir hasta la ciudad para realizar sus trámites y coordinaciones.

Mencionar que problemas tienen o son consecuencia por la falta de comunicación: aislamiento en caso de emergencias naturales, de salud, retrasos o impedimentos en trámites, gestión, etc. etc.

1.3 Delimitación del Proyecto

- **Conceptual teórico**

Se realizará la instalación de las ODU's (Outdoor Units) correspondientes en la torre, así como la instalación de las antenas MW en base a la altura proporcionada en el reporte de inspección al sitio. Asimismo, se realizarán las adecuaciones necesarias para su óptimo funcionamiento (instalación de soportes, instalación de gabinetes y realización de obras civiles). Por dicho enlace microondas se configurarán el envío de las 3 tecnologías (2G, 3G y LTE).

Todo esto se realizará con las respectivas normas de seguridad, para no ocasionar algunos accidentes y así evitar retrasos e inconvenientes si existe alguna inspección por parte del Ministerio de transportes y comunicaciones.

- **Delimitación espacial**

Este proyecto tendrá cobertura en todo el distrito de Nueva requena, en donde ya se encuentra instalada una estación base del operador Entel.

- **Delimitación temporal**

El tiempo de implementación del enlace es aproximadamente de 4 o 5 días, este se puede extender a más si hay alguna obstrucción de la instalación por parte de los pobladores y/o entidades gubernamentales.

1.4 Formulación del Problema

1.4.1 Problema General

- ¿Se logrará implementar un enlace microondas que tenga la cobertura de telefonía móvil deseada en el distrito de Nueva Requena – Ucayali?

1.4.2 Problema Específico:

- ¿Se podrá realizar un adecuado diseño de radioenlace microondas entre las ciudades de Coronel Portillo y Nueva Requena?

- ¿Se podrá aplicar los estándares de calidad planteado por el operador para realizar un procedimiento adecuado en la instalación y configuración en los equipos de microondas?
- ¿Cuál será el procedimiento adecuado para la instalación y configuración de los equipos microondas dentro del site Nueva Requena?
- ¿Se logrará los resultados esperados del funcionamiento del sistema?

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

- Brindar servicio de telefonía celular con las tecnologías 2G, 3G y LTE para el distrito de Nueva Requena.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Realizar el diseño del radioenlace de microondas, entre las ciudades de Coronel Portillo y Campo Verde.
- Analizar el estándar de calidad planteado por el operador y capacitar al personal operativo para realizar un procedimiento adecuado en la instalación y configuración de los equipos de microondas.
- Implementar un enlace microondas con las tecnologías 2G, 3G y LTE proveer el servicio de telefonía móvil en el distrito de Nueva Requena, para proporcionar un canal de comunicación entre los distintos usuarios dentro de un área específica.
- Realizar las pruebas operativas de funcionamiento y verificación del sistema.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la Investigación

Se han realizado trabajos similares a este proyecto de la cual mencionaremos las siguientes:

Título: Diseño de un enlace de microondas dedicado entre las radio bases de Acajete, Cuacnapala, Esperanza y una central de Puebla.

Autor: Miguel Ángel Flores Mercado, Marco Antonio Hernández Pérez y Wendy Martínez Montoya

En dicha investigación el autor encuentra que la teoría electromagnética es una herramienta indispensable para explicar los procesos de las comunicaciones inalámbricas. Haciendo referencia también a conceptos básicos de comunicaciones que son la base para el entendimiento de la

estructura telefónica celular. Asimismo, identifica que actualmente una red celular es de suma importancia; ya que su difusión y alcance solo están limitadas por la situación geográfica que se tenga, es por esa razón que se pretende generar un diseño de un enlace microondas dedicado para así transportar esta tecnología desde una central de conmutación ubicada en la capital del estado de Puebla hacia las comunidades de Acajete, Cuacnopala y Esperanza, con el fin de extender los servicios de telefonía celular.

Entonces el diseño del enlace microondas, se realiza un diagrama de sistema, partiendo de las BSC de Puebla y en cada una de las localidades del estado. Cada uno de los enlaces contempla, el diseño del espacio arquitectónico para la culminación de cada una de las radio bases nodo, así como la distribución del equipo dentro del terreno. Por lo tanto los parámetros se calculan y localizan por medio de la visita a las zonas que constituyen la trayectoria del enlace de microondas dedicado; como las localidades que se intentan enlazar se encontraban a una distancia muy separada se diseñó realizar una ruta alterna dentro de las inmediaciones de Puebla con el fin de no sobrepasar la distancia máxima por enlace de 40Km. En donde los enlaces a implementarse viene a ser los siguientes:

- Enlace Puebla – Acajete: Se creó a partir de la ubicación de la última BSC, tiene un recorrido de 21Km, se llevó a cabo por medio de platos

de microondas de 1.8 metros de diámetro trabajando a 23GHz, dada las condiciones del terreno el enlace presenta línea de vista sin necesidad de repetidoras.

- Enlace Acajete – Tepeaca: El enlace pudo ser apoyado con un conjunto de radio base nodo que se encuentra ubicado en la cabecera municipal de Tepeaca, se implementó este enlace como punto estratégico ya que proporciona cobertura celular.
- Enlace Tepeaca – Cuacnopala: Este enlace se determinó llevarse a cabo en las afueras de la comunidad de Guadalupe Enríquez.
- Enlace Cuacnopala – Esperanza 1/2: En este caso se deberá colocar una repetidora sobre una loma pequeña, que viene a ser la ruta de enlace hacia la cabecera municipal de Esperanza, entonces al ser una estación repetidora solo se deberá realizar el montaje de torre con las respectivas antenas direccionales, una apuntando hacia la radio base nodo Cuacnopala y la otra hacia la radio base nodo Esperanza.
- Enlace Cuacnopala – Esperanza 2/2: Este viene a ser el último tramo, en el cual Esperanza contribuye a dar cobertura celular hacia sí misma como a otras comunidades

La visita en las zonas a las que se les proporciona el enlace deja en claro que es susceptible haber realizado el estudio y el diseño de las estaciones radio base, que conformar la ruta desde Puebla hacia Esperanza ya que se debe de considerar las condiciones particulares de cada una de las comunidades.

Título: Análisis de alternativa de optimización del sistema de comunicaciones Petroproducción enlace distrito Quito – distrito Amazónico.

Autor: José Antonio Pazmiño

En dicha investigación el autor encuentra pérdidas en el enlace de los sistemas de comunicaciones de Petroproducción, que tiene implantado un backbone de microondas que conecta el distrito de Quito con el distrito Amazónico y que provee la comunicación de voz y transmisión de datos entre los diferentes departamentos de la institución.

Se está planteando para ello optimizar recursos, factibilidad técnica y legal del diseño de una ruta que logre canalizar el tráfico de información en momentos de las eventuales pérdidas de enlace en el sistema de comunicaciones de Petroproducción, además de analizar la ventaja y desventaja de que este nuevo enlace trabaje en conjunto con este sistema

de comunicaciones de Petroproducción y finalmente defina los puntos de enlace más adecuadas para la ruta alterna.

Antes de mencionar la solución al problema de este enlace microondas de petroproducción es necesario indicar cuales son los sitios que se encuentran involucrados:

- Edificio Villaverde: Es una de las dependencias administrativas más importantes donde se encuentra la unidad de telecomunicaciones, encargada de supervisar todos los procesos relacionados con el sistema de comunicaciones y por donde se concentra toda la información proveniente de todos los puntos de explotación y exploración petrolera.
- Cerro Pichincha: En este sitio está instalado sobre la torre varias antenas utilizadas para equipos de repetición VHF y microondas de propiedad de filiales de Petroecuador y Petroproducción, por ser un punto geográfico estratégico para enlaces presenta mucha cantidad de antenas y equipos instalados.
- Cerro Cotacachi: Sitio donde se encuentran algunas repetidoras de microondas.

- Cerro Cayambe: Este que presenta condiciones climáticas severas.
- Lumbaqui: Sitio que se encarga de enlazar varios puntos del distrito oriental.

Se deberá mejorar la confiabilidad en la transmisión de datos enviados desde Quito a la región Amazonica, utilizando la infraestructura y equipos de la empresa que involucren una menor inversión posible, así se llevará a cabo un enlace que utilice un mínimo número de repetidoras en comparación al sistema actual de comunicaciones de Petroproducción, y que éste entrando a trabajar en su reemplazo lo cual daría lugar a la optimización de recursos, ya que esto implicaría la utilización de un menor número de equipos de radio, antena, sistema eléctrico, visitas técnicas y demás.

Entonces la necesidad de un punto de enlace ayudará a mantener una continua comunicación aun cuando el sistema original no presente problemas en uno de sus puntos de enlace esto es debido a que todo sistema de telecomunicaciones debería tener un sistema de respaldo emergente en caso de fallar en un momento dado.

Por eso se tomará en cuenta hacer un enlace alternativo que no tome en cuenta las repetidoras de Pichancha y Cotacachi ya que ambas han sufrido problemas eléctricos e inconvenientes de fuertes vientos. Entonces las repetidoras a tomar en cuenta serían las del Edificio Villafuerte y Cerro Cayambe, sin embargo estos sitios no pueden ser enlazados de forma directa, y por lo tanto se deberá buscar un punto central para ubicar un equipo repetidor, en donde el más idóneo es Condorcocha, lugar que cuenta con una línea de vista directa a estos dos puntos a enlazar. El enlace partiría del Edificio Villafuerte se dirigirá a la localidad de Condorcocha y luego se direccionará hacia el Cerro Cayambe, cerrando así un anillo de seguridad.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Sistema Electrónico de Comunicaciones

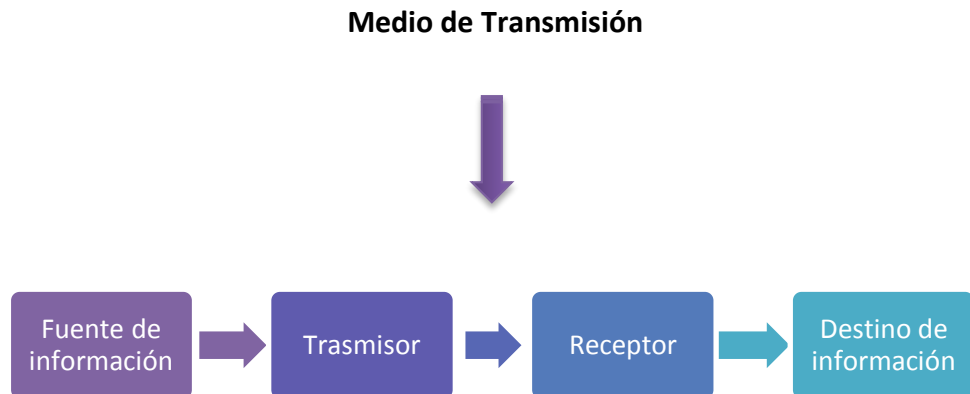


Figura 2.1: Diagrama simplificado de bloques de un sistema de comunicaciones electrónicas.

Fuente: "Diseño de enlace terrestre por línea de vista" – Autor: Julio César Hernández Segura, Elizabeth Parrao Rosales.

La figura 2.1 muestra un diagrama de bloques simplificado de un sistema electrónico de comunicaciones, que comprende un transmisor, un medio de transmisión y un receptor. Un transmisor es un conjunto de uno o más dispositivos electrónicos que convierte la información de la fuente original en una señal más adecuada para su transmisión a través de un determinado medio de transmisión. El

medio de transmisión transporta las señales desde el transmisor hasta el receptor, y puede ser tan sencillo como un par de conductores de cobre que propaguen las señales en forma de flujo de corriente eléctrica. También se puede convertir la información a ondas electromagnéticas luminosas, propagarlas a través de cables de fibra óptica hechas de vidrio o de plástico, o bien se puede usar el espacio libre para transmitir ondas electromagnéticas de radio, a grandes distancias o sobre terreno donde sea difícil o costoso instalar un cable físico. Un receptor es un conjunto de dispositivos y circuitos electrónicos que acepta del medio de transmisión las señales transmitidas y las reconvierte a su forma original.

- **Modulación de frecuencia**

En los sistemas de radio de microondas se usa modulación en frecuencia (FM) más que modulación en amplitud (AM), esto se explica porque las señales de amplitud modulada son más sensibles a no linealidades de amplitud, también son inherentes a los amplificadores de microondas de banda ancha. En cambio las señales emitidas en frecuencia modulada son relativamente más robustas a esta clase de distorsión no lineal, y se pueden transmitir por amplificadores que tengan no linealidad de

compresión o de amplitud, con relativamente poco demérito. También, las señales emitidas en FM son menos sensibles al ruido aleatorio y se pueden propagar con menores potencias de transmisión.

El ruido de intermodulación es un factor imprescindible en el diseño de sistemas de radio. En los sistemas de AM, este ruido es provocado a la no linealidad de amplitud en la repetidora. En los sistemas de FM, el ruido de intermodulación es provocado principalmente por la distorsión de la ganancia de transmisión y del retardo.

2.2.2 Espectro Electromagnético

El objetivo de un sistema electrónico de comunicaciones es transferir información entre dos o más lugares, cuyo nombre común es estaciones. Esto se logra convirtiendo la información original a energía electromagnética, para transmitirla a una o más estaciones receptoras, donde se reconvierte a su forma original, la energía electromagnética se puede propagar en forma de voltaje o corriente. La energía electromagnética se distribuye en un intervalo casi infinito de frecuencias el cual es llamado espectro electromagnético.

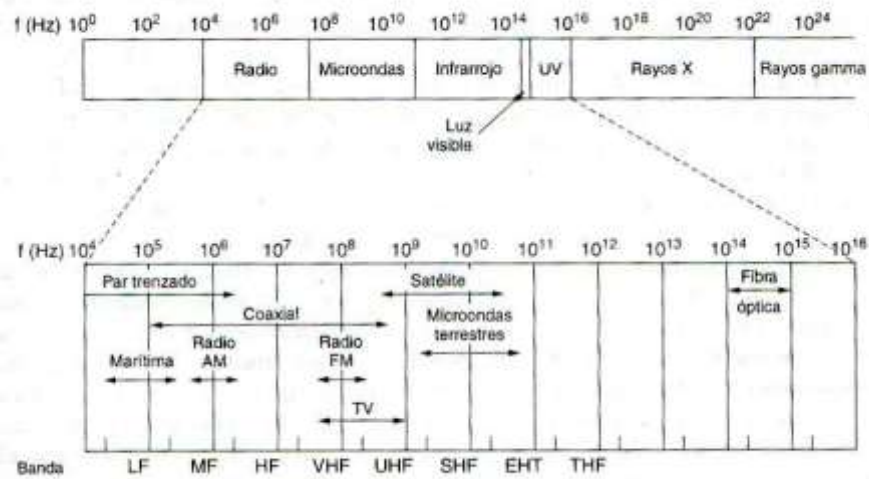


Figura 2.2: El espectro electromagnético y su uso en las comunicaciones

Fuente: “Comunicaciones en redes inalámbricas” - Bates,R.J.

2.2.3 Frecuencias de Transmisión

El espectro electromagnético se ve en la figura 2.2, este espectro de frecuencias va desde las subsónicas hasta los rayos cósmicos. El espectro de frecuencias se subdivide en subsecciones o bandas. Cada banda tiene un nombre y sus límites. Las designaciones de banda según el comité consultivo internacional de radio (CCIR) se muestran en la tabla 2.1. Estas designaciones se resumen como sigue:

- Frecuencias extremadamente bajas (ELF). Son señales en el intervalo de 30 a 300Hz, y comprenden las señales de distribución eléctrica (60Hz) y las de telemetría de baja frecuencia.
- Frecuencias de voz (VF). Son señales en el intervalo de 300 a 3000Hz, e incluyen a las que generalmente se asocian a la voz humana. Los canales telefónicos normales tienen un ancho de banda de 300 a 3000Hz y con frecuencia se llaman canales de frecuencias de voz, o canales de banda de voz.
- Frecuencias muy bajas (VLF). Son señales dentro de los límites de 3 a 30KHz., que comprenden al extremo superior del intervalo audible humano, las VLF se usa en algunos sistemas especiales, de gobiernos y militares, como por ejemplo las comunicaciones con submarinos.
- Frecuencias bajas (LF). Son señales en el intervalo de 30 a 300 KHz y se usan principalmente en la navegación marina y aeronáutica.

- Frecuencias intermedias (MF). Son señales de 300 KHz a 3 MHz, y se usan principalmente para emisiones comerciales de AM (535 a 1605 KHz).
- Frecuencias altas (HF). Señales en el intervalo de 3 a 30 MHz, con frecuencias llamadas ondas cortas. La mayoría de las radio comunicaciones en dos sentidos usa ese intervalo. También los radioaficionados y la banda civil.
- Muy altas frecuencias (VHF). Son señales de 30 a 300 MHz y se usan en radios móviles, comunicaciones marinas y aeronáuticas, emisión comercial en FM (88 a 108 MHz) y en la emisión de televisión.
- Frecuencias ultra altas (UHF). Son señales entre 300 MHz a 3GHz, y las usa la emisión comercial de televisión, en los canales 14 a 83 en los servicios móviles de comunicaciones terrestres, teléfonos celulares, algunos sistemas de radar y navegación, y los sistemas de radio microondas y por satélite.
- Frecuencias súper altas (SHF). Son señales de 3 a 30 GHz, y donde la mayoría de las frecuencias que se usan pertenecen a sistemas de radiocomunicaciones por microondas y satélites.

- Frecuencias extremadamente altas (EHF). Son señales entre 30 y 300GHz, y casi no se usan para radiocomunicaciones, a excepción de aplicaciones muy complicadas, costosas y especializadas.

Banda	Abreviatura	ITU	Frecuencia y longitud de onda (aire)
Frecuencia extremadamente baja	ELF	1	3–30 Hz 100,000 km – 10,000 km
Super baja frecuencia	SLF	2	30–300 Hz 10,000 km – 1000 km
Ultra baja frecuencia	ULF	3	300–3000 Hz 1000 km – 100 km
Muy baja frecuencia	VLF	4	3–30 kHz 100 km – 10 km
Baja frecuencia	LF	5	30–300 kHz 10 km – 1 km
Frecuencia media	MF	6	300–3000 kHz 1 km – 100 m

Alta frecuencia	HF	7	3–30 MHz 100 m – 10 m
Muy alta frecuencia	VHF	8	30–300 MHz 10 m – 1 m
Ultra alta frecuencia	UHF	9	300–3000 MHz 1 m – 100 mm
Super alta frecuencia	SHF	10	3–30 GHz 100 mm – 10 mm
Frecuencia extremadamente alta	EHF	11	30–300 GHz 10 mm – 1 mm

Tabla 2.1: Designaciones de Banda CCIR.

2.2.4 Corrección de Errores

Las redes deben ser capaces de transferir datos de un dispositivo a otro con total exactitud, si los datos recibidos no son idénticos a los emitidos, el sistema de comunicación es inútil. Sin embargo, siempre que se transmiten de un origen a un destino, se pueden corromper por el camino. Los sistemas de comunicación deben tener mecanismos

para detectar y corregir errores que alteren los datos recibidos debido a múltiples factores de la transmisión.

2.2.4.1 Tipos de errores.

Interferencias, calor, magnetismo, etc., influyen en una señal electromagnética, esos factores pueden alterar la forma o temporalidad de una señal. Si la señal transporta datos digitales, los cambios pueden modificar el significado de los datos. Los errores posibles son:

- **Error de bit**

Únicamente un bit de una unidad de datos determinada cambia de 1 a 0 o viceversa. Tal y como se muestra en la figura 2.3.

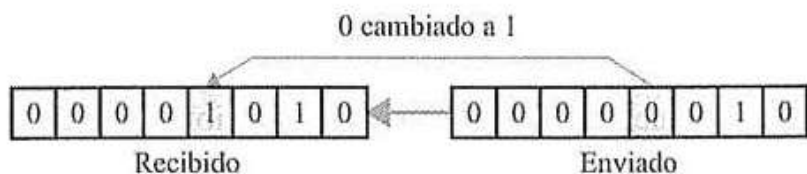


Figura 2.3: Error de Bit

Fuente: <https://sites.google.com/site/sistemasdemultiplexado/arquitecturas-de-las-redes-de-comunicacion-caracteristicas>

Un error de bit altera el significado del dato. Son el tipo de error menos probable en una transmisión de datos serie, puesto que el intervalo de bit es muy breve ($1/\text{frecuencia}$) el ruido tiene que tener una duración muy breve. Sin embargo si puede ocurrir en una transmisión paralela, en que un cable puede sufrir una perturbación y alterar un bit de cada byte.

- **Error de ráfaga.**

El error de ráfaga significa que dos o más bits de la unidad de datos han cambiado. Los errores de ráfaga no significan necesariamente que los errores se produzcan en bits consecutivos. La longitud de la ráfaga se mide desde el primero hasta el último bit correcto, algunos bits intermedios pueden estar bien, tal y como se muestra en la figura 2.4.

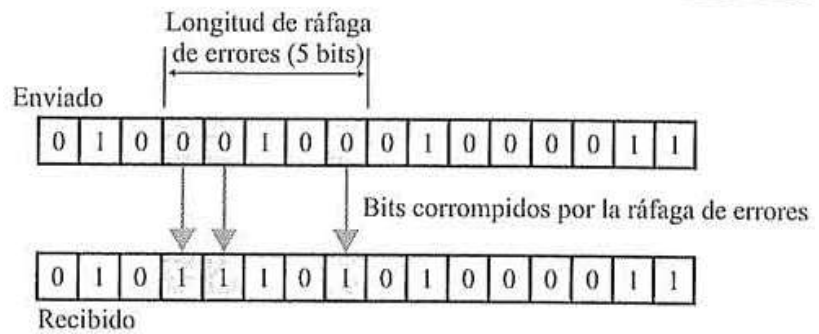


Figura 2.4: Error de Ráfaga

Fuente: <https://sites.google.com/site/sistemasdemultiplexado/arquitecturas-de-las-redes-de-comunicacion-caracteristicas>

Los errores de ráfaga es más probable en transmisiones serie, donde la duración del ruido es normalmente mayor que la duración de un bit, por lo que afectara a un conjunto de bits. El número de bits afectados depende de la tasa de datos y de la duración del ruido

Ahora que se conocen el tipo de errores que pueden existir, el problema es ser capaz de corregirlos, dado que no se puede comparar el dato recibido con el original, sólo se podría corregir un error cuando se descodifique todo el mensaje y se vea que no tiene sentido. Sin embargo existen determinadas técnicas sencillas y

objetivas para corregir los errores producidos en la transmisión:

2.2.4.2 Técnicas de Corrección de Errores

En la mayoría de los sistemas teleinformáticas la corrección de errores es un hecho casi imprescindible.

Si bien es casi imposible corregir la totalidad de los errores, la mayoría de las técnicas que normalmente se emplean, llegan a corregir el 99,99% de los mismos.

Existen estrategias fundamentales para la corrección de errores:

- **Corrección Hacia Atrás**

Cuando se detecta un error en el equipo receptor, este solicita al equipo transmisor la repetición del bloque de datos transmitido, de ahí la llamada corrección hacia atrás.

Este sistema implica la retransmisión de los datos tantas veces como sea necesaria, hasta que sean

recibidos libres de errores. De ahí la importancia de una buena elección de la velocidad de modulación en el caso de las transmisiones por canales analógicos mediante módems de datos.

Se puede apreciar claramente que cuando se eligen velocidades muy altas, respecto de las que el canal de comunicaciones realmente puede soportar, los errores provocan una pérdida de tiempo mayor, que la ganancia que presuntamente se iba a obtener con una velocidad superior.

- **Corrección Hacia delante**

Se basa en el uso de códigos auto correctores que se diseñan sobre la base de sistemas de codificación redundante y corrigen los errores detectados en la misma estación que recibe el bloque de datos.

Aunque estos métodos hacen innecesaria la retransmisión, no son neutros al usuario, pues para posibilitar la corrección en destino deben enviar un número de bits varias veces superior al que se necesita cuando se utilizan códigos convencionales.

Sin embargo, en muchas aplicaciones es necesario el uso de este tipo de códigos porque no resulta posible o conveniente pedir la retransmisión de los datos, ya sea por razones de seguridad o por necesidades de la misma operación del sistema informático asociado.

