



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE UN RADIOENLACE DIGITAL CERAGON PARA EL ÁREA
METROPOLITANA**

Douglas Arnulfo Ixtecoc Rodríguez

Asesorado por la Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota

Guatemala, marzo de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gomez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio César Solares Peñate
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
EXAMINADOR	Ing. Byron Odilio Arrivillaga Mendez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE UN RADIOENLACE DIGITAL CERAGON PARA EL ÁREA METROPOLITANA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 21 de mayo de 2015.



Douglas Arnulfo Ixtecoc Rodríguez

Guatemala 12 de septiembre de 2017

Ingeniero
Julio Cesar Solares Peñate
Coordinador del Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Apreciable Ingeniero Solares.

Me permito dar aprobación al trabajo de graduación titulado "**Diseño de un radioenlace digital Ceragon para el área metropolitana**", del señor **Douglas Arnulfo Ixtecoc Rodríguez**, por considerar que cumple con los requisitos establecidos.

Por tanto, el autor de este trabajo de graduación y, yo, como su asesora, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, me es grato saludarle.

Atentamente,


Inga. Ingrid Rodríguez de Loukota
Colegiada 5,356
Asesora

Ingrid Rodríguez de Loukota
Ingeniera en Electrónica
colegiado 5356



REF. EIME 64. 2017.

30 de OCTUBRE 2017.

FACULTAD DE INGENIERIA

Señor Director
Ing. Otto Fernando Andriano González
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

**Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
DISEÑO DE UN RADIOENLACE DIGITAL CERAGON
PARA EL ÁREA METROPOLITANA, del estudiante
Douglas Arnulfo Ixtecoc Rodríguez, que cumple con los
requisitos establecidos para tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Julio César Solares Peñate
Coordinador de Electrónica



STO



REF. EIME 64, 2017.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; DOUGLAS ARNULFO IXTECOC RODRÍGUEZ titulado: DISEÑO DE UN RADIOENLACE DIGITAL CERAGON PARA EL ÁREA METROPOLITANA procede a la autorización del mismo.


Ing. Otto Fernando Andriano González



GUATEMALA, 14 DE NOVIEMBRE 2,017.

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 082 .2018

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE UN RADIOENLACE DIGITAL CERAGON PARA EL ÁREA METROPOLITANA**, presentado por el estudiante universitario: **Douglas Arnulfo Ixtecoc Rodríguez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Ángel Roberto Sic García
Decano en Funciones

Guatemala, marzo de 2018

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por permitirme alcanzar mis sueños, guiar mis pasos y fortaleza en los momentos difíciles.
- Mis padres** María Rodríguez y Arnulfo Ixtecoc. Por su esfuerzo, amor y darme el ejemplo de perseverancia.
- Mis hermanas** Omaira Liseth, Angela Liliana, Ana Lorena, por el cariño y apoyo incondicional que siempre me han brindado.
- Mis amigos** Por ser parte importante de este logro, por compartir en este trayecto tantas aventuras, experiencias, triunfos y fracasos.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la casa de estudio que me brindó el medio para la formación como profesional.
Facultad de Ingeniería	Por permitirme ser parte de ella y el esfuerzo por marcar la diferencia a nivel académico.
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica	Por el apoyo y asesoría en el proceso de este trabajo de graduación en su organización académica.
Inga. Ingrid Rodríguez	Por brindarme su apoyo en la realización de este trabajo de graduación.
Empresa Telefónica Móviles Guatemala S.A.	Porque me dio oportunidad y acceso a las herramientas necesarias para llevar a cabo este estudio.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
GLOSARIO	XV
RESUMEN.....	XXIII
OBJETIVOS.....	XXV
INTRODUCCIÓN.....	XXVII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Sistemas de comunicación microonda	1
1.1.1. Medios de transmisión no guiados	1
1.1.2. Espectro electromagnético	2
1.1.3. Bandas de frecuencia.....	3
1.2. Estructura del radioenlace.....	6
1.2.1. Componentes del radio.....	6
1.2.2. Repetidores	10
1.3. Concepto de propagación.....	12
1.3.1. Curvatura del radioenlace.....	13
1.3.2. Zona de Fresnel.....	14
1.3.3. Fenómenos asociados a la propagación	16
1.3.3.1. Difracción.....	16
1.3.3.2. Reflexión.....	17
1.3.3.3. Refracción.....	18
1.3.3.4. Absorción y dispersión.....	19
1.3.3.5. Desvanecimiento selectivo	19
1.3.3.6. Atenuación por lluvia	20

1.4.	Modulación digital	21
1.4.1.	Modulación por desplazamiento de amplitud	21
1.4.2.	Modulación por desplazamiento de fase	23
1.4.3.	Modulación por amplitud en cuadratura	23
1.5.	Teoría de antenas	25
1.5.1.	Diagrama de radiación	25
1.5.2.	Directividad.....	26
1.5.3.	Ganancia.....	27
1.5.4.	Polarización.....	28
1.5.5.	Antena parabólica	30
1.6.	Metro Ethernet	30
1.6.1.	Funcionamiento de Ethernet	31
1.6.2.	Qué es Metro Ethernet	32
1.6.2.1.	Estructura de la red	33
2.	DESCRIPCIÓN ACTUAL DE LA RED METRO ETHERNET	37
2.1.	Situación para implementar el radioenlace	37
2.2.	Diseño de la red en la capa física y lógica	39
2.2.1.	Modelo TCP/IP en la capa de acceso	40
2.2.2.	Modelo TCP/IP en la capa de internet.....	43
2.3.	Descripción de los servicios en última milla	47
2.3.1.	Internet empresarial	47
2.3.2.	Servicio MPLS.....	48
2.3.2.1.	Calidades de servicio (QoS).....	48
2.3.2.2.	Ingeniería de tráfico.....	49
2.3.2.3.	Redes privadas virtuales (VPN)	50
2.3.2.4.	Soporte multiprotocolo	50
2.3.3.	Siptrunk.....	51

3.	DESCRIPCIÓN DEL MEDIO DE TRANSMISIÓN Y PLANIFICACIÓN DEL RADIOENLACE CERAGON.....	55
3.1.	Planificación para el medio de transmisión.....	55
3.1.1.	Ubicación geográfica del nodo y el cliente.....	55
3.1.2.	Perfil de elevación	57
3.1.3.	Capacidad del enlace	58
3.1.4.	Frecuencias de operación.....	61
3.1.5.	Polarización de las antenas.....	62
3.1.6.	Protección del enlace	64
3.2.	Descripción de los equipos utilizados en el medio de transmisión	65
3.2.1.	Instalación de fibra óptica	65
3.2.2.	Descripción del equipo de acceso por parte del ISP	68
3.3.	Descripción de los equipos en el radioenlace.....	72
3.3.1.	Descripción de hardware IDU IP-10E	73
3.3.2.	Descripción del hardware ODU RFU-C	77
3.3.3.	Descripción de la antena, cable IF y guía de onda.....	80
4.	IMPLEMENTACIÓN DEL RADIOENLACE.....	83
4.1.	Resumen de los parámetros por configurar.....	83
4.2.	Simulación por software	85
4.2.1.	Teoría sobre la potencia de recepción (Rx)	85
4.2.2.	Comprobación por software Pathloss	86
4.3.	Instalación e infraestructura del radio.....	90
4.3.1.	Medidas de seguridad en la instalación.....	90
4.3.1.1.	Campos eléctricos y magnéticos	91
4.3.1.2.	Seguridad eléctrica	92

4.3.1.3.	Trabajo en altura y protección contra caídas.....	93
4.3.2.	Instalación del equipo Ceragon	94
4.3.2.1.	Instalación de la unidad interior IP-10E	95
4.3.2.2.	Requisitos de energía	97
4.3.2.3.	Instalación del cable coaxial.....	98
4.3.2.4.	Instalación de la ODU (RFU-C)	100
4.3.2.5.	Instalación de la antena	102
4.3.3.	Sistema de puesta a tierra.....	104
4.4.	Configuración de los equipos	106
4.4.1.	Configuración de la red de proveedor (<i>router</i> metro y ETX-1300)	106
4.4.1.1.	Configuración en el <i>router</i> central	106
4.4.1.2.	Configuración en equipo de acceso ...	108
4.4.2.	Configuración de la IDU IP-10E de Ceragon.....	110
4.4.2.1.	Configuración general del radio.....	110
4.4.2.2.	Configuración del radioenlace Ceragon.....	113
4.4.2.3.	Administración de las interfaces IDU IP-10E	115
4.4.3.	Pruebas y monitoreo del radioenlace Ceragon	116
4.4.3.1.	Pruebas del radioenlace.....	116
4.4.3.2.	Monitoreo de equipos en <i>SolarWinds</i>	118
4.4.3.3.	Atención al cliente ante averías.....	120

5.	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	123
5.1.	Ingeniería preventa y área comercial	123
5.1.1.	Revisión legal de la empresa.....	124
5.1.2.	Clasificación de clientes	125
5.2.	Factibilidad del proyecto	126
5.2.1.	Inversión inicial	126
5.2.2.	Rentabilidad del proyecto	127
	CONCLUSIONES	131
	RECOMENDACIONES	133
	BIBLIOGRAFÍA.....	135

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama del espectro electromagnético	3
2.	Estructura del radioenlace.....	6
3.	Componentes de un transmisor en una estación terminal	7
4.	Estructura de un codificador.....	8
5.	Efecto de filtrado sobre la señal digital.....	8
6.	Estructura de un receptor en las estaciones terminales.....	10
7.	Configuración de un repetidor IF en banda base	11
8.	Repetidor pasivo	12
9.	Factor k aplicado a la curvatura terrestre	14
10.	Zonas de Fresnel	15
11.	Mecanismos de interferencia a largo plazo	17
12.	Mecanismos de interferencia a corto plazo	18
13.	Modulación por desplazamiento de amplitud	22
14.	Diagrama de constelación ASK.....	22
15.	Modulación por desplazamiento de fase	23
16.	Diagrama de constelación 16 QAM.....	24
17.	Diagrama de radiación de un dipolo.....	26
18.	Antena con directividad isotrópica y concentrada	27
19.	Polarización lineal, circular y elíptica.....	28
20.	Onda polarizada verticalmente.....	29
21.	Antena con reflector parabólico.....	30
22.	Ethernet en la capa física y de datos	32
23.	Red Metro Ethernet.....	33

24.	Modelo básico de una red MEN.....	34
25.	Modelo de un circuito virtual Ethernet.....	34
26.	Red de postes del ISP en el centro de la ciudad	38
27.	Evaluación previa para instalar el radioenlace.....	38
28.	Modelo TCP/IP.....	39
29.	Capa 2 en el modelo TCP/IP	41
30.	Transceptor óptico SFP	41
31.	Instalación del SFP en el interruptor óptico	42
32.	Conexión física en el cliente	43
33.	Protocolo con independencia de medio	45
34.	Configuración IP en la capa de internet.....	46
35.	Servicio de internet	47
36.	Calidades de servicio en el radio Ceragon	49
37.	Aplicación de una red MPLS.....	51
38.	Servicio SIP <i>trunk</i>	52
39.	Direccionamiento IP del servicio SIP <i>trunk</i>	53
40.	Ubicación del nodo centro	56
41.	Ubicación del cliente	56
42.	Perfil de elevación en Google Earth.....	58
43.	Gráfica del teorema de Shannon.....	59
44.	Gráfica de ACAP.....	63
45.	Gráfica de ACCP	63
46.	Gráfica de CCDP	63
47.	ACM (Adaptación de código y modulación).....	65
48.	Instalación de fibra óptica en la red de acceso	66
49.	Caja de conectorización de fibras ópticas.....	67
50.	Caja terminal de fibra óptica	68
51.	Equipos en el medio de transmisión	68
52.	Configuración en la interfaz del <i>router</i> central	69

53.	<i>Transceiver</i> óptico de la central hacia el nodo del ISP	70
54.	Panel frontal del interruptor ETX-1300	72
55.	Panel trasero del interruptor ETX-1300.....	72
56.	Equipos del radioenlace Ceragon	73
57.	Panel frontal y trasero de la IDU IP-10E de Ceragon.....	74
58.	Diagrama de bloques FibeAir IP-10E	75
59.	Ethernet <i>switching</i> IDU IP-10E	76
60.	Interfaces de la RFU-C.....	78
61.	Conexión de IP-10E hacia RFU-C.....	81
62.	Especificaciones generales de la antena HPLP1-15.....	82
63.	Distribución de potencia en un sistema inalámbrico	86
64.	Ingreso de coordenadas del radioenlace	87
65.	Gráfica de línea vista.....	88
66.	Pérdidas en el espacio libre	89
67.	Potencia de recepción para el radioenlace Ceragon.....	89
68.	Señales de seguridad para la instalación del radioenlace.....	90
69.	Equipo de protección para trabajos en alturas	94
70.	Instalación de la IDU IP-10E	96
71.	Interfaz de energía en la IDU IP-10E	98
72.	Preparación para el cable coaxial	99
73.	Polarización e interfaz de RFU-C de Ceragon	101
74.	Conexión SLIP-FIT.....	103
75.	Conexión a través de una guía de onda.....	103
76.	Polarización vertical del acoplador.....	103
77.	Instalación de puesta a tierra para la ODU	105
78.	Configuración en el <i>router</i> central	107
79.	Configuración del ETX-1300	109
80.	Gestión de la unidad IP-10E	111
81.	Licencia por defecto	111

82.	Configuración Ethernet <i>switching</i>	112
83.	Configuración del protocolo SNMP	112
84.	Parámetros del radio en la unidad local.....	114
85.	Parámetros del radio en la unidad remota	114
86.	Configuración de codificación múltiple.....	115
87.	Administración de las interfaces Ethernet.....	115
88.	Orientación de las antenas	116
89.	Relación de voltaje y potencia de recepción en la ODU	117
90.	Agregar un equipo a la gestión de <i>SolarWinds</i>	118
91.	Interfaz de monitoreo de la unidad IP-10E.....	119
92.	Consumo total del radioenlace	119

TABLAS

I.	Estándar IEEE, bandas de frecuencia	4
II.	Unión Internacional de telecomunicaciones, nomenclatura	5
III.	Coeficientes k y α para estimar la atenuación.....	20
IV.	Capacidad en modulación QAM	24
V.	Direccionamiento WAN para el SIP <i>trunk</i>	53
VI.	Coordenadas geográficas del nodo	57
VII.	Coordenadas geográficas del cliente.....	57
VIII.	Polarización ACCP	64
IX.	Especificaciones del SFP transmisor.....	70
X.	Especificaciones del SFP receptor.	71
XI.	Frecuencia de operación de 6-18 GHz.	79
XII.	Potencia de transmisión según la modulación RFU-C (dBm)	79
XIII.	Umbral del receptor según la modulación (dBm $BER = 10^{-6}$).....	79
XIV.	Capacidad del canal a 7 MHz.	80

XV.	Guía de onda, conexión de la antena hacia la RFU-C	81
XVI.	Pérdida (dB) por conexión hacia la antena	82
XVII.	Resumen No.1 para configurar el radioenlace.	83
XVIII.	Resumen No.2 para configurar el radioenlace.	84
XIX.	Especificaciones técnicas del cable RG223.....	99
XX.	Guías de onda según la frecuencia para la RFU-C.....	102
XXI.	Acoplador y guía de onda para la frecuencia de 15 GHz.	104
XXII.	Información de la persona jurídica	124
XXIII.	Clasificación de clientes	125
XXIV.	Inversión inicial.....	127
XXV.	Flujo de efectivo (VAN y TIR).....	128

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Hz	Hercio
J	Julio
K	Curvatura de la tierra
λ	Lambda
γ	Atenuación por lluvia
η	Desvanecimiento selectivo

GLOSARIO

ASK	Modulación por desplazamiento de amplitud (<i>Amplitude Shift Keying</i>) se presentan los datos digitales como variaciones de amplitud de la onda portadora.
BER	Tasa de error binario (<i>Bit Error Rate</i>) se define como el número de bits recibidos de forma incorrecta respecto del total de bits enviados.
Bits	Unidad mínima de información empleada en cualquier dispositivo digital, sus estados pueden ser 0 (bajo) o 1 (alto).
CPE	Equipo local de cliente (<i>Customer Premises Equipment</i>) es el término en telecomunicaciones usado para originar, encaminar o terminar una comunicación.
DVR	Grabadora de video digital (<i>Digital Video Recorder</i>).
E1	Estándar europeo para la trama de PDH, equivalente a 2.048 Mbit/s, el cual tiene una capacidad de 32 <i>time slots</i> . Norma G.732 de la UIT-T.

IEEE 802.3	El Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Fue el primer intento para estandarizar redes basadas en Ethernet, incluyendo las especificaciones del medio físico subyacente.
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i> . Es una organización internacional abierta de normalización, que tiene como objetivos el contribuir a la ingeniería de internet, actuando en diversas áreas, como transporte, encaminamiento, seguridad.
ETSI	El Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (<i>European Telecommunications Standards Institute</i>) es una organización de estandarización de la industria de las telecomunicaciones.
Gradiente	Vector que señala el cambio en cierta dirección de la magnitud escalar.
IDU	Unidad interna del radio (<i>In-door Unit</i>).
Índice de refracción	Se denomina índice de refracción al cociente de la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en el medio. Se trata de un valor adimensional.
ISP	Proveedor de servicios de internet.

ITU-R	La Unión Internacional de Telecomunicaciones Radiocomunicaciones (<i>International Telecommunication Union - Telegraph Transmission</i>), se encarga de coordinar los estándares para telecomunicaciones, específicamente en el tema de radiocomunicaciones.
ITU-T	La Unión Internacional de Telecomunicaciones-Terminales para servicios telemáticos (<i>International Telecommunication Union - Terminals for telematic services</i>), se encarga de coordinar los estándares para telecomunicaciones, específicamente en el tema de transmisión.
Mb	El <i>Megabits</i> es una unidad de medida de información utilizada en las transmisiones de datos de forma telemática.
Modem	Modulador/Demodulador; es un convertidor de señales. Un dispositivo que convierte señales de datos digitales y binarios a una señal compatible con el medio que se está utilizando.
MPLS	Es un mecanismo de transporte de datos estándar creado por la IETF y definido en la RFC 3031. Opera entre la capa de enlace de datos y la capa de red.

Multiplexación	En telecomunicación, es la combinación de dos o más canales de información en un solo medio de transmisión (permite varias comunicaciones de forma simultánea) usando un dispositivo llamado multiplexor. El proceso inverso se conoce como demultiplexación.
NOC	El centro de operaciones de red (<i>Network Operation Center</i>) es la entidad que se encarga de la supervisión de la red de transmisión.
ODU	Unidad externa del radio (<i>Out-door Unit</i>).
Onda portadora	Generalmente senoidal, modificada en alguno de sus parámetros (amplitud, frecuencia o fase) por una señal de entrada denominada moduladora con el fin de transmitir una información. Esta onda portadora es de una frecuencia mucho más alta que la de la señal.
Pathloss	Es un software que permite diseñar trayectos para enlaces de radio que funcionan en la gama de frecuencia de 30 MHz a 100 GHz.
PBX	<i>Private Branch Exchange</i> . Este es un conmutador telefónico privado que sirve a una localización específica. La mayoría de los sistemas PBX pueden

transportar datos de computadoras sin el uso de módems.

- PSK** Modulación por desplazamiento de fase (*Phase Shift Keying*) es una forma de modulación angular que consiste en hacer variar la fase de la portadora entre un número determinado de valores discretos.
- QAM** Modulación de amplitud en cuadratura (*Quadrature Amplitude Modulation*) es una técnica que transporta dos señales independientes, mediante la modulación de la señal portadora.
- QoS** Calidades de servicio (*Quality of Services*) se define como el conjunto de tecnologías que garantiza la transmisión de cierta cantidad de información en un tiempo determinado.
- RACK** Es un bastidor destinado a alojar equipamiento electrónico, informático y de comunicaciones. Sus medidas están normalizadas.
- RF** El término radiofrecuencia (*Radio Frequency*), también denominado espectro de radiofrecuencia, se aplica a la porción del espectro electromagnético en el que se pueden generar ondas electromagnéticas aplicando corriente alterna a una antena.

RFU	Unidad de radio frecuencia (<i>Radio Frequency Unit</i>).
SIP TRUNK	Conexión de Protocolo de Inicio de sesión, consiste en el uso de voz sobre IP para facilitar la conexión de una PBX al internet. Es en su esencia, el equivalente virtual de una línea telefónica tradicional para empresas.
SFP	Transceptor pequeño conectable (<i>Small form-factor pluggable transceiver</i>).
SNMP	El protocolo para manejo de red (<i>Simple Network Management Protocol</i>), es un protocolo de la capa de aplicación que facilita el intercambio de información de administración entre dispositivos de red.
<i>Solarwinds</i>	Es un software desarrollado para sistemas en administración dinámica en entornos de Telecomunicaciones como seguridad, base de datos y monitoreo en la nube.
TDM	Multiplexación por división de tiempo (<i>Time division multiplexing</i>). Distribuye las unidades de información en ranuras alternas de tiempo.
VAC	Voltaje de corriente alterna (<i>Voltage Alternate Current</i>).

VCO

El oscilador controlado por voltaje (*Voltage Controlled Oscillator*) es un oscilador cuya frecuencia de oscilación varía en función del voltaje.

VoIP

Es un grupo de recursos que hace posible que la señal de voz viaje a través de internet, empleando el protocolo respectivo.

RESUMEN

El diseño de un radioenlace involucra una gran variedad de elementos como selección de equipos, cálculos del radioenlace según las normas establecidas por la institución que administra las frecuencias radioeléctricas en el país, fenómenos de atenuación, desvanecimiento de la señal y otros factores que intervienen con la fiabilidad y disponibilidad del enlace. Existen varias herramientas de simulación que facilitan enormemente la tarea. Es importante conocer los aspectos que pueden influir en la instalación, el funcionamiento y mantenimiento del mismo.

Con la tendencia de constante crecimiento de la red Ethernet Metropolitana los equipos Ceragon están listos para llenar los nuevos requerimientos y dar comunicación de alta capacidad IP, en muchos casos para enlaces con gran cantidad de tráfico o a clientes finales.

Este trabajo de graduación trata de enfatizar la importancia que tiene hoy día la comunicación a través de radiofrecuencias en el área metropolitana y, solucionar la migración de tráfico PDH a Ethernet. Asimismo, proporciona los criterios básicos por tomar en cuenta en el diseño de un radioenlace y para garantizar su óptimo desempeño.

Transmitir información a través del espectro radioeléctrico es una de las maneras más prácticas y eficientes para llevar información de un punto a otro por su fácil instalación, movilidad, inversión rentable y gran escalabilidad según la configuración implementada.

OBJETIVOS

General

Diseñar un radioenlace digital con equipo Ceragon que cumpla los requerimientos de alta capacidad, ancho de banda flexible tanto TDM como Ethernet en el mismo radio y fácil integración a las redes metropolitanas.

Específicos

1. Describir las características y conceptos básicos de un radioenlace para poder diseñarlo con equipos Ceragon.
2. Conocer la infraestructura que requiere un enlace microonda.
3. Evaluar la factibilidad técnica y económica del proyecto para implementarlo.
4. Describir el procedimiento para el diseño del enlace desde la infraestructura hasta la configuración del equipo.

INTRODUCCIÓN

En una sociedad en la que las tecnologías de la información y la comunicación adquieren mayor relevancia cada día y las necesidades de los usuarios a la hora de comunicarse y estar conectados con el resto del mundo son cada vez más exigentes, se convierte en algo imprescindible que las tecnologías y las redes que hacen eso posible evolucionen a la par, adelantándose, incluso, a las demandas del mercado.

El sector de las comunicaciones móviles viene experimentando cambios significativos desde hace algunos años. El desarrollo e implantación de las tecnologías 3G (UMTS) y actualmente 4G (LTE) abren la puerta a la banda ancha móvil y junto al gran éxito de los dispositivos móviles brinda la posibilidad a los usuarios de acceder a cualquier contenido como datos, video y audio. Todo esto comprimido en tráfico Ethernet o TDM en radios híbridos.

Sin embargo, hay características importantes que los usuarios generalmente no perciben cuando determinado proveedor ofrece altos anchos de banda y servicios de valor añadido en movilidad: La red de transmisión “detrás” de las estaciones de cobertura. Las redes de transmisión son fundamentales para soportar las tecnologías 2G, 3G, 4G y tráfico Ethernet.

Los radioenlaces son el medio de transmisión que cumple la funcionalidad de transportar dicho tráfico y, además, funcionar como reserva en situaciones críticas como protección manteniendo un alto grado de confiabilidad.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Sistemas de comunicación microonda

Un enlace microondas consiste en tres componentes fundamentales: el transmisor, el receptor y el canal.

1.1.1. Medios de transmisión no guiados

Los medios de transmisión no guiados son los que confinan las señales mediante ningún tipo de cable, sino que las señales se propagan libremente a través del medio. Entre los medios más importantes se encuentra el aire y el vacío.

Tanto la transmisión como la recepción de información se llevan a cabo mediante antenas. A la hora de transmitir, la antena irradia energía electromagnética en el medio. Por el contrario, en la recepción la antena capta las ondas electromagnéticas del medio que la rodea. La configuración para las transmisiones no guiadas puede ser direccional y omnidireccional. En la direccional, la antena transmisora emite energía electromagnética concentrándola en un haz, por lo que las antenas emisora y receptora deben estar alineadas.