- **Corrección de Errores mediante el uso de Técnicas Especiales de Transmisión**

Retransmisión de los Datos Erróneos

Diversos dispositivos de las redes de transmisión de datos, poseen capacidad para detectar errores y cuando los detectan, piden su retransmisión inmediata. Este método de detección del error y su retransmisión es la manera menos costosa y más sencilla de reducir errores en la transmisión.

La corrección por retransmisión requiere una tecnología sencilla y poca capacidad de memoria. Una vez detectada la existencia de un error (por intermedio del bit, o los bits de paridad, o por el uso de códigos de

redundancia cíclica), el método consiste en pedir la retransmisión del carácter o grupo de caracteres hacia el receptor.

Requerimiento Automático de Repetición (ARQ)

Se utiliza solamente entre dos estaciones. Este sistema se suele denominar Control por Medio de Eco.

El sistema consiste en la transmisión de pequeños bloques de datos, luego de lo cual, la fuente espera que la estación receptora le envíe un nuevo requerimiento para la transmisión de un nuevo bloque de datos. Si el receptor hubiera detectado un error, requerirá la retransmisión del bloque anterior. Cada bloque tiene 8 caracteres de 7 bits cada uno. En el caso de detectarse un error, el proceso puede llegar a repetirse hasta un determinado número de veces, en general 32, pasando luego el equipo a la posición de reencendido.

La mayor ventaja de este método es que prácticamente garantiza una transmisión de datos libre de errores, suponiendo que el enlace es posible. Las desventajas son:

- Este sistema es más lento que el sistema denominado Corrección de Errores Hacia Adelante, aun cuando no existan errores que corregir, y será mucho más lento a medida que se incremente el número de errores.
- La estación receptora debe tener en operación un equipo transmisor para acusar recibo y solicitar la retransmisión.
- El enlace es factible solamente entre dos estaciones al mismo tiempo.

Sin embargo, siempre que este método pueda ser usado, resulta ser el más efectivo y, por lo tanto, el más frecuentemente usado. En particular, se emplean para la transmisión de bloques hasta 512 bytes.

Corrección de Errores Hacia delante

Se emplea en casos en que hay más de una estación receptora y no se necesitan de réplicas por parte de estas últimas.

Funciona en el modo denominado diversidad de tiempo, permitiendo que cada mensaje se envíe dos veces, intercalando los caracteres en diferentes instantes. Consecuentemente, la estación receptora tiene dos oportunidades de recibir correctamente cada carácter.

Este procedimiento agrega la suficiente redundancia para que el receptor pueda detectar la presencia de un error y, además, ubicar la posición de bit en donde dicho error se ha producido. Para poder realizar esta última operación, la cantidad de bits que es necesario añadir es mucho mayor que la que se necesitara para poder detectar la presencia de errores.

Las ventajas de este sistema, con respecto al sistema ARQ son las siguientes:

- Se pueden transmitir mensajes a varias estaciones receptoras. Este método se conoce en telecomunicaciones como transmisión por difusión. No obstante, existe una variación del Sistema de Corrección de Errores Hacia Adelante denominada

SEL/FEC, por medio de la cual la estación transmisora emite un código correspondiente solo a determinadas estaciones receptoras, las cuales, consecuentemente, serán las únicas habilitadas para recibir el mensaje.

- No requiere el empleo de transmisores en las estaciones receptoras.
- Menor tiempo de transmisión.

Este método se usa en ciertas aplicaciones especiales, como, por ejemplo, en el caso de canales unidireccionales sin retorno o enlaces satelitales en los que se procede a transmitir muchos mensajes en una sola dirección debido a que el tiempo de retardo de las señales es muy alto.

En este último caso también se usa un método combinado ARQ/FEC, a fin de recibir una confirmación de lo transmitido en sentido inverso al cabo de un cierto número de mensajes.

- **Corrección de Errores Mediante Códigos Auto Correctores**

Los métodos de corrección de errores mediante el empleo de auto corrección se basan en códigos que tienen la suficiente redundancia para que, una vez detectados, se puedan corregir los errores sin necesidad de proceder a la correspondiente retransmisión.

La redundancia se extiende desde unos pocos bits, hasta llegar, en algunos casos, al doble o aun a una cantidad mucho mayor que los necesarios para transmitir un carácter.

- Código de Hamming: Este código auto corrector permite detectar y corregir errores mediante el empleo de bits de paridad con determinadas combinaciones únicas de bits de información. Corrige 1 bit solamente.
- Código de Hagelbarger: Este código permite corregir hasta 6 bits consecutivos. Este código exige que el grupo de errores, le sucedan por lo menos 19 bits

válidos, antes de comenzar otra serie de bits erróneos.

- Código Bose – Chaudhuri: Puede detectar hasta 4 errores y corregir hasta dos bits. Existen varias versiones del código, pero la primitiva preveía la introducción de 10 bits adicionales, por cada 21 bits de información transmitida.

2.2.4.3 La Tasa de Error

La presencia de errores en el diseño de los sistemas de transmisión de datos no puede ser omitida nunca. Por este motivo, cuando se diseña o se implanta un determinado sistema con su correspondiente tecnología asociada, debe tenerse presente los siguientes aspectos:

- Los medios para recuperar la información afectada por errores.
- La tasa de error (tanto para comunicaciones locales como para las remotas).

- La cantidad de información a transmitir por unidad de tiempo; que se corresponde con el concepto definido como velocidad real de transferencia de datos.
- La velocidad de transmisión que es necesaria para satisfacer los requerimientos del sistema.

2.2.5 La Modulación en Amplitud por Cuadratura (QAM)

Es un esquema de modulación multinivel en donde se envía una de $M = 4^n$ señales, con distintas combinaciones de amplitud y fase. Utilizando múltiples niveles, tanto en la modulación en amplitud como en la modulación en fase, es posible la transmisión de grupos de bits, de manera que cada uno de estos grupos será representativo de un conjunto nivel-fase característico de la portadora de la señal, mismo que dará cabida a un símbolo.

Una de las características principales de la modulación QAM es que modula la mitad de los símbolos con una frecuencia y la otra mitad con la misma frecuencia, pero desfasada 90° . El resultado de las componentes después se suma, dando lugar a la señal QAM. De esta forma, QAM permite llevar dos canales en una misma frecuencia

mediante la transmisión ortogonal de uno de ellos con relación al otro. Como ya se ha dicho, la componente "en cuadratura" de esta señal corresponderá a los símbolos modulados con una frecuencia desfasada 90° , y la componente "en fase" corresponde a los símbolos modulados sobre una portadora sin fase. Obsérvese en la Figura 2.5 las constelaciones para los esquemas de modulación 4-QAM, 16-QAM y 64-QAM. Note que para cada uno de ellos se varían los niveles de amplitud y de fase de la señal.

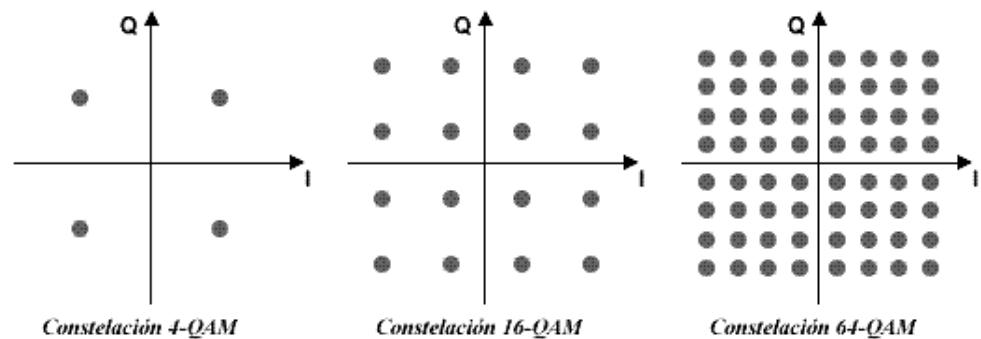


Figura 2.5: Ejemplos de constelaciones QAM.

Fuente: <https://srtv-2011->

[2012.wikispaces.com/4.7+Sistemas+de+radio+digital](https://srtv-2011-2012.wikispaces.com/4.7+Sistemas+de+radio+digital)

Entonces se utiliza el caso concreto de la modulación 16-QAM para explicar sus características principales y la forma en que se produce ésta. 16-QAM permite contar con 16 estados diferentes, mismos que estarán determinados por el número de símbolos mapeados en su

constelación correspondiente. Debido a que $16 = 2^4$, cada uno de estos símbolos puede representarse mediante cuatro bits, dos de ellos correspondientes a la componente "en cuadratura" (portadora desfasada), y los dos restantes, correspondientes a la componente "en fase" (portadora con fase cero) de la señal. Puesto que existen estas dos componentes, cada una representada por dos bits en 16-QAM, es posible transmitir 4 posibles niveles de amplitud para cada componente, lo que supone que, por el efecto de la cuadratura, pueden transmitirse 16 estados.

Para comprender mejor lo anterior examine, la figura 2.6 del diagrama de bloques que define la operación de un modulador 16-QAM. Se nota que para el caso de la modulación 16-QAM, cada símbolo estará formado por cuatro bits: un bit de polaridad y un bit de nivel para la componente Q y un bit de polaridad y otro más de nivel para la componente I. Añadiendo más bits de nivel a las componentes I y Q del modulador se obtendrán formatos QAM más eficientes como 64-QAM (2 bits de nivel y un bit de polaridad por componente) y 256-QAM (3 bits de nivel y un bit de polaridad por componente). La serie de bits (información digital) que ingresa al modulador deberá pasar primero por un divisor de bits. El divisor de bits, que en este caso es de cuatro bits por tratarse de una modulación 16-QAM, toma los primeros bits de la serie y los enruta, de manera simultánea y en

Dirijamos primero nuestra atención hacia los bloques de modulación "en cuadratura" del diagrama. El primero de los bits del par que ingresa es un cero, de acuerdo a nuestra secuencia ejemplo. Un cero en el primer bit indicará polaridad negativa, mientras que un uno representará polaridad positiva. En el caso del bit de nivel, la amplitud estará determinada por el conversor digital-analógico. Para determinar el valor que representa un par de bits, es necesario observar la tabla de verdad que define las reglas "lógicas" que corresponden a la operación del conversor (ver Figura 2.6). Continuando con nuestro ejemplo, un cero indicará un nivel de "1", mientras que un uno representará un nivel de "3". De esta forma, el primer par de bits que ingresa por el bloque en cuadratura representará un nivel de 1V, uno de los cuatro posibles niveles que puede tomar la señal a la salida del conversor digital- analógico. La señal que se obtiene es filtrada a través de un dispositivo pasa-bajas y posteriormente enviada a un mezclador, cuya función es modular la señal en amplitud sobre una portadora desfasada 90° respecto a la portadora utilizada en el modulador de la componente "en fase".

Enfoquémonos ahora en los bloques del modulador "en fase" del diagrama. Una vez que el divisor enruta el segundo par de bits (1,0) de la secuencia ejemplo al conversor digital-analógico, si la tabla de verdad que define la operación de este último es igual a la del

convertor del bloque "en cuadratura", el par de bits representaría una señal con nivel de +1V a la salida del convertor. Similarmente, esta señal es filtrada y modulada en amplitud con una portadora que conserva su fase original. Las señales que representan las componentes "en fase" y "en cuadratura" son entonces llevadas a un sumador lineal, donde los cuatro bits (0, 0, 1, 0) se combinan para dar lugar al símbolo correspondiente (recuérdese que, en el caso de la modulación 16-QAM, cada símbolo mapeado en la constelación estará formado por 4 bits). Sin embargo, ¿A qué símbolo de la constelación 16-QAM corresponderán los primeros cuatro bits del ejemplo? Los niveles a la salida del convertidor digital-analógico responden a esta incógnita. Partiendo del origen de la constelación, ubique una marca en la dirección negativa del eje Q (componente "en cuadratura") y una marca en la dirección positiva del eje I (componente "en fase"). Estas marcas corresponden a los niveles de salida del convertor "en cuadratura" (-1V) y del convertor "en fase" (+1V), respectivamente.

Para los bits que siguen en la secuencia de nuestro ejemplo se deberá repetir el procedimiento anterior. Como puede notarse, el mecanismo de operación de un modulador QAM es sencillo y su entendimiento nos permite determinar la ubicación de un símbolo en su constelación. A partir de este punto podemos también comprender por qué la posición de un símbolo en su constelación varía respecto a

su ubicación teórica en presencia de ruido. Extender estas ideas hacia un formato de modulación QAM más eficiente como, por ejemplo, 64-QAM o 256-QAM, resulta trivial.

Para entender y comparar la eficiencia de los diferentes métodos de modulación digital es importante primero conocer la diferencia entre tasa de bits y tasa de símbolos. El ancho de banda de una señal que viaja a través de un determinado canal de comunicaciones depende de su tasa de símbolos, no de su tasa de bits. Aunque estos dos términos suelen confundirse, es muy sencillo diferenciarlos. Como su nombre lo indica, la tasa de bits se refiere única y exclusivamente a bits. La tasa de símbolos parte del hecho que un conjunto de bits forma un símbolo, por lo que esta medida de eficiencia no es más que el cociente de la tasa de bits entre el número de bits que conforma un símbolo. Así, suponiendo que la tasa de bits de un sistema de comunicación es de 20 Mbps, la modulación 16-QAM ofrecería una tasa de 5 M símbolos/segundos, pues sabemos que, bajo este esquema, un símbolo se conforma por 4 bits. Mientras mayor sea el número de bits que pueda transmitirse por cada símbolo, podrá alojarse la misma cantidad de información en un ancho de banda menor. El término "baud" es comúnmente utilizado para referirnos a una tasa de símbolos.

Cuando la modulación es binaria, es decir, que cada símbolo puede ser representado por un bit, la tasa de símbolos es igual a la tasa de bits. Si se comparan diferentes formatos de modulación QAM con cualquier otro esquema de modulación binaria, nos damos cuenta que 16-QAM es cuatro veces más eficiente en el uso del ancho de banda, en tanto que 64-QAM y 256-QAM son, respectivamente, 6 y 8 veces más eficientes. No deberá olvidarse que existe un compromiso importante entre eficiencia en el uso del ancho de banda y la susceptibilidad al ruido de las señales transmitidas a través del canal de comunicación.

Las "curvas de cascada" permiten visualizar gráficamente el desempeño de un método de modulación digital. Estas gráficas no se refieren más a la eficiencia en el uso del ancho de banda, sino a la probabilidad de que un símbolo sea recibido con error, de acuerdo con la relación señal a ruido correspondiente a un determinado sistema de comunicación. Las "curvas de cascada" se obtienen al graficar la probabilidad de un símbolo en error, versus E_b/N_0 . E_b/N_0 se refiere al cociente de la energía de un bit entre la densidad de potencia promedio del ruido y equivale a la relación señal a ruido que se utiliza en los sistemas analógicos. En la determinación de estas gráficas se deberá asumir que los sistemas se encuentran en presencia de Ruido Blanco Aditivo Gaussiano.

La Figura 2.7 muestra las "curvas de cascada" para modulación QAM de 4, 16 y 64 estados, además de un comparativo de eficiencia entre estos formatos de modulación y su equivalente en M-PSK. Nótese que conforme aumenta el número de estados en ambas alternativas de modulación, su probabilidad de error también aumenta (para un mismo valor de E_b/N_0). Obsérvese también que el desempeño de la modulación QAM es superior al de la modulación M-PSK, aunque esto sólo sucede cuando se trata de un canal de comunicación lineal. Si desea conocer las "curvas de cascada" de otros formatos de modulación, lo invitamos a consultar cualquier libro de análisis de sistemas digitales de comunicación.

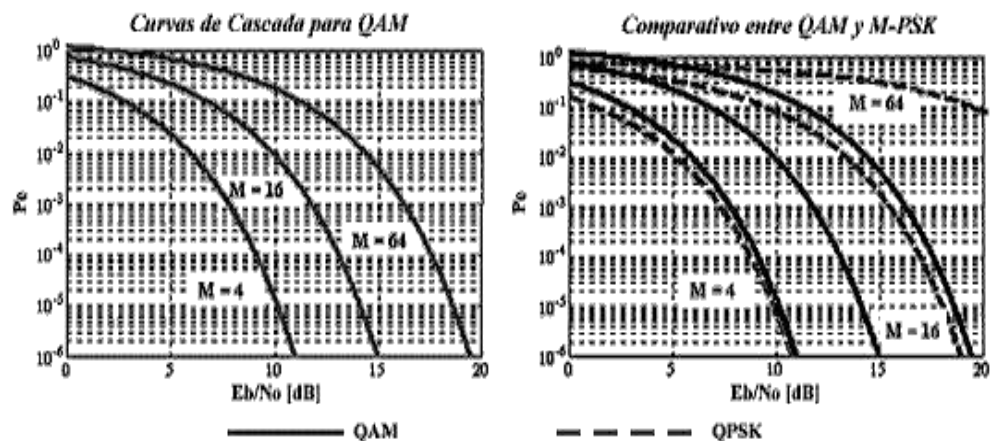


Figura 2.7: "Curvas de cascada" para modulación QAM y M-PSK

Fuente: <http://guillermoliberto.tripod.com/paginamemo>

Cada formato de modulación digital conlleva ventajas y desventajas, además de que algunos de estos son más adecuados que otros para ofrecer determinados servicios. En el caso particular de las redes de cable, es una práctica común emplear moduladores 64-QAM para los servicios digitales de video y de datos ofrecidos en dirección al usuario y modulación 16-QAM para el retorno. Conforme comiencen a ofrecerse nuevos servicios digitales como telefonía, video por demanda y otras aplicaciones interactivas, será necesario hacer un uso más eficiente del espectro, lo que nos invita a pensar en formatos de modulación como 256-QAM. Aun cuando algunos de los equipos terminales del suscriptor, como cajas decodificadoras y cable módems, ya están habilitados para recibir información en 256-QAM, la migración hacia una red que permita transmisiones más eficientes es aún considerada un reto. Distintos operadores ya han comenzado a utilizar, de manera exitosa, modulación 256-QAM.

2.2.6 Definición de Microondas y Radioenlace

2.2.6.1 Microondas

Las microondas son ondas electromagnéticas cuyas frecuencias van desde unos 300MHz hasta 300GHz o más. Por lo tanto, a causa de sus altas frecuencias, tienen longitudes de onda relativamente cortas, de ahí el nombre “micro” ondas. Por ejemplo, la longitud de onda de una señal microondas de 100GHz es de 0.03 cm, mientras que una señal de 100MHz, como la banda comercial de FM, tiene una longitud de 3m. Las longitudes de frecuencias de microondas se pueden considerar menores a 60cm, un poco mayores que la energía infrarroja.

2.2.6.2 Radioenlace

Por enlace o radioenlace se entiende el tramo de transmisión directa entre dos estaciones adyacentes, ya sean terminales o repetidoras, de un sistema microondas.

El enlace comprende los equipos correspondientes de las dos estaciones, como así mismo las antenas y el trayecto de propagación entre ambas.

Hay muchos tipos de sistema microondas funcionando a distancias que varían de 25Km a 6437Km. En general en los sistemas de microondas se requiere la operación dúplex, para esto cada banda de frecuencias se divide a la mitad, y la mitad inferior se llama banda baja y la mitad superior se llama banda alta.

2.2.7 Importancia de los enlaces microondas

Los enlaces punto a punto juegan un papel muy importante en las telecomunicaciones. Constituyen una manera de comunicar dos puntos a diferentes distancias; así los enlaces punto a punto se han convertido en un medio de comunicación muy efectivo en redes metropolitanas para interconectar puntos como: bancos, mercados, tiendas departamentales, radio bases celulares, etc., sobre distancias moderadas y a través de obstáculos como autopistas, edificios, ríos, etc.

2.2.8 Presupuesto del enlace microondas (Link Budget)

Un presupuesto de potencia para un enlace punto a punto es el cálculo de ganancias y pérdidas desde el radio transmisor (fuente de la señal de radio), a través de cables, conectores y espacio libre hacia el receptor. La estimación del valor de potencia en diferentes partes del radioenlace es necesaria para hacer el mejor diseño y elegir el equipamiento adecuado.

Los elementos del presupuesto de enlace pueden ser divididos en 3 partes principales:

- El lado de Transmisión con potencia efectiva de transmisión.
- Pérdidas en la propagación.
- El lado de Recepción con efectiva sensibilidad receptiva (effective receiving sensibility).

Un presupuesto de enlace de microondas completo es simplemente la suma de todos los aportes (en decibeles) en el camino de las tres partes principales, las cuales se pueden observar en la figura 2.8 y 2.9.

$$\begin{aligned}
 & \text{Potencia de Tx (dBm)} - \text{Pérdida en el Cable Tx (dB)} \\
 & + \text{Ganancia de Antena Tx (dBi)} \\
 & - \text{Pérdidas en la trayectoria en el espacio libre (dB)} \\
 & + \text{Ganancia de Antena Rx (dBi)} \\
 & - \text{Pérdidas en el cable de Rx (dB)} \\
 & = \text{Margen} - \text{Sensibilidad del Receptor (dBm)}
 \end{aligned}$$



Figura 2.8: Trayectoria completa de transmisión entre el transmisor y el receptor.

Fuente: <http://www.itrainonline.org>

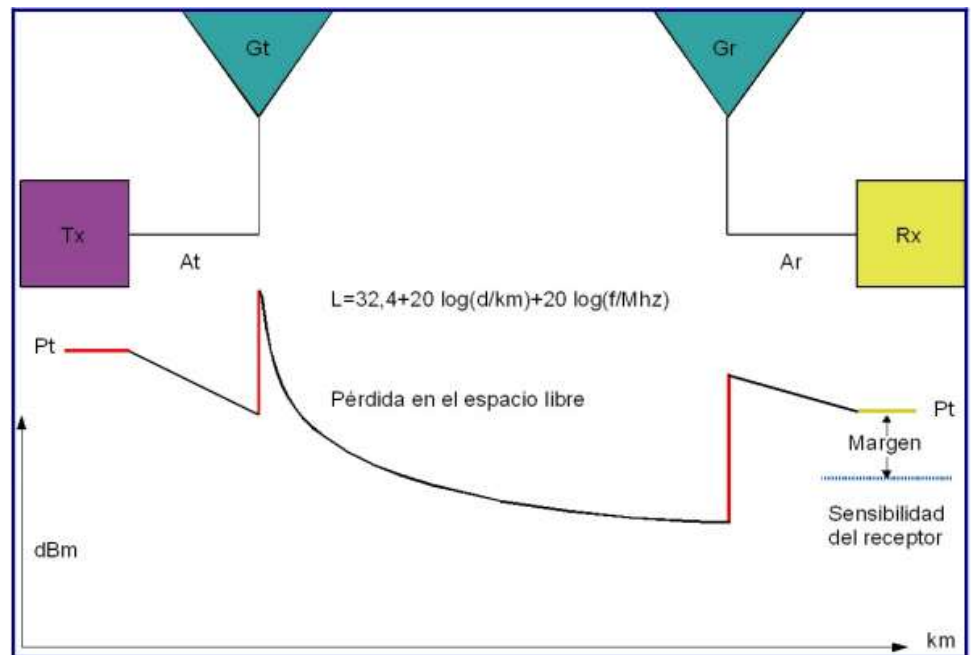


Figura 2.9: Potencia en dBm en función de la distancia para un enlace MW.

Fuente: <http://www.itrainonline.org>

Una cuestión importante a tener en cuenta es que si la potencia del transmisor y la del receptor no son iguales debe realizarse el cálculo del presupuesto tanto en el sentido transmisor-receptor como en el sentido inverso para asegurarnos que el enlace se puede establecer efectivamente. Podría darse el caso, por ejemplo, de tener una radio base de mucha potencia para que llegue a varios clientes a distintas distancias y que uno de los clientes reciba la señal pero no tenga la potencia suficiente para comunicarse con la radio base con lo que el enlace no podrá establecerse.

2.2.8.1 Lado Transmisor

- Potencia de Transmisión (Tx)

La potencia de transmisión es la potencia de salida del radio. El límite superior depende de las regulaciones vigentes en cada país, dependiendo de la frecuencia de operación y puede cambiar al variar el marco regulatorio. En general, los radios con mayor potencia de salida son más costosos.

La potencia de transmisión del radio, normalmente se encuentra en las especificaciones técnicas del vendedor. Tener en cuenta que las especificaciones técnicas le darán valores ideales, los valores reales pueden variar con factores como la temperatura y la tensión de alimentación.

- Pérdida en el cable

Las pérdidas en la señal de radio se pueden producir en los cables que conectan el transmisor y el receptor a las antenas. Las pérdidas dependen del tipo de cable y

la frecuencia de operación y normalmente se miden en dB/m o dB/pies.

Independientemente de lo bueno que sea el cable, siempre tendrá pérdidas. Por eso el cable de la antena debe ser lo más corto posible. La pérdida típica en los cables está entre 0,1 dB/m y 1 dB/m. En general, mientras más grueso y más rígido sea el cable menor atenuación presentará. Para darnos una idea de cuán grande puede ser la pérdida en un cable, se considera que está usando un cable RG58 que tiene una pérdida de 1 dB/m, para conectar un transmisor con una antena. Usando 3 m de cable RG58 es suficiente para perder el 50% de la potencia (3 dB).

Las pérdidas en los cables dependen mucho de la frecuencia. Por eso al calcular la pérdida en el cable, se debe asegurar usar los valores correctos para el rango de frecuencia usada. Por eso se controla los datos del distribuidor y si fuera posible, se verifica las pérdidas tomando mediciones propias. Como regla general, puede tener el doble de pérdida en el cable [dB] para 5,4 GHz comparado con 2,4 GHz, nótese esto en la tabla 2.2

Tipo de Cable	Pérdida (dB/100m)
RG 58	ca 80 – 100
RG 213	ca 500
LMR - 200	50
LMR - 400	22
Aircom plus	22
LMR - 600	14
Flexline de 1/2"	12
Flexline de 7/8"	6,6
C2FCP	21
Heliax de 1/2"	12
Heliax de 7/8"	7
5D – Serie RTN 950 Huawei	15

Tabla 2.2: Valores típicos de pérdida en los cables para
2,4GHz.

- Pérdidas en los conectores

Se estima por lo menos 0,25 dB de pérdida para cada conector en su cableado. Estos valores son para conectores bien hechos mientras que los conectores mal

soldados DIY (Do It Yourself) pueden implicar pérdidas mayores. Se requiere ver la hoja de datos para las pérdidas según el rango de frecuencia y el tipo de conector que se usará. Si se usan cables largos, la suma de las pérdidas en los conectores está incluida en una parte de la ecuación de “Pérdidas en los cables”. Pero para estar seguro, siempre se debe considerar un promedio de pérdidas de 0,3 a 0,5 dB por conector como regla general. Además, los protectores contra descargas eléctricas que se usan entre las antenas y el radio deben ser presupuestados hasta con 1 dB de pérdida, dependiendo del tipo. Revise los valores suministrados por el fabricante (los de buena calidad sólo introducen 0,2 dB).

- Amplificadores

Opcionalmente, se pueden usar amplificadores para compensar la pérdida en los cables o cuando no haya otra manera de cumplir con el presupuesto de potencia. En general, el uso de amplificadores debe ser la última opción. Una escogencia inteligente de las antenas y una alta sensibilidad del receptor son mejores

que la fuerza bruta de amplificación. Los amplificadores de alta calidad son costosos y uno económico empeora el espectro de frecuencia (ensanchamiento), lo que puede afectar los canales adyacentes. Todos los amplificadores añaden ruido extra a la señal, y los niveles de potencia resultantes pueden contravenir las normas legales de la región.

Prácticamente no hay límites en la cantidad de potencia que puede agregar a través de un amplificador, pero nuevamente, se debe tener en cuenta que los amplificadores elevan también el ruido.

- Ganancia de antena

La ganancia de una antena típica varía entre 2 dBi (antena integrada simple) y 8 dBi (omnidireccional estándar) hasta 21 – 30 dBi (parabólica). Tenga en cuenta que hay muchos factores que disminuyen la ganancia real de una antena.

Las pérdidas pueden ocurrir por muchas razones, principalmente relacionadas con una incorrecta

instalación (pérdidas en la inclinación, en la polarización, objetos metálicos adyacentes). Esto significa que sólo puede esperar una ganancia completa de antena, si está instalada en forma óptima.

2.2.8.2 Pérdidas de Propagación

Las pérdidas de propagación están relacionadas con la atenuación que ocurre en la señal cuando esta sale de la antena de transmisión hasta que llega a la antena receptora.

- **Pérdidas en el espacio libre**

La mayor parte de la potencia de la señal de radio se perderá en el aire. Aún en el vacío, una onda de radio pierde energía (de acuerdo con los principios de Huygens) que se irradia en direcciones diferentes a la que puede capturar la antena receptora. Nótese que esto no tiene nada que ver con el aire, la niebla, la lluvia o cualquier otra cosa que puede adicionar pérdidas. La Pérdida en el Espacio libre (FSL), mide la potencia que se pierde en el mismo sin ninguna clase de obstáculo. La

señal de radio se debilita en el aire debido a la expansión dentro de una superficie esférica.

La Pérdida en el Espacio libre es proporcional al cuadrado de la distancia y también proporcional al cuadrado de la frecuencia. Aplicando decibeles, resulta la siguiente ecuación:

$$PEA(dB) = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + K$$

Leyenda:

d = Distancia

f = Frecuencia

K = Constante que depende de las unidades usadas en d y f.

Si d se mide en metros, f en Hz y el enlace usa antenas isotrópicas, la fórmula es:

$$FSL(dB) = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) - 187.5$$

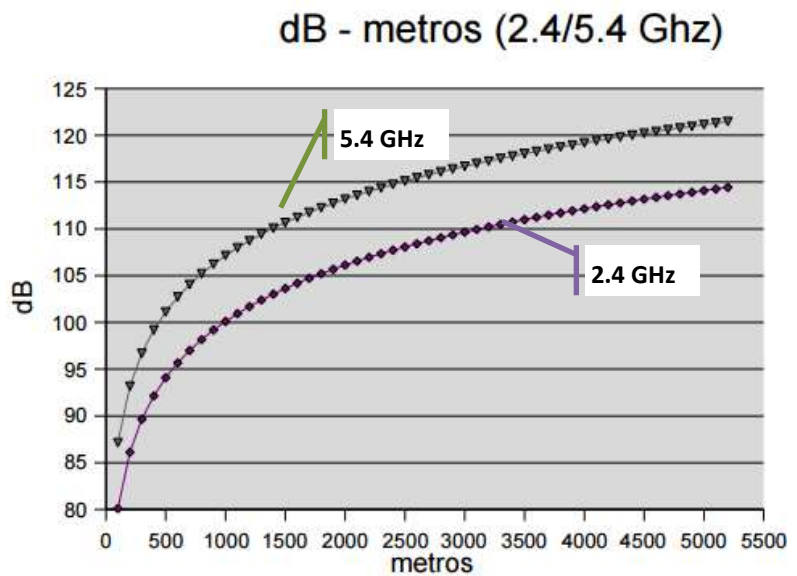


Figura 2.10: Pérdida en dB en función de la distancia en metros.

Fuente: <http://www.itrainonline.org>

La Figura 2.10 muestra la pérdida en dB para 2.4 GHz y 5.4 GHz. Se puede ver que después de 1,5 km, la pérdida se puede ver como “lineal” en dB.

Como regla general en una red inalámbrica a 2.4 GHz, 100 dB se pierden en el 1er kilómetro y la señal es reducida a 6 dB cada vez que la distancia se duplica. Esto implica que un enlace de 2 km tiene una pérdida de 106 dB y a 4km tiene una pérdida de 112 dB, etc. Para más detalle observe la tabla 2.3.

Distancia (Km)	915 MHz	2,4 GHz	5,8 GHz
1	92 dB	100 dB	108 dB
10	112 dB	120 dB	128 dB
100	132 dB	140 dB	148 dB

Tabla 2.3: Pérdidas en Espacio Abierto (PEA) en dB para diferentes distancias y frecuencias

Estos valores son teóricos y pueden muy bien diferir de las mediciones tomadas, El término “espacio libre” no es siempre tan “libre”, y las pérdidas pueden ser muchas veces más grandes debido a las influencias del terreno y las condiciones climáticas. En particular, las reflexiones en cuerpos de agua o en objetos conductores pueden introducir pérdidas significativas.

- Anomalías de propagación en microondas

El gradiente del índice de refracción o factor K que corresponde al radio eficaz de la tierra se define como el grado y la dirección de la curvatura que describe el haz de microondas durante su propagación.

$$K = R' / R_t$$

Donde R_t es el radio real terrestre y R' es el radio de la curvatura ficticia de la tierra.

Cualquier variación del índice de refracción provocada por la alteración de las condiciones atmosféricas, se expresa como un cambio del factor K .

En condiciones atmosféricas normales, el valor de K varía desde 1.2 para regiones elevadas y secas (o 4/3 en zonas mediterráneas), hasta 2 o 3 para zonas costeras húmedas.

Cuando K se hace infinito, la tierra aparece ante el haz como perfectamente plana, ya que su curvatura tiene exactamente el mismo valor que la terrestre.

Si el valor de K disminuye a menos de 1, el haz se curva en forma opuesta a la curvatura terrestre. Este efecto puede obstruir parcialmente al trayecto de transmisión, produciéndose así una difracción.

El valor de la curvatura terrestre para los distintos valores de K se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$h = d1 * \frac{d2}{1.5K}$$

Leyenda:

h = Cambio de la distancia vertical desde una línea horizontal de referencia, en pies,

d1 = Distancia desde un punto hasta uno de los extremos del trayecto, en millas.

d2 = Distancia desde el mismo punto anterior hasta el otro extremo del trayecto, en millas.

K = Factor del radio eficaz de la tierra.

1ml = 1.61Km.

1 pie = 0.3 m.

Con excepción del desvanecimiento por efecto de trayectos múltiples, los desvanecimientos son fácilmente superables mediante:

- Diversidad de espacio.
- Diversidad de polarización.

- Diversidad de frecuencia.

Las alteraciones del valor de K desde 1 hasta infinito (Rango normal de K), tiene escasa influencia en el nivel de intensidad con que se reciben las señales, cuando el trayecto se ha proyectado en forma adecuada.

Las anomalías de propagación ocurren cuando K es inferior a 1, el trayecto podría quedar obstruido y por lo tanto sería vulnerable a los fuertes desvanecimientos provocados por el efecto de trayectos múltiples.

Cuando K forma un valor negativo, el trayecto podría resultar atrapado entre capas atmosféricas y en consecuencia sería susceptible a sufrir desvanecimiento total.

- Zona de Fresnel

Teniendo como punto de partida el principio de Huygens, podemos calcular la primera zona de Fresnel, el espacio alrededor del eje que contribuye a la

transferencia de potencia desde la fuente hacia el receptor.

Basados en esto, podemos investigar cuál debería ser la máxima penetración de un obstáculo (por ejemplo: un edificio, una colina o la propia curvatura de la tierra) en esta zona para contener las pérdidas. Tal y como se detalla en la figura 2.11.

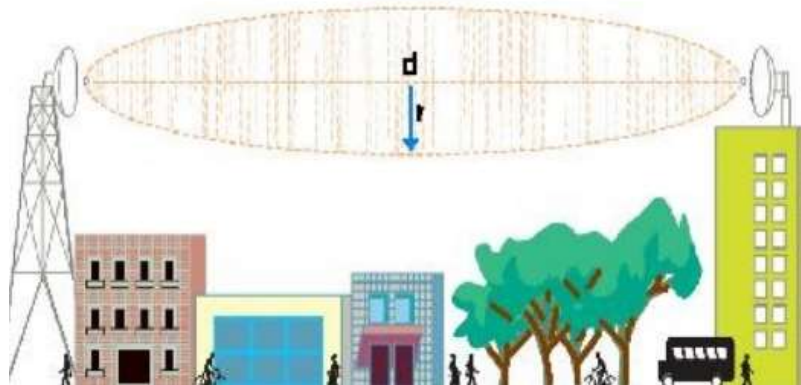


Figura 2.11: Zona de Fresnel.

Fuente: <http://www.itrainonline.org>.

Lo ideal es que la primera zona de Fresnel no esté obstruida, pero normalmente es suficiente despejar el 60% del radio de la primera zona de Fresnel para tener un enlace satisfactorio. En aplicaciones críticas, habrá que hacer el cálculo también para condiciones anómalas

de propagación, en la cuales las ondas de radio se curvan hacia arriba y por lo tanto se requiere altura adicional en las torres. Para grandes distancias hay que tomar en cuenta también la curvatura terrestre que introduce una altura adicional que deberán despejar las antenas.

La siguiente fórmula calcula la primera zona de Fresnel:

$$r = 17,32 * \sqrt{\frac{d1 * d2}{d * f}}$$

Leyenda:

d1 = Distancia al obstáculo desde el transmisor (km).

d2 = Distancia al obstáculo desde el receptor (km).

d = Distancia entre transmisor y receptor (km)

f = Frecuencia (GHz)

r = Radio (m).

Si el obstáculo está situado en el medio d1 = d2.

Por lo tanto, observe la tabla 2.4, la cual expresa diversos valores que se pueden encontrar en la primera zona fresnel:

Distancia (Km)	915 MHz	2,4 GHz	5,8 GHz	Altura de la Curvatura Terrestre
1	9	6	4	0
10	29	18	11	4,2
100	90	56	36	200

Tabla 2.4: Radio expresado en metros
para la primera zona de Fresnel

La “Altura de la curvatura terrestre” describe la elevación que la curvatura de la tierra crea entre 2 puntos.

2.2.8.3 El lado del Receptor

Los cálculos son casi idénticos que los del lado transmisor.

- Amplificadores desde el receptor

Los cálculos y los principios son los mismos que el transmisor. Nuevamente, la amplificación no es un método recomendable a menos que otras opciones hayan sido consideradas y aun así sea necesario, por ejemplo, para compensar pérdidas en el cable.

- Sensibilidad del receptor

La sensibilidad de un receptor es un parámetro que merece especial atención ya que identifica el valor mínimo de potencia que necesitaba para poder decodificar / extraer “bits lógicos” y alcanzar una cierta tasa de bits.

Cuanto más baja sea la sensibilidad, mejor será la recepción del radio. Según la tabla 2.5 un valor típico es -82 dBm en un enlace de 11 Mbps y -94 dBm para uno de 1 Mbps.

Una diferencia de 10dB aquí (que se puede encontrar fácilmente entre diferentes tarjetas) es tan importante como 10 dB de ganancia que pueden ser obtenidos con el uso de amplificadores o antenas más grandes. Por ende la sensibilidad depende de la tasa de transmisión.

Tarjeta	11 Mbps	5,5 Mbps	2 Mbps	1 Mbps
Orinoco cards PCMCIA Silver /Gold	-82 dBm	-87 dBm	-91 dBm	-94 dBm
Senao 802.11b card	-89	-91	-93	-95

Tabla 2.5: Valores típicos de la sensibilidad del receptor de las tarjetas de red inalámbrica.

- Margen y Relación S/N

No es suficiente que la señal que llega al receptor sea mayor que la sensibilidad del mismo, sino que además

se requiere que haya cierto margen para garantizar el funcionamiento adecuado. La relación entre el ruido y la señal se mide por la tasa de señal a ruido (S/N). Un requerimiento típico de la SNR es 16 dB para una conexión de 11 Mbps y 4 dB para la velocidad más baja de 1 Mbps.

En situaciones donde hay muy poco ruido el enlace está limitado primeramente por la sensibilidad del receptor. En áreas urbanas donde hay muchos radioenlaces operando, es común encontrar altos niveles de ruido (tan altos como -92 dBm). En esos escenarios, se requiere un margen mayor:

Relación señal a ruido [dB]

$$= 10 * \text{Log}_{10} \left(\frac{\text{Potencia de la señal (W)}}{\text{Potencia del ruido (W)}} \right)$$

En condiciones normales sin ninguna otra fuente en la banda de 2.4 GHz y sin ruido de industrias, el nivel de ruido es alrededor de los -100 dBm.

2.2.9 Componentes de un enlace microondas

Los enlaces microondas están implementados de ciertos componentes indispensables que los constituyen.

Todas las estaciones de comunicaciones inalámbricas poseen elementos en común bastante básicos, podremos comprenderlos en un diagrama a bloques de un sistema típico de transmisores y receptores inalámbrico; en las figuras 2.12 y 2.13 se ejemplifican ambos sistemas.

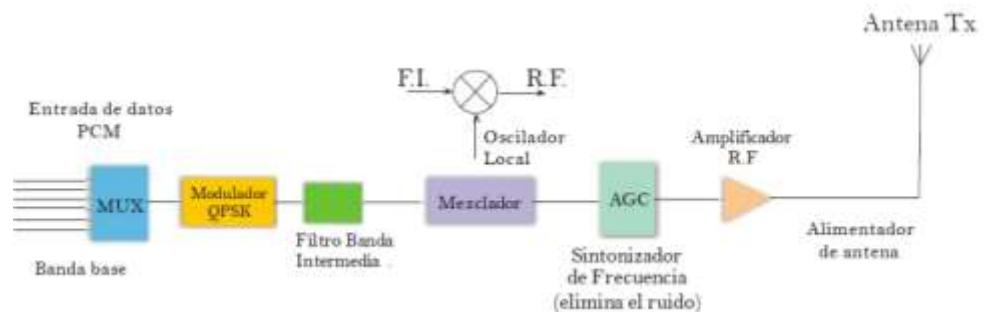


Figura 2.12: Diagrama de bloques de un transmisor.

Fuente: “Diseño de un enlace de microondas dedicado entre las radio bases de Acajete, Cuacnapala, Esperanza y una central en Puebla” – Miguel Angel Flores Mercado, Marco Antonio Hernández Pérez.

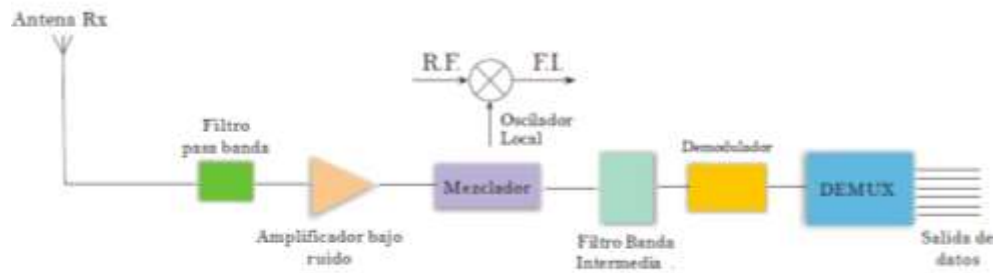


Figura 2.13: Diagrama de bloques de un receptor.

Fuente: “Diseño de un enlace de microondas dedicado entre las radio bases de Acajete, Cuacnapala, Esperanza y una central en Puebla” – Miguel Angel Flores Mercado, Marco Antonio Hernández Pérez.

Los elementos del sistema de comunicaciones inalámbricas se pueden comprender por su funcionamiento; es decir, en el transmisor la señal es modulada para enviarla a un filtro de banda intermedia que permite seleccionar los componentes de frecuencia necesarios y pasar al mezclador el cual va a transmitir la información a una frecuencia de operación dada por el oscilador local y que es del orden de los GHz, posteriormente la señal pasara por un sintonizador de frecuencia con el fin de selección la frecuencia requerida y eliminar el ruido; de tal forma que sea posible enviarse a través de un enlace dedicado; por ultimo amplificarla, es decir, estabilizar la señal en torno su medio y ajustándola al canal por el cual se va a transmitir, para que la antena pueda transformar la señal de información en una señal de

radiofrecuencia con el fin de propagarla hacia el receptor donde ocurre el proceso contrario.

En un sistema de enlace de microondas, se plantean dos grandes perspectivas; la primera, el propósito general por el cual se realizara el montaje de la infraestructura, y la segunda, el beneficio económico que demuestre el proyecto que este tipo de comunicaciones es de un grado de inversión enorme.

Teniendo en cuenta esto se puede encontrar que se determinaran los parámetros de una instalación de forma en que se involucren los puntos más relevantes solamente. La estructura general de un radioenlace por microondas está determinado por los equipos de un radioenlace, estos están constituido por equipos terminales y repetidores intermedios. La función de los repetidores es salvar la falta de visibilidad impuesta por la curvatura terrestre y conseguir así enlaces superiores al horizonte óptico.

Los repetidores pueden ser:

- Activos
- Pasivos

En estos últimos no existe ganancia y se limitan a cambiar la dirección del haz radioeléctrico. Por otro lado se tiene que las antenas y torres de microondas determinan la distancia cubierta por enlaces microondas puede ser incrementada por el uso de las repetidoras, las cuales amplifican y cambian la dirección de la señal; es importante destacar que los obstáculos de la señal pueden ser salvados a través de reflectores pasivos. La señal de microondas transmitidas es distorsionada y atenuada mientras viaja desde el transmisor hasta el receptor, estas atenuaciones y distorsiones son causadas por una pérdida de potencia dependiente de la distancia, reflexión y refracción debido a obstáculos y superficies reflectoras, y a pérdidas atmosféricas. Como se ha estado planteando los sistemas de comunicaciones móviles poseen ciertas desventajas, que pueden ser causa de pérdida de la señal., atenuación y algunos de los fenómenos que de igual forma se presentan en la luz (reflexión, refracción y difracción); las ondas electromagnéticas empleadas en estos sistemas puede ser “deformadas” por el ruido del canal, e impregnarse de señales que no son deseadas para la clara comunicación.

Uno de los problemas más comunes de las comunicaciones inalámbricas son los fenómenos físicos de la naturaleza que afectan a la información, tal y como se muestra en la figura 2.14: la lluvia, las tormentas eléctricas, huracanes, tornados, rayos y tormentas

cósmicas, o los cambios de temperatura del ambiente tienen de la pérdida de la eficacia de la transmisión o de la recepción de la señal; por otro lado de igual forma existen otros factores que afectan estos medios y son causados por el hombre: el ruido generado por el campo electromagnético creado por líneas de alto voltaje, señales de otras estaciones de radiación (radio, televisión, satélites, etc.) que pueden ser generadoras de todo tipo de errores en la comunicación.

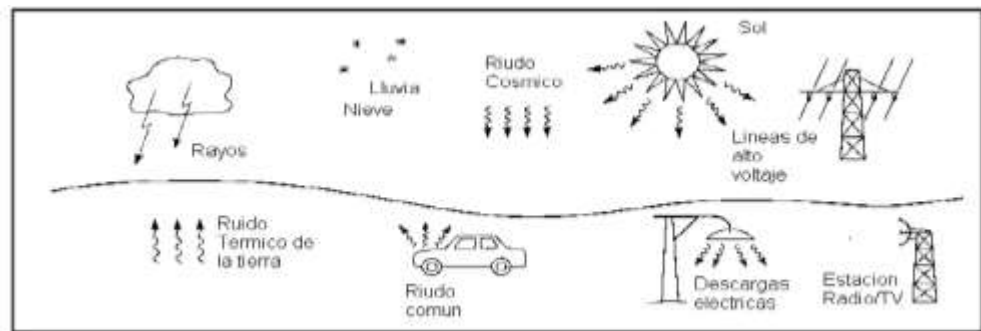


Figura 2.14: Factores que interfieren en sistema móviles.

Fuente: “Diseño de un enlace de microondas dedicado entre las radio bases de Acajete, Cuacnapala, Esperanza y una central en Puebla” – Miguel Angel Flores Mercado, Marco Antonio Hernández Pérez.

Existen otros factores que generan las pérdidas de las señales y por extraños que parezcan pueden ser más comunes de lo que un pensaría: las migraciones de grande parvadas de aves, la pérdida de energía de la estación base, u obstáculos por el hombre (ocasionando la pérdida de la línea de vista), como se observa en la figura 2.15.