En la omnidireccional, la radiación se hace de manera dispersa, emitiendo en todas las direcciones pudiendo la señal ser recibida por varias antenas. Generalmente, cuanto mayor es la frecuencia de la señal transmitida es más factible confinar la energía en un haz direccional.

La transmisión de datos a través de medios no guiados, añade problemas adicionales provocados por la reflexión que sufre la señal en los distintos obstáculos existentes en el medio. De ahí que resulte más importante el espectro de frecuencias de la señal transmitida que el propio medio de transmisión en sí mismo.

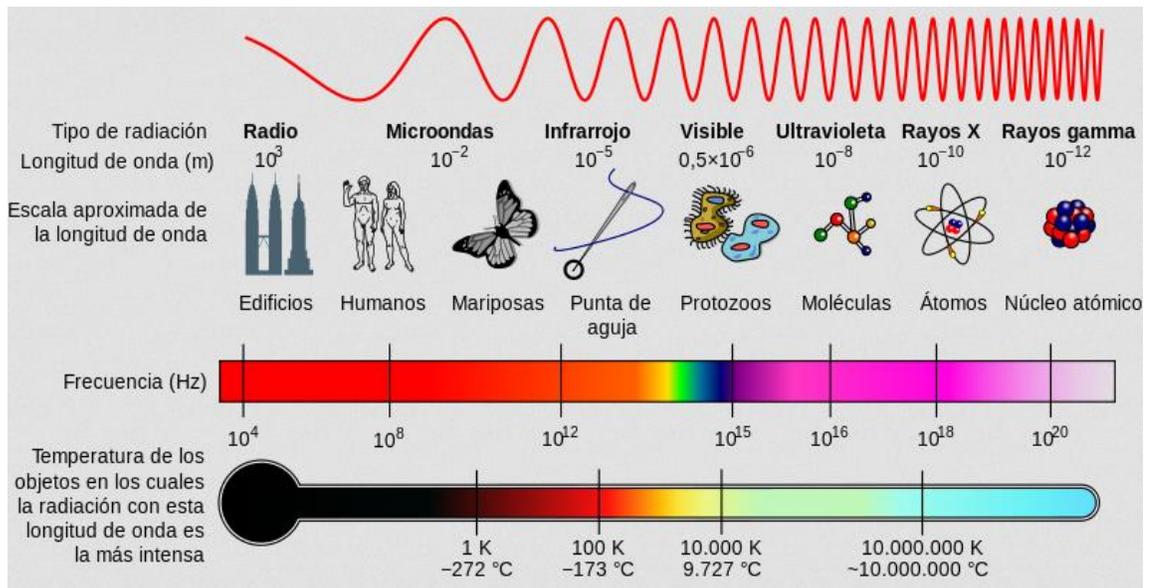
Según el rango de frecuencias de trabajo, las transmisiones no guiadas se pueden clasificar en tres tipos: radio, microondas y luz (infrarrojo / láser). En estas redes los clientes se conectan a la red usando señales de radio en reemplazo del cobre, en parte o en toda la conexión entre un cliente y la central de conmutación. Los sistemas requieren línea vista y reutilización de frecuencias del espectro.

1.1.2. Espectro electromagnético

Se denomina espectro electromagnético a la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas. El espectro electromagnético se extiende desde la radiación de menor longitud de onda, como los rayos gamma y los rayos X, pasando por la luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda, como son las ondas de radio.

El espectro electromagnético cubre longitudes de onda muy variadas. La energía electromagnética en una partícula (longitud de onda en el vacío λ) tiene una frecuencia f asociada y una energía. Como se observa en la figura 1, la frecuencia es inversamente proporcional a la longitud de onda. Por lo general, las radiaciones electromagnéticas se clasifican basándose en su longitud de onda.

Figura 1. Diagrama del espectro electromagnético



Fuente: <http://www.astrofiscayfisica.com/2012/06/que-es-el-espectro-electromagnetico.html>.

Consulta: junio de 2016.

1.1.3. Bandas de frecuencia

El espectro electromagnético se divide en segmentos o bandas, aunque esta división es inexacta. Existen ondas que tienen una frecuencia para varios usos, por lo que algunas frecuencias pueden quedar en ocasiones incluidas en dos rangos. Cabe destacar que las frecuencias entre 1 GHz y 300 GHz son llamadas microondas. Abarcan parte del rango UHF, todo el rango SHF y EHF.

En el extremo superior de las bandas de microondas la directividad de las antenas aumenta, el enlace es más sensible a la presencia de obstáculos y el ancho de banda disponible es mayor. Por otro lado, las pérdidas de propagación, los desvanecimientos y el ruido en los receptores aumenta con la

frecuencia; asimismo la potencia que un transmisor puede generar tiende a disminuir al aumentar la frecuencia, mientras que su costo tiende a elevarse.

En la parte baja del espectro de UHF los ruidos atmosféricos y los producidos por el hombre son de mayor importancia; sin embargo, las frecuencias más bajas tienen ciertas ventajas: pueden cubrirse distancias más grandes con mayor tolerancia a las obstrucciones en el trayecto; adicionalmente los equipos son menos costosos.

Tabla I. **Estándar IEEE, bandas de frecuencia**

Designation	Frequency	Wavelength
HF	3 - 30 MHz	100 m - 10 m
VHF	30 - 300 MHz	10 m - 1 m
UHF	300 - 1000 MHz	100 cm - 30 cm
L Band	1 - 2 GHz	30 cm - 15 cm
S Band	2 - 4 GHz	15 cm - 7.5 cm
C Band	4 - 8 GHz	7.5 cm - 3.75 cm
X Band	8 - 12 GHz	3.75 cm - 2.50 cm
Ku Band	12 - 18 GHz	2.50 cm - 1.67 cm

Fuente: Designación de IEEE <http://radioing.com/eengineer/bands.html>. Consulta: junio de 2016.

El empleo de las bandas microondas en los radioenlaces obedece a dos razones principales:

- La transmisión por microonda garantiza un ancho de banda importante, lo cual es necesario si se requiere la transmisión de un gran volumen de información.

- A frecuencias de microondas es relativamente fácil construir antenas altamente directivas, las cuales permiten dirigir la radiación electromagnética emitida por ellas hacia una localización específica.

Tabla II. **Unión Internacional de telecomunicaciones, nomenclatura**

Band Designation	Frequency
VHF	138 - 144 MHz 216 - 225 MHz
UHF	420 - 450 MHz 890 - 942 MHz
L	1.215 - 1.400 GHz
S	2.3 - 2.5 GHz 2.7 - 3.7 GHz
C	5.250 - 5.925 GHz
X	8.500 - 10.680 GHz
Ku	13.4 - 14.0 GHz 15.7 - 17.7 GHz

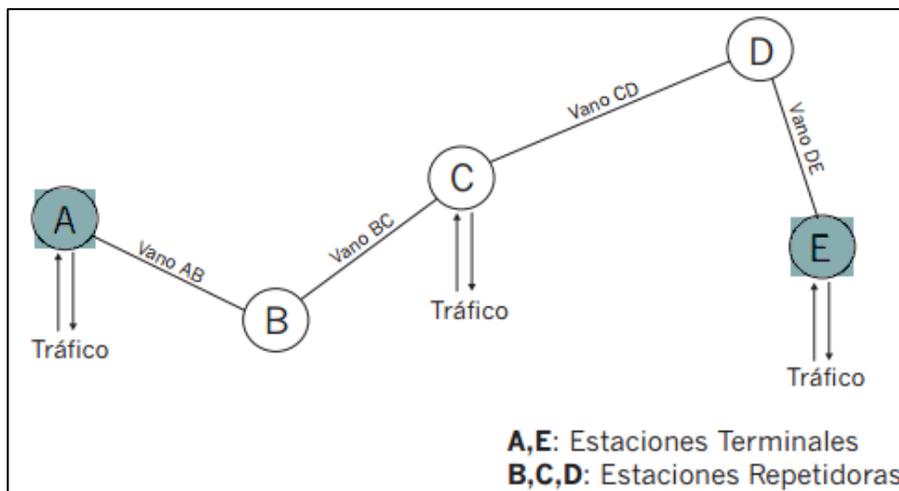
Fuente: Designación de IEEE <http://radioing.com/eengineer/bands.html>. Consulta: junio de 2016.

La Sección de UIT-R (Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones) es el organismo encargado de producir recomendaciones que establecen los criterios mínimos de disponibilidad y calidad para ser satisfechos por un radioenlace. La UIT-R genera estándares que hacen posible la compatibilidad de los radioenlaces respecto de otros medios de transmisión utilizados en las redes digitales integradas en la actualidad.

1.2. Estructura del radioenlace

En las estaciones terminales una portadora de microondas es modulada con la señal de banda base, amplificada y aplicada a una antena para ser radiada hacia las estaciones intermedias que se encuentran a lo largo de la ruta. Un repetidor pasivo es una superficie construida para que la señal microondas incidente sobre ella sea reflejada en la dirección de la siguiente estación. Un repetidor activo recibe la señal microondas, la amplifica, cambia la frecuencia de la portadora para evitar interferencias con otros repetidores vecinos y la re transmite hacia la próxima estación.

Figura 2. Estructura del radioenlace

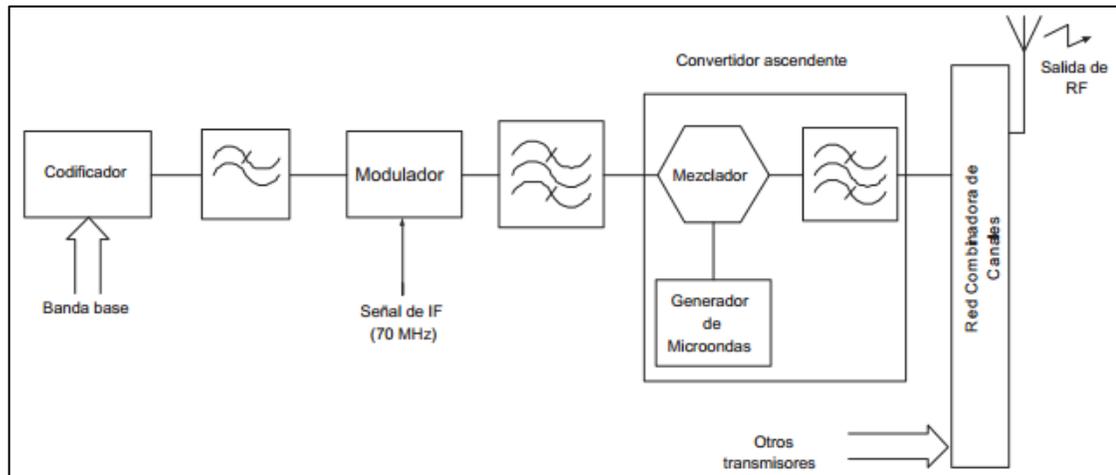


Fuente: ALBORNOZ, José Manuel. *Radioenlaces digitales*. p. 10.

1.2.1. Componentes del radio

En la figura 3 se muestra un diagrama de bloques simplificado del equipo transmisor encontrado en las estaciones terminales.

Figura 3. Componentes de un transmisor en una estación terminal

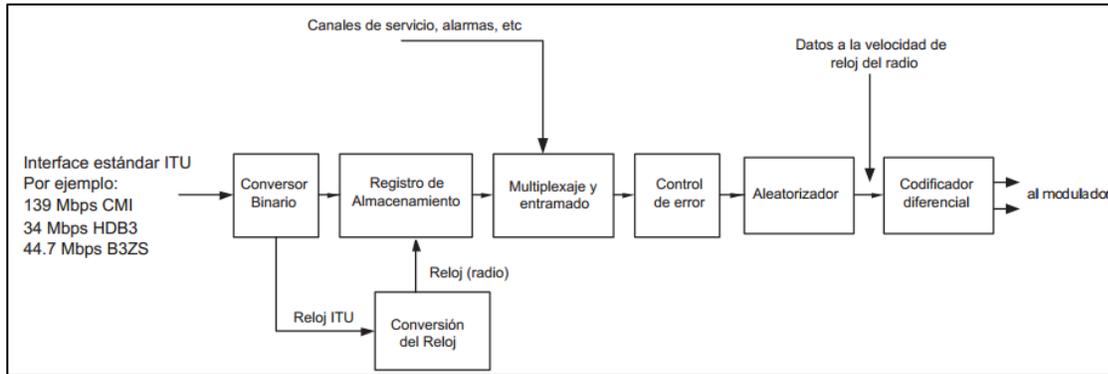


Fuente: ALBORNOZ, José Manuel. *Radioenlaces digitales*. p. 15.

La señal de banda base está constituida por el flujo de bits proveniente de un multiplexor jerárquico. Sin embargo, la operación del sistema hace necesario incluir en la señal transmitida cierta información adicional, tal como la correspondiente a las alarmas y canales de servicios. Esta información adicional es multiplexada junto con la banda base en el codificador, por lo que el radioenlace opera a una velocidad de bits mayor que la del multiplexor que lo alimenta.

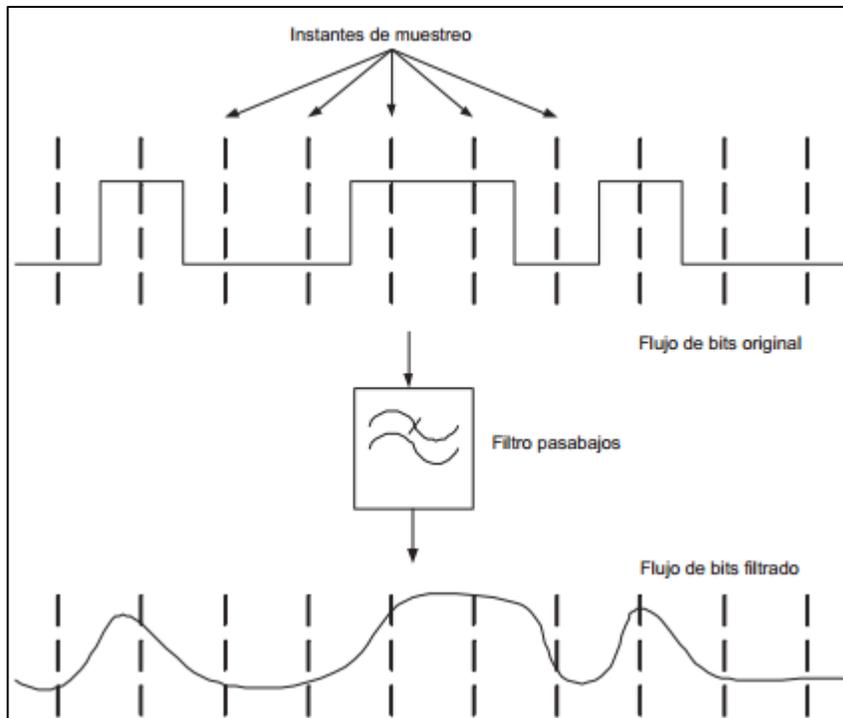
En el codificador se realizan procesos tales como la inclusión de algún mecanismo de control de error (como la inclusión de bit de paridad) y la aleatorización de la señal transmitida, como se muestra en la figura 4.

Figura 4. Estructura de un codificador



Fuente: ALBORNOZ, José Manuel. *Radioenlaces digitales*. p. 24.

Figura 5. Efecto de filtrado sobre la señal digital



Fuente: ALBORNOZ, José Manuel. *Radioenlaces digitales*. p. 25.

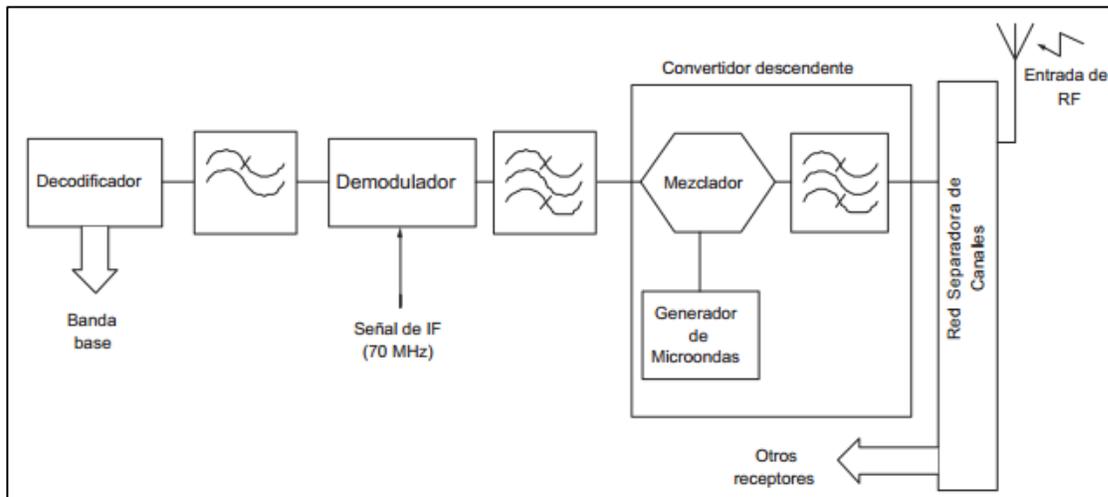
En condiciones ideales, un radio podría transmitir el tren de pulsos cuadrados proveniente del codificador sin realizar un filtrado previo, para posteriormente recuperarlo fácilmente en el receptor; sin embargo, debe tenerse en cuenta que el espectro correspondiente a un tren de pulsos cuadrado ocupa un ancho de banda teóricamente infinito. Si tal señal se transmite produciría interferencia sobre los sistemas vecinos, por lo que la banda base debe ser filtrada. Este trabajo del filtro pasa bajos a la salida del codificador en la figura 3. El filtro afecta la forma de los pulsos, tal como se muestra en la figura 5. La idea es permitir cierta distorsión de los pulsos sin afectar la capacidad de discriminar los pulsos transmitidos.

El papel del modulador es modificar simultáneamente la amplitud y la fase de la portadora de IF (frecuencia intermedia que varía entre 70 a 140 MHz dependiendo de la distancia equipos) en función de la secuencia de bits. Los esquemas de modulación empleados son del tipo de modulación de amplitud en cuadratura QAM (*Quadrature amplitude modulation*), lo cual permite aprovechar más eficientemente el ancho de banda del canal de microondas. La señal IF modulada pasa por un convertidor ascendente compuesto por un generador de microondas, un mezclador y un filtro pasa banda, para entregar la señal portadora de RF a la antena transmisora o a una red combinada de canales.

Como se aprecia en la figura 6, hay un convertidor descendente compuesto por un filtro pasa banda, un mezclador y un generador de microondas, el cual traslada la información contenida en la señal a la banda de IF. El demodulador recupera la señal de sincronismo o reloj presente en la señal transmitida y regenera la secuencia de bits original en base a las fluctuaciones de amplitud o fase presentes en la señal de IF. A la salida del demodulador se realiza una nueva operación de filtrado para procesar la señal

en un decodificador que suministra la secuencia de bits original que corresponde a la banda base.

Figura 6. Estructura de un receptor en las estaciones terminales



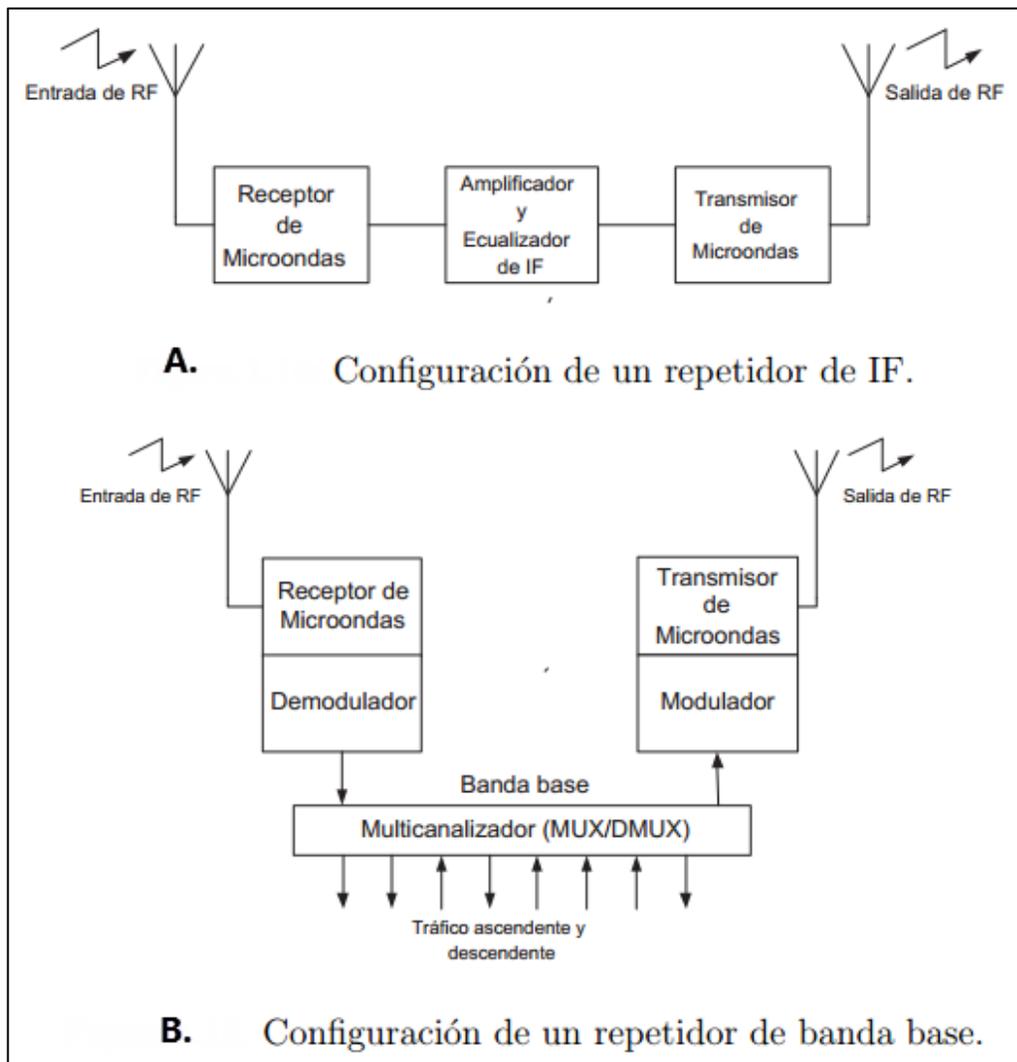
Fuente: ALBORNOZ, José Manuel. *Radioenlaces digitales*. p. 26.

1.2.2. Repetidores

Un radioenlace requiere de estaciones repetidoras, las cuales son en esencia una combinación de receptor y transmisor. Básicamente, hay tres tipos de repetidor: banda base, heterodinos o de IF y repetidores pasivos.

Un repetidor de IF, la portadora de RF es convertida a una señal de IF que, posteriormente, es amplificada y retransmitida como una portadora de microondas. La señal no es demodulada más allá de la etapa IF, la información en la banda base no es modificada.

Figura 7. Configuración de un repetidor IF en banda base



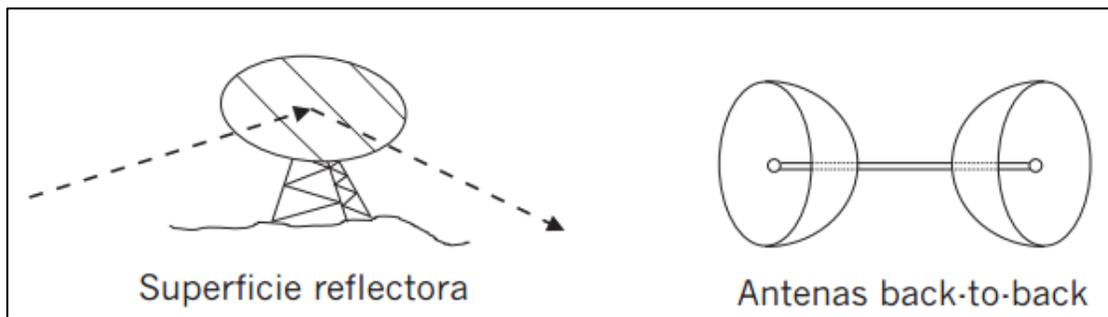
Fuente: ALBORNOZ, José Manuel. *Radioenlaces digitales*. p. 28.

En un repetidor en banda base, la portadora RF recibida es convertida en una señal de IF que luego es demodulada hasta recuperar la banda base. Esto permite retirar tráfico para cumplir con las necesidades de enrutamiento de información. El equipo que realiza la modificación en banda base se denomina

un multicanalizador, mientras que en un sistema digital se realiza a través de un multiplexor / demultiplexor.

Los repetidores pasivos redirigen las señales de microondas que inciden sobre ellos hacia una dirección particular. Este tipo de repetidor es una superficie reflectora convenientemente orientada, o dos antenas conectadas en configuración espalda con espalda “back to back”.

Figura 8. Repetidor pasivo



Fuente: ALBORNOZ, José Manuel. *Radioenlaces digitales*. p. 45.

1.3. Concepto de propagación

El principal factor limitante de la propagación en enlaces de microondas es la distancia entre el terminal transmisor y receptor. La señal microonda transmitida es distorsionada y atenuada mientras viaja desde el transmisor hasta el receptor. Estas atenuaciones y distorsiones son causadas por agentes externos y perturbaciones del haz radioeléctrico como reflexiones y difracciones.

1.3.1. Curvatura del radioenlace

A largas distancias el haz electromagnético se curva como consecuencia del fenómeno de refracción troposférica. La tropósfera puede modelarse con un gradiente de índices de refracción que varían con la altura, debido fundamentalmente a variaciones de temperatura y presión. Ello provoca que la trayectoria del rayo no sea rectilínea, lo que, a su vez, obliga a variar ligeramente el apuntamiento de las antenas en el plano vertical.

Todos los efectos contribuyen a una mayor o menor influencia de obstáculos que modificarán su altura real con el fin de modelarlos correctamente. La curvatura terrestre contribuye a aumentar la altura efectiva de los obstáculos sobre la cota imaginaria de la tierra plana. Aplicando una corrección sobre la curvatura terrestre, lo que se conoce como modelo de tierra ficticia, ayuda a disminuir la altura efectiva de los obstáculos. En este caso el radio de la tierra debe multiplicarse por un factor k , tal como se muestra en la 9.

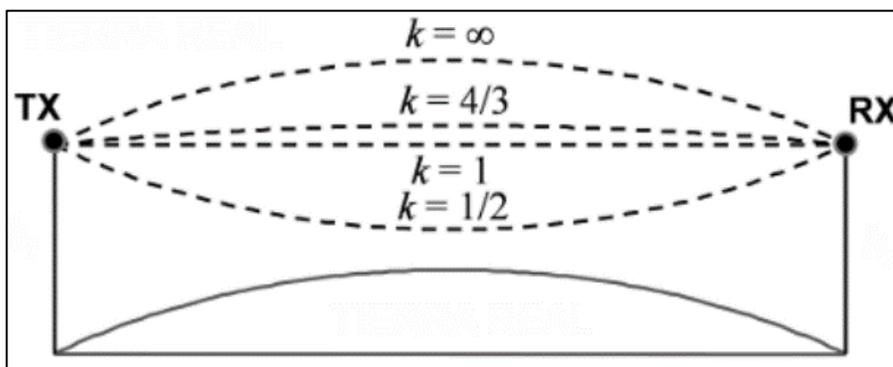
El gradiente del índice de refracción o factor k ayuda a cuantificar la curvatura de un camino de rayo emitido. Se tiende a definir este factor como el grado y la dirección de la curvatura que describe el haz de microonda durante su propagación. Cualquier variación del índice de refracción provocada generalmente por la alteración en las condiciones atmosféricas, se expresa como un cambio del factor k . Este factor permanece constante con la longitud, pero varía con la latitud.

- Cuando $K=1$ no se produce ninguna curvatura ya que la constante dieléctrica no cambia con la altura.
- Cuando $k<1$ el haz se curva en forma opuesta a la curvatura terrestre; la constante dieléctrica aumenta con la altura. Este efecto puede obstruir

parcialmente el trayecto de transmisión, produciéndose así una difracción.

- Cuando $k > 1$ la tierra parece ante el haz como perfectamente plana, ya que su curvatura tiene exactamente el mismo valor que la terrestre. La constante dieléctrica disminuye con la altura.
- Cuando $k = 3/4$ se habla de atmósfera normal, es el valor promedio que se espera con más frecuencia, especialmente durante las horas del día.

Figura 9. **Factor k aplicado a la curvatura terrestre**



Fuente: <http://www.radioenlaces.es/articulos/correccion-de-la-altura-de-los-obstaculos/>.

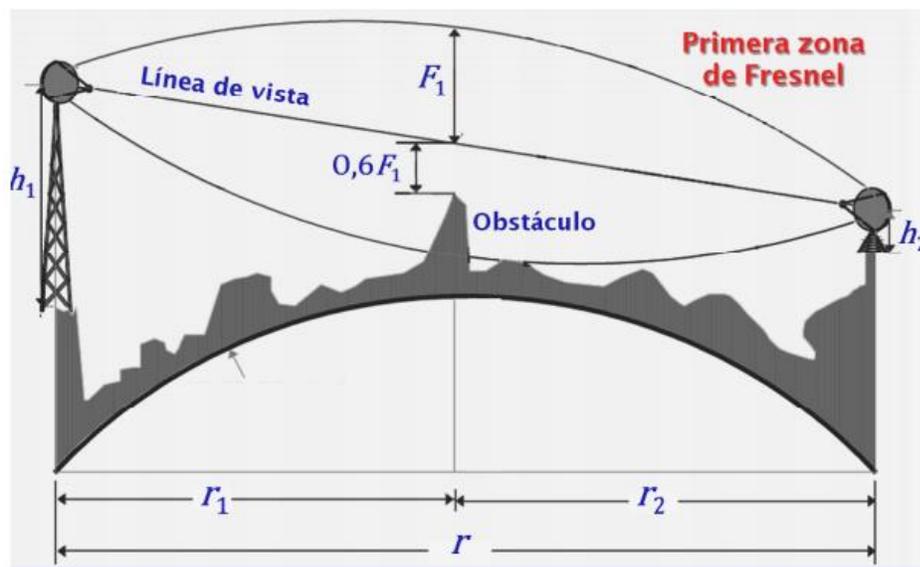
Consulta: julio de 2016.

1.3.2. Zona de Fresnel

Según Huygens Fresnel las ondas viajan en una zona en forma de elipsoide de revolución. En el trayecto, se debe evitar los obstáculos, pero también evitar la difracción causada por la obstrucción parcial de cualquier objeto fijo. La difracción hace que aparezca una segunda onda en el receptor, y las dos ondas, dependiendo sus fases relativas, podrían cancelarse entre sí hasta cierto grado, produciendo el desvanecimiento de la onda como muestra la

figura 10. Los efectos de difracción se reducen si el trayecto directo de la onda evita obstáculos por lo menos 60 % del radio de la primera zona de Fresnel.

Figura 10. Zonas de Fresnel



Fuente: www.iesromerovargas.es/recursos/elec/sol/est-antenas.html. Consulta: julio de 2016.

La teoría de Fresnel demuestra que si la fase es 0° en el trayecto directo, la primera zona abarca hasta que la fase llegue a $180^\circ (\lambda/2)$, la segunda zona hasta $360^\circ (\lambda)$, y es un segundo elipsoide que contiene al primario. Normalmente se calcula el radio de la primera zonal de Fresnel, debido a que en este se concentra mayor cantidad de energía. El cálculo de la primera zona de Fresnel se determina según la recomendación R-REC-P.526.¹

¹ Recomendación por la Unión Internacional de Telecomunicaciones de la serie P.

1.3.3. Fenómenos asociados a la propagación

Las señales utilizadas en un radioenlace se propagan a través de la parte baja de la atmósfera, en la vecindad de la superficie terrestre; por tal razón el ingeniero que diseña un radioenlace debe estar familiarizado con los fenómenos que influyen en la propagación. La presencia de la superficie terrestre y de la atmósfera afecta la propagación de las señales de microonda de los mecanismos de difracción, reflexión, refracción, absorción y dispersión.

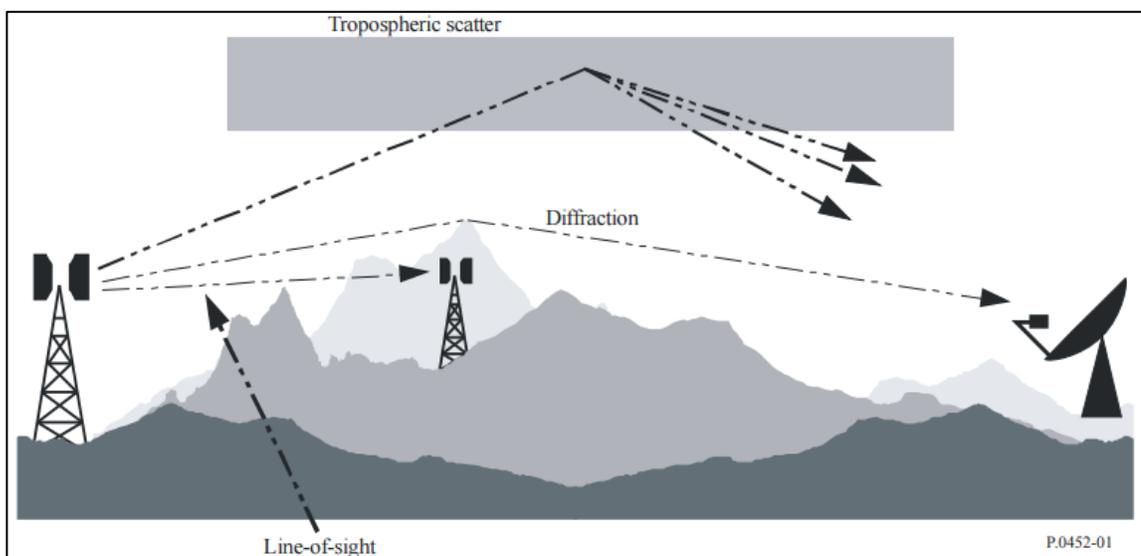
1.3.3.1. Difracción

Se puede considerar un radioenlace, en el que el perfil del terreno en ambos extremos puede ser muy diverso, desde llanuras hasta terrenos montañosos. Las antenas son altamente direccionales y están alineadas entre sí, por lo que la mayor parte de la radiación se encuentra en el estrecho haz denominado haz radioeléctrico. Se cuenta una propagación en el espacio libre, que no es afectada por la tierra ni por la atmósfera.

Sin embargo, puede ocurrir que el perfil del terreno o cualquier obstáculo intercepte una porción de la radiación emitida por la antena, dando lugar a una zona de penumbra radioeléctrica a la que no llegan trayectorias directas desde la antena transmisora. En el caso de las señales microondas, la transición entre la luz y la sombra arrojada por los obstáculos en la trayectoria del haz radioeléctrico es mucho más gradual que en el caso óptico. Como consecuencia, hay una zona de penumbra donde se observa la recepción de señales, las cuales jamás podrían llegar a través de un haz que siguiese una trayectoria directa hasta la antena receptora.

En la mayoría de los casos, el efecto de difracción es producir atenuación en la intensidad de la señal recibida como se muestra en la figura 11. El procedimiento de predicción y evaluación para interferencias en la superficie de la tierra está determinado en ITU-R P.452-16.

Figura 11. **Mecanismos de interferencia a largo plazo**



Fuente: <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.452/es>. Consulta: julio de 2016.

1.3.3.2. Reflexión

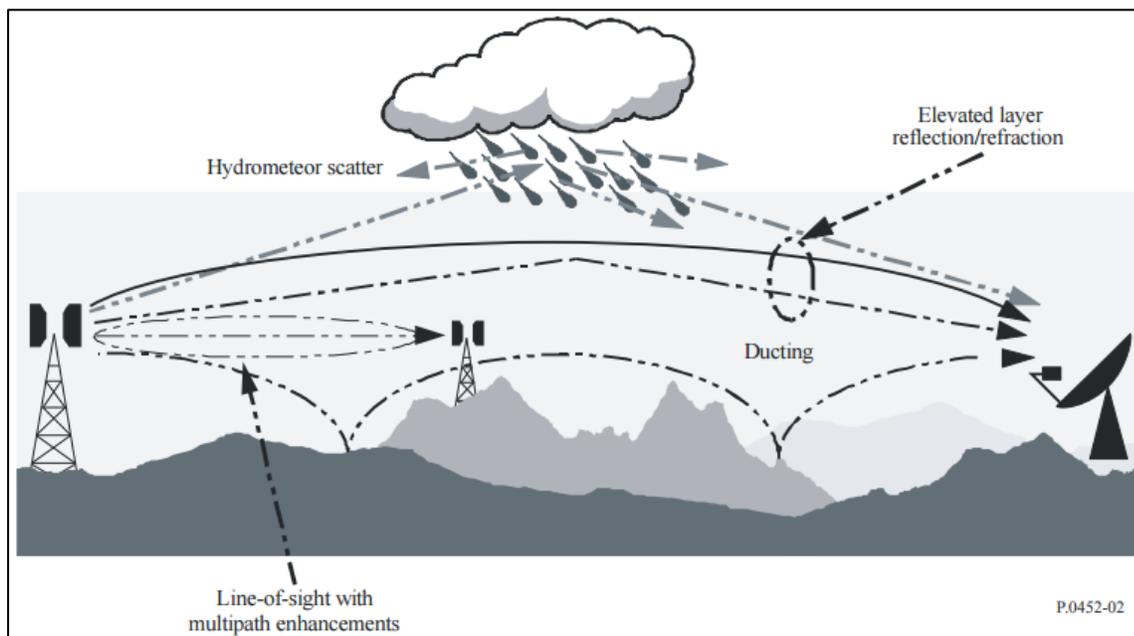
Si el perfil del terreno es llano, parte de la radiación interceptada puede ser reflejada en forma especular hacia la antena receptora, como se muestra en la figura 11. En estas condiciones se producirá interferencia entre la radiación que sigue la trayectoria directa.

1.3.3.3. Refracción

Considere el efecto que provoca la atmósfera sobre la propagación de las microondas. Si la atmósfera fuera perfectamente homogénea, la propagación de las señales de microondas tendría lugar a lo largo de una línea recta (excepto cuando se produce difracción). Pero la atmósfera terrestre sufre variaciones de presión, temperatura y humedad en el tiempo y el espacio, por lo que rara vez puede considerarse un medio homogéneo.

El fenómeno de refracción hace que en condiciones normales la trayectoria de una señal sea cóncava hacia abajo, aumentando el alcance de las señales respecto del que tendrían si la trayectoria fuese una línea recta.

Figura 12. **Mecanismos de interferencia a corto plazo**



Fuente: <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.452/es>. Consulta: julio de 2016.

1.3.3.4. Absorción y dispersión

La atmósfera de la tierra contiene dos gases que absorben parte de la energía de las señales de microondas: el oxígeno y el vapor de agua. La pérdida de potencia de la señal debida a estos fenómenos es una función de la frecuencia y de las concentraciones de dichos gases en la atmósfera.

Cuando el vapor de agua se encuentra condensado en forma de niebla o lluvia, produce pérdida dependiendo de la relación entre la longitud de la onda de la señal y del tamaño promedio de las gotas de agua. Si el tamaño de estas últimas es muy pequeño, las pérdidas serán predominantemente debidas a la absorción. Si por el contrario el tamaño de las gotas es comparablemente a la longitud de la onda, la energía que incide sobre las gotas será dispersada en direcciones aleatorias.

1.3.3.5. Desvanecimiento selectivo

Este tipo de problema es totalmente dependiente de la frecuencia y forma parte de los problemas de propagación por caminos múltiples o multitrayectos.

La característica de este problema es la variación en la amplitud y el retardo de la señal, provocando que en la parte de la recepción se tenga varias señales produciendo un problema de difícil predicción. El desvanecimiento selectivo se presenta con mayor probabilidad al aumentar la capacidad del enlace. El factor de desvanecimiento selectivo (η) sirve para calcular la probabilidad que un desvanecimiento ocurra. Se obtiene según la recomendación ITU-R P.530.

1.3.3.6. Atenuación por lluvia

Los radioenlaces sufren atenuación debido a fenómenos tales como lluvia, nubes, neblina, etcétera. Cuando llueve en la zona donde está instalada una estación terrena, ya sea en el terminal transmisor o receptor, las señales son atenuadas conforme se propagan a través de la región del aire en donde esté lloviendo.

El modelo para la atenuación específica γ_R (dB/Km) se obtiene a partir de la intensidad de la lluvia. Se calcula según la recomendación ITU-R P.838-3.

Tabla III. **Coefficientes k y α para estimar la atenuación**

Frequency (GHz)	k_H	α_H	k_V	α_V
1	0.0000259	0.9691	0.0000308	0.8592
1.5	0.0000443	1.0185	0.0000574	0.8957
2	0.0000847	1.0664	0.0000998	0.9490
2.5	0.0001321	1.1209	0.0001464	1.0085
3	0.0001390	1.2322	0.0001942	1.0688
3.5	0.0001155	1.4189	0.0002346	1.1387
4	0.0001071	1.6009	0.0002461	1.2476
4.5	0.0001340	1.6948	0.0002347	1.3987
5	0.0002162	1.6969	0.0002428	1.5317
5.5	0.0003909	1.6499	0.0003115	1.5882
6	0.0007056	1.5900	0.0004878	1.5728
7	0.001915	1.4810	0.001425	1.4745
8	0.004115	1.3905	0.003450	1.3797
9	0.007535	1.3155	0.006691	1.2895
10	0.01217	1.2571	0.01129	1.2156

Fuente: <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.838/es>. Consulta: julio de 2016.

Los valores de los coeficientes son fiables hasta los 40 GHz. Se puede obtener los coeficientes a frecuencias distintas a las del cuadro mediante una interpolación, utilizando una escala logarítmica para la frecuencia, el valor de k , y una escala lineal para α .

1.4. Modulación digital

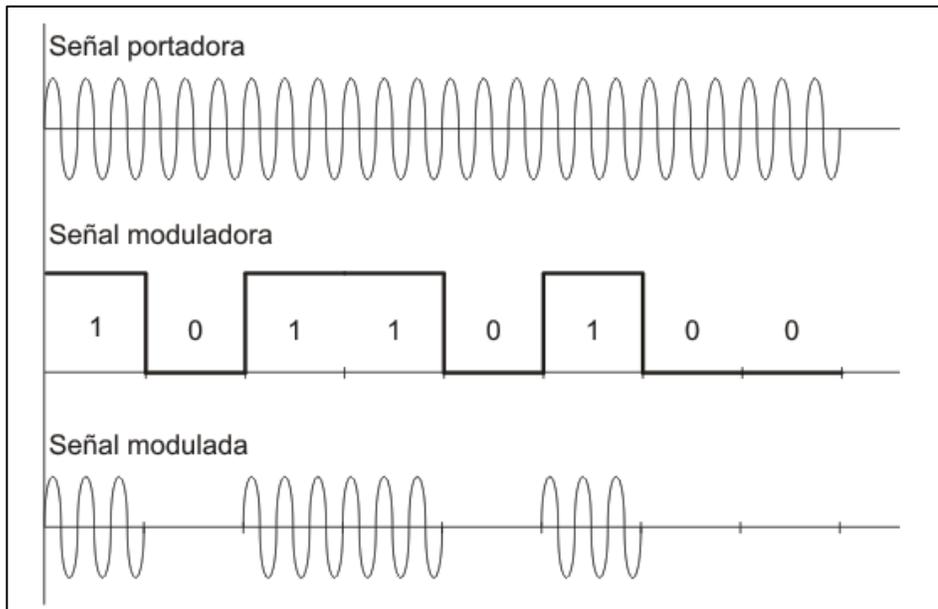
La modulación engloba el conjunto de técnicas que se usan para transportar información sobre una onda portadora, típicamente una onda sinusoidal. Esta técnica permite un mejor aprovechamiento del canal de comunicación, lo que posibilita transmitir más información en forma simultánea, además de mejorar la resistencia contra posibles ruidos e interferencias.

1.4.1. Modulación por desplazamiento de amplitud

ASK (*Amplitude shift keying*), es la modulación donde la señal portadora análoga varía conforme a la corriente de bits (la señal moduladora), manteniendo la frecuencia y fase constante. El nivel de amplitud puede ser usado para representar los valores binarios de 0 y 1. En la figura 13 se muestra este tipo de modulación.

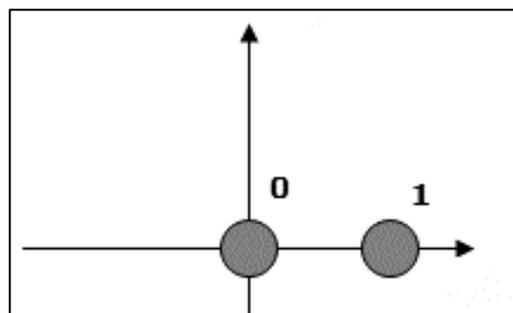
Otra forma de representar una modulación es por medio del diagrama de constelación, la amplitud y la fase de una señal se pueden representar en coordenadas polares como puntos discretos en el plano.

Figura 13. **Modulación por desplazamiento de amplitud**



Fuente: <http://www.textoscientificos.com/redes/modulacion/ask>. Consulta: agosto de 2016.

Figura 14. **Diagrama de constelación ASK**



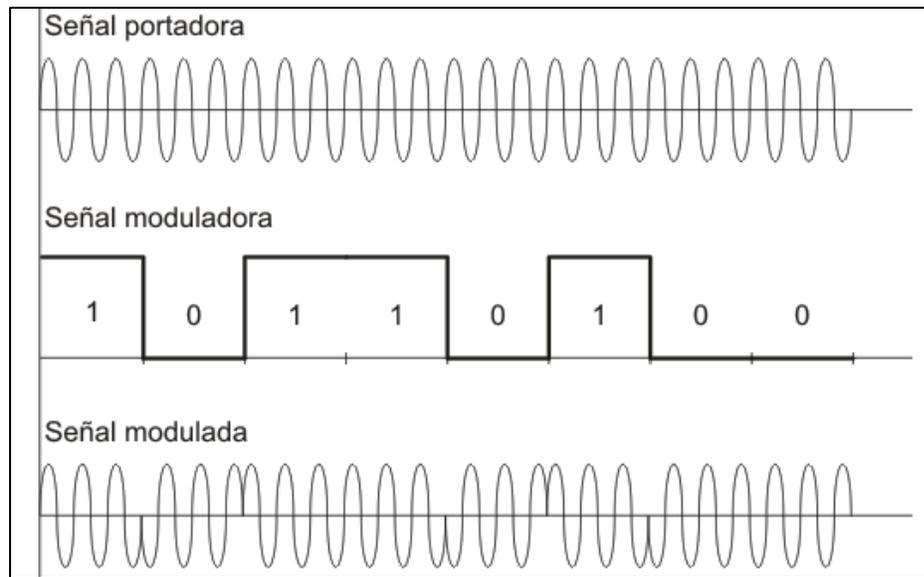
Fuente: <http://www.textoscientificos.com/redes/modulacion/ask>. Consulta: agosto de 2016.

En el diagrama de la figura 14 se representan los posibles estados de salida ante los cambios de entrada.

1.4.2. Modulación por desplazamiento de fase

PSK (*Phase shift keying*), es una forma de modulación angular que consiste en hacer variar la fase de la portadora entre un número de valores discretos. La variación de la fase en la señal digital es discreta.

Figura 15. Modulación por desplazamiento de fase



Fuente: <http://www.textoscientificos.com/redes/modulacion/psk>. Consulta: agosto de 2016.

1.4.3. Modulación por amplitud en cuadratura

QAM (*Quadrature amplitude modulation*), es una modulación que ofrece una mayor eficiencia espectral debido a que emplea la modulación ASK y PSK descritas anteriormente. En el diagrama de constelación de la figura 16 se observa cómo varía la amplitud y la fase en un mismo tiempo generando más posibles valores por un cambio de estado.

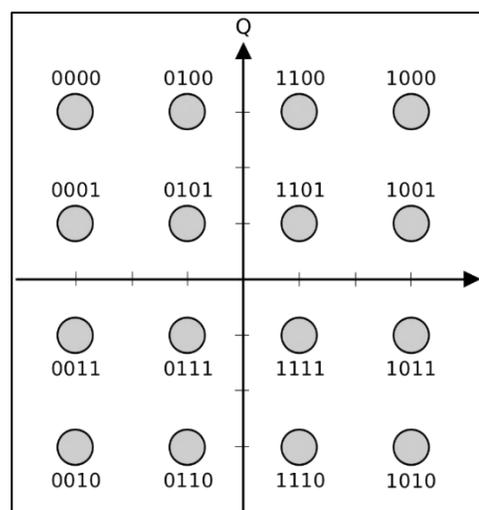
Por ejemplo, en 16 QAM, cada cuatro bits de entrada proporcionan dieciséis valores de salida alterando la fase y la amplitud de la portadora. Se obtiene operando con base 2 y como exponente el número de bits por símbolo. El resultado se muestra en la tabla 4.

Tabla IV. **Capacidad en modulación QAM**

Modulación	bits por símbolo
4QAM	2
16QAM	4
64QAM	6
128QAM	7
1024QAM	10
2048QAM	11

Fuente: <http://www.textoscientificos.com/redes/modulacion/qam>. Consulta: agosto de 2016.

Figura 16. **Diagrama de constelación 16 QAM**



Fuente: <http://www.textoscientificos.com/redes/modulacion/qam>. Consulta: agosto de 2016.

La razón por la que se utiliza QAM es porque existe una mayor distancia entre los puntos adyacentes en el diagrama de constelación mediante la distribución uniforme de los puntos. Al estar los puntos más distantes se reduce los bits de error. A medida que se aumenta la modulación, se aumenta los bits por símbolo.

1.5. Teoría de antenas

Una antena es un dispositivo pasivo diseñado con el objetivo de emitir o recibir ondas electromagnéticas en el espacio libre. Una antena transmisora transforma voltajes en ondas electromagnéticas y una receptora la función inversa.