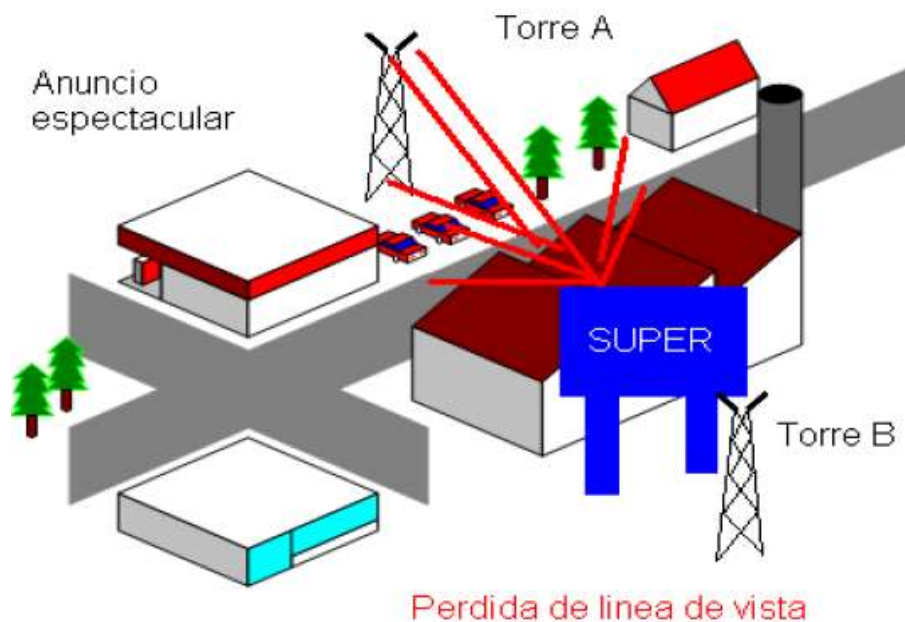


Figura 2.15: Pérdida de línea de vista.

Fuente: Tesis: “Diseño de un enlace de microondas dedicado entre las radio bases de Acajete, Cuacnapala, Esperanza y una central en Puebla” – Miguel Angel Flores Mercado, Marco Antonio Hernández Pérez.

Otro de los procesos por los cuales las comunicaciones caen, es la sobre saturación del canal, en este caso, no es más que solo la falta de cobertura para algún servicio, este es un indicio de que es necesario ampliar la red de enlaces.

Todos los sistemas inalámbricos tiene sus problemas que se pueden englobar en principios de atenuación, perdidas por el medio, interferencias, etc.

Por otro lado, es nuestra responsabilidad como ingenieros, el buscar mayores y mejores alternativas que habrán de solucionar todas aquellas posibles hendeduras y contextos que afecten el enlace terrestre.

Se debe hacer notar que todos los sistemas de telefonía celular emplean los enlaces de microondas como un vehículo entre los subsistemas por ello es de suma importancia conocer su propósito dentro de nuestra investigación; a su vez, las interfaces de radio que unen a todos los equipos deben de ser perfectamente estudiados para la visualización del ambiente de la red celular.

2.2.10 Ventajas y Desventajas de un Enlace de Microondas

2.2.10.1 Ventajas de los enlaces microondas

Los radios de microondas propagan señales a través de la atmósfera terrestre, entre transmisores y receptores que con frecuencia están en la punta de las torres. Así los sistemas de radio de microondas tienen la ventaja obvia de contar con capacidad de llevar miles de canales individuales de información entre los puntos, sin necesidad de instalaciones físicas como cables coaxiales o fibras ópticas. Además, las ondas de radio se adaptan mejor para salvar grandes extensiones de agua, montañas altas o terrenos muy boscosos que constituyen formidables barreras para los sistemas de cable. Entre las ventajas del radio de microondas están las siguientes:

- Los sistemas de radio no necesitan adquisiciones de derecho de vía entre estaciones.
- Cada estación requiere la compra o alquiler de solo una pequeña extensión de terreno.

- Por sus grandes frecuencias de operación, los sistemas de radio de microondas pueden llevar grandes cantidades de información.
- Las frecuencias altas equivalen a longitudes cortas de onda, que requieren antenas relativamente pequeñas.
- Las señales de radio se propagan con más facilidad en torno a obstáculos físicos, por ejemplo a través del agua o las montañas altas.
- Para amplificación se requieren menos repetidoras.
- Las distancias entre los centros de conmutación son menores.
- Se introducen tiempos mínimos de retardo.
- Entre los canales de voz existe un mínimo de diafonía.
- Son factores importantes: La mayor fiabilidad y menor mantenimiento.
- Puede superarse las irregularidades del terreno.
- Puede aumentarse la separación entre repetidores, incrementando la altura de las torres.

2.2.10.2 Desventajas de los enlaces microondas

- Explotación restringida a tramos con visibilidad directa para los enlaces (Necesita visibilidad directa).
- Necesidad de acceso adecuado a las estaciones repetidoras en las que hay que realizar los trabajos de instalación.
- Las condiciones atmosféricas pueden ocasionar desvanecimientos intensos y desviaciones del haz, lo que implica utilizar sistemas de diversidad y equipo auxiliar requerido, lo que se supone un importante problema de diseño.

2.2.11 La indisponibilidad o corte de un radioenlace

Se produce cuando la señal recibida no alcanza el nivel de calidad mínimo exigido, lo que se traduce en un aumento significativo de la tasa de error binario (BER). Es decir, existe una interrupción del servicio puesto que el demodulador no puede recuperar correctamente la señal de voz, vídeo o datos transmitida.

Las causas de estas interrupciones pueden ser muy diversas, aunque podemos destacar las siguientes: ruido externo e interferencias, atenuación por lluvia, obstrucción del haz, desvanecimientos de la señal radioeléctrica o fallos y averías de los equipos.

Si dejamos aparte las interrupciones causadas por un aumento transitorio de los niveles de ruido o interferencia, el principal motivo de indisponibilidad de un radioenlace se debe a una disminución del nivel de potencia recibida por debajo del umbral de sensibilidad del equipo receptor, como se indica en la figura 2.16

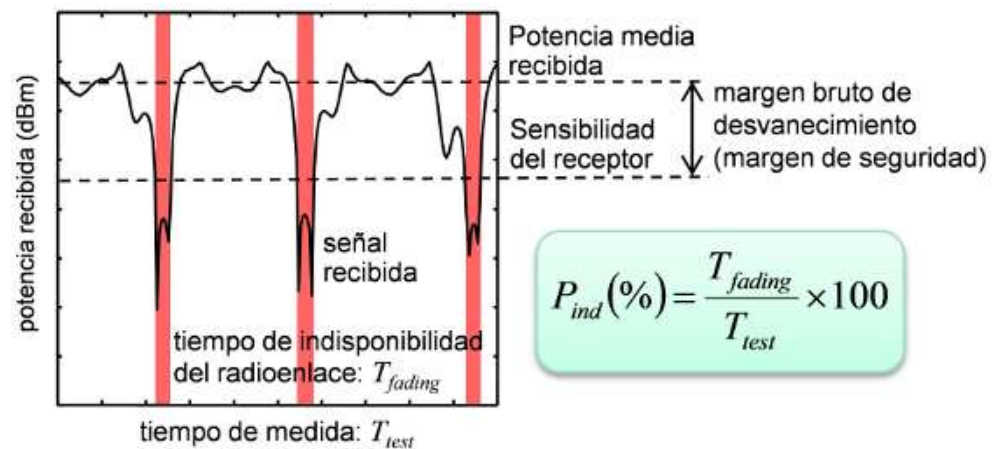


Figura 2.16: Desvanecimiento de un radioenlace.

Fuente: <http://www.radioenlaces.es/articulos/indisponibilidad-de-un-radioenlace/>

Los desvanecimientos pueden clasificarse en base a diferentes criterios que se listan a continuación:

- Profundidad: Éstos pueden ser profundos (3 dB aprox.) o muy profundos (> 20 dB).
- Duración: Se tienen desvanecimientos de corta o larga duración temporal.
- Espectro: Pueden afectar a todas las componentes del espectro del canal (desvanecimiento plano) o bien ser selectivos en frecuencia. Estos últimos provocan distorsión de la señal.
- Mecanismo: Existen fundamentalmente de dos tipos, factor k y multitrayecto. Los primeros se producen por variaciones del índice de refracción troposférico, reduciéndose el margen libre de obstáculos. Los segundos se originan por interferencias debidas a la aparición de múltiples caminos de propagación entre el transmisor y el receptor.
- Distribución probabilística: Puede ser de tipo gaussiano, Rayleigh o Rice.
- Dependencia temporal: Actúan de forma continuada o puntual.

En la práctica se utilizan diferentes modelos para caracterizar la probabilidad de aparición de un desvanecimiento, los cuales dependen de diversas variables del sistema, así como factores geo

climáticos. Los más habituales son los debidos a propagación multitrayecto, para los que se emplea la siguiente ecuación:

$$P_{ind}(\%) = P_0 * 10^{-F/10} * 100$$

Leyenda

P_{ind} = La probabilidad de indisponibilidad,

F = El margen frente a desvanecimientos

P_0 = El factor de aparición de desvanecimiento, definido en la Recomendación UIT-R P.530.

Para evitar los desvanecimientos, o al menos reducir su probabilidad, suelen emplearse técnicas de diversidad. Estas técnicas pueden clasificarse atendiendo al dominio en el que se apliquen: espacio, tiempo, frecuencia o código. Las técnicas de diversidad espacial hacen uso de dos o más antenas que determinan distintos trayectos de propagación. Dichas antenas pueden ser iguales o de características diferentes (polarización, diagrama de radiación, etc.), así como emplear técnicas MIMO. Por otro lado, las técnicas de diversidad temporal hacen uso del procesado de señal para mejorar la calidad de la señal recibida, bien

trabajando con distintas frecuencias (por ejemplo, OFDM y FHSS) o códigos (por ejemplo, ecualizador Rake).

Por último, otra causa de indisponibilidad de un radioenlace es la debida a fallos en equipos, observar la relación de la siguiente ecuación en la figura 2.17:

$$P_{ind}(\%) = \left[\frac{MTTR}{MTBF + MTTR} \right] * 100 \approx \left(\frac{MTTR}{MTBF} \right) * 100$$

Leyenda:

MTBF = El tiempo medio entre fallos y MTTR es el tiempo medio que se tarda en reparar o sustituir un equipo por el de reserva.

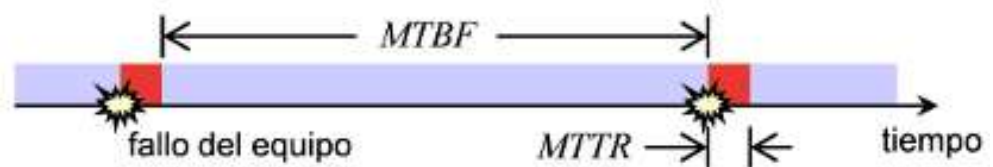


Figura 2.17: Relación del MTBBF vs MTTR.

Fuente: <http://www.radioenlaces.es/articulos/indisponibilidad-de-un-radioenlace/>

La fiabilidad de los equipos de radiocomunicaciones suele ser elevada, pero dado que éstos se encuentran en ocasiones en lugares de difícil acceso (colinas o torres de comunicaciones), cualquier fallo tiene repercusiones importantes en la calidad del servicio, ya que pueden pasar varias horas hasta su sustitución o reparación. Por ello, y dependiendo del tipo de servicio, resulta necesario instalar equipos redundantes en configuraciones 1+1 o N+1 en general. De este modo, se reduce considerablemente el tiempo de indisponibilidad del radioenlace.

2.3 Marco Conceptual

2.3.1 IDU (Indoor Unit)

Es un Módem que interconecta la radio con el backbone de la red. Se instala en un armario de comunicaciones en el interior del edificio y va unido a la Unidad Exterior mediante un cable coaxial. Convierte las señales de la antena al formato de la Red de Área Local a la que se conectan los ordenadores para acceder a internet.

2.3.2 ODU (Outdoor Unit)

Es la unidad radio en sí. Por lo tanto es un pequeño equipo exterior que se fija a la antena y realiza las funciones de procesamiento de la información y adecuación de la señal.

2.3.3 Antenas Microondas

La antena utilizada generalmente en las microondas es la de tipo parabólico. El tamaño típico es de un diámetro de unos 3 metros. La antena es fijada rígidamente, y transmite un haz estrecho que debe estar perfectamente enfocado hacia la antena receptora.

Estas antenas de microondas se deben ubicar a una altura considerable sobre el nivel del suelo, con el fin de conseguir mayores separaciones posibles entre ellas y poder superar posibles obstáculos. Sin obstáculos intermedios la distancia máxima entre antenas es de aproximadamente 150 km, con antenas repetidoras, claro está que esta distancia se puede extender, si se aprovecha la característica de curvatura de la tierra, por medio de la cual las microondas se desvían o refractan en la atmósfera terrestre.

Por ejemplo dos antenas de microondas situadas a una altura de 100 m pueden separarse una distancia total de 82 km, esto se da bajo ciertas condiciones, como terreno y topografía. Es por ello que esta distancia puede variar de acuerdo a las condiciones que se manejen.

La distancia cubierta por enlaces microondas puede ser incrementada por el uso de repetidoras, las cuales amplifican y re direccionan la señal, es importante destacar que los obstáculos de la señal pueden ser salvados a través de reflectores pasivos.

La señal de microondas transmitidas es distorsionada y atenuada mientras viaja desde el transmisor hasta el receptor, estas atenuaciones y distorsiones son causadas por una pérdida de potencia

dependiente a la distancia, reflexión y refracción debido a obstáculos y superficies reflectoras, y a pérdidas atmosféricas.

2.3.4 Acoplador

Dispositivo que permite llevar a cabo la combinación de la señal de dos radios por una sola antena. Muy empleado en despliegues que empleen XPIC (emisiones en polarización cruzada).

2.3.5 Cableado

En función del tipo de instalación el cableado requerido para la misma puede variar entre guía ondas, cable coaxial, FTP de exterior o fibra óptica.

2.3.6 RTN 950

La serie RTN de radio de microondas IP (Observe los elementos en la figura 2.18), es un elemento inteligente de red diseñado para gestionar, aprovisionar, monitorear y realizar diagnósticos en forma remota. Con estas sólidas características, los operadores de telecomunicaciones tendrán las herramientas para reducir los

despachos comunes a los actuales sistemas de radio de microondas de "punto a punto". Desde GSM y UMTS a LTE, la red de telefonía móvil evoluciona rápidamente y exige un mayor ancho de banda para la tendencia All-IP. La plataforma de radio por microondas se ha convertido en una solución ideal para la evolución sin inconvenientes de las redes backhaul GSM/UMTS/LTE.

La plataforma de radio por microondas RTN permite soportar las futuras aplicaciones All-IP para garantizar que cada tipo de tráfico tenga la calidad de servicio E2E adecuada. La plataforma también puede proporcionar funciones de transmisión que incluyen alta modulación, modulación adaptativa, compresión de "cabeceras" de Ethernet para ayudar a nuestros clientes a reducir el costo por bit transmitido y el costo total de propiedad.

La serie se compone de los RTN 910, RTN 950 y RTN 980. El RTN 910, de 1 U de alto con dos direcciones de RF, se utiliza principalmente para la capa de acceso. El RTN 950 tiene 2 U de alto con múltiples direcciones de RF y se utiliza principalmente en la capa de convergencia. El RTN 980 es un sistema nodal de 5 U de alto, puede convergir hasta 13 direcciones de RF + 1 interfaz de inserción y extracción. Todas las series RTN de radios de microondas utilizan el mismo tipo de unidades de exteriores (ODU) y antenas. Las

especificaciones técnicas de este equipo se encuentran detalladas en el anexo 1.2.

Características:

- La plataforma RTN 900 admite una evolución sin inconvenientes, permite a los operadores elegir la tecnología y la temporización óptimas de la red con Ethernet sincrónica e IEEE1588v2
- La plataforma RTN 900 cumple con la sincronización de fases y frecuencias para redes GSM/UMTS/LTE y los operadores pueden elegir de forma flexible la solución óptima de sincronización en cada etapa de transformación de la red.
- La plataforma RTN 900 utiliza la modulación adaptativa (AM) sin pérdida de datos para ajustar el ancho de banda y mejorar el uso del espectro. En comparación con el modo de modulación fija, la tecnología AM permite aumentar el ancho de banda de transmisión hasta 4 veces y reducir los gastos de espectro.
- Gracias a las tecnologías de compresión de cabeceras y XPIC, la capacidad maximizada de un canal puede llegar a 2 Gbit/s, proporcionando gran ancho de banda para la backhaul móvil. Además, la radio soporta la agregación de enlaces (LAG) en configuración N+ 0 para maximizar la capacidad. La capacidad de Gbit/s se logra a través de radio de microondas en bandas de

RF tradicionales, y cumple con el requisito de ancho de banda de LTE.

Equipment Components

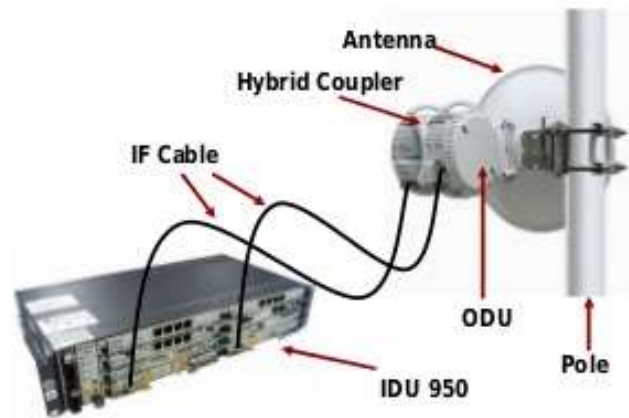


Figura 2.18: Equipos de la serie RTN 950 A Huawei.

Fuente: Opti X RTN 910/950 Hardware Description

2.3.7 Site Survey

El levantamiento de información o site survey son requeridos para la instalación de los sistemas de telecomunicaciones, con el objeto de recopilar información sobre la ubicación de los equipos, espacio disponible, infraestructura existente (torre, antenas, energía, puestas a tierra, canalizaciones entre otros). Asimismo, esta información

permite la elaboración del informe de ingeniería previo a la instalación y de detalle de los sistemas a ser instalados.

El site survey se los realiza días antes de la instalación donde el técnico deberá tomar datos muy importantes, como de primer punto será si existe línea de vista entre el cliente y la radio base, lo cual determinara la altura a instalarse la antena en la radio base, metros cable para la antena hasta el cuarto de equipos, metros de cable de tierra para aterrizar la antena y tipo de conector a utilizar, recorrido del cableado desde la antena hasta la ubicación de la IDU en el rack de equipos el mismo se detallara con fotografías tomada en el sitio, y para el lado del cliente se detallara si será necesario la instalación del mástil y altura de el mismo o a su vez la instalación de una torre triangular para tener línea de vista hacia la radio base, coordenadas obtenidas con la ayuda de un GPS.

Tomados todos los datos el técnico deberá llenar un formato de informe el cual es proporcionado por la empresa proveedora del servicio. Adjuntando fotografías que tomará en el cliente y radio base.

2.3.8 Topologías de instalación

Se debe elegir la topología de instalación que mejor se adapte a nuestras necesidades. Normalmente todos los fabricantes ofrecen

estas soluciones en tres variantes: all indoor, all outdoor y split mount que se explican a continuación.

2.3.8.1 All Indoor

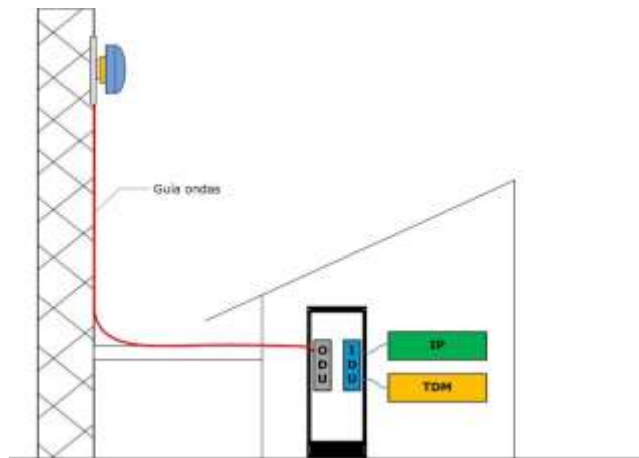


Figura 2.19: Topología de instalación All Indoor.

Fuente: <http://www.telequismo.com/2012/07/radioenlaces-microondas-en-banda.html>

Se trata de instalaciones en las que toda la “inteligencia” de la red se instala en el armario ubicado en el interior de las instalaciones. Es decir IDU y ODU se instalan en el interior y tan solo la antena se instala en el exterior, según lo indicado en la figura 2.19. Este tipo de esquemas facilitan las labores de mantenimiento ya que a pesar de que se trata de soluciones con un alto nivel de fiabilidad el principal punto de

fallo se encuentra en la electrónica que en esta configuración no requiere de un perfil especializado en trabajos de altura para llevar a cabo las actuaciones. En esta configuración el cableado entre interior y exterior es una guía onda de las características apropiadas para cada escenario concreto que vendrá definido por diferentes parámetros (distancia radio-antena, frecuencia de trabajo, etc).

Ventajas:

- Mantenimiento no requiere trabajo en altura
- Posibilidad de empleo de equipos en formato chasis

Desventajas:

- Fácil acceso a IDU y ODU
- Espacio en rack requerido
- Instalación de guía onda requiere un alto nivel de especialización
- Posibles pérdidas ODU-antena

2.3.8.2 All Outdoor

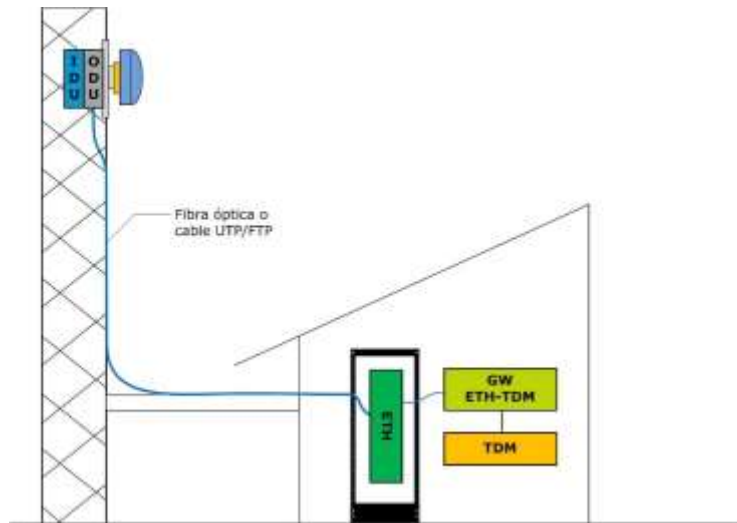


Figura 2.20: Topología de instalación All Outdoor.

Fuente: <http://www.telequismo.com/2012/07/radioenlaces-microondas-en-banda.html>

Este otro escenario de instalación contempla la instalación de todo el sistema en un armario preparado para instalaciones de exterior en el que se ubicarán IDU y ODU, quedando esta última anexa a la antena para montaje directo o montaje remoto en función de las necesidades. En este caso el cableado entre interior y exterior debe ser fibra óptica o FTP de exterior en función de las características del mismo (Observe la figura 2.20), distancia, capacidad requerida, interfaces IDU-backbone etc. Este otro escenario es idóneo

para instalaciones donde el acceso no sea compleja (azoteas, fachadas, etc.) y tiene dos ventajas principales: no requiere espacio en armario de interior (en emplazamientos de terceros muchas veces dicho espacio tiene un precio muy alto) y aporta un nivel de seguridad mayor en cuanto a la posibilidad de acceso al equipamiento.

Ventajas:

- No requiere nada de espacio en rack
- Difícil acceso a IDU y ODU
- Cableado sencillo (fibra óptica, cobre,...)
- Permite montaje directo ODU-Antena

Desventajas:

- Mantenimiento más complicado
- Personal con formación en altura para cualquier actuación

2.3.8.3 Split Mount

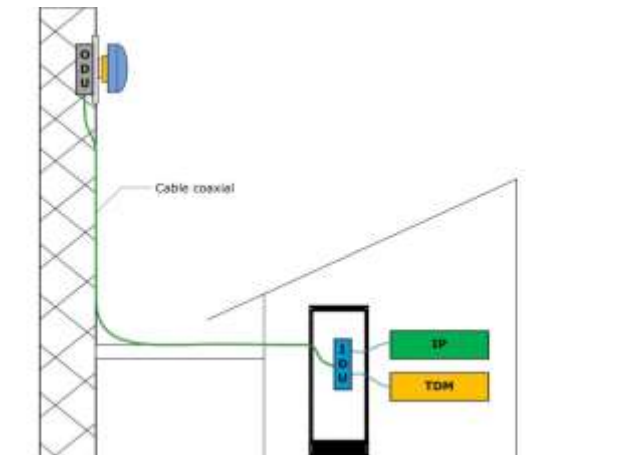


Figura 2.21: Topología de instalación Split Mount.