Existen varios tipos de antenas, según el tipo de patrón de radiación. Entre los principales patrones de radiaciones se encuentran: el isotópico (irradia la señal en forma de esfera perfectamente uniforme), el omnidireccional, y el direccional.

En enlaces microondas se utilizan antenas parabólicas para transmitir un haz estrecho y tener mayor concentración de la energía radiada. Se utilizan principalmente en enlaces de larga distancia, Sin embargo, actualmente se utilizan también para enlaces cortos punto a punto. El diseño propuesto consiste en este tipo de enlace.

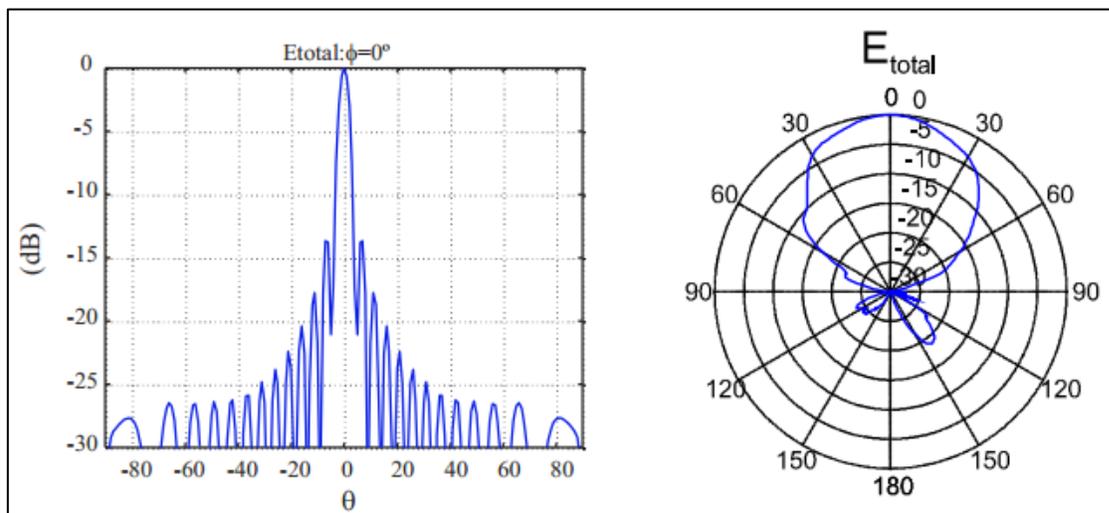
1.5.1. Diagrama de radiación

Un diagrama de radiación es una representación gráfica de las propiedades de radiación de la antena en función de las diferentes direcciones del espacio. Con una antena en el origen y manteniendo constante la distancia,

expresa el campo eléctrico en función de las variables en coordenadas esféricas. El diagrama de radiación cobra relevancia en la zona de campo lejano, es decir, en la zona donde la forma del diagrama es invariante en función de la distancia.

El diagrama de radiación suele representarse mediante cortes extraídos del diagrama tridimensional. Estos cortes se pueden representar en coordenadas polares o cartesianas tal como se muestra en la figura 17.

Figura 17. Diagrama de radiación de un dipolo



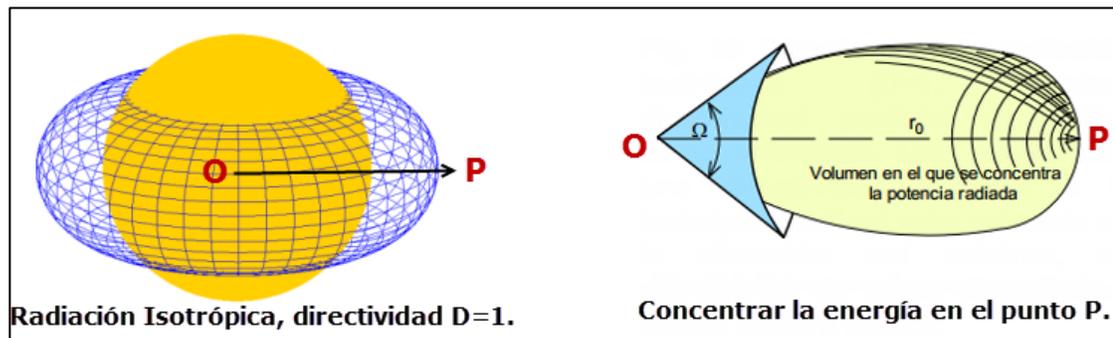
Fuente: ANGUERA, Jaime y PÉREZ, Antonio. *Teoría de antenas*. p. 39.

1.5.2. Directividad

La directividad de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección, a una distancia dada, y la densidad de potencia que radiaría a esta misma distancia una antena isotrópica con la misma potencia que la antena transmisora. De manera gráfica, se dice que una

antena muy directiva, es capaz de concentrar la potencia que radia (o recibe) en una determinada dirección. En la figura 18 se observa la posibilidad de concentrar la energía isotrópica en un ángulo sólido (Ω).

Figura 18. **Antena con directividad isotrópica y concentrada**



Fuente: ANGUERA, Jaume y PÉREZ, Antonio. *Teoría de antenas*. Página 41.

En otras palabras, la directividad se puede considerar como la razón de la intensidad radiada en una dirección a la intensidad de radiación de una antena con patrón isotrópico.

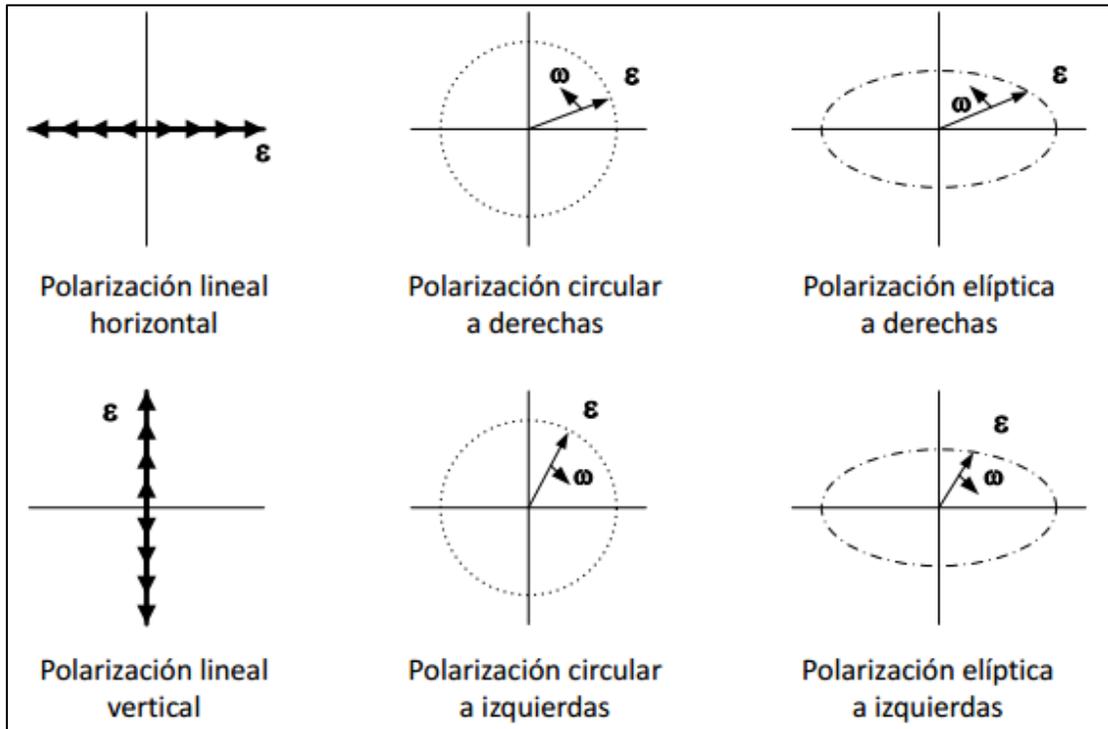
1.5.3. Ganancia

La directividad no toma en cuenta la eficiencia de la antena, la toma como un elemento sin pérdidas. En realidad, las antenas se construyen con materiales que son conductores imperfectos, por lo que parte de la potencia suministrada a la antena se perderá en esta, bien sea por calentamiento a causa de la resistencia de los conductores o por fugas de los dieléctricos, dando como resultado una reducción en la potencia neta.

1.5.4. Polarización

La polarización de una antena en una dirección dada se define como la polarización de la onda radiada cuando esta se encuentra excitada. La polarización se define en la dirección en la que la antena radia el máximo potencial, ya que los enlaces se diseñan para que sean eficientes en la dirección de radiación. La polarización de la onda radiada varía con la dirección respecto del centro de la antena, por lo que diferentes partes del diagrama de radiación pueden tener distintas polarizaciones.

Figura 19. Polarización lineal, circular y elíptica

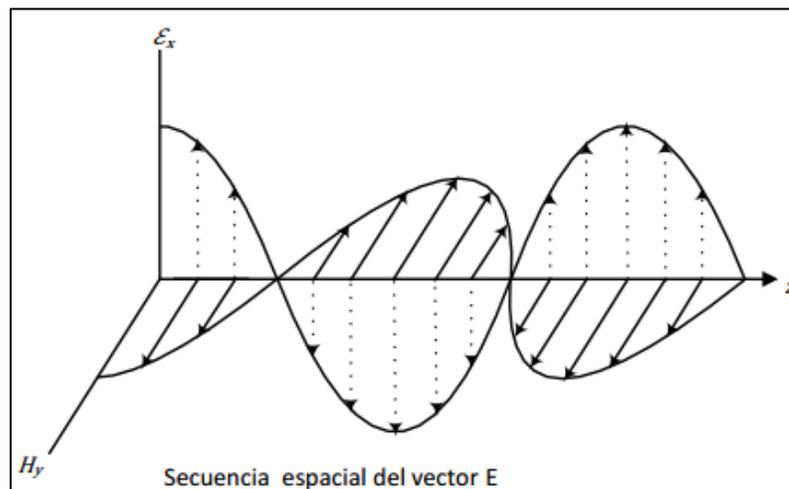


Fuente: ANGUERA, Jaume y PÉREZ, Antonio. *Teoría de antenas*. p 47.

La característica principal de la polarización lineal es que las variaciones del vector del campo eléctrico están contenidas en una única dirección. Cabe citar el siguiente ejemplo: si una antena trabaja en polarización lineal vertical, es decir, perpendicular a la superficie del suelo, en teoría solo puede transmitir o recibir ondas verticalmente polarizadas, así la antena no podrá recibir una onda polarizada horizontalmente, es decir, paralela al suelo.

La figura 20 muestra una onda plana en tres dimensiones, a medida que el tiempo progresa, el campo eléctrico (E_x) en un punto fijo oscila hacia arriba y hacia abajo a lo largo del eje Z. En este plano ortogonal al sentido de propagación se pone de manifiesto la trayectoria que describe el vector de campo eléctrico con el transcurso del tiempo.

Figura 20. **Onda polarizada verticalmente**



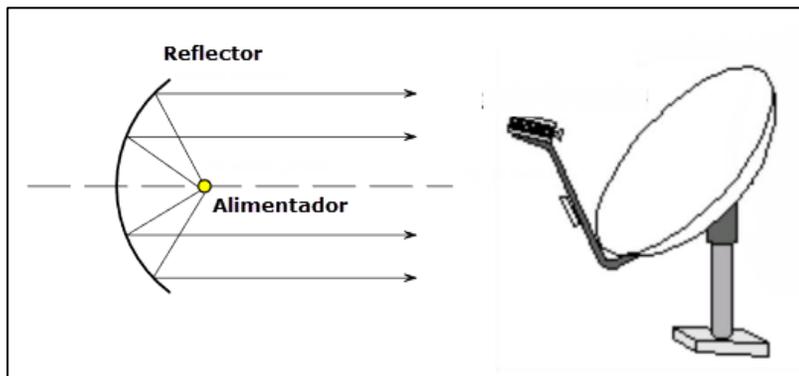
Fuente: ANGUERA, Jaume y PÉREZ, Antonio. *Teoría de antenas*. p. 45.

1.5.5. Antena parabólica

Una antena parabólica consta de dos partes, tal y como se muestra en la figura 21, un plato curvo que actúa como reflector para direccionar la señal, y un alimentador que se ubica a una distancia sobre el plato. El emisor envía la señal hacia el plato, donde se refleja y se direcciona.

Cuando se desea la máxima directividad de una antena, la forma del reflector generalmente es parabólica, con la fuente localizada en el foco y dirigida hacia el reflector. Las antenas con reflector parabólico se utilizan extensamente en sistemas de comunicaciones en las bandas UHF a partir de los 800 MHz y en la banda SHF.

Figura 21. Antena con reflector parabólico



Fuente: ANGUERA, Jaume y PÉREZ, Antonio. *Teoría de antenas*. p 288.

1.6. Metro Ethernet

Redes como internet se diseñaron para conectividad de áreas amplias. Sin embargo, muchas empresas, universidades y otras organizaciones tienen un

gran número de *host* (en informática se refiere a un dispositivo conectado a la red que provee y utiliza servicios de ella) que requieren interconexiones en ambientes locales. Esta necesidad dio origen a la red de área local, siendo la más popular de ellas el estándar IEEE² 802.3. A pesar de que Ethernet nació como una tecnología LAN, el desarrollo de los medios y equipos de transmisión (radioenlaces, fibra óptica) ha permitido su utilización en ambientes geográficos más extensos.

En el estándar IEEE 802.3 se definen especificaciones de redes locales basadas en Ethernet. Describe la serie de bits digitales que viaja por el cable. Ethernet es único en su método para acceder al cable. IEEE 802.3 y sus variantes obtienen el uso del cable al competir por él. Este sistema se denomina Acceso múltiple con detección de portadora y detección de colisiones (CSMA/CD, *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*).

1.6.1. Funcionamiento de Ethernet

Ethernet trabaja en las dos capas inferiores del modelo OSI³: la capa de enlace de datos y la capa física. La capa 1 (física) desempeña un papel importante en la comunicación que se produce entre los dispositivos. Ethernet en la capa 1 se encarga de transportar las secuencias de bits, generar las señales eléctricas y controlar los componentes físicos que transmiten estas señales a los medios.

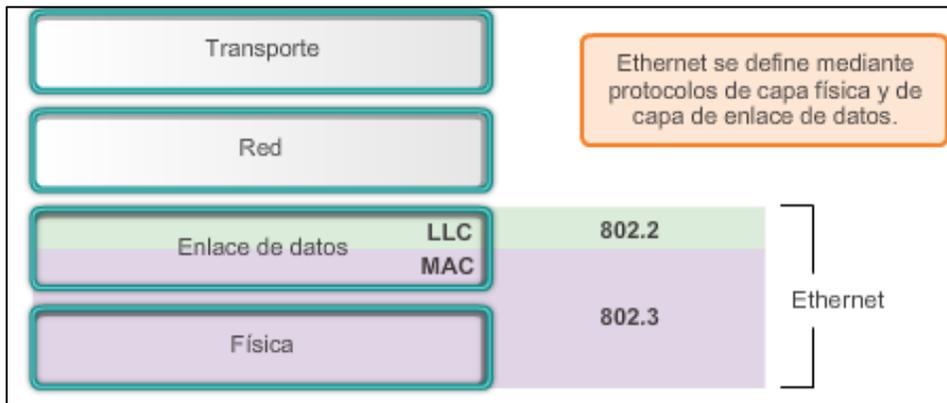
La capa 2 (enlace de datos) en Ethernet se separa por dos subcapas como muestra la figura 22, con funciones específicas en cada una de ellas,

² El Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica —conocido por sus siglas IEEE.

³ Modelo de referencia para los protocolos de la red de arquitectura en capas, creado en el año 1980 por la Organización Internacional de Normalización (ISO).

estas dos subcapas son: subcapa de control de enlace lógico (LLC) y subcapa de control de acceso al medio (MAC).

Figura 22. **Ethernet en la capa física y de datos**



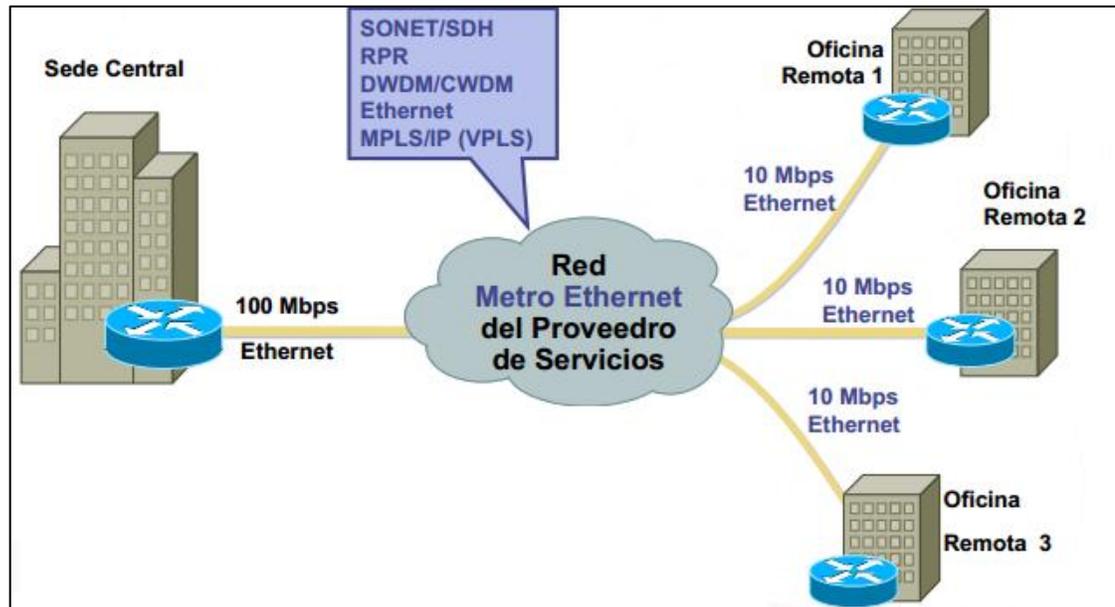
Fuente: <https://www.netacad.com/es/>. CCNA Módulo 1, capítulo 5. Consulta: agosto de 2016.

1.6.2. **Qué es Metro Ethernet**

Según la definición establecida por la asociación de investigación Metro Ethernet *Forum* (MEF), una red Metro Ethernet es una arquitectura tecnológica para suministrar servicios de conectividad MAN / WAN de nivel 2 a través de Ethernet.

Es una arquitectura tecnológica designada a suministrar servicios de conectividad WAN de nivel 2, a través de UNIs Ethernet. Estas redes soportan una amplia gama de servicios, aplicaciones, contando con mecanismos donde se incluye soporte al tráfico en tiempo real, como la telefonía IP y video IP, tráfico sensible a la pérdida de paquetes.

Figura 23. Red Metro Ethernet

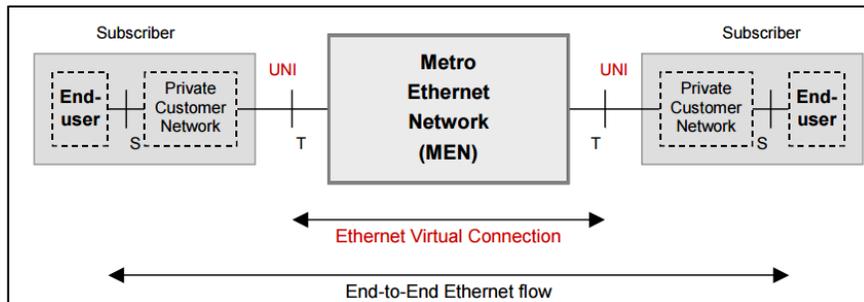


Fuente: <https://www.ieee.org.ar/downloads/metroethernet.pdf>. Consulta: agosto de 2016.

1.6.2.1. Estructura de la red

Según las especificaciones técnicas MEF 4, una red está conformada por dos elementos funcionales: El equipo terminal del cliente y la infraestructura de la red MEN del proveedor de servicios, tal como se muestra en la figura 24. El punto T hace referencia a la frontera entre la interfaz de usuario (UNI) y la infraestructura pública de la red MEN. El punto S hace referencia a la frontera entre los equipos de la red privada, cuando existe y al equipo terminal del usuario final. De no existir una infraestructura privada entre el equipo terminal del suscriptor y el equipo de la red MEN, los puntos de referencia S y T serían uno solo.

Figura 24. **Modelo básico de una red MEN**

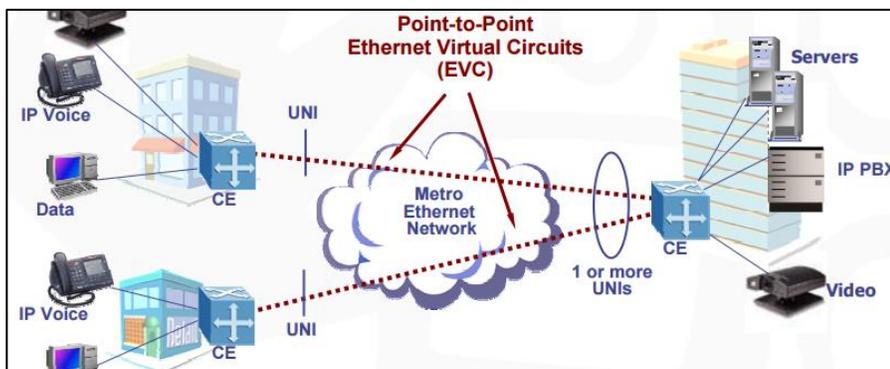


Fuente: https://mef.net/PDF_Documents/technical-specifications/MEF4.pdf. Consulta: agosto de 2016.

Se definen los cuatro elementos primordiales en la red Metro Ethernet:

- Equipo del cliente
- Equipo de acceso
- Equipo de distribución
- Canal virtual Ethernet

Figura 25. **Modelo de un circuito virtual Ethernet**



Fuente: <https://www.ieee.org.ar/downloads/metroethernet.pdf>. Consulta: agosto de 2016.

Las ventajas que ofrecen estos servicios son:

- Reducción de la curva de aprendizaje: la tecnología de red es la misma para las LAN como para las WAN.
- Simplificación de los esquemas: no es necesario pensar en la topología de red porque desde el primer momento existe conectividad entre las sedes.
- Extensión de la red LAN virtuales: las redes se pueden segmentar en distintos dominios por motivos de seguridad y calidad.
- Facilidad de acceso a servicios centralizados: Se pueden extender servicios y aplicaciones de una determinada sede a todas las demás.
- Flexibilidad y recuperación ante desastres: se puede trasladar equipos y servicios de una sede a otra sin modificar la configuración.

2. DESCRIPCIÓN ACTUAL DE LA RED METRO ETHERNET

2.1. Situación para implementar el radioenlace

Una empresa ha solicitado a su ISP⁴ entregarle en una nueva sucursal los siguientes servicios sobre la red Metro Ethernet: internet corporativo de 10 Mbps, conexión de Datos MPLS de 2 Mbps, y un E1 *siptrunk* de 2 Mbps para la planta telefónica.

El ISP inicia el estudio de prefactibilidad para darle un costo de instalación que es absorbido por el cliente debido a que corresponde a la última milla. Como muestra la figura 26, no hay cobertura de postes. Por normas que rigen el país, en el centro de la ciudad ningún proveedor tiene permitido instalar más postes de los ya existentes. Por parte de la Municipalidad existen proyectos para la unificación e identificación de la red PUM (Postes Únicos Municipales) con el fin que todas las empresas que actualmente instalan infraestructura puedan rentarlos.

El proveedor por parte del área comercial en conjunto con el departamento de ingeniería, presentan la propuesta de entregar los servicios por medio de un radioenlace Ethernet de la sucursal al nodo más cercano dado que el terreno es apto para implementarlo, tal y como se muestra en la figura 27. Presentando un costo total de la instalación a través de una factibilidad técnica evaluada por el área responsable de implementarlo. En la sección 5.2 se analiza a detalle la rentabilidad del proyecto.

⁴ Compañía de Telecomunicaciones, se define como ISP (*Internet Service Provider*).

Figura 26. Red de postes del ISP en el centro de la ciudad



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 27. Evaluación previa para instalar el radioenlace



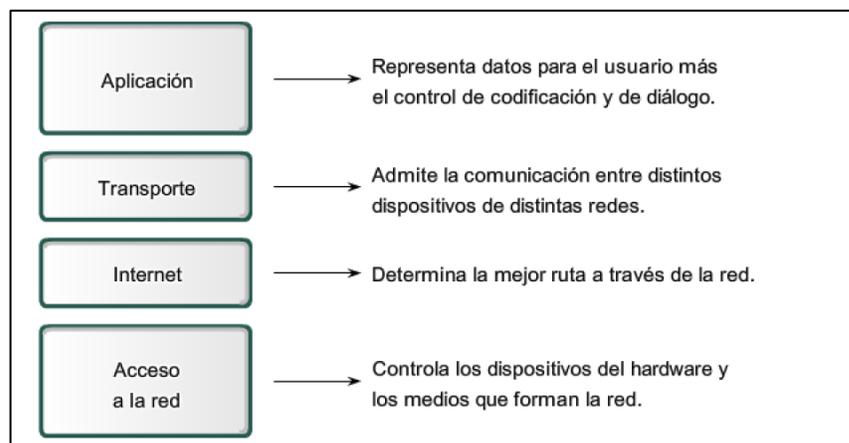
Fuente: elaboración propia, empleando Google Earth.

2.2. Diseño de la red en la capa física y lógica

El modelo TCP/IP⁵ (figura 28) describe un conjunto de guías generales por jerarquía. El número de capas y, en cada una de ellas, sus servicios y funciones son variables en cada tipo de red. Sin embargo, la misión de cada capa es proveer servicios a las capas superiores haciendo transparente el modo en que esos servicios se llevan a cabo. De esta manera, cada capa debe ocuparse exclusivamente de su nivel inmediatamente inferior, a quien solicita servicios, y del nivel inmediatamente superior, a quien devuelve resultados.

Se analiza la ingeniería que se requiere para entregar los servicios según el protocolo TCP/IP únicamente en las capas 1 y 2, debido a que es la parte que requiere mayor concentración de tecnologías, protocolos de comunicación, equipos en telecomunicaciones.

Figura 28. **Modelo TCP/IP**



Fuente: <https://www.netacad.com/es/>. CCNA Módulo 1, capítulo 3. Consulta: agosto de 2016.

⁵ El Modelo TCP/IP es una descripción de protocolos de red desarrollado por Vinton Cerf y Robert E. Kahn, en la década de 1970.

2.2.1. Modelo TCP/IP en la capa de acceso

La capa de acceso a la red TCP/IP equivale a la capa de enlace de datos (capa 2) y a la capa física (capa 1) del modelo OSI.

La capa física del modelo OSI proporciona los medios de transporte de bits que conforman una trama de la capa de enlace de datos a través de los diferentes medios en la red. Los componentes físicos son los dispositivos electrónicos, los medios y otros conectores que transmiten y transportan las señales para representar los bits. Todos los componentes de hardware, como los adaptadores de red, las interfaces y los conectores, así como los materiales y el diseño de los cables, se especifican en los estándares asociados a la capa física.

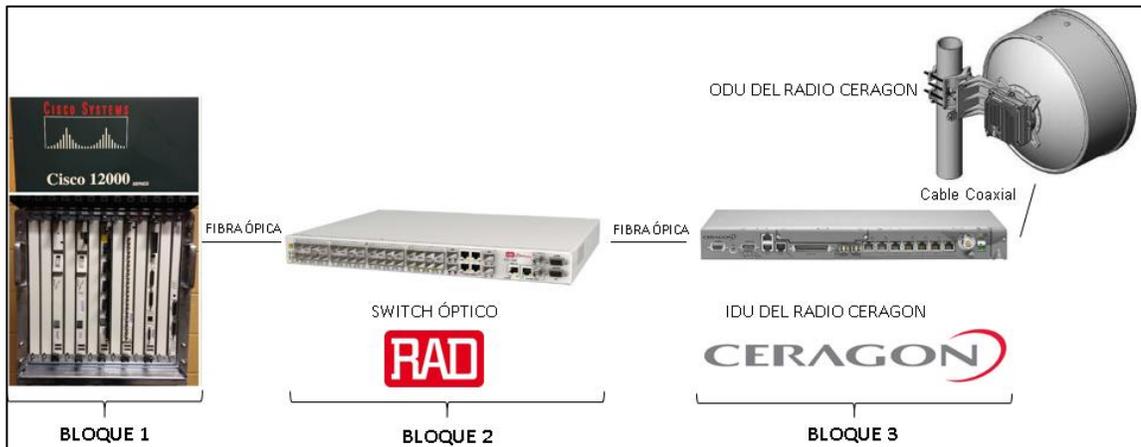
Los estándares de la capa física abordan tres áreas funcionales:

- Los componentes físicos
- La técnica de codificación de la trama
- El método de señalización

La capa de enlace de datos es responsable del intercambio de tramas entre nodos a través de los medios de red físicos. Permite que las capas superiores accedan a los medios y controla el modo en que los datos son transferidos en el medio.

Todos los protocolos de capa de enlace de datos encapsulan la PDU (unidad de datos de protocolo) de la capa 3 dentro del campo de datos de la trama. Sin embargo, la estructura de la trama y los campos contenidos en el encabezado varían de acuerdo con el protocolo.

Figura 29. **Capa 2 en el modelo TCP/IP**



Fuente: elaboración propia.

Bloque 1 – En los nodos del ISP se encuentran *routers* de gama alta, como la serie 12 000 de Cisco, capaz de soportar en sus interfaces 2,5 Gbps hasta 10 Gbps de tráfico para brindar redundancia en diferentes configuraciones y enrutar el tráfico hacia su destino. La figura 29 es un diagrama de la red de acceso por la que se transportan los servicios.

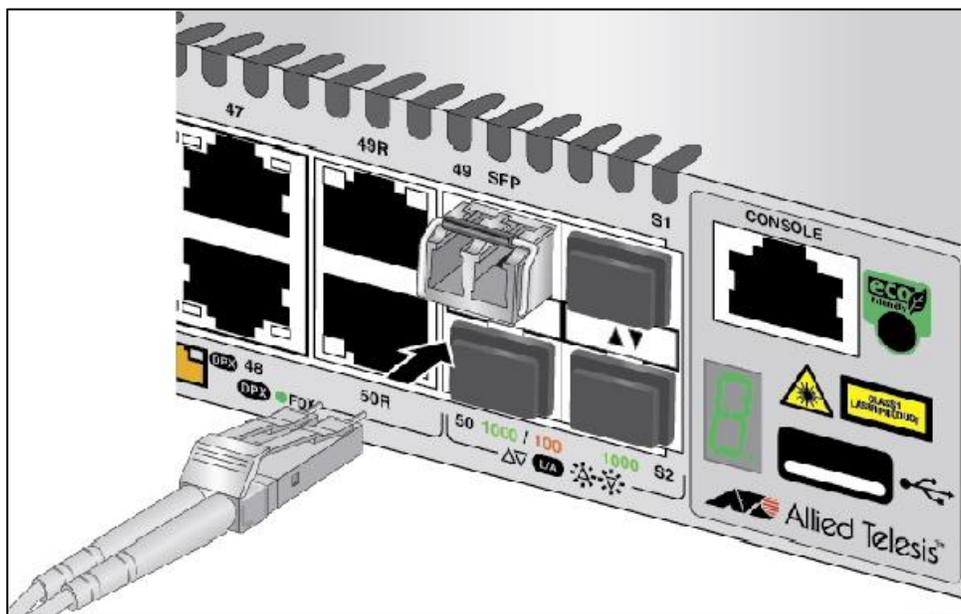
Figura 30. **Transceptor óptico SFP**



Fuente: Telefónica Móviles Guatemala S.A. zona 2, finca el Zapote.

Bloque 2 – La conexión del *router* al interruptor a través de la fibra óptica se interpreta como un ramal en una ubicación diferente a la del nodo. En el interruptor óptico RAD entrega hasta 32 servicios por medio de las interfaces ópticas, según el estándar 100 BASE-FX es la versión de Fast Ethernet sobre fibra óptica. Utiliza un conector óptico llamado SFP (Transceptor en forma pequeña conectable) que opera en las longitudes de onda de 1310 nm para recepción RX y 1550 nm para transmisión TX, el SFP recibe y envía la señal por el conector LC de la fibra óptica.

Figura 31. **Instalación del SFP en el interruptor óptico**



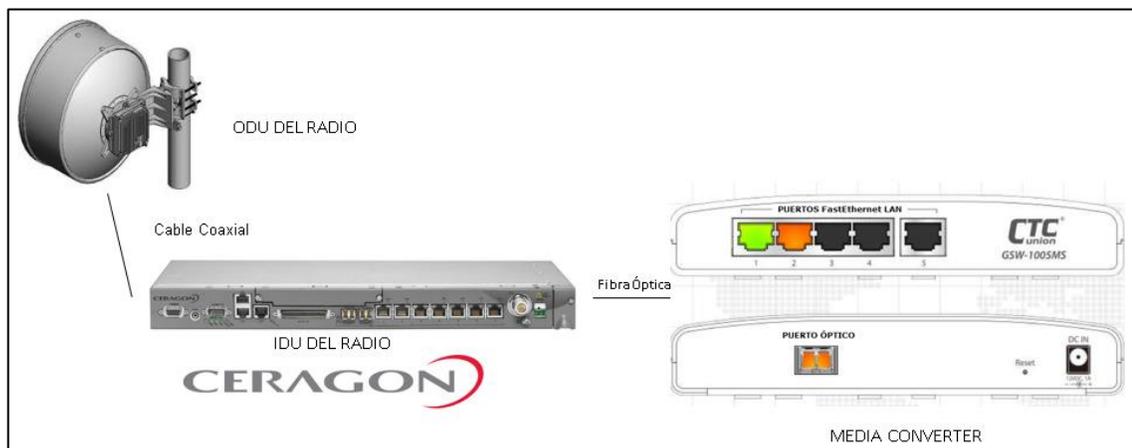
Fuente: manualmachine.com/allied-telesis/ar770s/395802-user-manual/page:3/. Consulta: agosto de 2016.

Bloque 3 – Un puerto Fast Ethernet óptico de la IDU recibe los servicios por medio de *vlan*s a nivel de capa 2. Si se necesita enviar otro servicio que no proviniera del interruptor óptico como un E1, se conecta a través de otra

interfaz; la IDU multiplexa los servicios y los envía a la ODU del radio por medio de un cable coaxial.

En el cliente se instala una antena receptora, la ODU e IDU similar a lo instalado en el nodo, pero en configuración inversa, para demultiplexar los servicios en la IDU o en configuración de *bridgeport* (puente) para entregarlos en una o más interfaces y configuración de los puertos eléctricos u ópticos en modo acceso.

Figura 32. **Conexión física en el cliente**



Fuente: elaboración propia.

2.2.2. Modelo TCP/IP en la capa de internet

La capa de red proporciona servicios que permiten a los dispositivos finales intercambiar datos a través de la red. Para lograr este transporte de extremo a extremo, la capa de red utiliza cuatro procesos básicos:

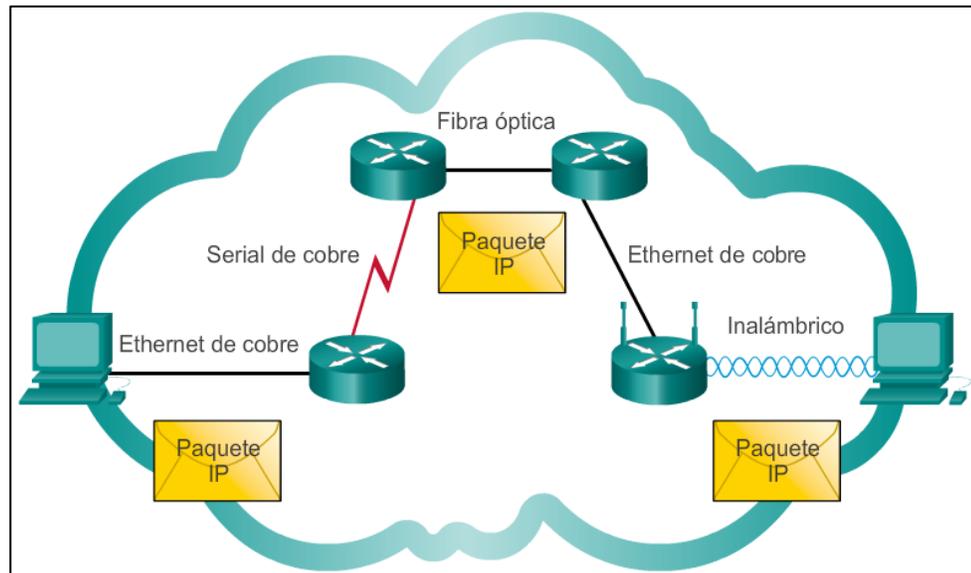
Direccionamiento de dispositivos finales: de la misma manera en que un teléfono tiene un número telefónico único, los dispositivos finales deben configurarse con una dirección IP única para su identificación en la red. Un dispositivo final con una dirección IP configurada se denomina “*host*”.

Encapsulación: la capa de red recibe una unidad de datos del protocolo (PDU) de la capa de transporte. En un proceso denominado encapsulación, la capa de red agrega la información del encabezado IP, como la dirección IP de los *hosts* de origen (emisor) y de destino (receptor). Una vez que se agrega la información de encabezado a la PDU, esta se denomina paquete.

La capa de red proporciona servicios para dirigir los paquetes a un *host* de destino en otra red. Para que el paquete se transfiera a otras redes, lo debe procesar un *router*. La función de este *router* es seleccionar las rutas para los paquetes y dirigirlos hacia el *host* de destino en un proceso conocido como enrutamiento. Un paquete puede cruzar muchos dispositivos intermedarios antes de llegar al *host* de destino. Cada ruta que toma el paquete para llegar al *host* de destino se denomina salto.

Cuando un paquete llega a la capa de red del *host* de destino, el *host* revisa el encabezado IP del paquete. Si la dirección IP de destino en el encabezado coincide con su propia dirección IP, se elimina el encabezado IP del paquete. Este proceso de eliminación de encabezados de las capas inferiores se conoce como desencapsulación. Una vez que la capa de red desencapsula el paquete, la PDU de capa 4 que se obtiene como resultado se transfiere al servicio correspondiente en la capa de transporte.

Figura 33. **Protocolo con independencia de medio**



Fuente: <https://www.netacad.com/es/>. CCNA Módulo 1, capítulo 6. Consulta: agosto de 2016.

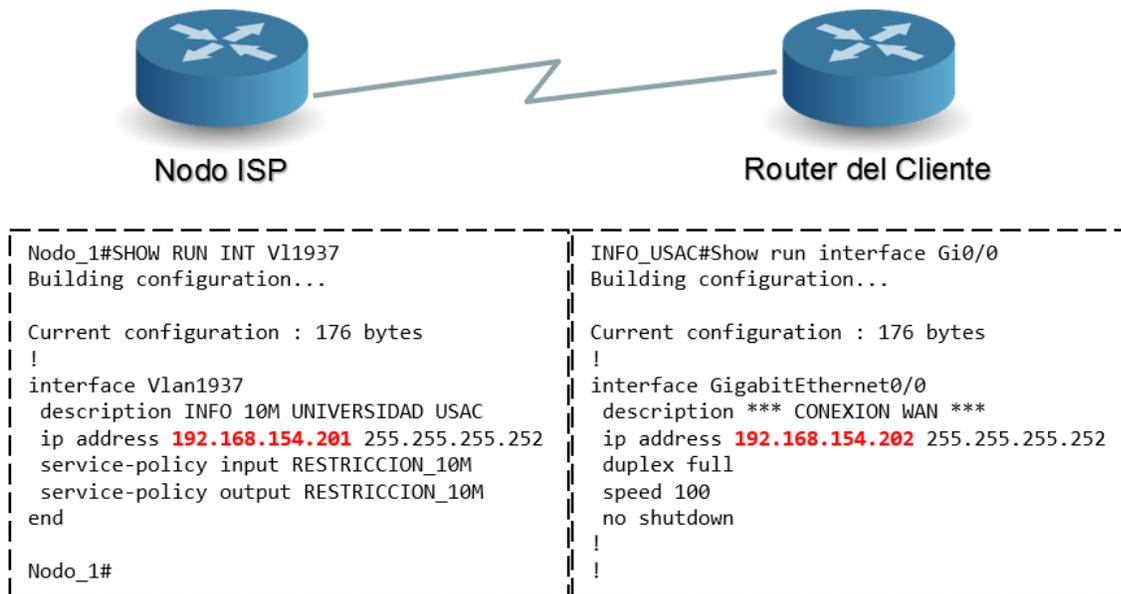
IP funciona con independencia de los medios que transportan los datos en las capas inferiores del conjunto de protocolos. Como se muestra en la figura 33, cualquier paquete IP individual puede ser comunicado eléctricamente por cable, como señales ópticas, o sin cables como señales de radio. En el diseño de red para entregar los servicios al cliente, se utilizan diferentes medios.

A nivel lógico en la capa de internet, se configuran dos interfaces por medio de una WAN asignada por el proveedor, las cuales deben estar configuradas como se muestra en la figura 34. Según el direccionamiento IP.

Para entregar un servicio de internet simétrico, el proveedor entrega al cliente un *router* que cumple funcionalidades específicas que no se pueden realizar en la capa de acceso a la red, por ejemplo, brindar DHCP para que el cliente pueda conectar un interruptor y brindar conectividad a varios *hosts*.

Monitorear el tráfico a través de protocolos de capas superiores como SNMP, brindar un segmento de direcciones IPS públicas para que el cliente pueda monitorear sus equipos y tener acceso desde cualquier parte, por ejemplo, un DVR que se utiliza para crear redes de cámaras digitales, tener acceso a un servidor, entre otras funcionalidades.

Figura 34. **Configuración IP en la capa de internet**



Fuente: elaboración propia.

Para entregar un servicio de internet simétrico, el proveedor entrega al cliente un *router* que cumple funcionalidades específicas que no se pueden realizar en la capa de acceso a la red, por ejemplo, brindar DHCP para que el cliente pueda conectar un interruptor y brindar conectividad a varios *hosts*.

2.3. Descripción de los servicios en última milla

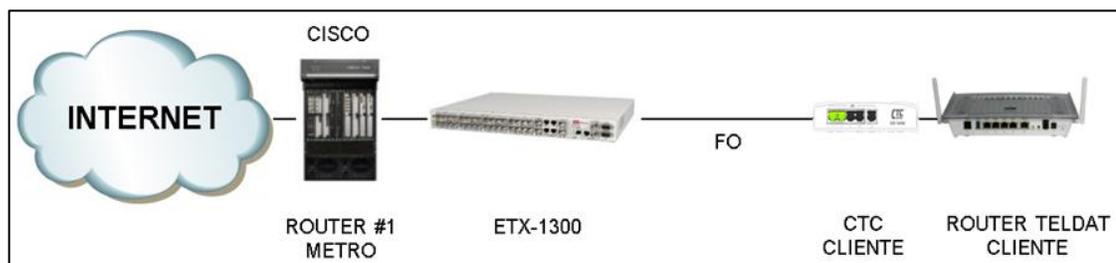
La parte de las redes que conecta los usuarios finales (residenciales o corporativos) a las redes de las operadoras de telecomunicaciones se conoce como red de acceso, aunque también está muy utilizada la denominación “última milla”.

2.3.1. Internet empresarial

El servicio internet empresarial es un acceso a internet mediante una línea dedicada, que permite la conexión libre y sin restricciones a internet, bajo los más altos estándares de calidad. Sus características principales son:

- Acceso dedicado simétrico garantizado, el ancho de banda para descargar datos de internet es el mismo para subir.
- Múltiples medios de acceso (por fibra óptica o por radioenlaces *full* Ethernet).
- Se entrega un segmento de direcciones IPv4 públicas. Según el contrato se puede entregar hasta 254 IPS.

Figura 35. Servicio de internet



Fuente: elaboración propia.

Los equipos entregados al cliente son monitoreados con herramientas como *SolarWinds*, donde se asigna una IP de gestión para monitorear las interfaces tanto físicas como virtuales, graficar el desempeño del servicio, identificando con facilidad: saturación en el enlace, mal rendimiento, entre otros factores que pueden afectar significativamente un servicio.

2.3.2. Servicio MPLS

El multiprotocolo de conmutación de etiquetas (MPLS) reduce significativamente el procesamiento de paquetes que se requiere cada vez que un paquete ingresa a un enrutador en la red, esto mejora el desempeño de dichos dispositivos y de la red en general. Las capacidades más relevantes de dicho protocolo son cuatro: soporte de calidad sobre servicio (QoS, *Quality of Service*), ingeniería de tráfico, soporte para redes privadas virtuales (VPN, *Virtual Private Network*) y soporte multiprotocolo.

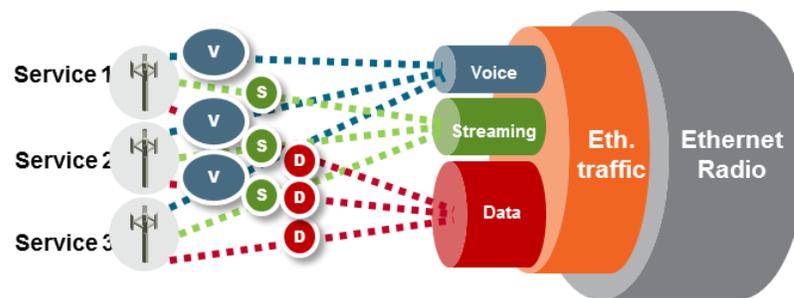
2.3.2.1. Calidades de servicio (QoS)

QoS permite a los administradores de redes el uso eficiente de los recursos de sus redes con la ventaja de garantizar que se asignaran más recurso a aplicaciones que lo necesiten, sin arriesgar el desempeño de las demás aplicaciones. En otras palabras, el uso de QoS le da al administrador un mayor control sobre su red, lo que significa menores costos y mayor satisfacción del cliente o usuario final. Mejora el control sobre la latencia para asegurar la capacidad de transmisión de voz sin interrupciones y, por último, disminuye el porcentaje de paquetes desechados por los enrutadores.

Los radios Ceragon son capaces de manejar las capacidades según diferentes entornos y tipos de modulación descritos en el capítulo 1 (Sección

1.4) como muestra la figura 36, pueden cambiar de modulación automáticamente dependiendo el nivel de recepción en cada extremo del enlace, manejando diferentes prioridades según lo configurado. Cuando el enlace es afectado por la lluvia, neblina, etcétera. Sabe adaptarse al cambio para mantener el enlace operativo. Según la reducción que se produzca, el radio se configurar para darle prioridad a determinado tráfico, por ejemplo, la gestión o tráfico de voz.

Figura 36. **Calidades de servicio en el radio Ceragon**



Fuente: <ftp://ftp.datacom.cz/ceragon/ip-10/manualy/>. Consulta: agosto de 2016.

2.3.2.2. Ingeniería de tráfico

Es la habilidad de definir rutas dinámicamente y planear la asignación de recursos con base en la demanda, así como optimizar el uso de la red. MPLS facilita la asignación de recursos en las redes para balancear la carga dependiendo de la demanda y proporciona diferentes niveles de soporte según las demandas de tráfico. El protocolo IP permite a los enrutadores cambiar la ruta de los paquetes cuando sea necesario para balancear la carga. Sin embargo, esto no es suficiente ya que este tipo de ruteo dinámico puede llevar a congestionar la red y no soporta QoS.

MPLS es básicamente una integración de tecnología de capa 2 a capa 3, dicha integración permite manejar el tráfico según sea conveniente. De esta manera el flujo de paquetes viaja a través de un túnel de datos en el eje troncal creado por el protocolo en reserva de recursos. La ruta del túnel está dada por los requisitos de recursos del túnel y de la red.

2.3.2.3. Redes privadas virtuales (VPN)

MPLS provee un mecanismo eficiente para el manejo de redes privadas virtuales. De esta manera el tráfico de una red privada “atraviesa” el internet eficazmente y de manera transparente al usuario, eliminando cualquier tráfico externo y protegiendo la información. Las VPN creadas con tecnología MPLS tienen una mayor capacidad de expansión y son más flexibles en cualquier red, principalmente IP. MPLS se encarga de reenviar paquetes a través de túneles privados utilizando etiquetas que actúan como códigos postales. Dicha etiqueta tiene un identificador que aísla esa VPN.

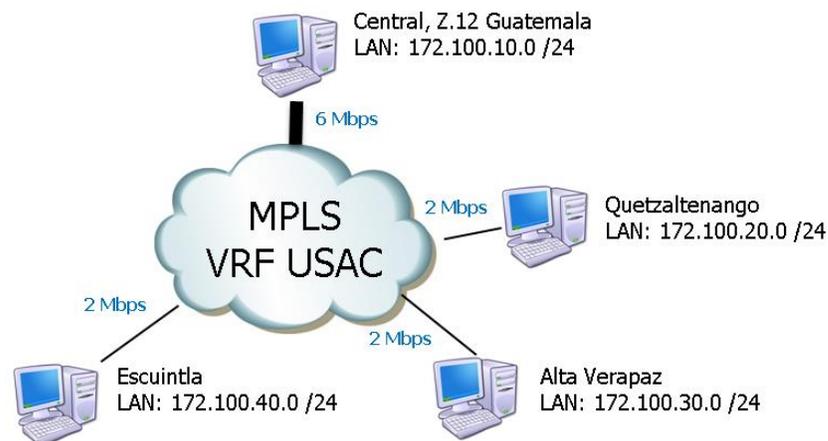
2.3.2.4. Soporte multiprotocolo

MPLS puede ser utilizado con diversas tecnologías, es decir no es necesario actualizar los *routers* existentes. Los *routers* MPLS pueden trabajar con *routers* IP a la par, lo que facilita la introducción de dicha tecnología a redes existentes como ATM y *Frame Relay*, con la ventaja de tener redes mixtas añadiendo QoS para optimizar los recursos.

Una red MPLS es una red de datos simétrica que se utiliza para unificar diferentes redes LAN que están en diferentes ubicaciones hacia una central, en la figura 37 se ejemplifica una red MPLS, sobre una VRF (Enrutamiento virtual y reenvío) que permite a varias instancias de una de enrutamiento existir en un

router, la VRF también aumenta la seguridad de la red y puede eliminar la necesidad de cifrado y autenticación.