Fuente: <http://www.telequismo.com/2012/07/radioenlaces-microondas-en-banda.html>

Por último el montaje Split Mount es aquel en el que la IDU (módem) queda ubicado en el armario de comunicaciones correspondiente y tanto ODU como antena quedan ubicadas en el exterior (Observe la figura 2.21). El cableado entre IDU y ODU es un coaxial con las características que requiera cada escenario concreto en función de la distancia entre ambas y la frecuencia intermedia en la que viaja la señal. Hay que tener en cuenta que la señal entre IDU y ODU no se transporta por el cable a la frecuencia de trabajo (superior a 6 GHz) si no que lo hace a una

frecuencia intermedia que suele estar en el orden de los 400 MHz con lo que las pérdidas introducidas por el cable no suelen ser delimitantes en un diseño, aunque sí deben ser tenidas en cuenta.

Ventajas:

- Cableado sencillo (coaxial)
- Permite montaje directo ODU-Antena
- Requiere poco espacio en rack

Desventajas:

- Mantenimiento complicado
- Personal con formación en altura para ciertas actuaciones

La principal conclusión que puede extraerse de todo lo dicho hasta ahora es que la puesta en marcha de un enlace microondas en banda licenciada presenta ciertas dificultades (técnicas y administrativas) que otras soluciones basadas en Wimax o Wifi.

CAPÍTULO III: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ENLACE MICROONDAS CON TECNOLOGÍAS 2G, 3G Y LTE PARA EL DISTRITO DE NUEVA REQUENA.

3.1 Diseño del Enlace Microondas

Este proyecto consiste en implementar un enlace microondas para el distrito de Nueva Requena, ubicado en el departamento de Ucayali, por lo que se realizó un enlace basado en radios microondas IP, el cual está diseñado para gestionar, aprovisionar, monitorear y realizar diagnósticos en forma remota. Realizando así la implementación descrita a continuación:

3.1.1 Determinar la Línea de Vista

El primer paso a realizar, es estar seguro que existe una línea de vista, del Site A (Nueva Requena) con el Site B (Campo Verde), por eso debemos tener los datos de la localización de los Sites:

- Latitud: 8°19'3.40"S.
- Longitud: 74°51'7.06"O.
- M.S.N.M: 171 Mts.
- Clima: Tropical.
- Localidad: Nueva Requena.
- Provincia: Coronel Portillo.
- Departamento: Ucayali

Asimismo, observe la figura 3.1 en donde se detalla una vista superior del Site A (Nueva Requena).



Figura 3.1: Vista Superior del site Nueva Requena.

Fuente: Google Earth

Del mismo modo necesitamos los datos del site B (Campo Verde), con el cual ya se completa el enlace MW a implementar (Figura 3.2).

- Longitud: 74°48'24.28"O.
- Latitud: 8°28'38.78"S.
- M.S.N.M: 193 Mts.
- Clima: Tropical.
- Localidad: Campo Verde.
- Provincia: Coronel Portillo.
- Departamento: Ucayali



Figura 3.2: Vista Superior del site Campo Verde.

Fuente: Google Earth

En la figura 3.3, se puede apreciar el Enlace Microondas Nueva Requena – Campo Verde.



Figura 3.3: Vista Superior del Enlace MW Nueva Requena - Campo Verde.

Fuente: Google Earth

3.1.2 Path Planner

Como parte del proceso del diseño de un enlace MW, se deberá colocar una simulación de la línea de vista del site A (Nueva Requena) al site B (Campo Verde), Observada en la figura 3.4. Este es uno de los primeros pasos a seguir, ya que si no existiera línea de vista (NLOS), se deberá plantear otra solución microondas en el cual se involucre uno de los sites o ninguno de ellos.

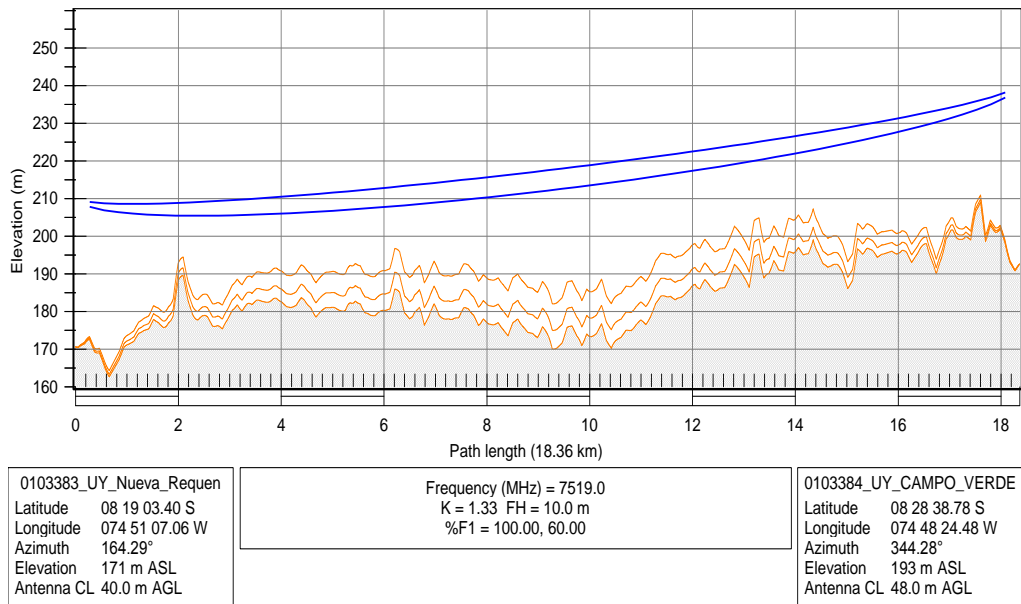


Figura 3.4: Simulación de línea de vista del enlace MW.

Fuente: PTP Link Planner

Con la ayuda de un software de simulación se determina que existe línea de vista. Tal y como se muestra en la figura 3.5.



Figura 3.5: Línea de vista del enlace MW del Site Nueva Requena al Site Campo Verde.

Fuente: Elaboración Propia.

Con todo el estudio previo finalmente se determina que si será viable plantear este enlace microondas.

3.1.3 Cálculo del Presupuesto del Enlace

Para el presupuesto del enlace se tendría que utilizar la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} P_{Tx} (dBm) - L_{c Tx} (dB) + G_{a Tx} (dBi) - PEL (dB) + G_{a Rx} (dBi) \\ - L_{c Rx} (dB) = Margen - S_{Rx} \\ 21 dBm - 16,5 dB + 36.90 dBi - 135.27 dB + 36.90 dBi - 15 dB \\ = 2,82 dB - 74.7 dBm \end{aligned}$$

Leyenda:

P_{Tx} (dBm) = Potencia de transmisión expresada en dBm.

$L_{c Tx}$ (dB) = Pérdida en el cable de transmisión expresado en dB.

$G_{a Tx}$ (dBi) = Ganancia de la antena de transmisión expresada en dBi.

PEL (dB) = Pérdidas en la trayectoria en el espacio libre expresada en dB.

$G_{a Rx}$ (dBi) = Ganancia de la Antena de recepción expresada en dBi.

$L_{c Rx}$ (dB) = Pérdidas en el cable de recepción (dB).

S_{Rx} = Sensibilidad del receptor (dBm).

Estos datos también se encuentran en el Link Budget (Anexo 1).

En la figura 3.6, se puede observar el enlace completo, así como las alturas de cada una de las torres de telecomunicaciones.



Figura 3.6: Enlace Microondas Nueva Requena – Campo Verde.

Fuente: Elaboración Propia.

Lado Tx:

Potencia de Tx: 21 dBm

Ganancia de la Antena: 36.90 dBi

Pérdida del cable coaxial 5D de la serie RTN 950 A Huawei para 110 metros: -16,5 dB

Calcular las pérdidas del conector (cantidad 2): -0.5 dB

Pérdida de potencia en espacio libre:

$$PEL(dB) = 32.5 + 20 \log\left(\frac{d}{km}\right) + 20 \log\left(\frac{f}{MHz}\right)$$

$$PEL (db) = 32.5 + 20 \log(18.36) + 20 \log(7519)$$

$$PEL (dB) = 32.5 + 25.2775 + 77.5232$$

$$PEL (dB) = 135.30 dB$$

Lado Rx:

Ganancia de la antena: 36.90 dBi

Perdida del conector (cantidad 2): -0.5 dB

Pérdida del cable coaxial 5D de la serie RTN 950 A Huawei para 100 metros: -15 dB

Ganancia de Rx: 29.35 dB

Señal Recibida (dBm)

$$\begin{aligned} &= 21 dBm + 36.90 dBi - 16,5 dB - 0.5 dB - 135.30 dB \\ &+ 36.90 dBi - 0.5dB - 15 dB + 29,35 dBm \end{aligned}$$

$$Señal Recibida (dBm) = -43.65 dBm$$

3.2 Implementación y Configuración del Enlace Microondas

3.2.1 Equipamiento para el Enlace Microondas

Para comenzar con la implementación es necesario determinar el equipamiento propuesto para la solución del enlace microondas, en el cual también incluye a todas las herramientas y materiales, ya que con esto se podrá avanzar más rápido con la instalación.

Herramientas a utilizar:

- Multímetro digital.
- Inclímetro.
- Soga.
- Polea.
- EPP's (Equipos de protección personal).
- Equipo celular con las tres tecnologías a implementar (2G, 3G y LTE), para realizar las pruebas de llamadas necesarias, obteniendo el visto bueno de que ya el Site se encuentra en óptimas condiciones.
- Cámara Fotográfica para la toma de fotografías que son necesarias para el reporte final de la instalación.
- Cautín 40 Watts, tipo lápiz para ajustes finos de frecuencia.
- Destornillador Número 2 para el Montaje del rack.

- Destornillador plástico o neutralizador para ajustes de frecuencias de transmisión / recepción.
- Destornilladores planos 4/6/11 pulgadas de largo para el montaje del rack.
- Juego de llaves españolas 1/4" a 7/8" para la instalación de antena
- Juego de llaves hexagonales de dado.
- Llave de torque para conectores de la ODU e IDU
- Llave de torque SMA De 5/16", calibrada a 9 libras-pulgada (0.1 Kg-m) para conectores de cable coaxial semirrígido.
- Llaves ajustables 6 y 10 pulgadas para la instalación de la antena.
- Pinzas de corte Medianas (12 cm.) para el cable de alimentación

Materiales a utilizar:

- 0,5 Kg de Grasa Conductiva Negra.
- 1 Tubo de SIKAFLEX -11 FC.
- 1 Bolsa de cintillos cortos T-15 blancos para etiquetas.
- 2 Bolsas de cintillos cortos T-15 Negros para etiquetas.
- 1 Bolsa de cintillos Blancos cortos de 35 cm.
- 2 Bolsas de cintillos Negros cortos de 35 cm.

- 4 Prensaestopa.
- 1 Cinta Aislante Negra.
- 2 Cintas Vulcanisante Negra.
- 6 Terminal Presión OT 10 -16 mm.
- 4 Terminal Presión OT 6 -16 mm.
- 70 metros de Tubería Conduit 1".
- 1 Tubo de silicona.
- 2 Adhesive Label (Stickers) ANTENA.
- 2 Adhesive Label (Stickers) IDU.
- 4 Tubos Termo retráctil para cable de 16 mm negro.
- 2 Tubos Termo retráctil para cable de 6 mm negro.
- 5 metros GND Cable Verde/Amarillo 10mm² (para ODU).
- 3 metros GND Cable Verde/Amarillo 6mm² (para IDU).

Equipos a instalar:

- RTN950 del fabricante Huawei con tarjetas especiales para la solución.
- 2 Soportes metálicos de Antena
- 2 Antena microondas, tipo parabólica de 1.2 metros de diámetro del fabricante Huawei
- ODU XMC-2 del fabricante Huawei

- 1 Barra de Tierra de 18 huecos.
- 3 Grounding kits.

3.2.2 Cableado

El cableado deberá realizarse teniendo en cuenta los siguientes criterios (Ver figura 3.7):

- El cableado debe ser realizado lo más lineal posible.
- Evitar cualquier tipo de cruce en el recorrido del cableado y/o tuberías entre sí.
- Los cables de un mismo tipo deben mantenerse juntos durante su recorrido.
- Todos los cables deben estar sujetos correctamente con bridas (cintillos).
- Los cintillos de ajuste de los cables deben instalarse en forma de cruz.
- Todos los cables tienen que etiquetarse / Rotularse en ambos extremos.

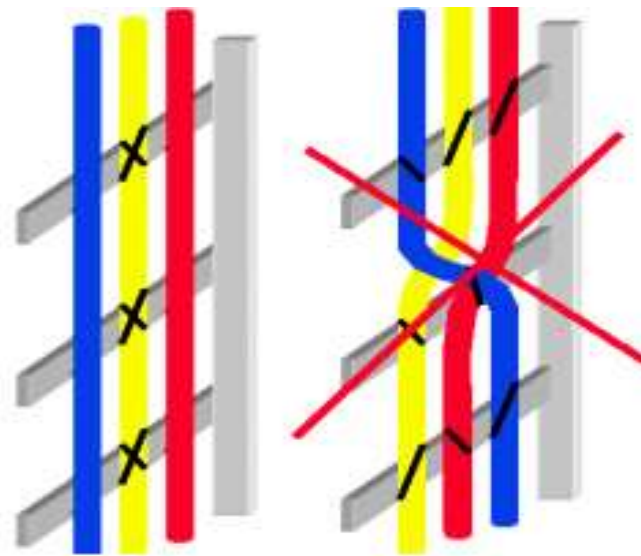


Figura 3.7: Cableado General.

Fuente: Estándar de instalación del RTN 950 A.

3.2.2.1 Posicionamiento del cableado en las escalerillas

El cableado estará ubicado sobre la escalerilla indoor y ajustado con cintillos blancos. La distribución de los cables se realiza según el tipo: teniendo a un extremo, los cables de energía, al centro el cable de tierra (GND), y finalmente los cables de Señal (IF, E1s, Ethernet) al extremo opuesto del cable de energía, según lo indicado en la figura 3.8.

- Los cables deben ser fijados a la escalerilla en cada paso de ésta (min. 30 cm.).
- El tendido de cable y/o flex conduit debe mantener la linealidad durante el recorrido horizontal y/o vertical.
- Los cables de señal y de energía deben tener una separación mínima de 3cm para evitar problemas de interferencia entre ellos.

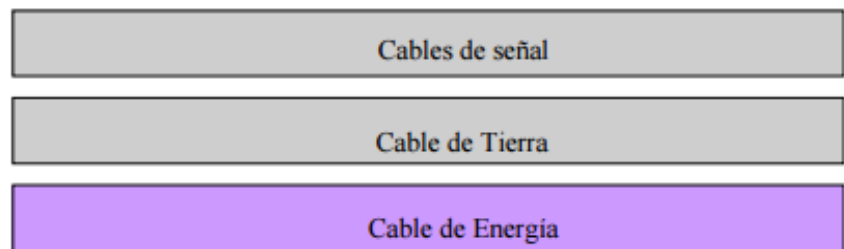


Figura 3.8: Separación de cables.

Fuente: Estándar de instalación del RTN 950A.

- **Posicionamiento del cableado horizontal sobre escalerilla – ambiente tipo interior “Indoor”.**

El cableado horizontal sobre escalerillas en ambientes interiores, será ajustado con cintillos blancos (T-35) de manera independiente y en forma de cruz (Cableado de transmisión, figura 3.9).

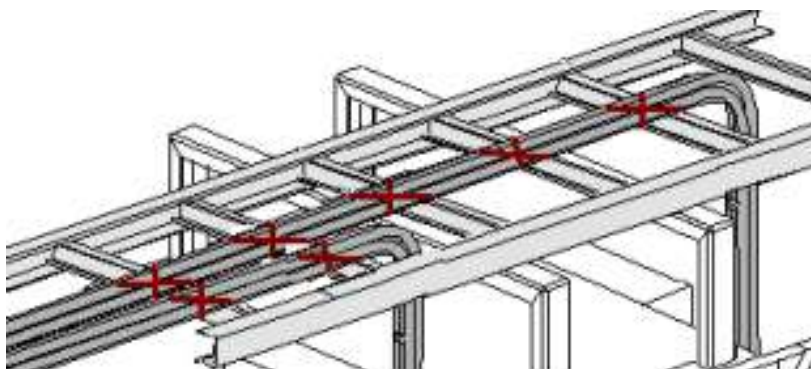


Figura 3.9: Cableado en escalerilla.

Fuente: Estándar de instalación del RTN 950A.

- **Posicionamiento del cableado horizontal sobre escalerilla - ambiente tipo exterior “Outdoor”**

El cableado horizontal sobre escalerillas outdoor (Cable IF) será ajustado en todo su recorrido hasta la curva de drenaje previo a la conexión con la ODU con cintillos negros (T-35) en cada pasos de la escalerilla, según la figura 3.10.



Figura 3.10: Cableado IF en escalerilla Outdoor.

Fuente: Elaboración propia.

A la salida del pasamuro (en caso de no tener escalerilla horizontal), se deberá dejar una curva de drenaje, que asegurará la impermeabilidad del cableado al interior de la sala tal como se muestra en la Figura 3.11.

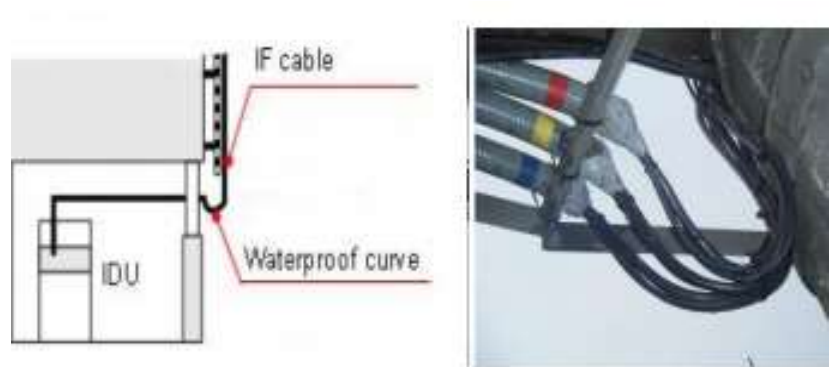


Figura 3.11: Curva de Drenaje.

Fuente: Estándar de instalación del RTN 950A.

3.2.2.2 Posicionamiento del cableado vertical en Torre

El cableado puede ser instalado en forma externa a la torre o por la parte interior de la misma asegurado con cintillos y se deberá dejar una reserva de 3m de cable IF a 1 o 2 metros de la ODU. La siguiente Figura 3.12 como se debe asegurar el cable IF en el recorrido vertical de la torre



Figura 3.12: Cableado vertical con cintillos y reserva de cable IF en Torre.

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.3 Descripción de cables a utilizar

IDU RTN950A:

- 02 Cable de energía -48VDC. Conector propietario.
- Cables de PGND: cable de PGND de la IDU (de 6mm² colores: Amarillo/verde y Verde). Conector tipo: Terminal OT (M4 y M8).
- 01 Cable UTP 5E para el puerto físico Fast Ethernet entre IDU y BBU.
- 02 Cable IF 5D Conector tipo TNC

ODU XMC-2:

- 01 Cable IF 5D Conector tipo BNC.
- 01 Cable de PGND: Cable de PGND de ODU (de 10mm² colores: Amarillo/verde y Verde). Conector tipo: Terminal OT (M6 y M8).

La distancia máxima recomendada para el cable tierra (PGND) es de 8 metros.

3.2.3 Breakers

Se usara dos breaker, un breaker principal y uno en stand-by para energizar el RTN950, dicho breaker debe tener una capacidad de 16 a 30 amperios (Observe figura 3.13), provisto por el cliente en el gabinete donde se ubique la IDU.



Figura 3.13: Ubicación de los breakers.

Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Sellado de tubería, entradas a Gabinetes y cables

Para facilidad de operación y mantenimiento de los cables, estos deben ser protegidos a la entrada a los gabinetes con sellador Sikaflex 11FC (Figura 3.14)



Figura 3.14: Tubo Sikaflex 11 FC.

Fuente: Catálogo de productos Promatisa.

3.2.5 Vulcanizado de Conectores BNC

- El sentido del encintado y vulcanizado deben ser igual al ajuste del conector BNC (Horario).

- El encintado con “Cinta Aislante Negra” debe iniciar en la parte baja, encintando por 3 capas (de abajo hacia arriba – de arriba hacia abajo – de abajo hacia arriba); mientras que el encintado con “Cinta Vulcanizante” se inicia de arriba hacia abajo, con 3 capas de vulcanizante. Finalmente se encinta con 3 capas de cinta aislante, sujetando los extremos con bridas negras, sobre las capas de cinta aislante. (las bridas NO deben estar sobre el área que cubre vulcanizante), según lo indicado en la figura 3.15.
- Finalmente se debe sellar con una capa de silicona transparente, debe estar sellado completamente y proporcionado.



Figura 3.15: Vulcanizado del conector.

Fuente: Estándar de instalación del RTN 950A.

3.2.6 Etiquetado del RTN 950 y XMC-2

3.2.6.1 Etiquetas Amarillas

El etiquetado será conforme al estándar de ingeniería de Huawei proporcionado por fábrica (Figura 3.16).

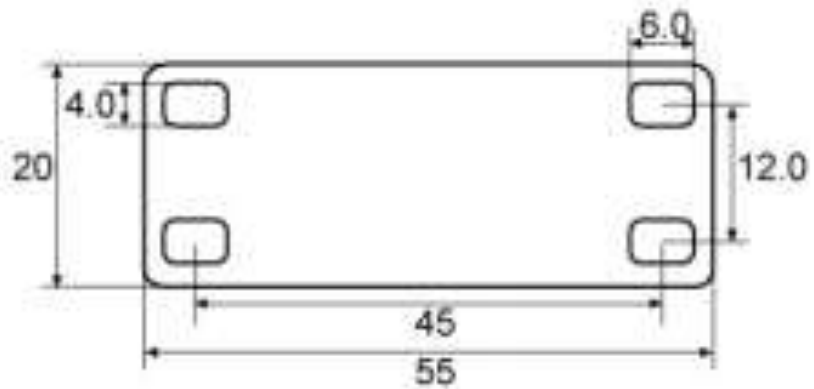


Figura 3.16: Dimensiones y diseño de la etiqueta amarilla.

Fuente: Estándar de instalación del RTN 950A

3.2.6.2 Etiquetas tipo L

El etiquetado será conforme al estándar de ingeniería de Huawei proporcionado por fábrica (Figura 3.17), usado para los etiquetados de breaker de energía descritos líneas abajo. En caso se utilice bridas de placa marcadora, el rotulado debe estar impreso. Se sugiere el uso de rotuladoras.

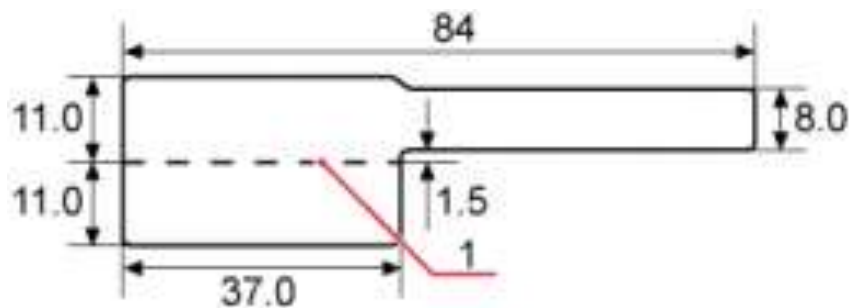


Figura 3.17: Dimensiones y diseño del etiquetado tipo L.

Fuente: Estándar de instalación del RTN 950A.

3.2.6.3 Etiquetado de Breaker a IDU (MAIN)

El rotulado deberá realizarse con Plumón Indeleble color negro y/o impreso (Tipo letra Arial) en mayúscula bajo el siguiente formato:

- Cara Frontal: Se deberá llenar bajo el siguiente formato.

Site Origen: Nueva Requena.

Site Destino TO: Campo Verde.

- Cara Dorsal: Se deberá llenar bajo el siguiente formato.

Ubicación en PDU: PDU POS F3.

Ubicación RTN: TO: POWER IDU "X "

MAIN.

Donde "X" indica el número de Tarjeta instalada en la IDU
(Por ejemplo: IDU 0, IDU 1), según la figura 3.18.



Figura 3.18: Etiqueta de Breaker a IDU 0 (MAIN).