Figura 37. **Aplicación de una red MPLS**



Fuente: elaboración propia.

2.3.3. Siptrunk

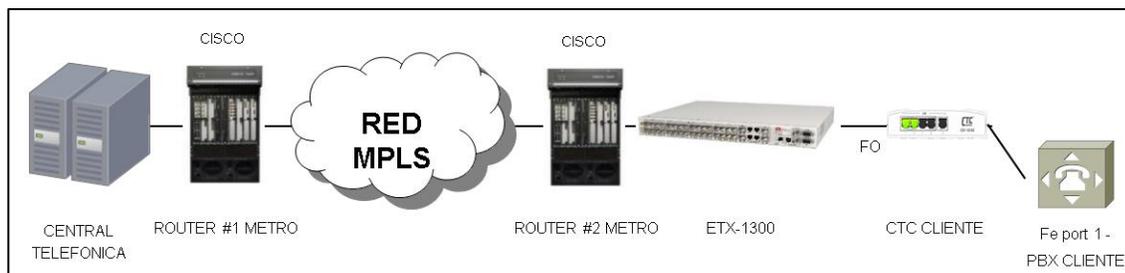
SIP *trunking*, o por su significado original – conexión de Protocolo de Inicio de Sesión – consiste en el uso de voz sobre IP (VoIP) para facilitar la conexión de una PBX a la internet. En su esencia, es el equivalente virtual de una línea telefónica tradicional para empresas por internet.

SIP corresponde a un protocolo estándar definido por la IETF (*Internet Engineering Task Force*), es quién define los protocolos de uso en internet para iniciar sesiones de usuarios multimedia e interactivas; por lo tanto, el “*trunk*” corresponde a una línea o un enlace que transporta muchas señales al mismo tiempo, conectando grandes centros de interruptores o nodos en un sistema de comunicaciones.

Ahora bien, en función de aprovechar el SIP *trunk*, las empresas tienen que tener un PBX que conecte a todos los usuarios finales internos, un proveedor de servicios de telefonía IP y un *gateway* que sirva como interfaz entre el PBX y el proveedor de servicios.

Una de las ventajas más significativas de SIP *trunk* es su habilidad de combinar datos, voz y video en una única línea, eliminando la necesidad de dividir físicamente los datos por cada modo. El resultado es un costo total reducido de equipos dedicados, así como el incremento en la confiabilidad respecto a los servicios multimedia.

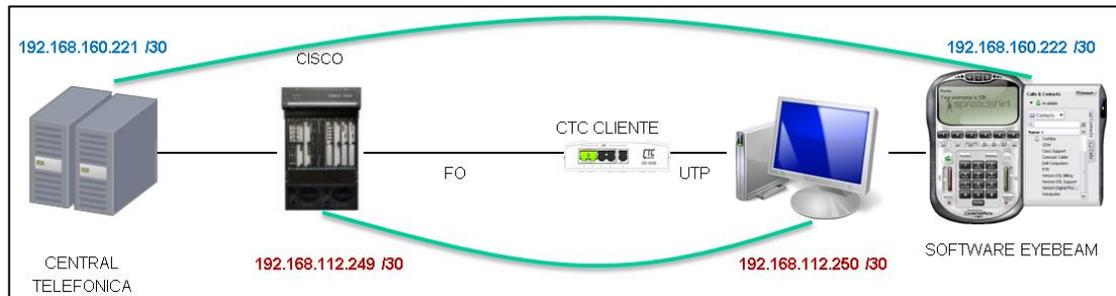
Figura 38. Servicio SIP trunk



Fuente: elaboración propia.

Este estudio trata la unificación de todos los servicios a Ethernet independientemente de medio, el cual puede ser fibra óptica o radio *full* Ethernet. Se busca eliminar equipos que convierten E1s a Ethernet o interfaces SHDSL, lo que provoca agregar un punto más de falla sobre el circuito.

Figura 39. Direccionamiento IP del servicio SIP trunk



Fuente: elaboración propia.

Tabla V. Direccionamiento WAN para el SIP trunk

WAN #1	192.168.112.248 /30	
WAN #2	192.168.160.220 /30	
RANGO	23781000-99	100 NÚMEROS DISPONIBLES
VPN	SI	

Fuente: elaboración propia.

3. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO DE TRANSMISIÓN Y PLANIFICACIÓN DEL RADIOENLACE CERAGON

Luego de haber dado una propuesta técnica y financiera (análisis en el capítulo 5) al cliente para entregar los servicios solicitados en la nueva sucursal y aceptar los términos, es importante realizar una planificación tomando en cuenta datos reales para la implementación, considerando gastos de infraestructura, equipos, personal técnico y el tiempo de la instalación.

3.1. Planificación para el medio de transmisión

Se realiza un estudio específico sobre la infraestructura y un análisis lógico del enlace considerando que se tiene que ajustar al ambiente del área metropolitana, permisos municipales, acceso a los sitios donde será instalado el enlace y los requerimientos técnicos asignados al proveedor.

3.1.1. Ubicación geográfica del nodo y el cliente

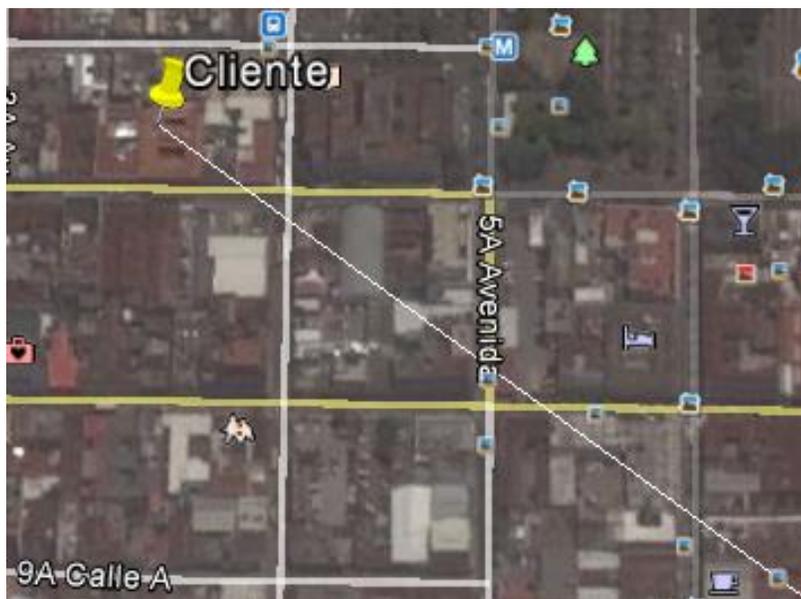
El nodo del proveedor es un punto de intersección para varios tipos de servicios como la red móvil (3G, 4G), ubicación para equipos de acceso, última milla para otros clientes, diferentes tipos de servicios y tráfico que convergen al núcleo del ISP. Este nodo recibe el nombre de nodo centro y se clasifica según la capacidad de tráfico, si es propiedad del ISP, compartido o arrendado, región del país, nivel de seguridad, entre otros aspectos. La dirección del nodo centro es 10 calle A entre 6ª y 7ª avenida de la zona 1, ciudad de Guatemala; La ubicación geográfica se describe en la figura 40 y las coordenadas en la tabla 6.

Figura 40. **Ubicación del nodo centro**



Fuente: elaboración propia.

Figura 41. **Ubicación del cliente**



Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Coordenadas geográficas del nodo**

NODO ISP	
LATITUD	14°38'21.85"N
LONGITUD	90°30'48.89"O

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Coordenadas geográficas del cliente.**

UBICACIÓN CLIENTE	
LATITUD	14°38'31.05"N
LONGITUD	90°30'58.70"O

Fuente: elaboración propia.

El cliente se encuentra ubicado a una distancia de 408 metros en línea recta respecto del nodo del proveedor, una distancia bastante corta que asegura una óptima operatividad del radio, reduciendo elementos externos que pueden afectar el radioenlace. La dirección del cliente es: 8ª calle entre 3ª y 4ª avenida de la zona 1, ciudad de Guatemala. La ubicación geográfica se describe en la figura 41 y las coordenadas en la tabla 7.

3.1.2. Perfil de elevación

El perfil de elevación en Google Earth muestra que la variación de elevación es de 3 m desde el cliente hasta el nodo. La figura 58 muestra que el nivel de elevación en el cliente y el nodo es de 1 508 m, el pico más alto en el terreno es de 1 509 m. La superficie es bastante plana, aunque no se considera las construcciones actuales, en el nodo se tiene una torre de 30 m de altura y

en el cliente una construcción de dos niveles por lo que no es necesario invertir demasiado en infraestructura.

Figura 42. **Perfil de elevación en Google Earth**



Fuente: elaboración propia.

3.1.3. **Capacidad del enlace**

Uno de los parámetros a ser analizado es la capacidad del radioenlace porque es necesario tener claro las limitantes físicas y lógicas (licencia por software). En esta solución el cliente ha solicitado instalar 10 Mbps de internet, un enlace de datos para su red privada de 2 Mbps, y un SIP *trunk* para su planta telefónica IP de 2 Mbps, siendo un total de 14 Mbps que deben transportarse en la última milla sobre el radioenlace.

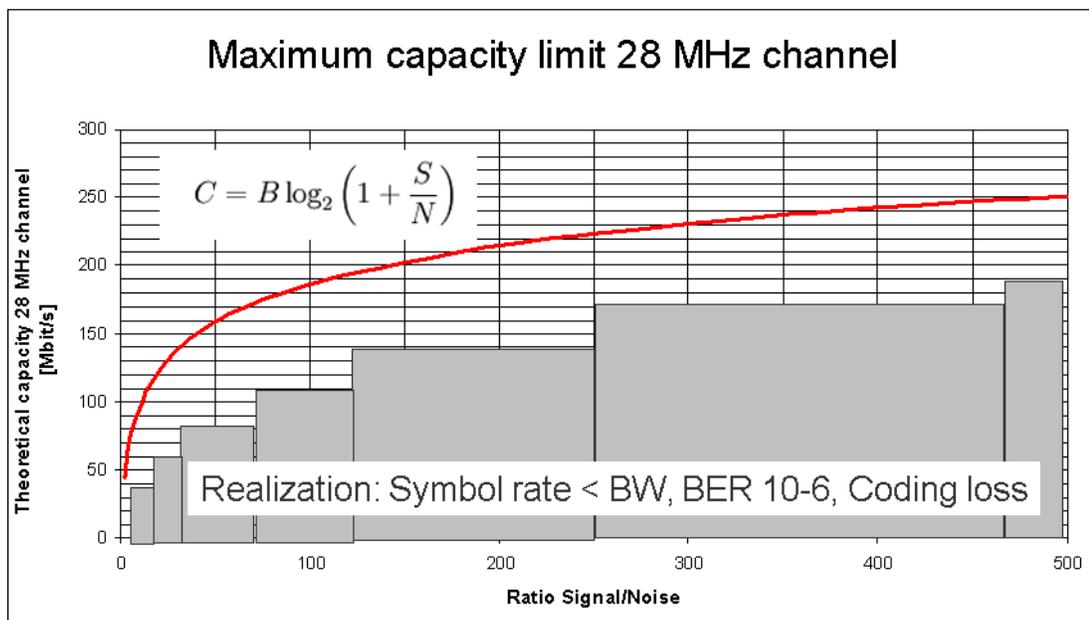
La capacidad del enlace es determinada por tres factores:

- La capacidad del canal según la frecuencia de operación de 7, 14, 28 o 256 MHz. Por ejemplo, para el espectro de 28 MHz, la velocidad máxima de procesamiento por símbolos es de 24.

- El tipo de modulación, por ejemplo, 256 QAM permite transmitir 8 bits por símbolo.
- Mediante el método de corrección de errores hacia adelante (FEC, *Forward Error Correction*) la capacidad del enlace incrementa, pero el umbral del receptor se degrada.

El teorema de Shannon Hartley establece la capacidad del canal, la máxima cantidad de datos digitales que pueden ser transmitidos sin errores sobre un enlace con un ancho de banda específico y sometido a presencia de interferencia. La gráfica del teorema se describe en la figura 43.

Figura 43. **Gráfica del teorema de Shannon**



S/N increase dramatically for high modulation schemes

Fuente: <http://wisptools.net/book/bookc1s3.php>. Consulta: septiembre de 2016.

Es importante considerar que el ancho de banda disponible no puede elegirse arbitrariamente. El ancho de banda es asignado por entidades reguladoras internacionales como ETSI (Instituto Europeo de Estandarización de las Telecomunicaciones) en Europa y la FCC (Comisión Federal de las Comunicaciones) en Estados Unidos de América.

En los países gobernados por la normativa ETSI, el ancho de banda asignado a las transmisiones punto a punto por microonda es de 7, 14, 28 o 112 MHz. Si la separación entre canales es $B = 28 \text{ MHz}$, es posible transmitir hasta $B = 28 \times 10^6$ símbolos QAM por segundo. En realidad, siempre hay una ligera degradación respecto al número ideal representado en la ecuación de Shannon. El factor de relación señal a ruido (S/N) toma en cuenta las degradaciones que ocurren en una implementación real, que reduce las prestaciones teóricas. Actualmente este valor se encuentra en el rango de 0,10 a 0,15. Esto significa que con una separación de 28 MHz y un valor de S/N 0,12 es posible transmitir 25×10^6 símbolos QAM.

Con la modulación 4 QAM es posible transmitir 2 bits por símbolo y con 256QAM se pueden transmitir 8 bits por símbolo. Para la modulación 256 QAM tomando en cuenta la degradación del enlace se traduce como $25 * 10^6 \times 8_{\text{símbolos}} = 200 \text{ Mbps}$.

En este diseño es necesario entregar por lo menos 14 Mbps, para optimizar el enlace se utilizarán los siguientes parámetros:

- Ancho de banda: 7 MHz
- Modulación: 16 QAM (equivale a transmitir 4 bits por símbolo)
- Degradación: S/R 0,12

Con los valores establecidos para el diseño, el ancho de banda se calcula $7 * 10^6 \times 4_{símbolos} = 22 Mbps$. Un valor más que suficiente, tomando en cuenta una posible ampliación.

3.1.4. Frecuencias de operación

En la actualidad, debido a los desarrollos tecnológicos en el campo de las telecomunicaciones, las frecuencias radioeléctricas son, sin lugar a duda, la columna vertebral de la infraestructura en las telecomunicaciones.

Con el fin de optimizar el espectro radioeléctrico reconocido internacionalmente, es imprescindible que se cuente con herramientas técnico – jurídicas. Una de esas herramientas es la que recibe el nombre genérico de Nacional de Atribución de Frecuencia – definido como TNAF. Esta es el instrumento técnico – legal, emitido por la Superintendencia de Telecomunicaciones con fundamento en la función que le atribuye el Artículo 7 literal B de la ley General de Telecomunicaciones y cuyo fin es asignar los distintos servicios de radiocomunicaciones reconocidos internacionalmente a las diferentes bandas de frecuencia incluidas dentro de lo que se conoce como espectro radioeléctrico.

El espectro radioeléctrico es un concepto abstracto, dado que el mismo no puede verse, tocarse u olerse. La definición que a nivel internacional se acepta del mismo, parece a primera vista sencillo; sin embargo, detrás de ella existe una teoría matemática extensa y compleja que persigue su eficaz aprovechamiento.

La definición aceptada indica que el espectro radioeléctrico, ondas radioeléctricas u ondas herzianas son ondas electromagnéticas, cuya

frecuencia se fija convenientemente por debajo de los 3 000 GHz, que se propagan por el espacio sin guía artificial: En la práctica, es aceptado decir que el espectro radioeléctrico se extiende desde los 8,3 KHz hasta los 275 GHz.

En la actualidad, el espectro radioeléctrico es muy importante debido a que gran cantidad de los nuevos dispositivos inalámbricos, comúnmente conocidos como tecnologías de la información y la comunicación (TIC), requieren tener acceso para transmitir información que se genera en los distintos ámbitos (financiero, comercial, académico, recreativo, etc.) Lo importante es tener claro que es un recurso natural, de carácter limitado, que constituye un bien de dominio público, sobre el cual el Estado ejerce su soberanía.

Las frecuencias de operación para el radioenlace asignadas por el ISP, dentro del rango permitido por el Estado de Guatemala son:

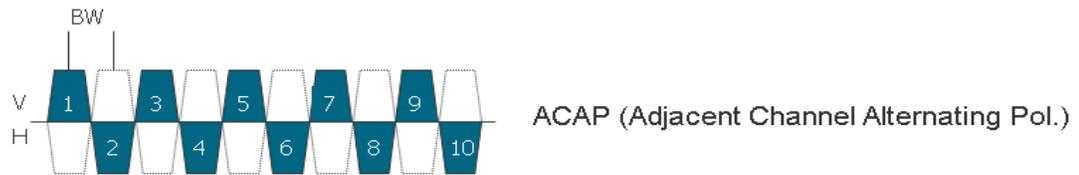
- La frecuencia de recepción es 15,327 GHz
- La frecuencia de transmisión es 14,907 GHz
- 7 MHz separación

3.1.5. Polarización de las antenas

Según el tipo de RAU por utilizar y el tipo de licenciamiento permitido, se tienen diferentes configuraciones para optimizar el espectro radioeléctrico. Ceragon permite operar en tres configuraciones:

- Canal adyacente con polarización alterna (ACAP)

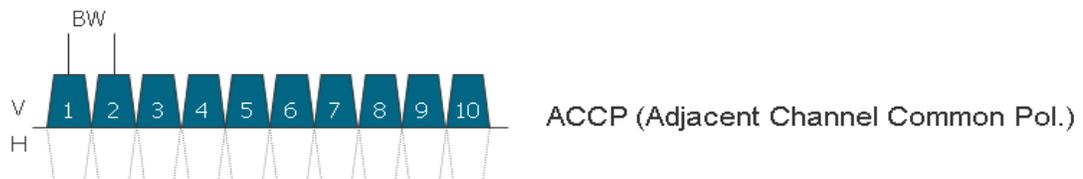
Figura 44. **Gráfica de ACAP**



Fuente: <ftp://ftp.datacom.cz/ceragon/ip-10/manualy/>. Consulta: agosto de 2016.

- Canal adyacente con polarización común (ACCP)

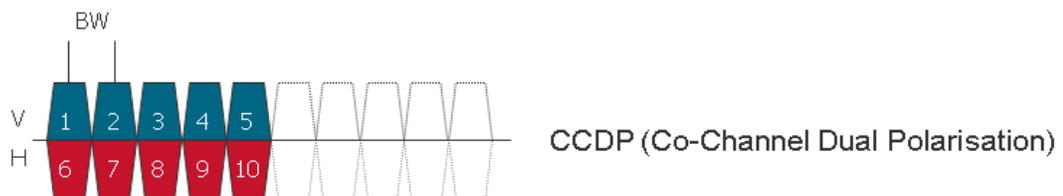
Figura 45. **Gráfica de ACCP**



Fuente: <ftp://ftp.datacom.cz/ceragon/ip-10/manualy/>. Consulta: agosto de 2016.

- Canal con polarización dual (CCDP)

Figura 46. **Gráfica de CCDP**



Fuente: <ftp://ftp.datacom.cz/ceragon/ip-10/manualy/>. Consulta: agosto de 2016.

En este radioenlace se utiliza la polarización ACCP porque es menos susceptible a la reflexión y a la atenuación por lluvia.

Tabla VIII. **Polarización ACCP**

Frequency range	Admissible frequency assignments	Channel spacing	Duplex spacing	Capacity/ Type of information	Minimum hop length at digital speed		Additional technical requirements to the radio equipment
					$n \times 2$ Mbit/s	155 Mbit/s $n \times 155$ Mbit/s	
		RRE					
12.75— 13.25 GHz Note 6	ITU-R F.497-6 CEPT/ERC REC 12-02	28 MHz, 14 MHz, 7 MHz, 3.5 MHz	266 MHz	from 155 Mbit/s or 140 Mbit/s to 4 Mbit/s	12 km	—	ATPC, ACAP. Antennas – of class not lower than 4 with diameter not less than 1,2m

Fuente: http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/f/R-REC-F.497-6-199902-S!!PDF-F.pdf.

Consulta: agosto de 2016.

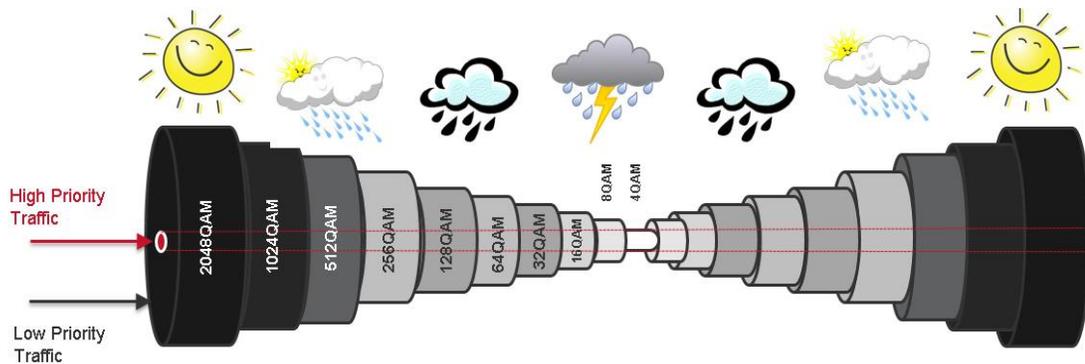
3.1.6. Protección del enlace

Dado que es un enlace final y dedicado exclusivamente a un cliente, el proyecto puede tener un sistema de protección por radio. Ceragon cuenta con un sistema propio de protección, sistema de adaptación de código y modulación en el enlace (ACM, *Adaptive Coding and Modulation*). Las características primordiales del sistema son:

- En modo ACM, el radio puede seleccionar el enlace con más alta capacidad basado en la calidad de señal recibida.
- Cuando la calidad de la señal es degradada, el enlace percibe desvanecimiento o interferencia, el radio se puede mover automáticamente a un sistema de modulación más robusto y en consecuencia la capacidad del enlace es reducida.

- Cuando la señal mejora, la modulación automáticamente regresa a la capacidad configurada. El enlace cambia por la cantidad de errores en los bits introducidos.

Figura 47. **ACM (Adaptación de código y modulación)**



Fuente: <ftp://ftp.datacom.cz/ceragon/ip-10/manualy/>. Consulta: agosto de 2016.

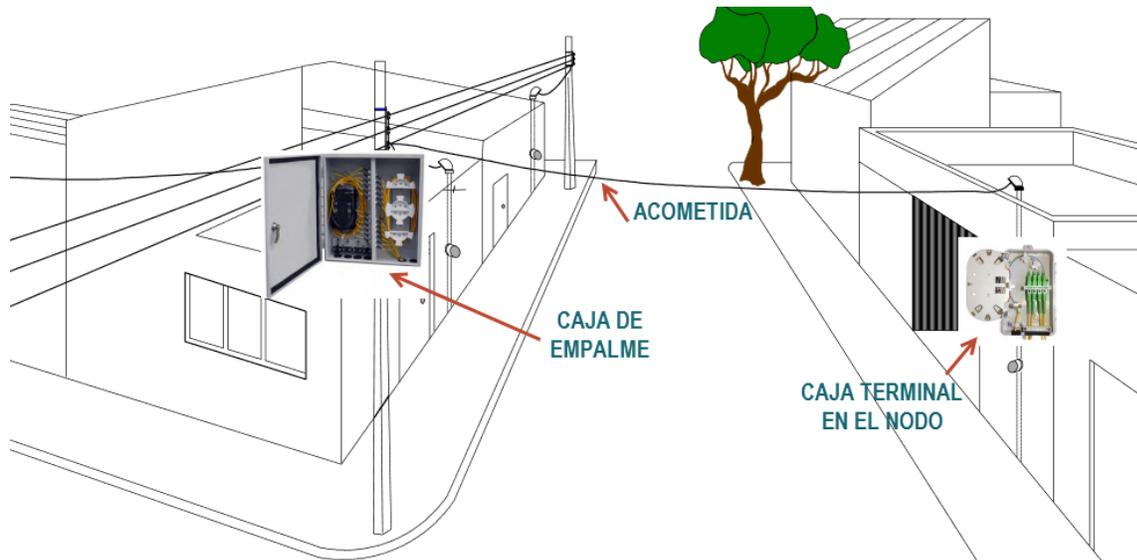
3.2. Descripción de los equipos utilizados en el medio de transmisión

Los equipos y sistemas en el medio de transmisión se refieren a la última milla y corresponde a los equipos que se rentabilizan en la factibilidad económica y sobre la que se evalúa el costo de instalación.

3.2.1. Instalación de fibra óptica

Un punto previo a la instalación del radio en el nodo o posterior al radio en el cliente, se detalla la instalación de fibra óptica que alimenta el nodo o sede final del cliente porque es necesario habilitar un hilo de fibra para un servicio nuevo o únicamente trabajarlo independiente a los servicios ya existentes.

Figura 48. **Instalación de fibra óptica en la red de acceso**



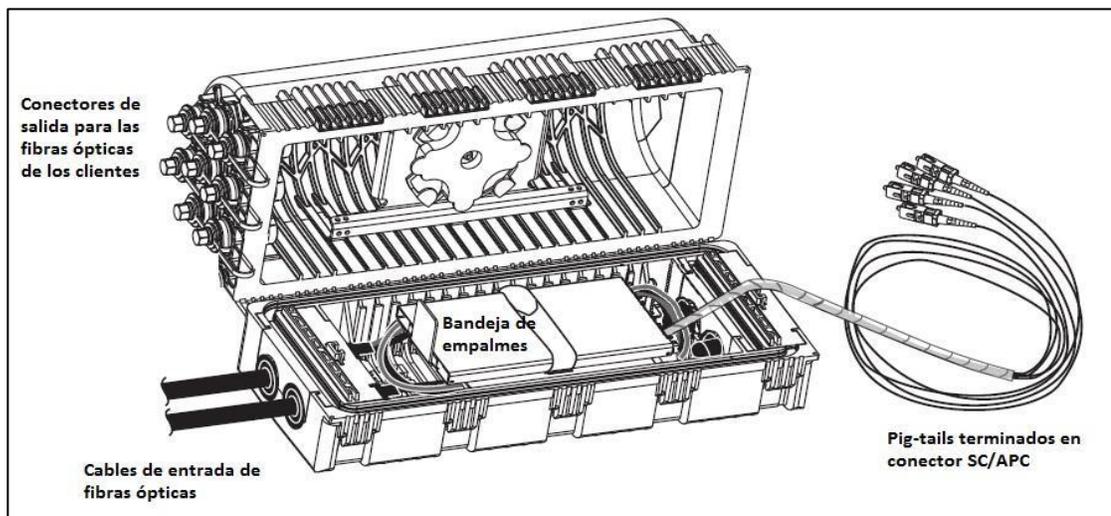
Fuente: elaboración propia.

La caja de conectorización o empalmes de fibra óptica proporciona una protección del medio ambiente en áreas a la intemperie y áreas subterráneas. Estos sistemas ofrecen una instalación fácil y rápida para el mantenimiento y administración de las fibras ópticas desde la central hasta las instalaciones del cliente o nodos. Esta caja es un punto de distribución para determinada área. Para realizar trabajos en estas cajas es necesario un permiso por la Municipalidad de Guatemala, el cual autoriza al técnico debidamente identificado y con equipo necesario, realizar trabajos en el poste donde se encuentra la caja instalada.

La acometida consiste en la instalación de fibra óptica nueva desde la caja de empalme hasta las instalaciones del nodo o cliente. Es necesario utilizar fibra óptica de mayor grosor como G657.A2L, con características que soporten

el clima al que será expuesta y mayores tensiones. El retenedor en el cable asegura la instalación en postes para el tendido aéreo.

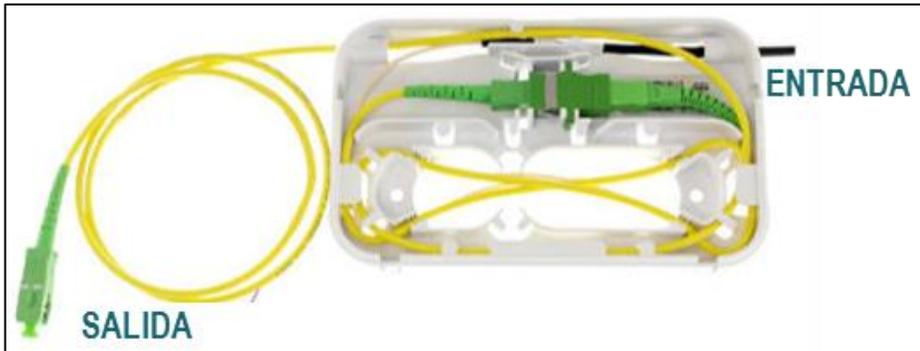
Figura 49. **Caja de conectorización de fibras ópticas**



Fuente: <http://fibraoptica.blog.tartanga.net/>. Consulta: octubre de 2016.

La caja terminal es utilizada para empalmes de los cables de fibra óptica de pequeña capacidad, o bien en las terminaciones y conexiones de las fibras. En ella se realizan las fusiones de la fibra que viene por la acometida hacia los equipos con un único conector de tipo SC / APC de salida. Diseñadas para su fácil instalación y manipulación. La tapa se puede retirar completamente al estar sujeta por un solo tornillo. Aunque en algunas ocasiones donde se distribuyen más fibras ópticas se pueden utilizar hasta ODF (Distribuidor de fibra óptica).

Figura 50. **Caja terminal de fibra óptica**



Fuente: <http://wikitel.info/wiki/GPON>. Consulta: octubre de 2016.

3.2.2. Descripción del equipo de acceso por parte del ISP

El despliegue de la red de acceso para varios clientes en la red metropolitana por parte del ISP depende de un *router* de gran capacidad (por ejemplo, CISCO7609-S) capaz de interconectar subredes y enrutar todo el tráfico que recibe hacia su destino.

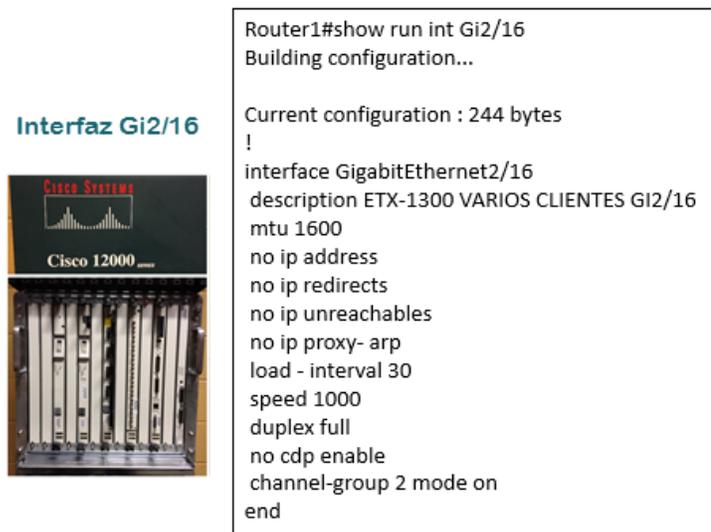
Figura 51. **Equipos en el medio de transmisión**



Fuente: elaboración propia.

La configuración de la interfaz en el *router* de la red metropolitana consiste en un enlace troncal configurado como *PortChannel* como se muestra en la figura 52.

Figura 52. **Configuración en la interfaz del *router* central**



Fuente: elaboración propia.

PortChannel es una tecnología construida de acuerdo con los estándares 802.3 *full* dúplex Fast Ethernet. Permite la agrupación lógica de varios enlaces físicos Ethernet, esta agrupación es tratada como un único enlace y permite sumar la velocidad nominal de cada puerto físico. Esta configuración tiene varias ventajas ya que permite colocar redundancia a los equipos ante cualquier evento en el medio, corte de fibra, falla de energía, etcétera. Se reduce la capacidad en el equipo de acceso, pero se tiene la posibilidad de trabajar QoS en el ETX-1300.

Figura 53. **Transciver óptico de la central hacia el nodo del ISP**



Fuente: Telefónica Móviles Guatemala S.A. zona 2, finca el Zapote.

Tabla IX. **Especificaciones del SFP transmisor**

Manufacturado	CTC Unión
Código transceptor	SFS-7020-WC(I)
Tipo de interfaz	Gigabit Ethernet
Tipo de fibra	Monomodo
Formato de transceptor	SFP
Longitud de onda	TX 1 310, RX 1 490 nm
Capacidad	1,25 Gb
Distancia de transmisión	20 km
Conector óptico	LC, SFP slot

Fuente: www.ctcu.com.tw/download/dms/Fiber_Transceiver.pdf. Consulta: octubre de 2016.

Tabla X. **Especificaciones del SFP receptor**

Manufacturado	CTC Unión
Código transceptor	SFS-7020-WD(I)
Tipo de interfaz	Gigabit Ethernet
Tipo de fibra	Monomodo
Formato de transceptor	SFP
Longitud de onda	TX 1 490, RX 1 310 nm
Capacidad	1,25 Gb
Distancia de transmisión	20 km
Conector óptico	LC, SFP slot

Fuente: www.ctcu.com.tw/download/dms/Fiber_Transceiver.pdf. Consulta: octubre de 2016.

Se utiliza un “*transceiver*” óptico que incluye tanto un transmisor como un receptor en un solo módulo. El transmisor toma un impulso eléctrico y lo convierte en una salida óptica a partir de un diodo láser o un led. La luz del final de la fibra se acopla al receptor, donde un detector convierte la luz en una señal eléctrica que luego se acondiciona de forma tal que pueda utilizarse en el mismo receptor. Los transceptores ópticos tienen parámetros específicos que se describen en la tabla 9 y 10.

Los *transceiver* ópticos seleccionados se acoplan a la fibra óptica monomodo instalada, la distancia que recorre desde la central hasta el nodo sin amplificar la señal menor de 20 Km y las frecuencias de operación.

Todo el tráfico enviado desde el *router* central hacia el ETX-1300 es por medio de un enlace troncal, el tráfico se recibe a través de *vans* en capa 2, según el modelo OSI. El ETX-1300 es un dispositivo que cuenta con 4 puertos

Gigabit Ethernet y 32 puertos ópticos o eléctricos Fast Ethernet con una arquitectura sin bloqueo, el dispositivo proporciona una transmisión de datos en capa 2 con los protocolos Ethernet. Uno de los 32 puertos se utiliza para el radio Ceragon, el cual cursará tráfico menor a 20 Mb.

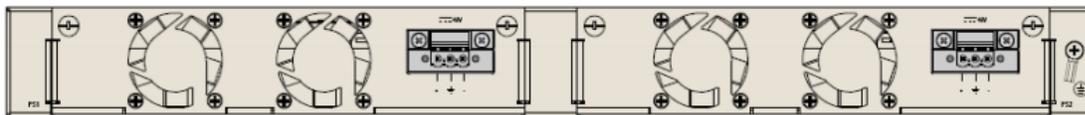
Figura 54. **Panel frontal del interruptor ETX-1300**



Fuente: manualslib.com/manual/1124513/Rad-Etx-1300.html. Consulta: octubre de 2016.

En la parte trasera del ETX-1300 trae dos módulos de energía a -48 VDC, esto con el propósito de brindar respaldo en caso falle la energía en el nodo y entre a operar los rectificadores con el banco de baterías y esta la versión con interfaz de energía a 120 VAC.

Figura 55. **Panel trasero del interruptor ETX-1300**

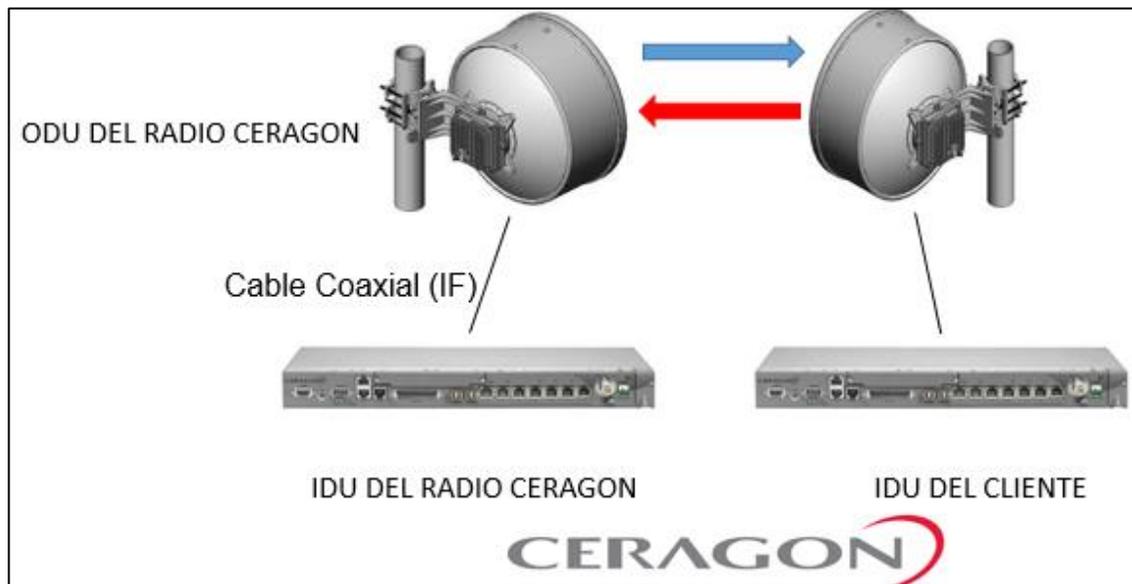


Fuente: manualslib.com/manual/1124513/Rad-Etx-1300.html. Consulta: octubre de 2016.

3.3. Descripción de los equipos en el radioenlace

El radio Ceragon en la última milla debe proporcionar una experiencia similar a la fibra óptica, según los estándares de la red metropolitana.

Figura 56. Equipos del radioenlace Ceragon



Fuente: elaboración propia.

Hasta este punto, se describe como el ISP brinda una interfaz eléctrica u óptica capaz de transportar hasta 100 Mb para los servicios de última milla. A continuación, se describen los equipos necesarios para instalar un radioenlace tomando como parámetros de referencia, la frecuencia de operación disponible, la capacidad de tráfico y las gestiones necesarias por parte del ISP para realizar una instalación económica, rentable y funcional.

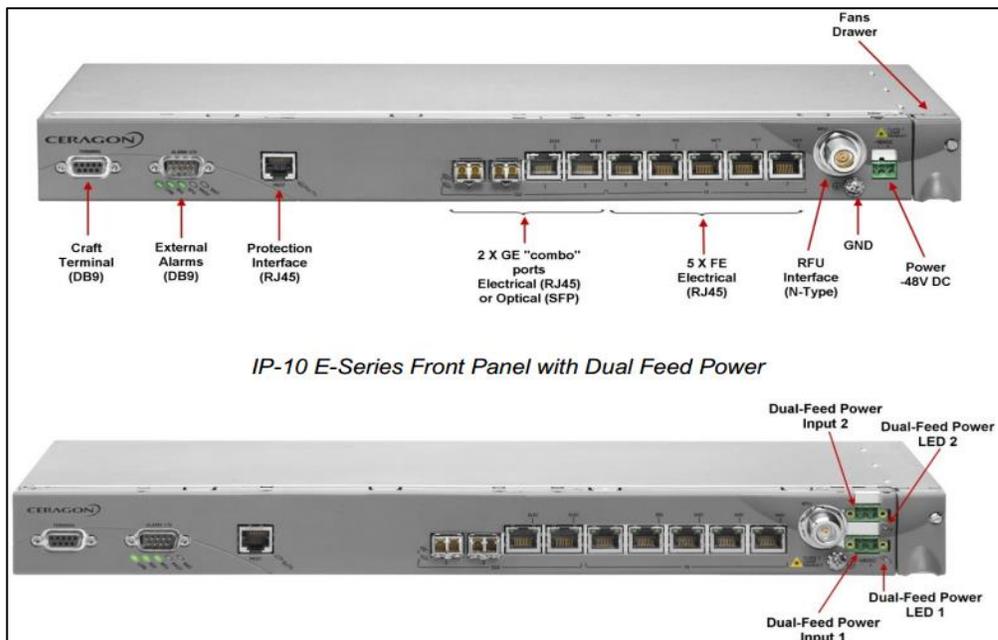
3.3.1. Descripción de hardware IDU IP-10E

La unidad interna (IDU, *In Door Unit*) se define como el módem que interconecta el radio con el nodo de la red en función de las necesidades para ofrecer interfaces Ethernet o TDM como lo trabaja Ceragon.

La IDU de Ceragon constituye una solución de la red IP. Está diseñado como una plataforma de radio microondas Ethernet que se puede integrar fácilmente a cualquier red. Las características más relevantes del radio son:

- Soporta bandas licenciadas desde los 6 a 38 GHz
- Soporta anchos de banda de canales desde 7 a 56 MHz
- La más alta escalabilidad de 10 a 500 Mbps en el mismo hardware
- Incorpora capacidades avanzadas de redundancia Ethernet
- Funcionalidad de integración L2 Ethernet
- Administración de congestión dinámica (QoS)
- Recopilación estadística según la configuración
- Soporta tecnologías de redes múltiples como malla, anillo, cadena

Figura 57. Panel frontal y trasero de la IDU IP-10E de Ceragon

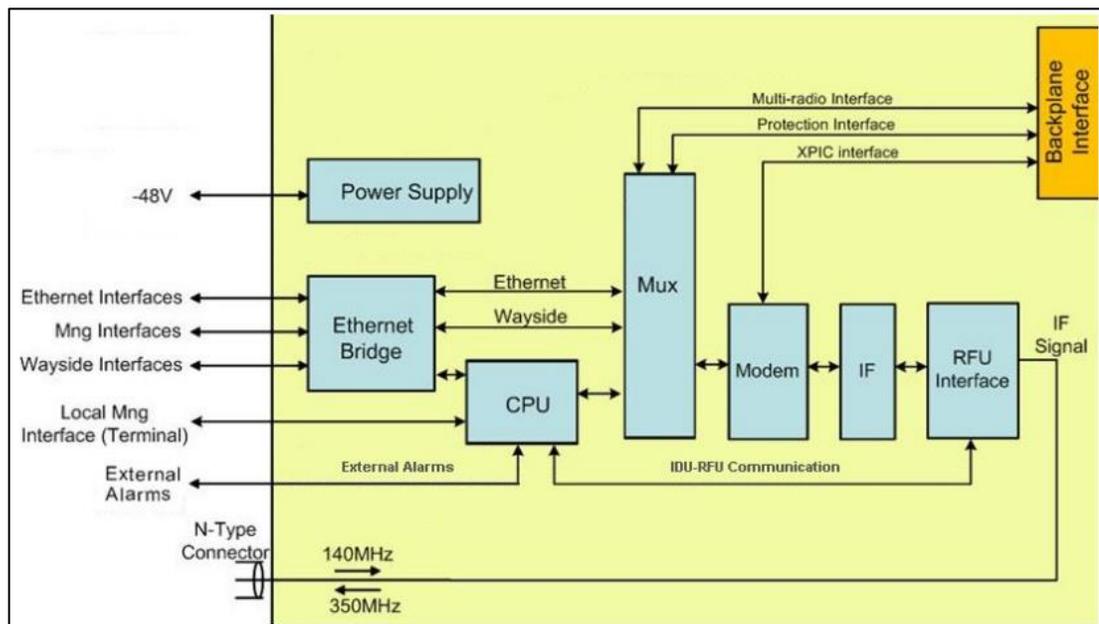


Fuente: <ftp://ftp.datacom.cz/ceragon/ip-10/manualy/>. Consulta: agosto de 2016.

Algunas de las interfaces que destacan de la IDU son sus puertos Giga Ethernet eléctricos u ópticos (con SFP incluidos) porque permiten trabajar todo el medio por fibra óptica el cual podemos configurar como un troncal L2 transparente (dejar pasar todas las *vlan*s) y utilizar otro equipo (interruptor) en el cliente para tener un puerto Ethernet y dejar pasar la *vlan* en modo acceso. La otra configuración disponible Ethernet es utilizar cada puerto transparente en modo acceso de modo que lo ingresado en el Ethernet 1 de la IDU en el nodo se entregue en modo acceso en el cualquier Ethernet de la IDU en el cliente.

Tiene dos interfaces de energía, algunos sitios no cuentan con energía comercial de 120 VCA, por lo que es necesario instalar un convertidor de energía para el equipo. Es la razón del porque Ceragon diseña la IDU para soportar las dos opciones de energía.

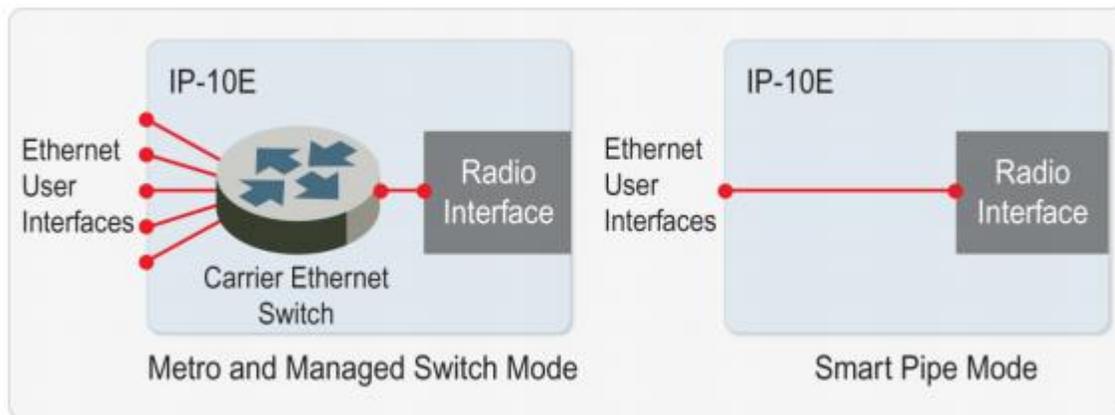
Figura 58. Diagrama de bloques FibeAir IP-10E



Fuente: <ftp://ftp.datacom.cz/ceragon/ip-10/manualy/>. Consulta: agosto de 2016.

El CPU actúa como el controlador central de la IDU, y todas las tramas enviadas y recibidas pasan a través de él. La figura 58 muestra los elementos principales que componen la IDU (IP-10E) e interacción entre ellos. Algunos módulos pueden ser añadidos como energía, puertos Ethernet o de E1s, conexión hacia una segunda ODU.

Figura 59. **Ethernet *switching* IDU IP-10E**



Fuente: <ftp://ftp.datacom.cz/ceragon/ip-10/manualy/>. Consulta: agosto de 2016.

La IDU de Ceragon soporta tres modos para operar Ethernet *switching*:

- *Smart Pipe* – la funcionalidad Ethernet *switching* está deshabilitada y solo tiene una interfaz Ethernet habilitada para el uso de tráfico. La unidad opera efectivamente como “*Point to Point Ethernet microwave Radio*”.
- Interruptor gestionado – la funcionalidad Ethernet *switching* es habilitada basado en *vlangs*.
- Metro *switch* – la funcionalidad Ethernet *switching* es habilitada basado en *vlangs-aware* modo *bridge*.

En el *switching* de la IP-10E es posible almacenar y mostrar estadísticas de acuerdo con las normas RMON y ROMN2. Estos parámetros son muestreados desde el arranque del sistema y la información proporcionada ayuda en la detección de problemas. Ceragon provee administración con tecnología basada en protocolos de capa de aplicación SNMP y HTTP.

3.3.2. Descripción del hardware ODU RFU-C

La unidad interna del radio (IP-10E) es instalada junto con la unidad externa del radio ODU (RFU-C) basados en la tecnología de Ceragon.

La RFU (*Radio Frequency Unit*) de Ceragon es la unidad que contiene actualmente el modem (modulador demodulador) que recibe a través del cable IF (frecuencia intermedia) el tráfico multiplexado por la IDU.

Características principales de operación para la RFU-C:

- Soporta hasta la modulación QAM 256.
- Opera en los rangos de frecuencia de 6 GHz hasta 42 GHz.
- Ancho de banda configurable de 7 MHz hasta los 56 MHz.
- Compacto y ligero en dimensiones, reduce el costo de instalación y mantenimiento.
- Soporta configuraciones:
 - 1+0, Sin protección
 - 1+1, 2+2, con protección HSB (*Hot Standby*)
 - Diversidad de espacio y frecuencia

Según las necesidades del radioenlace, las características de la IDU IP-10E escogida deben ser compatibles con la ODU RFU-C, en el tipo de

modulación, frecuencia, ancho de banda y capacidad de tráfico en que pueden operar para que la configuración en un equipo no afecte el funcionamiento del otro.

La frecuencia Intermedia (IF) en el radio se obtiene de la mezcla de la señal sintonizada en la antena con una frecuencia variable generada localmente en el propio aparato mediante un oscilador local (OL) y que ambas mantienen una diferencia constante. La utilidad de una frecuencia intermedia radica en el hecho de que todos los circuitos sintonizados existentes a partir de la etapa en que se efectúa la mezcla, trabajan a una frecuencia fija y por lo tanto son más fáciles de ajustar.

Figura 60. **Interfaces de la RFU-C**



Fuente: manualslib.com/manual/1292678/Ceragon-Fibeair-Rfu-C.html. Consulta: julio de 2016.

Tabla XI. Frecuencia de operación de 6-18 GHz

Especificación	6L,6H GHz	7,8 GHz	11 GHz	13 GHz	15 GHz	18 GHz
Norma	ETSI, FCC	ETSI	ETSI, FCC	ETSI	ETSI	ETSI, FCC
Rango de Frecuencia de Operación (GHz)	5.85-6.45, 6.4-7.1	7.1-7.9, 7.7-8.5	10.7-11.7	12.75-13.3	14.4-15.35	17.7-19.7
Estabilidad de Frecuencia	+0.001%					
Fuente de Frecuencia	Sintetizador					
Selección de Canal de RF	Via EMS/NMS					
Configuraciones del sistema	No-Protegido (1+0), Protegido (1+1)					

Fuente: manualslib.com/manual/1292678/Ceragon-Fibeair-Rfu-C.html. Consulta: julio de 2016.