Fuente: Elaboración Propia

3.2.6.4 Etiquetado de IDU a Breaker (MAIN)

El rotulado deberá realizarse con Plumón Indeleble negro y/o impreso (tipo letra Arial) en mayúscula bajo el siguiente formato:

- Cara Frontal: Se deberá llenar bajo el siguiente formato.

Site Origen Nueva Requena.

Site Destino TO: Campo Verde

- Cara Dorsal: Se deberá llenar bajo el siguiente formato

Ubicación RTN: POWER IDU "X "

MAIN

Ubicación en PDU: TO: PDU POS F3

Donde "X" indica el número de Tarjeta instalada en la IDU (Por ejemplo: IDU 0, IDU 1), según la figura 3.19.



Figura 3.19: Etiquetado de IDU a Breaker (MAIN).

Fuente: Elaboración Propia.

3.2.6.5 Etiquetado de Breaker a IDU (Stand By)

El rotulado deberá realizarse con Plumón Indeleble negro y/o impreso (tipo letra Arial) en mayúscula bajo el siguiente formato:

- Cara Frontal: Se deberá llenar bajo el siguiente formato.

Site Origen: Nueva Requena.

Site Destino TO: Campo Verde

- Cara Dorsal: Se deberá llenar bajo el siguiente formato

Ubicación en PDU: PDU POS F4

Ubicación en RTN: TO: POWER IDU "X "

STAND BY

Donde "X" indica el número de Tarjeta instalada en la IDU
(Por ejm: IDU 0, IDU 1), según lo indicado en la figura 3.20.

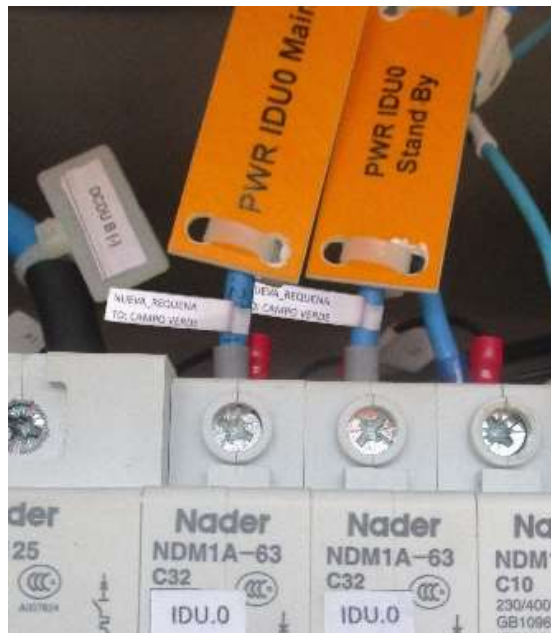


Figura 3.20: Etiquetado de Breaker a IDU (Stand By).

Fuente: Elaboración Propia.

3.2.6.6 Etiquetado de IDU a Breaker (Stand By)

El rotulado deberá realizarse con Plumón Indeleble negro y/o impreso (tipo letra Arial) en mayúscula bajo el siguiente formato:

- Cara Frontal: Se deberá llenar bajo el siguiente formato.

Site Origen: Nueva Requena.

Site Destino TO: Campo Verde

- Cara Dorsal: Se deberá llenar bajo el siguiente formato.

Ubicación RTN: POWER IDU "X "

STAND BY

Ubicación en PDU: TO: PDU POS F4.

Donde "X" indica el número de Tarjeta instalada en la IDU (Por ejm: IDU 0, IDU 1), según lo indicado en la figura 3.21.

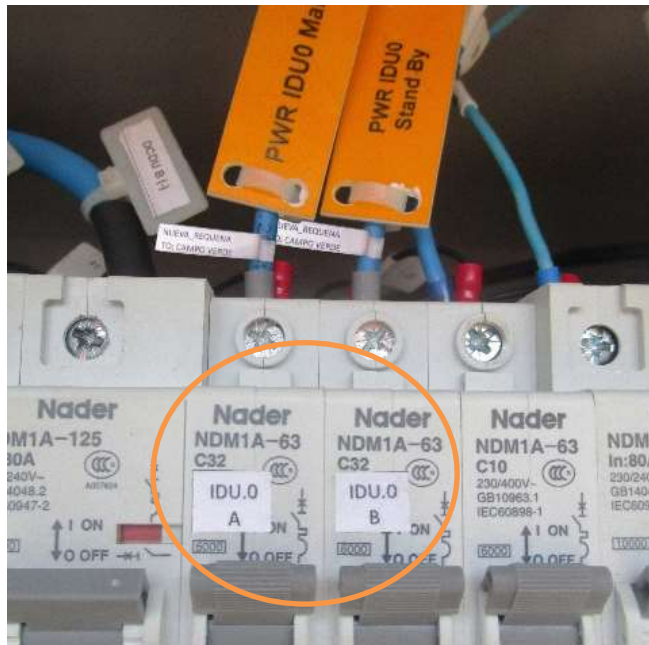


Figura 3.21: Rotulado de Breakers.

Fuente: Elaboración Propia

3.2.6.7 Rotulado de IDU RTN 950 A

Se debe seguir el siguiente formato para el rotulado de la IDU (Figura 3.22):

- Name of remote site.
- ID of remote site.
- Transmission Frequency.
- Reception Frequency.
- Polarization of link



Figura 3.23: Rotulado de IDU RTN 950A instalada en cada cable coaxial.

Fuente: Elaboración Propia.

3.2.6.8 Rotulado de la Antena

El rotulado se hará con plumón indeleble en la antena y una etiqueta autoadhesiva colocada en la misma antena o en el acoplador con siguientes datos del enlace, y los cuales se encuentran mostrados en la figura 3.24.

- Nombre.
- Dirección.
- Frecuencias.
- Polarización
- Sub-banda.
- Config. 1+0 XPIC



Figura 3.24: Rotulado de Antena con plumón indeleble.

Fuente: Elaboración Propia

Para el rotulado de la antena con una etiqueta autoadhesiva se tendrá en cuenta el siguiente formato (Figura 3.25):

- ESTACIÓN: Nombre del sitio.
- ENLACE: Nombre hacia donde apunta.
- FREC. TX: Frecuencia transmisión.
- FREC. RX: Frecuencia recepción.
- NE ID: NE-ID del equipo.
- NE IP: IP del equipo.
- SUB_BANDA: sub banda de la antena.
- POLARIZACIÓN: H+V.
- CONF: 1+0 XPIC



Figura 3.25: Rotulado de la antena con etiqueta autoadhesiva.

Fuente: Elaboración Propia

3.2.7 Instalación de la IDU RTN 950 A

3.2.7.1 Distribución de los SLOTS de la IDU RTN 950 A

La distribución de los SLOTS, es según lo indicado en la figura 3.26:

Slot11 (FAN)	Slot 7 (CSHO)	
	Slot 5 (EXT)	Slot 6 (EXT)
	Slot 3 (EXT)	Slot 4 (EXT)
	Slot 1 (EXT)	Slot 2 (EXT)

Figura 3.26: Posición de los SLOLT's.

Fuente: Estándar de instalación del RTN 950 A

3.2.7.2 Asignación de SLOTS para tarjetas de RTN 950 A

En la tabla 3.1, se detalla las diferentes tarjetas que tiene el RTN 950A en su interior, así como la descripción de las mismas.

Tabla 3.1: Relación de Tarjetas con SLOTS para las RTN 950 A.

Board Acronym	Board Name	Valid Slot	Description
CSHO	Hybrid System control, switching and timing board	Slot 7	Provides full time division cross-connections for VC-12/VC-3/VC-4 services equivalent to 32x32 VC-4s.
			Provides the 10 Gbit/s packet switching capability.
			Performs system communication and control.

		Provides two-48 V/-60 V DC power input.
		Provides the clock processing function, supports one external clock input/output and two external time inputs/outputs. External time interface 1 shares a port with the external clock interface.
		Uses SFP modules to provide two STM-1 optical/electrical interfaces.
		Provides 16 TDM E1 interfaces. Supports 75-ohm/120-ohm adaptive impedance.
		Provides six GE interfaces, of which four can be only RJ45 GE electrical interfaces, and the other two can be GE/FE optical interfaces or GE electrical interfaces provided by SFP module. The GE electrical interfaces are compatible with the FE electrical interfaces.
		Provides one Ethernet NM interface, one NM serial interface, and one NM cascading interface.
		Provides one Huawei outdoor cabinet monitoring interface. The outdoor cabinet

			<p>monitoring interface shares a port with external time interface 2.</p>
			<p>Provides one USB interface for software upgrade and data backup.</p>
ISV3	Versatile IF Board	Slot 1 to Slot 6	<p>Provides one IF interface.</p>
			<p>Supports QPSK to 1024QAM modulation plus QPSK/16QAM strong FEC, and 512AM/1024QAM light FEC.</p>
			<p>Supports interconnected with OptiX RTN 905 (in modulation schemes from QPSK strong to 1024QAM light).</p>
			<p>Supports interconnection with ISU2/ISX2 boards (in modulation schemes of QPSK to 256QAM)</p>
			<p>Supports integrated IP microwave and SDH microwave. The supported service modes are Native E1+Ethernet, Native STM-1+Ethernet or SDH.</p>
			<p>Supports the XPIC function.</p>
			<p>Supports the AM function.</p>
			<p>Supports Ethernet frame header compression.</p>

			Supports the PLA function.
			Supports the EPLA function in 950A.
ML1	16xE1 (Smart) tributary board	Slot 2	Provides sixteen 75-ohm or 120-ohm Smart E1 interfaces.
FAN	Fan Board	Slot 11	Supports CES E1, ATM/IMA E1, and Fractional E1.
			Cools and ventilates the IDU.

3.2.8 Consideraciones para el cableado de transmisión

Para una correcta instalación del cableado hacia el RTN950A debe tomarse en cuenta las siguientes consideraciones:

- El peinado del cable de gestión (sobrante) (UTP cat6), deberá colocarse en la cara lateral comprendida entre el equipo RTN y la BBU.
- Los cables de energía serán peinados por el lado izquierdo del gabinete tal como se aprecia en la figura 3.27.

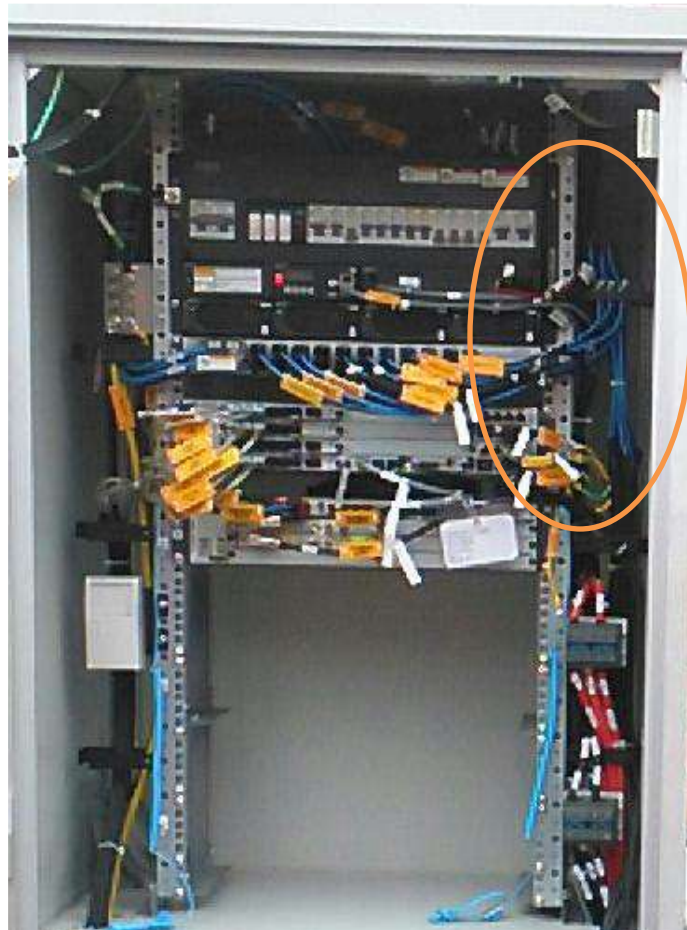


Figura 3.27: Peinado de cables.

Fuente: Estándar de instalación RTN 950 A

3.2.9 Consideraciones para el aterrado de los equipos en sala

- Es de extrema importancia que el trayecto de más baja impedancia sea el que vaya directamente al punto de tierra principal.

- No conecte otro equipo al mismo conductor de conexión a tierra. Cada equipo o unidad en la instalación debe tener su propio conductor de tierra, separado del resto, para la conexión directa a un punto principal de tierra común de muy baja impedancia.
- El equipo deberá conectarse directamente al borne de conexión a tierra del sistema de alimentación de Corriente Continua (DC), o a un puente de unión procedente de una barra de tierra, la cual se encuentra conectada al electrodo de conexión a tierra de la fuente de alimentación DC.
- La fuente de alimentación de corriente continua (DC) debe estar en el mismo local que los equipos de radio.
- No debe existir ningún dispositivo de desconexión o de interrupción en el conductor del circuito de tierra entre la fuente de alimentación DC y el soporte de conexión a tierra.

3.2.10 Consideraciones para el aterrado de RTN950A

Para el correcto aterrado de la RTN950 debe tomarse en cuenta las siguientes consideraciones.

Para los modelos APM30H, TP48200A (Minishelter) y TP48200A-HX09A6 se aterrara a su respectiva barra de tierra interna.

Para el modelo TP48200B (Indoor) será aterrado al mismo chasis.

Para los gabinetes propios de Entel:

ELTEK y Rack polinomio será aterrado a la barra de tierra existente y no en el chasis (Observar figura 3.28)



Figura 3.28: Barra de Tierra Interna.

Fuente: Estándar de instalación RTN 950 A

3.2.11 Instalación en exteriores

3.2.11.1 Instalación del soporte

Para montar la unidad externa (ODU) y antena en la torre se instalara un soporte de acero galvanizado.

El tipo de soporte será definido por el tipo de torre que se encuentre en el sitio existiendo:

- Soporte universal torres autoportadas y/o arriostradas (Ver Figuras 3.29 y 3.30).

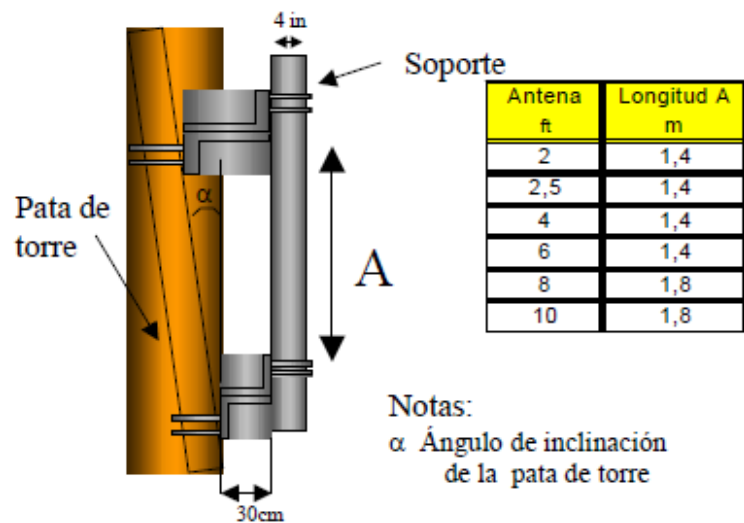


Figura 3.29: Soporte para torres autoportadas.

Fuente: Estándar de instalación de equipos Huawei”

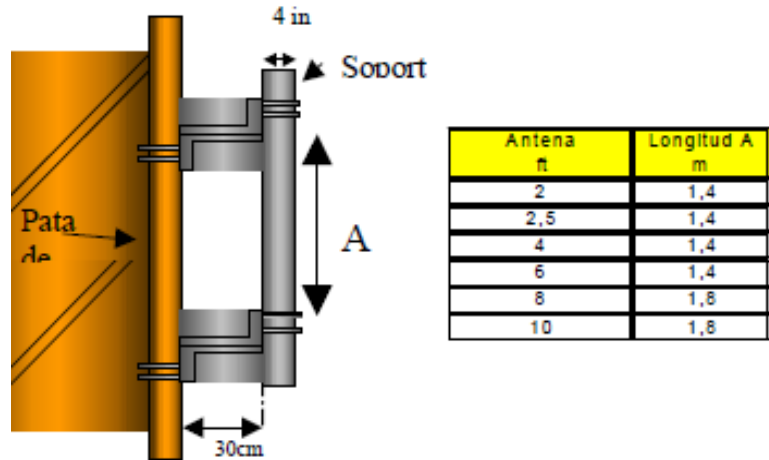


Figura 3.30: Soporte para torres arriostradas.

Fuente: Estándar de instalación de equipos Huawei”

- Soporte bandera para torres arriostradas (Figura 3.31)

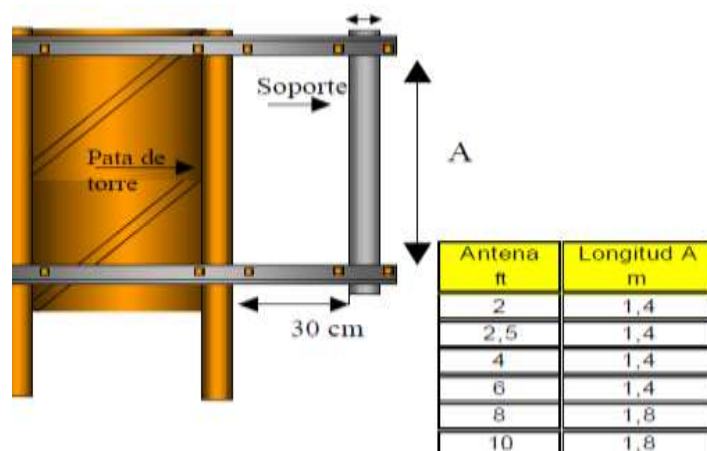


Figura 3.31: Soporte para torres arriostradas.

Fuente: Estándar de instalación de equipos Huawei.

- Soporte de cadena para Monopolo (Figura 3.32).



Figura 3.32: Tipo de soporte para torres Monopolo.

Fuente: Estándar de instalación de equipos Huawei.

Es importante verificar que el soporte a utilizar este instalado correctamente, es decir, que este soporte esté apuntando al azimut correspondiente, tomar como referencia lo indicado en la figura 3.33.

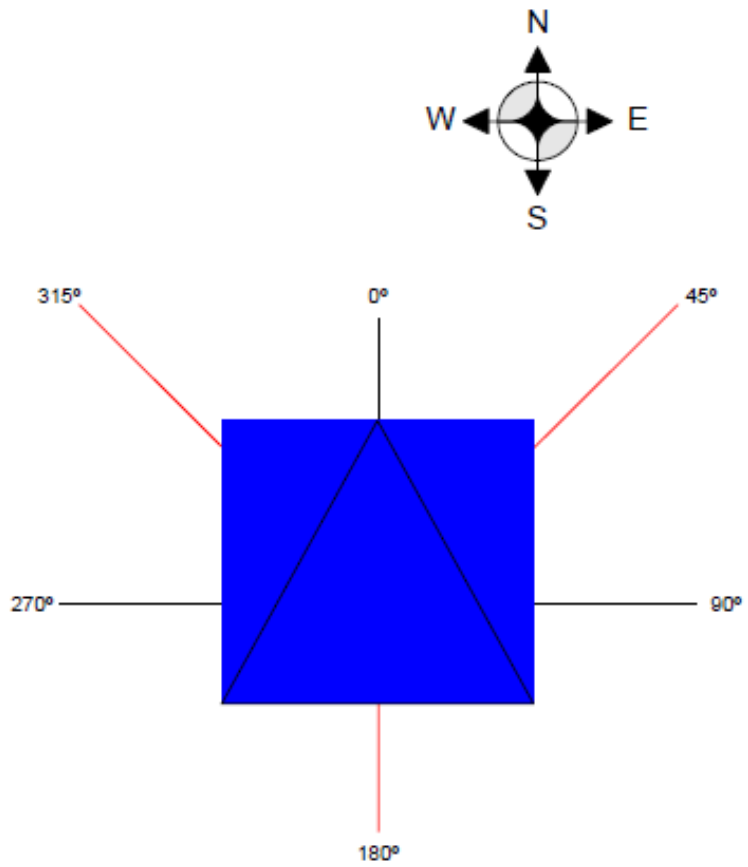


Figura 3.33: Identificación de azimuth para instalación de soporte.

Fuente: Estándar de instalación de equipos Huawei.

Es necesario colocar el herraje y materiales suficientes para instalar la antena y las unidades externas de acuerdo a cada equipo Huawei.

En caso en que el soporte no cumpla con estas especificaciones o se encuentre instalado en diferente azimut o altura indicada en el estudio de factibilidad, se deberá informar al personal encargado para tomar las acciones correspondientes y evitar que dicho equipo quedara mal instalado por cuestiones del soporte.

3.2.11.2 Instalación de la antena

Las antenas deben instalarse de acuerdo con las instrucciones del fabricante, para más detalle observar la figura 3.34.

- Para el montaje directo de las ODU's la antena incluye un herraje con rotador de polaridad incorporado.
- Dependiendo de la banda de frecuencia, estas antenas están disponibles en diámetros de hasta 1,8 m.
- Cuando vayan a utilizarse antenas estándar, la ODU debe instalarse en un montaje remoto y se debe utilizar una guía de onda flexible para conectar la antena.
- Antes de ir al sitio, verifique poseer las herramientas de instalación requeridas que recomienda el fabricante de la

antena y tener los datos necesarios para ubicar la antena en la torre y para configurar su polarización y su orientación inicial.

- En el caso de ODU's de montaje directo, la polarización se determina mediante la configuración del rotador de polarización.
- Para las antenas estándar, la polarización se determina mediante la orientación de la antena.



Figura 3.34: Tipos de montaje de la ODU.

Fuente: Estándar de instalación de equipos Huawei.

3.2.11.3 Instalación de la ODU.

Las ODU's tendrán que ser instaladas en el soporte de tal forma que las unidades estén lo más cercanas a la cara inmediata de la torre para su fácil acceso.

En caso en que el soporte no cumpla con estas especificaciones se deberá informar al personal encargado para tomar las acciones correspondientes y evitar que dicho equipo quedara mal instalado por cuestiones del soporte.

Una ODU debería instalarse con los conectores orientados hacia abajo. Para montar la ODU:

- Verifique que el herraje de montaje de la ODU, el rotador de polarización, el alimentador de la guía de onda de la ODU y el aro de juntura (O-ring) no estén dañados y se encuentren limpios y secos.
- Configure el rotador de polarización para la polarización requerida.
- Aplique una delgada capa de grasa siliconada alrededor del aro de juntura (O-ring) del cabezal de alimentación de la ODU.

- Afloje completamente las tuercas de los cuatro tornillos de montaje de la ODU.
- Posicione la ODU para que las ranuras de la guía de onda (ODU y rotador) estén alineadas cuando la ODU se rote a su posición final.
- Coloque la ODU en el herraje de montaje insertando los tornillos a través de los orificios receptores en el herraje, y luego rote la ODU en sentido de las manecillas del reloj para que los tornillos de montaje ajusten fuertemente contra los extremos de la ranura.
- Lleve la ODU cuidadosamente hacia adelante para conectar totalmente el cabezal de alimentación de la ODU con el rotador de polarización.



Figura 3.35: Montaje de Antena y colocación de la ODU.

Fuente: Elaboración Propia.

3.2.11.4 Configuración de la ODU RTN XMC-2

La ODU RTN XMC-2 podrá tener dos interfaz de conexión con la antena microondas, mediante un acoplador o mediante un OMT (Ver Figuras 3.36 y 3.37).

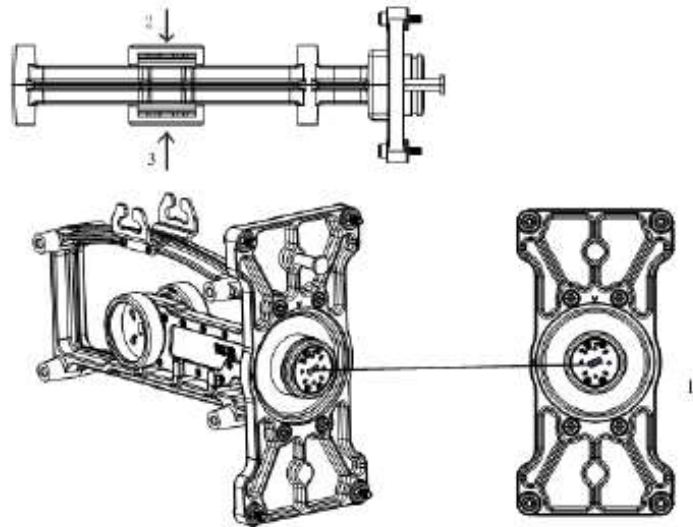


Figura 3.36: Interfaz del Coupler.

Fuente: Estándar de instalación RTN 950 A.

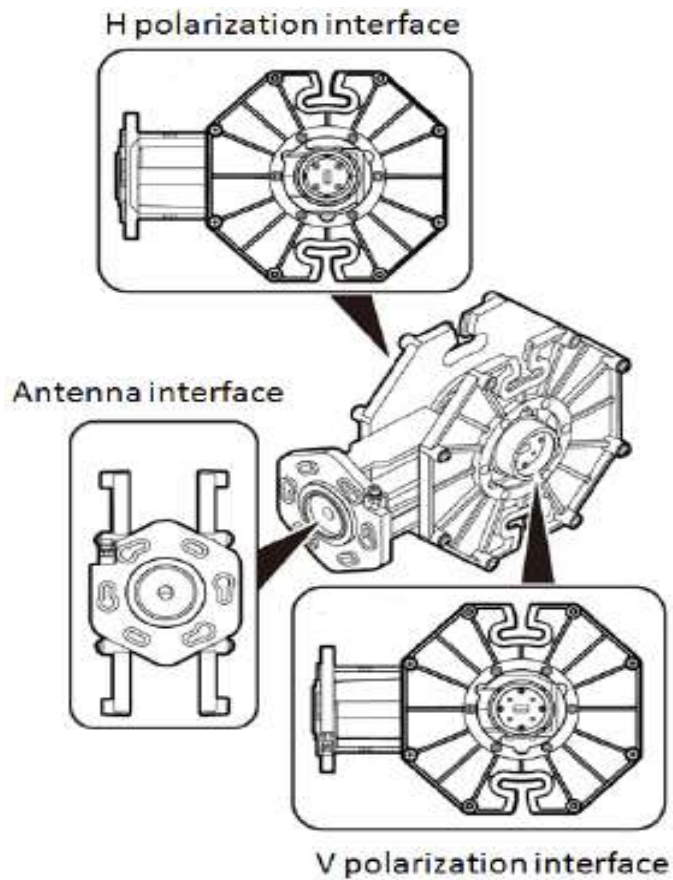


Figura 3.37: Interfaz del OMT.

Fuente: Estándar de instalación RTN 950 A

3.2.11.5 Instalación de un Acoplador.

Se encuentran disponibles acopladores (combinadores) de pérdida equitativa o desigual.

Para pérdida equitativa la atenuación por cada lado es nominalmente de 3,5 dB, que se aplica en ambas direcciones

de transmisión y de recepción, significando que el total de atenuación es de 7 dB.

Para pérdida desigual la atenuación es nominalmente de 1,5/6,5 dB. Se aplican en bandas afectadas por la lluvia, de 13 GHz en adelante.

Cuando se utiliza un acoplador para combinar dos ODUs en una polarización única los canales operativos deben elegirse dentro de la misma opción de diplexor. Si las dos ODUs no poseen la misma opción de sintonía/diplexor entonces pueden generarse interferencias resultando en un rendimiento de enlace degradado.

La lógica para usar relaciones desiguales es que pueden demostrar una menor interrupción anual debido a la absorción por lluvia, en comparación con los enlaces implementados con acopladores de pérdida equitativa.

Antes de instalar el acoplador se verifica que haya espacio físico libre suficiente para el acoplador y sus ODUs. No debería haber problemas de espacio utilizando las antenas aprobadas por Huawei si están correctamente

instaladas en su montaje con el desplazamiento apropiado hacia la izquierda o derecha. Sin embargo, se debe tener cuidado en lugares que requieren la instalación de una antena no estándar.

Las ODU se conectan al acoplador como si se conectasen a una antena, excepto que no hay un rotador de polarización asociado con cada ODU. Por el contrario la polarización del acoplador es configurada para coincidir con la polarización de la antena V o H utilizando las interfaces del acoplador de 0 grado o 90 grados, que se suministran con el acoplador. En forma predeterminada, los acopladores están configurados con la interfaz de polarización vertical.

Para instalar un acoplador:

Para una antena de polarización vertical continúe con el segundo paso y para una antena de polarización horizontal comience con el primer paso.

- Para cambiar la interfaz del acoplador, desatornille los cuatro tronillos de sujeción. Reemplácela con la interfaz requerida, asegurando la alineación correcta

entre los indicadores de alineación del cuerpo del acoplador y la interfaz. Localice el aro de junta (O-ring) en la interfaz recientemente colocada.

- Quite toda la cinta de protección de los puertos de guía de onda y verifique que el herraje de montaje del acoplador/ODU, el rotador de polarización, la interfaz del acoplador y el aro de junta (O-ring) estén libres de daño, limpios y secos.
- Aplique una fina capa de grasa siliconada en el aro de junta (O-ring) de la interfaz del acoplador.
- Afloje completamente las tuercas de los cuatro tornillos de montaje del acoplador.
- Posicione el acoplador para que las ranuras de la guía de onda (acoplador y rotador) estén alineadas cuando la ODU se rote hasta su posición final.
- Coloque el acoplador en el herraje de montaje insertando los tornillos a través de los orificios receptores en el herraje, luego rote el acoplador en sentido de las manecillas del reloj para que los tornillos de montaje se ajusten fuertemente contra los extremos de la ranura.
- Lleve el acoplador cuidadosamente hacia adelante para conectar el cabezal de alimentación del

acoplador con el rotador de polarización del herraje de montaje.

- Ajuste manualmente las cuatro tuercas, verificando que el acoplador y el herraje de montaje estén conectados correctamente.
- Asegúrese de que las puntas inferiores de los tornillos del acoplador estén fijadas correctamente, luego ajuste las cuatro tuercas con una llave de boca abierta de 19 mm (3/4”).
- Para quitar un acoplador, realice este procedimiento de modo inverso.

3.2.11.6 Aterramiento de la ODU

El aterramiento de la ODU XMC-2 se realizará con cable de 10mm² y podrá tener una distancia máxima de 5 metros, este deberá ser conectado al punto de aterramiento adecuado según el siguiente criterio:

- **Barra de aterramiento**

En caso de tener una barra cercana se procederá a colocar el cable conectado a dicho punto (Ver figuras 3.38 y 3.39).



Figura 3.38: Aterramiento a la barra.

Fuente: Estándar de instalación RTN 950 A.



Figura 3.39: Aterramiento a la barra.

Fuente: Elaboración Propia.

- **Cable principal de aterramiento**

En caso de no tener una barra de aterramiento instalada cerca de la ODU, se deberá conectar directamente al cable de tierra principal (Normalmente de 35mm^2) usando un conector pitbull (Observar figura 3.40), previamente coordinado con el implementador y el sustento de la falta de aterramiento.



Figura 3.40: Aterramiento al cable principal.

Fuente: Estándar de instalación RTN 950 A.

- **Aterramiento a Estructura de la Torre:**

Se deberá aterrar a la Escalerilla Rack para cables (Ver figura 3.41), mas no a las diagonales o montantes. Previamente coordinado con el implementador y el sustento de la falta de barra de tierra.



Figura 3.41: Aterramiento a la escalerilla rack de torre.

Fuente: Elaboración Propia.

3.2.11.7 Aterramiento del cable IF

- **A la altura de la ODU**

El primer grounding kit que se coloca al cable IF y se instala por debajo del mástil de MW, máximo a 2 metros de la ODU (Observar figura 3.42), cuando inicia la corrida vertical de la línea; este deberá ser aplicado de acuerdo a las especificaciones que recomienda el fabricante. Aterrizándose este en la barra de tierra destinada.

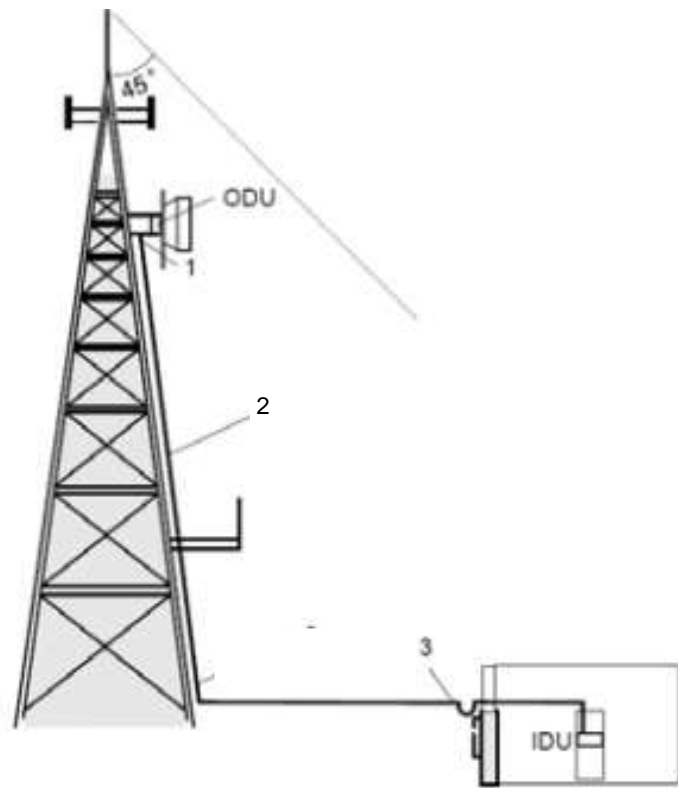


Figura 3.42: Ubicación de los grounding kits.

Fuente: Estándar de instalación de los equipos Huawei

- **A la mitad de torre**

Solo aplica si la altura de la antena MW supera los 40 metros, en cuyo caso se deberá ubicar la barra a mitad de torre (Figura 3.43) y colocar un Grounding kit intermedio.



Figura 3.43: Ubicación del segundo grounding kit.

Fuente: Elaboración propia.

- **A la salida del gabinete o shelter**

El tercer grounding kit se instala en la barra externa que queda por debajo del pasamuros. Se observa en la figura 3.44 que el cable de cola de tierra del grounding kit

permanezca horizontal y se vaya desvaneciendo poco a poco con una curvatura de 5" hasta alcanzar la barra de tierra externa.

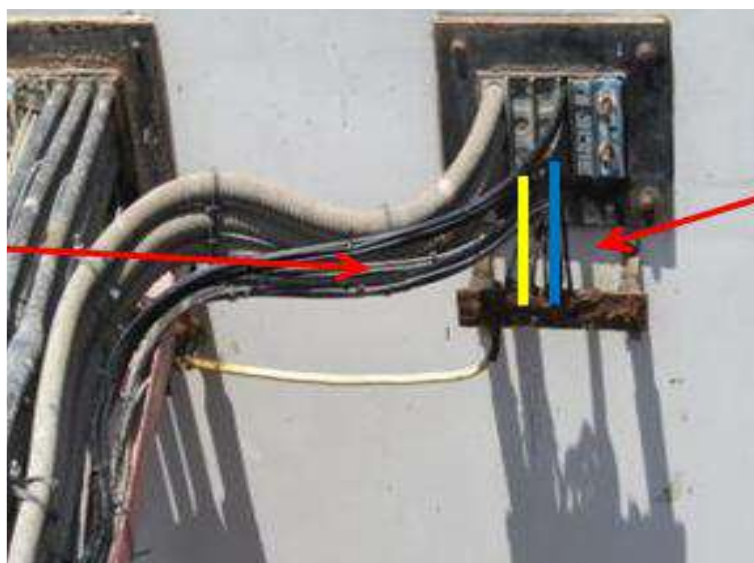


Figura 3.44: Grounding Kit a la salida del Shelter.

Fuente: Estándar de instalación RTN 950 A

3.2.11.8 Preparación del Grounding Kit

Finalizada la preparación del cable IF, debe conectarse mediante el grounding kit a las barras ubicadas en torre o a la salida del pasamuros según sea el caso.

Para el aterramiento se utilizará cable GND (verde/amarillo de 10mm², con terminal OT y debidamente engrasado en ambos terminales), en la figura 3.45 se puede apreciar como es la instalación del grounding kit.

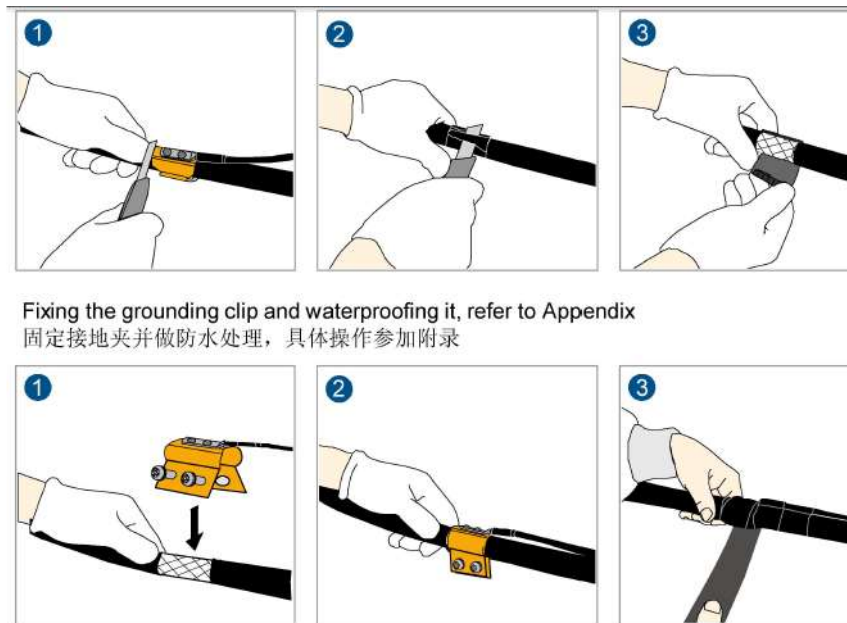


Figura 3.45: Instalación en cable IF del grounding kit.

Fuente: Estándar de instalación RTN 950 A.

3.2.11.9 Engrasado de Pernería

Toda la pernería de la antena microondas deberá ser protegida con grasa dieléctrica color ploma (Figura 3.46).



Figura 3.46: Engrasado de Pernería.

Fuente: Elaboración Propia.

Medidas Anti-Corrosión

Para evitar la corrosión en las antenas MW seguir estas directivas.

- Para antenas hasta un diámetro de 1.2m se deberá aplicar Silicona Transparente en los remaches del reflector y en la unión entre reflector y base.

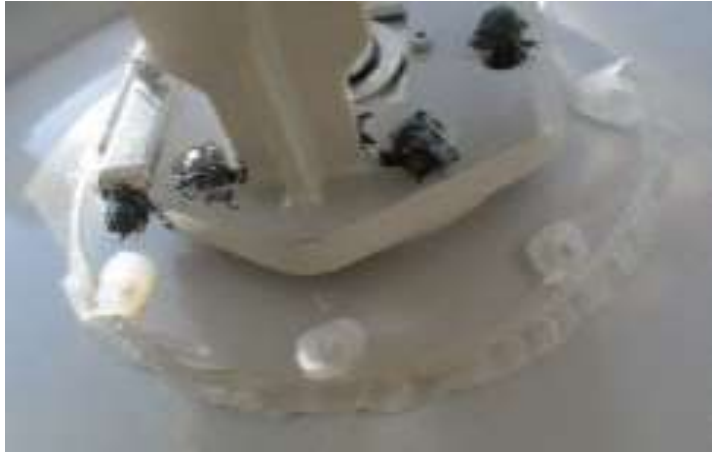


Figura 3.47: Medidas de Anti-Corrosión para la antena.

Fuente: Elaboración Propia.

3.3 Revisión y Consolidación de Resultados

Antes de comenzar a detallar acerca de los resultados del enlace microondas, se debe tener en cuenta que no se realizaron las mediciones de ROE (Relación de Onda Estacionaria) correspondientes, debido a que en esta localidad no se encontraron interferencia de otras señales porque antes de implementarse este enlace no existía ninguna cobertura móvil.

Para esta parte, se tienen la figura 3.48 la cual nos muestra los niveles conseguidos una vez instalados los equipos tanto en site A (Nueva Requena) como en el site B (Campo Verde), por lo tanto se está dando a conocer los

parámetros básicos del enlace que han sido obtenidos realizando las pruebas necesarias (Anexo 1.3), encontrando así lo siguiente:

- El tipo de protección del enlace: En donde la radio soporta la agregación de enlaces (LAG) en configuración 1+0, para maximizar la capacidad. La capacidad de Gbit/s cumple con el requisito de ancho de banda de LTE.
- XPIC: El cual se encuentra activado, debido a que está es una técnica que consiste en duplicar la capacidad de un canal de comunicación radio utilizando dos polarizaciones ortogonales, es decir (V+H).
- Dirección de la polarización tanto vertical como horizontal: Aquí se detalla en que tarjeta se ubicará, así como el Slot de la IDU que se utilizará (Ejm: 3-ISV3, la tarjeta a instalar sería una de tipo ISV3 y el slot a utilizar sería el número 3). Los tipos de tarjetas se describen en la tabla 3.1

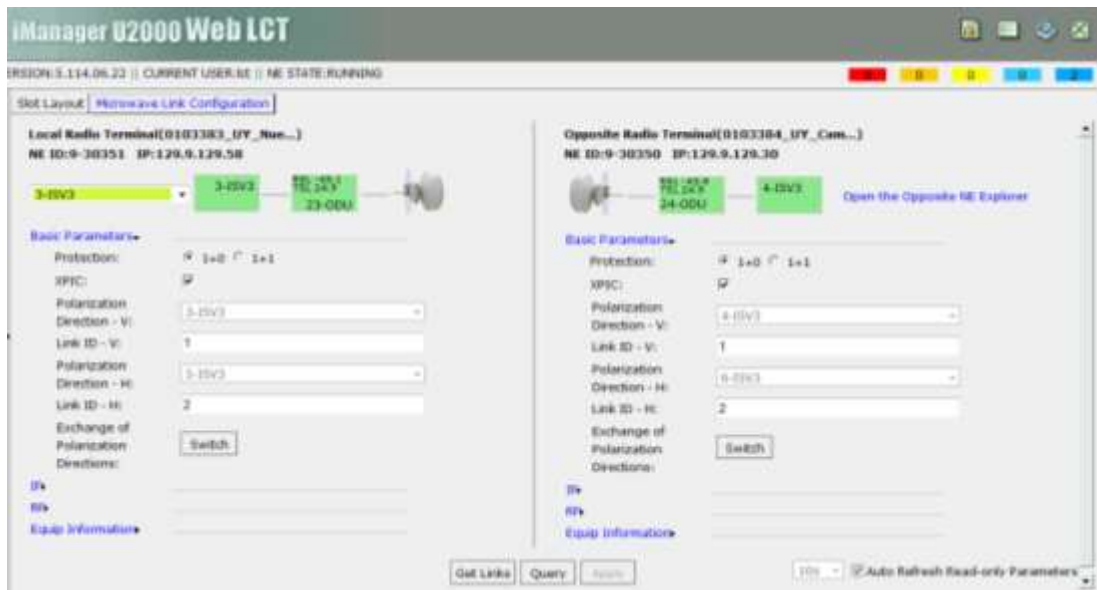


Figura 3.48: Niveles iniciales en los Sites A y B.

Fuente: Elaboración Propia

Ahora se tiene la figura 3.49, en donde concierne a los resultados RF del enlace microondas, encontrando así lo siguiente:

- Las frecuencias de transmisión y recepción expresadas en MHz y las cuales se deben asemejar a lo expresado en el link Budget.
- El T/R spacing, el expresa la distancia que hay entre la frecuencia de transmisión con la frecuencia de recepción, expresado también en MHz.
- ATPC desactivado, ya que no necesitamos de un control automático de la potencia de transmisión el cual es usado para disminuir la

interferencia, atenuando la potencia de transmisión bajo condiciones de no desvanecimiento y aumentando la potencia durante el fading.

- Potencia de transmisión (Tx), la cual se encuentra expresada en dBm y se asemeja a la presentada en el link budget.
- Potencia para ser recibida, en la polarización vertical y horizontal, expresada en dBm.
- Potencia de recepción en vertical y horizontal, expresada en dBm.

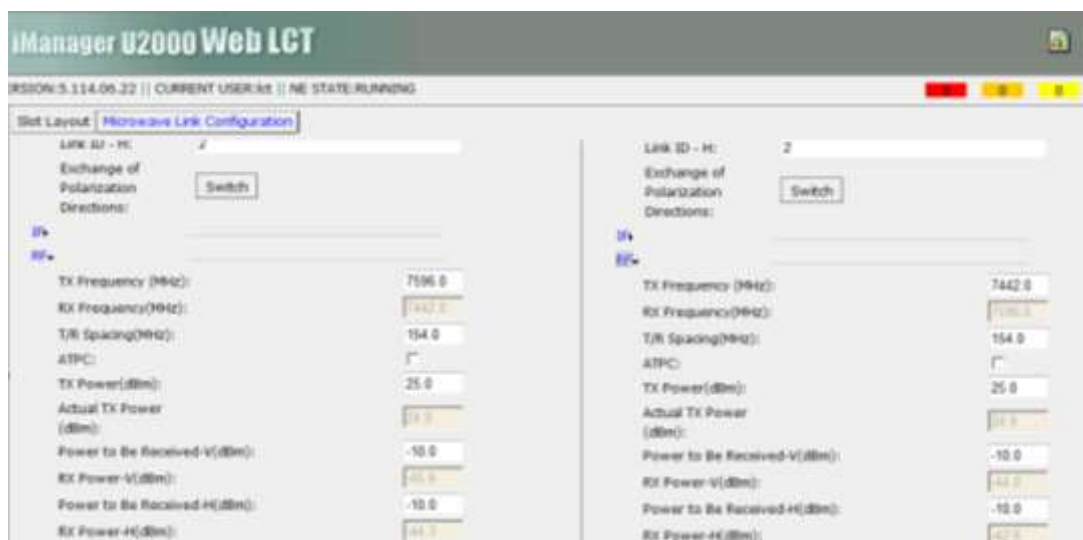


Figura 3.49: Niveles RF en los Sites A y B.

Fuente: Elaboración Propia

En las figuras 3.50 y 3.51, se detalla el rendimiento de la tarjeta de tipo ISV3 insertada en el slot 3 y 5 (Versatile IF Board) para el site de Nueva

Requena en la polarización vertical y horizontal, respectivamente. Podemos notar aquí lo siguiente:

- El tipo de modulación, la cual es QAM.
- IF BER (Tasa de Error Binario) (%).
- FEC (corrección de errores hacia adelante).
- El XPD máxima y mínima, la cual es la protección frente a la polarización cruzada de las antenas en dB.
- El XPIC (cancelación de la interferencia de la polarización cruzada), el cual está expresado en dB.

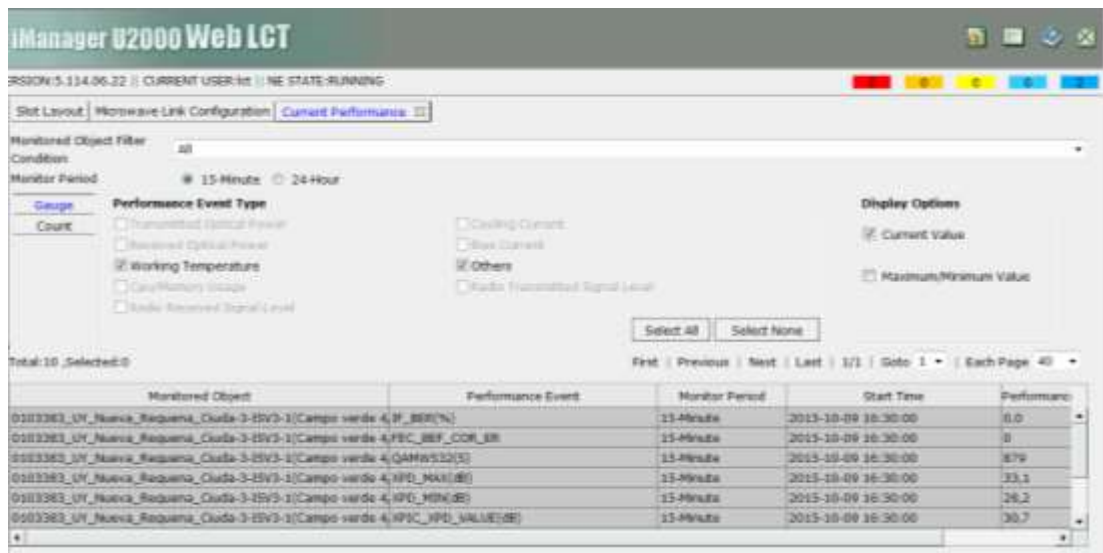


Figura 3.50: Rendimiento de la tarjeta ISV3 – Slot 3 (Nueva Requena).

Fuente: Elaboración Propia

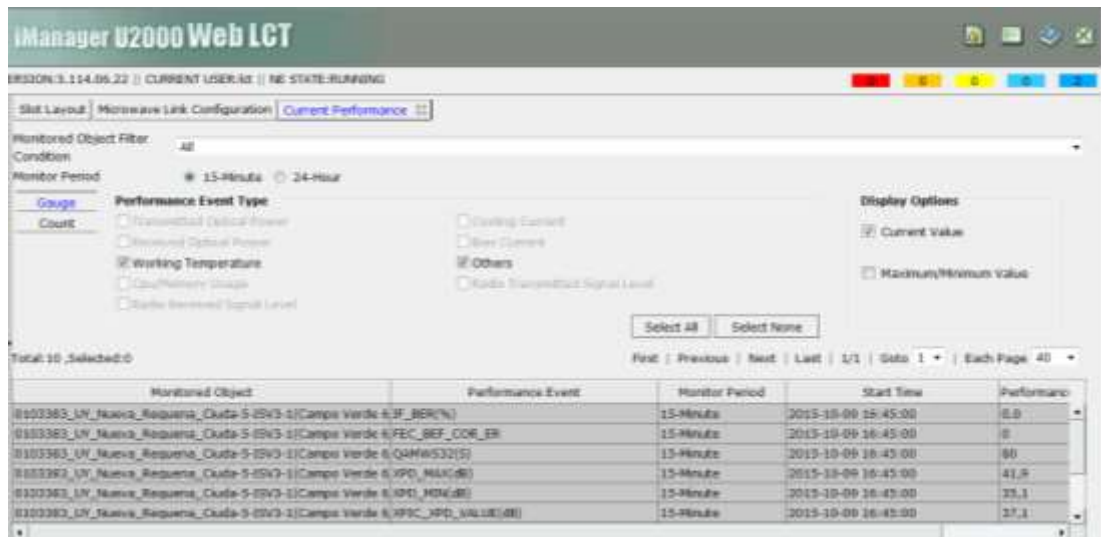


Figura 3.51: Rendimiento de la tarjeta ISV3 – Slot 5 (Nueva Requena).

Fuente: Elaboración Propia

Para finalizar, en las figuras 3.52 y 3.53, se detalla el rendimiento de la tarjeta de tipo ISV3 insertada en el slot 4 y 6 (Versatile IF Board) para el site de Campo Verde en la polarización vertical y horizontal, respectivamente.

Podemos notar aquí lo siguiente:

- El tipo de modulación, la cual es QAM.
- IF BER (Tasa de Error Binario) (%).
- FEC (corrección de errores hacia adelante)
- El XPD máxima y mínima, la cual es la protección frente a la polarización cruzada de las antenas en dB.
- El XPIC (cancelación de la interferencia de la polarización cruzada), el cual está expresado en dB.

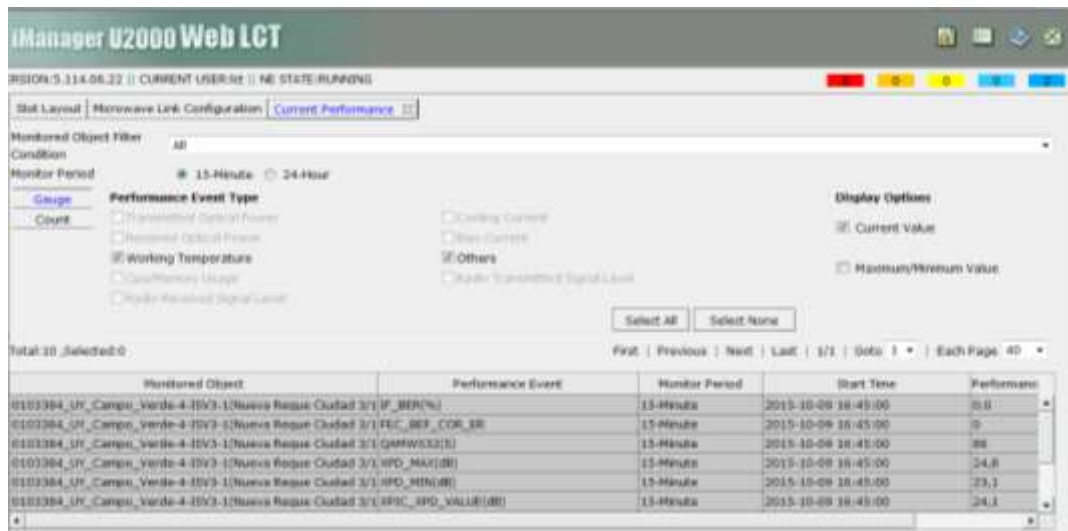


Figura 3.52: Rendimiento de la tarjeta ISV3 – Slot 4 (Campo Verde).

Fuente: Elaboración Propia

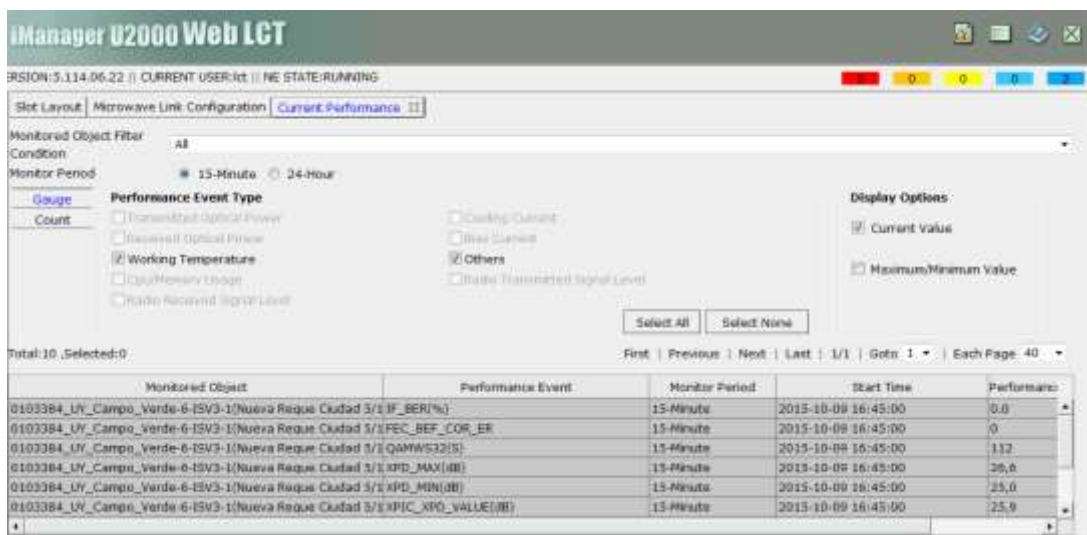


Figura 3.53: Rendimiento de la tarjeta ISV3 – Slot 6 (Campo Verde).

Fuente: Elaboración Propia

CONCLUSIONES

- Se realizó con éxito la implementación del enlace de microondas abarcando las 3 tecnologías (2G, 3G y LTE) y solucionando el problema de telefonía celular en el distrito de Nueva Requena, ubicado en el departamento de Ucayali.
- Este nuevo radioenlace entre Nueva Requena y Campo Verde cubre con la necesidad que tenía la población en poder comunicarse entre sí y con sus familiares ubicados fuera de la localidad; por lo tanto, ayudará al crecimiento en los sectores de educación, salud y economía de la localidad.
- Durante el proceso de implementación del radioenlace se realizaron las pruebas necesarias de la calidad del radioenlace, según el estándar de calidad, mediante el cual se concluyó que el radioenlace cuenta con nivel de calidad.
- La implementación del enlace de microondas se realizó con las tecnologías adecuadas, con estudios de factibilidad que probaron que el enlace podía ser implementado con satisfacción debido a que se encontró los parámetros de acuerdo a lo estimado para el funcionamiento del radioenlace, y con esto ya se procedió a la elección de los equipos a instalar.

- Este radioenlace utiliza modulación adaptiva (AM) lo cual permite aumentar el ancho de banda de transmisión hasta 4 veces y reducir los gastos de espectro. Además, gracias a las tecnologías de compresión de cabeceras y XPIC, la capacidad maximizada de un canal puede llegar a 2 Gbit/s, proporcionando gran ancho de banda para la backhaul móvil.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar este tipo de radioenlace, debido a que el radio de microondas IP es un elemento inteligente de red diseñado para gestionar, aprovisionar, monitorear y realizar diagnósticos en forma remota. Con estas sólidas características, los operadores de telecomunicaciones tendrán las herramientas para reducir los despachos comunes a los actuales sistemas de radio de microondas de "punto a punto". Desde GSM y UMTS a LTE, como la red de telefonía móvil evoluciona rápidamente y exige un mayor ancho de banda, la plataforma de radio por microondas se ha convertido en una solución ideal para la evolución sin inconvenientes de las redes backhaul GSM/UMTS/LTE., y mejora la eficiencia operativa, además de reducir gastos operativos y de capital.
- Se recomienda que para mantener este radioenlace se realice mantenimientos preventivos trimestrales o semestrales. Esto dependerá de la eventualidad con la que ocurran los fenómenos naturales en la región, debido a que pueden dañar algunos componentes del radioenlace o el alineamiento de las antenas se pueden ver afectada.

BIBLIOGRAFÍA

- Diseño de un enlace de microondas dedicado entre las radio bases de Acajete, Cuacnapala, Esperanza y una central de Puebla. [Tesis de Grado]. México: Instituto Politécnico Nacional; 2007.
- Análisis de alternativa de optimización del sistema de comunicaciones Petroproducción enlace distrito Quito – distrito Amazónico. [Tesis de Grado]. Ecuador: Escuela Politécnica Nacional; 2007.
- Diseño de enlace terrestre por línea de vista. [Tesis de Grado]. México: Instituto Politécnico Nacional; 2007.
- Bater Jr, Regis J. Comunicaciones en redes inalámbricas. Madrid: Editorial Mc Graw-Hill; 2003.
- Huawei Technologies (2009). *Opti X RTN 910/950 Hardware Description*. [Archivo de PDF]. Recuperado de: http://m.huawei.com/ilink/enenterprise/download/HW_201104.
- Nokia Siemens Network (2010). *Estándar de Instalación de Equipos Huawei*. [Archivo PDF]. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/143654679/Estandar-de-Instalacion-de-Equipos-de-MW-Huawei-V1-2>.

- Huawei del Perú (2014). *Estándar de Instalación RTN 950A*. [Archivo PDF]. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/317703487/Estandar-de-instalacion-RTN950-V3-0-pdf>.

ANEXO 1: LINK BUDGET

	0103383_UY_Nueva_Requen	0103384_UY_CAMPO_VERDE
Latitude	08 19 03.40 S	08 28 38.78 S
Longitude	074 51 07.06 W	074 48 24.48 W
True azimuth (°)	164.29	344.28
Vertical angle (°)	0.03	-0.16
Elevation (m)	170.60	192.60
Tower height (m)	60.00	54.00
Antenna model	A07D12HAC (TR)	A07D12HAC (TR)
Antenna gain (dBi)	36.90	36.90
Antenna height (m)	40.00	48.00
Connector loss (dB)	0.50	0.50
Circulator branching loss (dB)	1.00	1.00
Frequency (MHz)	7519.00	
Polarization	V + H	
Path length (km)	18.36	
Free space loss (dB)	135.27	
Atmospheric absorption loss (dB)	0.18	
Net path loss (dB)	64.65	64.65
Radio model	7G_XMC2_64Q_2 8M_136M	7G_XMC2_64Q_2 8M_136M
TX power (dBm)	21.00	21.00
Emission designator	28M0D7W	28M0D7W
TX channel assignments	CH01H 7596.00V CH01H 7596.00H	CH01L 7442.00V CH01L 7442.00H
RX threshold criteria	1E-6 BER	1E-6 BER
RX threshold level (dBm)	-75.50	-75.50
Receive signal (dBm)	-43.65	-43.65
Thermal fade margin (dB)	31.85	31.85
Dispersive fade margin (dB)	58.10	58.10
Dispersive fade occurrence factor	1.00	
Effective fade margin (dB)	31.85	31.85
Geoclimatic factor	1.998E-006	

	0103383_UY_Nueva_Requen	0103384_UY_CAMPO_VERDE
Path inclination (mr)	1.63	
Average annual temperature (°C)	25.00	
Fade occurrence factor (Po)	1.101E-003	
Worst month multipath availability (%)	99.99992	99.99992
Worst month multipath unavailability (sec)	1.99	1.99
Annual multipath availability (%)	99.99997	99.99997
Annual multipath unavailability (sec)	8.97	8.97
Annual 2 way multipath availability (%)	99.99994	
Annual 2 way multipath unavailability (sec)	17.94	
Polarization	V + H	
0.01% rain rate (mm/hr)	99.91	
Flat fade margin - rain (dB)	31.85	
Rain attenuation (dB)	31.85	
Annual rain availability (%)	99.99986	
Annual rain unavailability (min)	0.71	
Annual rain + multipath availability (%)	99.99981	
Annual rain + multipath unavailability (min)	1.01	

ANEXO 1.2: DATASHEET DE EQUIPOS

RTN 950



Features

The RTN 950 is the new-generation of IP radio transmission equipment developed by Huawei. The equipment, 2U high, supports a maximum of six RF directions. With various service interfaces, the RTN 950 can be configured flexibly and installed easily. The equipment can be applied not only in the 3G/WiMAX/LTE backhaul but also in the radio access of private network services and private line services for VIP customers.

IP Radio Transmission with AM

- Supports adaptive modulation (AM) and QoS, improving the efficiency of bandwidth usage and quality of services.
- Supports the pseudo wire emulation edge to edge (PWE3) technology, and adopts high-performance and unified pure packet switching.
- Provides a variety of OAM functions and fast fault-isolation methods, simplifying packet network maintenance.
- Supports end-to-end service configuration, improving the flexibility of radio network planning and reducing OPEX.

Robust IP Service-Processing Capability

- Provides 10 Gbit/s switching capacity, and supports the VLAN, flow control, and MPLS functions.
 - Supports basic MPLS functions and service forwarding, and supports static LSPs.
 - Adopts the LSP tunnel technology and the PWE3 technology to form an MPLS network where access of multiple services is allowed.
- The advanced header compression technology for Ethernet IPV-4 and IPV-6 achieves maximum capacity of 1 Gbps backhaul.
- Supports 8-class QoS, provides a wide range of services, and ensures the quality of services with high priorities.
- Supports MPLS OAM features, making management and maintenance in IP networks similar to those in SONET networks.

Excellent Protection Schemes

- Protection schemes for radio links
 - 1+1 HSB/SD/FD protection
 - LAG protection for Ethernet services
- Network-level protection schemes
 - Ethernet ring protection switching (ERPS)
 - MPLS tunnel 1:1 protection
 - PW 1:1 protection
- Equipment-level protection schemes
 - 1+1 hot backup for the input power supply

- 1+1 hot backup for internal power modules
- 1+1 hot backup for the control, switching, and timing board

ATPC

The automatic transmit power control (ATPC) technology enables the RTN 950 to automatically change the output power of the transmitter within the ATPC control range according to the received signal level. As a result, the interference to the neighboring system and the residual error rate are reduced.

XPIC

The RTN 950 supports Cross-Polarization Interference Cancellation (XPIC) technology, which helps to double the service capacity of a microwave channel at the same spectrum and bandwidth.

Easy Maintenance

- Supports different types of loopbacks at the service port and the IF port.
- Supports RMON performance events.
- Supports MPLS OAM, PW OAM, and Ethernet OAM functions.
- Provides a built-in test system to perform the pseudo-random binary sequence (PRBS) error test at the IF port.
- Supports remote data and software loading by using the NMS. Thus, the entire network can be upgraded rapidly.
- Supports in-service software upgrades.

Multiple Methods for Network Management

- Uses the iManager U2000 to manage the RTN devices and Huawei optical transport devices. Hence, quick fault isolation, quick service provisioning, and visual IP service management are achieved, and the OPEX is reduced.
- Uses the Web LCT to manage a single RTN NE or multiple RTN NEs in a centralized manner.
- Enables users to query alarms and performance events through the simple network management protocol (SNMP).
- Supports the inband DCN scheme. Hence, dedicated DCN channels are not required, and the network construction cost is reduced.

Clock and Synchronization

- Supports the radio link clock and synchronous Ethernet clock.
- Supports the sync status message (SSM) protocol.

Technical Specifications

RF Specifications							
Frequency Band		6GHz	11 GHz	18 GHz	23 GHz		
Channel Spacing (MHz)		30	40	40/50	40/50		
Maximum Transmit Power (dBm)	QPSK	30	26	24	24		
	16QAM	28	24	21	21		
	32QAM	26.5	24	21	21		
	64QAM/128QAM	25	22	19.5	19.5		
	256QAM	23	20	16.5	17.5		
Typical Receiver Sensitivity (RS _L @ BER=10 ⁻⁵)	30 MHz Channel	QPSK	-89	-88.5	-87.0	-88.0	
		16QAM	-81	-80.5	-79.0	-80.0	
		32QAM	-77.5	-77.5	-75.5	-76.5	
		64QAM	-75	-74.5	-73.0	-74.0	
		128QAM	-72	-71.5	-70.0	-71.0	
		256QAM	-69	-68.5	-67.0	-68.0	
	40 MHz Channel	QPSK	*	-87.5	-86.0	-87.0	
		16QAM	*	-79.5	-78.0	-79.0	
		32QAM	*	-76.0	-74.5	-75.5	
		64QAM	*	-73.5	-72.0	-73.0	
		128QAM	*	-70.5	-69.0	-70.0	
		256QAM	*	-67.5	-66.0	-67.0	
	50 MHz Channel	QPSK	*	*	-85.0	-86.0	
		16QAM	*	*	-77.0	-78.0	
		32QAM	*	*	-73.5	-74.5	
		64QAM	*	*	-71.0	-72.0	
		128QAM	*	*	-68.0	-69.0	
		256QAM	*	*	-65.0	-66.0	
RF Direction		A maximum of six RF directions					
RF Configuration		1+0 non-protection N+0 non-protection 1+1 HSB/FD/SD protection N+1 protection XPIC configuration					
Equalization		Adaptive time domain equalization					
Native Ethernet Throughput (airinterface, Mbit/s)							
Base Throughput	Channel/Modulation	QPSK	16QAM	32QAM	64QAM	128QAM	256QAM
	30 MHz	43 to 55	87 to 111	109 to 139	138 to 176	161 to 205	186 to 236
	40 MHz	58 to 75	122 to 155	152 to 194	186 to 238	217 to 276	250 to 318
	50 MHz	73 to 94	148 to 189	190 to 241	234 to 300	274 to 350	315 to 396
With L2 Frame Header Compression	Channel/Modulation	QPSK	16QAM	32QAM	64QAM	128QAM	256QAM
	30 MHz	43 to 68	87 to 136	109 to 170	138 to 216	162 to 253	186 to 287
	40 MHz	58 to 91	122 to 189	152 to 238	187 to 291	217 to 338	250 to 388
	50 MHz	74 to 115	148 to 230	190 to 295	234 to 362	274 to 428	315 to 488
With L2+L3 Frame Header Compression (IPv6)	Channel/Modulation	QPSK	16QAM	32QAM	64QAM	128QAM	256QAM
	30 MHz	43 to 139	88 to 281	110 to 350	139 to 444	162 to 518	187 to 596
	40 MHz	57 to 182	114 to 366	148 to 474	182 to 583	216 to 691	251 to 800
	50 MHz	74 to 237	149 to 474	191 to 608	235 to 747	276 to 875	316 to 1000

Service Specifications		
Traffic Interface	FE electrical interface: 10/100BASE-T(X) GE optical interface: 1000Base-SX and 1000Base-LX GE electrical interface: 10/100/1000BASE-T(X)	
Switching capacity	10 Gbit/s	
Ethernet Function	Ethernet II, IEEE 802.3, and IEEE 802.1q/p service frame formats E-Line and E-LAN Ethernet services Ethernet ring protection switching (ERPS) Adding, deletion, and exchange of IEEE 802.1q- or IEEE 802.1p-compliant VLAN tags Flow control that complies with IEEE 802.3x Link aggregation group (LAG) IETF RFC 2819-compliant RMON performance monitoring STP protocol and MSTP protocol (generating only the CIST, equivalent to RSTP)	
MPLS/PWE3	Function	Encapsulation of Ethernet services and transmission over an LSP tunnel to implement E-Line services Static tunnels and PWs MPLS tunnel 1:1 protection PW 1:1 protection
	Capacity	Number of MPLS tunnels: 1024 Number of PWs: 1024 Number of APS protection groups: 32
QoS	DiffServ and standard 8-level PHB Traffic classification based on the Port, C-VLAN ID, S-VLAN ID, 802.1p priority of the C-VLAN/S-VLAN packet, or DSCP CAR and traffic policing Eight classes for queue scheduling over an Ethernet interface	
System Parameters		
Dimensions and Weight	IDU	Dimensions (width x depth x height): 17.4 inch x 8.66 inch x 3.46 inch, (442 mm x 220 mm x 88 mm) Weight: < 17.6 lbs (8 kg)
	ODU	Dimensions (width x depth x height): < 11 inch x 3.62 inch x 11 inch, (280 mm x 92 mm x 280 mm) Weight: 9.9 lbs (4.5 kg)
Working Temperature	IDU	Long-term: +23°F to +140°F (-5°C to +60°C) Short-term: -4°F to +149°F (-20°C to +65°C)
	ODU	Long-term: -27.4°F to +131°F (-33°C to +55°C) Short-term: -40°F to +140°F (-40°C to +60°C)
Power Supply	-38.4 V to -72 V DC	
Heat Dissipation	Fan cooling	
Relative Humidity	IDU	5% to 95%
	ODU	5% to 100%

ANEXO 1.3: DOCUMENTO DE ACEPTACIÓN DEL RADIOENLACE



DOCUMENTO DE ACEPTACION RADIOENLACE
<i>Proyecto Rollout - Nextel</i>

1.- Datos Generales

Nombre del Enlace	0103383_UY_Nueva_Requen_0103384_UY_Campo_Verde			
Nem sitio A	0103383_UY_Nueva_Requen	Nem sitio B	0103384_UY_Campo_Verde	
Banda de Frecuen	7Ghz	Sub banda	A	Canal Tx/Rx 154
Frec Tx Sitio A	7596 Mhz		Frec Tx Sitio B	7442 Mhz
Frec Rx Sitio A	7442 Mhz		Frec Rx Sitio B	7596 Mhz
Redundancia	N/A	Diversidad	1+0	Polarización H+V
Modulacion	64QAM/136Mbit/s	Frame ID	28M	Distancia 18.36 Km
Direccion IP	129.9.129.58		Direccion IP	129.9.129.30
Mascara	255.255.0.0		Mascara	255.255.0.0
Puerta Enlace			Puerta Enlace	

2.- Pruebas Locales

	Sitio A : 0103383_UY_Nueva_Requena		Sitio B : 0103384_UY_Campo_Verde	
	Radio 1	Radio 2	Radio 1	Radio 2
AGC Calculado (dBm)				
TX Power dBm	21.0 dBm	N/A	21.0 dBm	N/A
TX Power Actual dBm	20.9 dBm	N/A	20.9 dBm	N/A
RX Power dBm	-43.65 dBm	N/A	-43.65 dBm	N/A
RX Power Actual H dBm	-44.4 dBm	N/A	-43.1 dBm	N/A
RX Power Actual V dBm	-44.9 dBm	N/A	-43.9 dBm	N/A
Aislamiento XPD(dB)	30.7 dB	37.1 dB	24.1 dB	25.9 dB
Utiliza Polimero	NO		NO	