Tabla XII. Potencia de transmisión según la modulación RFU-C (dBm)

Modulación	6 GHz	7-8 GHz	11-15 GHz	18 GHz	23-28 GHz	32-38 GHz
QPSK	27	26	24	22	22	19
8 PSK	27	26	24	22	22	19
16 QAM	26	25	23	21	21	18

Fuente: manualslib.com/manual/1292678/Ceragon-Fibeair-Rfu-C.html. Consulta: julio de 2016.

Tabla XIII. Umbral del receptor según la modulación (dBm $BER = 10^{-6}$)

Nivel de Operación	Modulación	Espaciado del Canal	Ancho de Banda Ocupado	Frecuencia (GHz)			
				6-8	11-15	18-28	32-38
1	QPSK	7 MHz	6.2 MHz	-92	-91.5	-91	-90.5
2	8 PSK			-89.5	-89	-88.5	-88
3	16 QAM			-86.5	-86	-85.5	-85
4	32 QAM			-84.5	-84	-83.5	-83
5	64 QAM			-82	-81.5	-81	-80.5
6	128 QAM			-79.5	-79	-78.5	-78
7	256 QAM			-76.5	-76	-75.5	-75
8	256 QAM			-74.5	-74	-73.5	-73

Fuente: manualslib.com/manual/1292678/Ceragon-Fibeair-Rfu-C.html. Consulta: julio de 2016.

Tabla XIV. **Capacidad del canal a 7 MHz**

Nivel de Operación	Modulación	Capacidad mínima de la licencia requerida	Número de E1s soportados	Tasa de Transferencia Ethernet	
				Min	Max
1	QPSK	10	4	9.5	13.5
2	8 PSK	25	6	14	20
3	16 QAM	25	8	20	28
4	32 QAM	25	10	23	34
5	64 QAM	25	12	28	40
6	128 QAM	50	13	33	47
7	256 QAM	50	16	38	55
8	256 QAM	50	16	43	61

Fuente: manualslib.com/manual/1292678/Ceragon-Fibeair-Rfu-C.html. Consulta: julio de 2016.

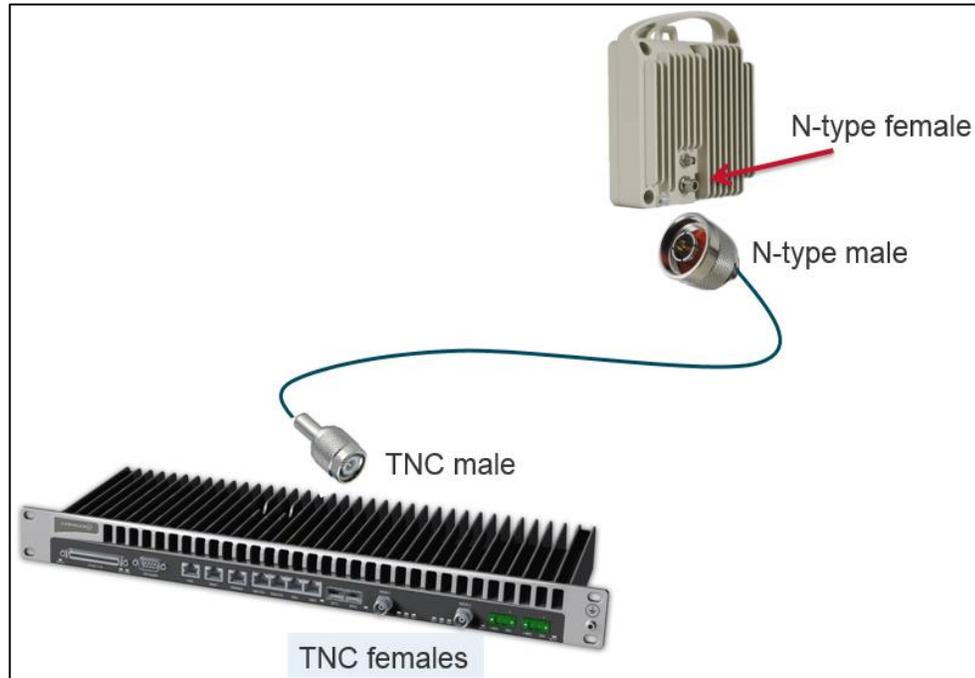
3.3.3. Descripción de la antena, cable IF y guía de onda

La IP-10E y RFU-C están conectados por un cable coaxial RG-223, Belden 9914/RG-8 o algún otro cable equivalente donde es transportada la frecuencia intermedia de 140 MHz a 350 MHz dependiendo la distancia de separación, con un conector Tipo-N en la RFU-C y un conector TNC en el chasis de IP-10E como muestra la figura 61.

La RFU-C puede ser utilizada con los siguientes modelos de antenas:

- Andrew: VHLP/HP series
- RFS: SB/SU series
- Xian Putian: WTG series

Figura 61. **Conexión de IP-10E hacia RFU-C**



Fuente: manualslib.com/manual/1292678/Ceragon-Fibeair-Rfu-C.html. Consulta: julio de 2016.

Tabla XV. **Guía de onda, conexión de la antena hacia la RFU-C**

Frequency (GHz)	Waveguide Standard	Waveguide Flange	Antenna Flange
6	WR137	PDR70	UDR70
7/8	WR112	PBR84	UBR84
11	WR90	PBR100	UBR100
13	WR75	PBR120	UBR120
15	WR62	PBR140	UBR140

Fuente: manualslib.com/manual/1292678/Ceragon-Fibeair-Rfu-C.html. Consulta: julio de 2016.

Tabla XVI. **Pérdida (dB) por conexión hacia la antena**

Configuration	Mount	Path	Per Terminal Losses (dB)					
			6-8 GHz	11 GHz	13-15 GHz	18 GHz	23-32 GHz	38 GHz
1+0	Direct	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	Remote	-	0.5	0.5	1.2	1.5	1.5	1.5

Fuente: manualslib.com/manual/1292678/Ceragon-Fibeair-Rfu-C.html. Consulta: julio de 2016.

Según el tipo de antena, puede ser o no necesario instalar una guía de onda y sus respectivos acopladores en cada extremo de la misma.

Figura 62. **Especificaciones generales de la antena HPLP1-15**

Tipo de antena	Parabólica HP (High Performance)	
Tamaño	1ft 0.3m	
Polarización	Vertical	
Tipo de conector RF	WR62	
Frecuencia de operación	14.25-15.35GHz	

Fuente: <http://www.radiowaves.com/en/product/hplp1-15>. Consulta: octubre de 2016.

4. IMPLEMENTACIÓN DEL RADIOENLACE

En el capítulo 3 se ha descrito detalladamente los aspectos técnicos del equipo Ceragon por utilizar. Se escogieron estos equipos porque se adaptan a las necesidades técnicas y económicas de la implementación.

4.1. Resumen de los parámetros por configurar

Los equipos Ceragon pueden operar en diferentes configuraciones, según lo permita su hardware y las licencias en software. Ceragon habilita las funciones básicas en sus equipos, algunas pueden depender de una licencia.

Tabla XVII. Resumen No.1 para configurar el radioenlace

TRÁFICO IP DEL RADIOENLACE		CARACTERÍSTICAS DEL SFP EN LA IDU (IP-10)	
Internet	10mb	SFP Transmisor en el radio	1310nm
MPLS	2mb	SFP Receptor en CTC	1550nm
E1 Siptrunk	2mb	Distancia máxima de transmisión	20km
Gestión de equipos cliente	1mb	Capacidad máxima de tráfico	Superior a 100mb
Total de tráfico IP:	14mb		
FIBRA ÓPTICA		CABLE COAXIAL RG-223	
Patch cord monomodo	10 m	Conector en la ODU	Tipo N
Conectores	LC-LC	Conector en la IDU	TNC
Pérdida	0.3 dB	Voltaje máximo	1,900v
Pérdida de retorno	58 dB	Frecuencia de operación	400 MHz
		Atenuación	8.2dB / 100ft
		Impedancia	50 ohm
COORDENADAS DE AMBOS PUNTOS		Factores que determinan Capacidad del enlace	
Nodo - Latitud	14°38'21.85"N	Frecuencia de operación	7 MHz
Nodo - Longitud	90°30'48.89"O	Modulación	16 QAM
Cliente - Latitud	14°38'31.05"N	Relación Señal / Ruido	0,12
Cliente - Longitud	90°30'58.70"O	Método de corrección de error	FEC (Corrección hacia adelante)

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. Resumen No.2 para configurar el radioenlace

IDU - CERAGON IP-10		ODU - RFU-C	
Frecuencias de banda	6 a 38 GHz	Capacidad	10-500 Mb
Ancho de banda de canal	7 - 56 MHz	Ancho de banda de canal	7 - 56 MHz
Tráfico	IP y TDM (E1)	Tipo de modulación	QPSK, 8PSK, 16-256 QAM
Frecuencia de operación	14.4 - 15.35 GHz	Configuraciones	1+0, 2+0, 1+1, 2+2
Separación de frecuencia TX/RX	420 MHz	Polarización	Horizontal o Vertical
Rango de TX	20dB dinámico	Rango de Temperatura	-35 C a +55C
Consumo de energía	con RFU-C, 1+0; 47W	Consumo de energía	22W, configuración 1+0
Estándar	ETSI	Sistema de monitoreo	ITU-T G.828
FRECUENCIAS DE OPERACIÓN		PARÁMETROS DE LA ANTENA	
Configuración del Radioenlace	1+0	Tipo de antena	Parabólica
Pérdida por terminales (dB)	0.1dB		HP (High Performance)
Frecuencia de recepción	15.327 GHz	Tamaño	1ft 0.3m
Frecuencia de Transmisión	14.907 GHz	Polarización	Horizontal
Separación de frecuencia	420 MHz	Tipo de conector RF	WR62
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS DE LA ANTENA		ESPECIFICACIONES MECÁNICAS DE LA ANTENA	
Frecuencia de Operación	14.25 - 15.35 GHz	Ajuste de Azimuth	+/- 10 Grados
Medio Haz de luz horizontal	4.5 grados	Ajuste de Elevación	+/- 30 Grados
Medio haz de luz vertical	4.5 grados	Diametro de tubo de montaje	2 Pulgadas / 5.08 cm
Ralación, delante hacia atrás	53 dB	Rango de temperatura	-40 a +60 C
Ganancia, frecuencias bajas	30.8 dBi	Velocidad de Viento Operacion	145 Km/h
Ganancia, frecuencias medias	31.1 dBi	Velocidad máxima	201 Km/h
Ganancia, frecuencias altas	31.3 dBi		
VSWR	1:37:01		
Pérdida de retorno	-16.1 dB		

Fuente: elaboración propia.

El resumen de la tabla 17 y 18 contiene los parámetros específicos de hardware y software para el radioenlace Ceragon y los accesorios involucrados para implementarlo.

La información se obtiene en base a las especificaciones descritas en ficha técnica de los equipos proporcionada por el proveedor y los recursos lógicos proporcionados por el ISP. En base a esta información se realiza una simulación por software para el enlace microondas poniendo a prueba la

operatividad, con el fin de identificar deficiencias, minimizar el riesgo de una falla y contar con un respaldo al momento de proceder con la instalación.

4.2. Simulación por software

El parámetro de mayor relevancia en el análisis del radioenlace es la potencia de recepción (Rx), este dato indica si se encuentra dentro de los márgenes esperados, de lo contrario, se debe analizar todos los parámetros establecido en el resumen anterior o realizar variaciones permisibles.

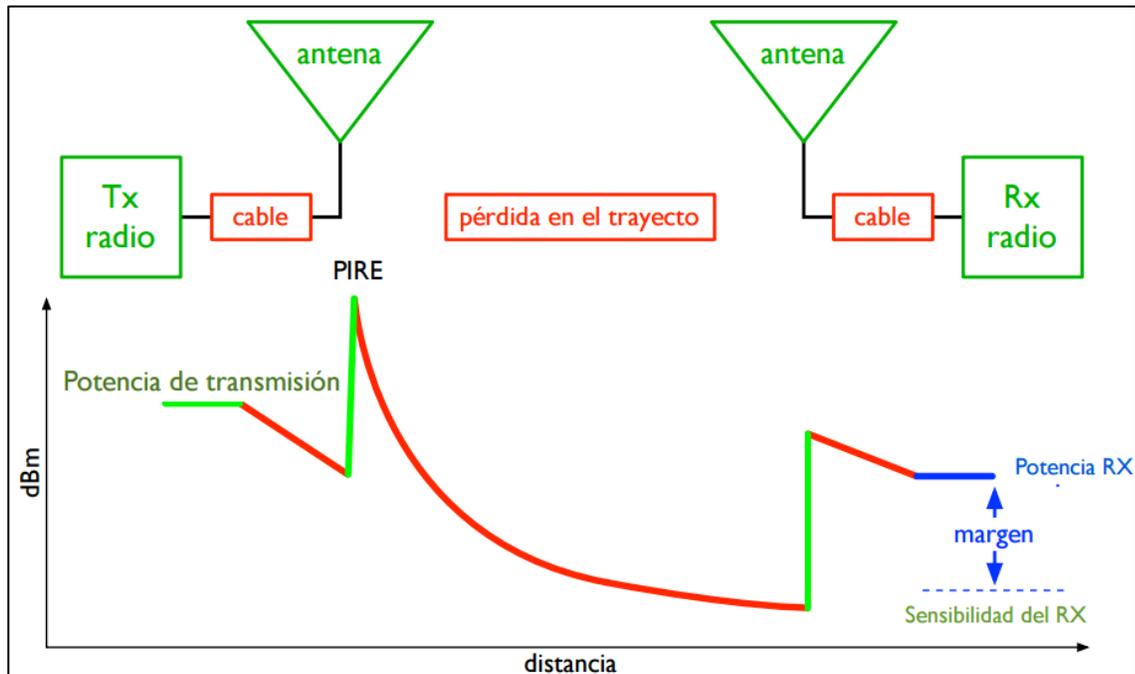
4.2.1. Teoría sobre la potencia de recepción (Rx)

La potencia recibida no debe ser inferior a un valor umbral dado por el fabricante (ver la figura 13), valores inferiores producen indisponibilidad o puede implicar tener el radioenlace en un límite inferior de operación. No podrá ser superior a un valor máximo, o de saturación.

En las pérdidas se consideran las atenuaciones por conectores, cables, gases según la recomendación UIT-R PN 676, para la lluvia la recomendación UIT-R PN 530 y la pérdida en el espacio.

La pérdida en el espacio libre es la potencia de la señal reducida por el ensanchamiento del frente de onda. La potencia de la señal se distribuye sobre un frente de onda de área cada vez mayor a medida que nos alejamos del transmisor, por lo que la densidad de la potencia disminuye.

Figura 63. **Distribución de potencia en un sistema inalámbrico**



Fuente: http://www.eslared.org.ve/walc2012/material/track1/07-Presupuesto_de_potencia-es-v1.14-Notes.pdf / PAGINA 7. Consulta: noviembre de 2016.

Para un enlace punto a punto, es preferible calcular la atenuación en el espacio libre entre antenas, denominada también pérdida básica de transmisión en el espacio libre (símbolos: L_{bj} o A_0). Según la recomendación UIT-R P.525-2 en la sección 2.2.

4.2.2. **Comprobación por software Pathloss**

El programa Pathloss es una herramienta completa de diseño de trayectos para enlaces de radio que operan en la gama de frecuencia de 30 MHz a 100 GHz. Diseñada y distribuida por *Contract Telecommunication Engineering*.

Con cualquier simulador para radioenlaces, en este caso Pathloss, mientras mayor sea la información que proporcionemos al simulador, obtendremos resultados más precisos. Esto implica, considerar todas las pérdidas en el medio, ingresar parámetros reales de configuración, entre otros.

La altura sobre el nivel de suelo de cada antena, las coordenadas en cada extremo y el tamaño de la antena permite obtener la elevación y azimut para cada antena, alinearlas correctamente en su respectivo mástil.

Figura 64. Ingreso de coordenadas del radioenlace

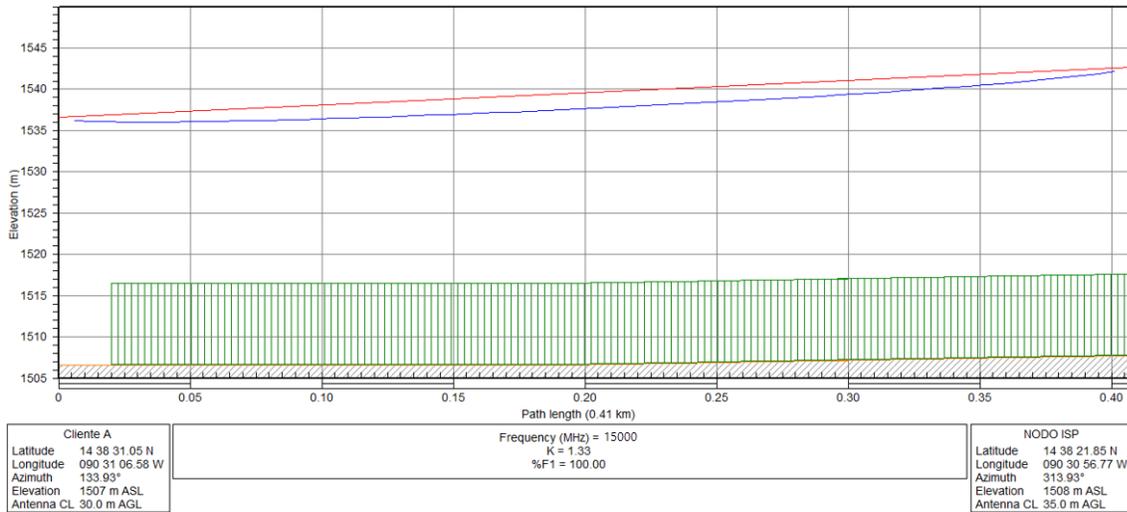
Site Name	Ciente A	NODO ISP	
Call Sign	38-00001	38-0002	Operator code
Station Code			Radio model
State			Code
Owner Code			Emission designator
Latitude	14 38 31.05 N	14 38 21.85 N	Traffic code
Longitude	090 31 06.58 W	090 30 56.77 W	TX power (dBm)
True azimuth (°)	133.93	313.93	Frequency (MHz)
Calculated Distance (km)		0.41	Polarization
Profile Distance (km)			Free space loss (dB)
Datum	WGS 1984		EIRP (dBm)
Elevation (m)			RX signal (dBm)
Tower Height (m)			Radio configuration
TR Antenna Height (m)	0.00	0.00	
Code			
TX loss (dB)	0.00	0.00	
RX loss (dB)	0.00	0.00	



Fuente: elaboración propia. Software Pathloss.

Con base en las coordenadas, se conoce la distancia del punto A hacia el punto B en línea recta, con estos parámetros es posible considerar un valor para la curvatura de la tierra, al igual que la orientación de la antena, estos datos sirven para identificar obstáculos como árboles o construcciones y graficar las curvas de Fresnel, que es dónde se concentra la mayor cantidad de energía para obtener buena recepción en el radioenlace.

Figura 65. Gráfica de línea vista

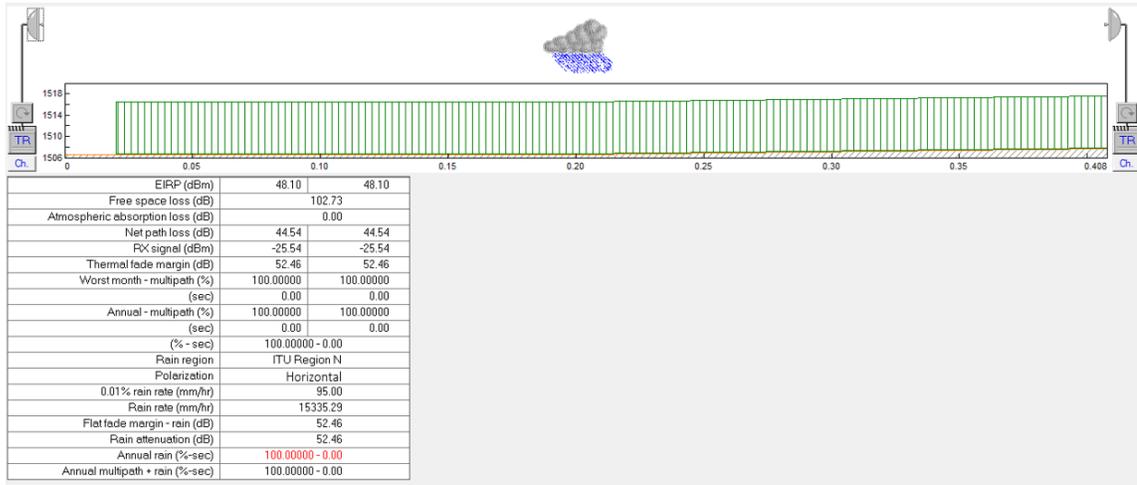


Fuente: elaboración propia. Software Pathloss.

Para conocer las pérdidas en el espacio libre, es necesario ingresar los parámetros que afectan el medio como la lluvia, humedad, absorción atmosférica, etc. Estos datos varían según la región, en Pathloss estas bases de datos ya se encuentran cargadas, en la región de estudio se utiliza la recomendación ITU-R P530-7 antes mencionada.

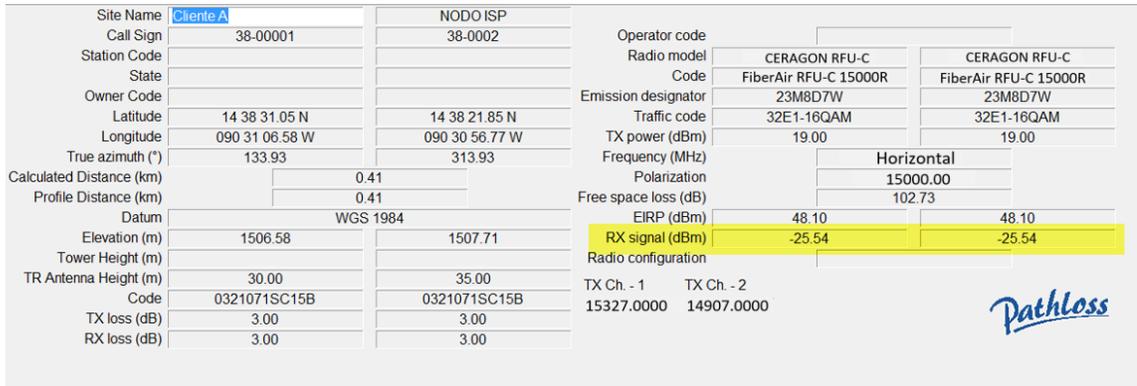
La sensibilidad de un receptor es el valor mínimo de señal de radio frecuencia que puede detectarse en la entrada y producir una señal demodulada útil. El análisis completo realizado por Pathloss, considerando un escenario lluvioso, indica una potencia de recepción de -25,54 dBm como muestra la figura 67. Esta potencia es demasiado alta según la hoja de especificación de la ODU RFU-C de Ceragon, el enlace está saturado. El margen correcto de recepción debe ser de -65 dBm a -30 dBm. Para mejorar el nivel de recepción se recomienda disminuir la potencia del transmisor en el nodo.

Figura 66. Pérdidas en el espacio libre



Fuente: elaboración propia. Software Pathloss.

Figura 67. Potencia de recepción para el radioenlace Ceragon



Fuente: elaboración propia. Software Pathloss.

Los resultados obtenidos con el software Pathloss demuestran que es posible y fiable montar el radioenlace para el cliente. La distancia entre ambos

puntos es corta en comparación a la capacidad que está diseñado, por lo que no se ha encontrado inconveniente para proceder con la instalación.

4.3. Instalación e infraestructura del radio

En base al fundamento teórico puesto a prueba para implementar el radioenlace Ceragon y con el resumen de los parámetros a configurar; se procede con la instalación física y configuración de los equipos en el nodo y en el cliente, sistemas de energización y puesta a tierra, siguiendo las normas de seguridad y prevención contra accidentes.

4.3.1. Medidas de seguridad en la instalación

Antes de instalar los equipos en el exterior (la antena y la ODU) se deben considerar los agentes que afectan el funcionamiento y la vida útil como la lluvia, el sol y otros elementos dañinos. La energización de los equipos, los trabajos en altura.

Figura 68. Señales de seguridad para la instalación del radioenlace



Fuente: <http://www.areatecnologia.com/señales-seguridad.htm>. Consulta: noviembre de 2016.

4.3.1.1. Campos eléctricos y magnéticos

La necesidad de desarrollar una Legislación que permita limitar la exposición de las personas a los campos electromagnéticos (CEM) fue expresada por los miembros del comité Consultivo Internacional. Un aspecto importante de la legislación modelo es que utiliza estándares internacionales que limitan la exposición de las personas a CEM. Para el propósito de esta legislación, los CEM incluyen campos eléctricos y magnéticos con frecuencias variables. Las medidas recomendadas respecto del control de exposición incluyen:

- La exposición a campos electromagnéticos de alta frecuencia puede causar daños al personal. El ojo (córnea y lente) se encuentran fácilmente expuestos.
- Cualquier exposición innecesaria es indeseable y debe evitarse.
- En las instalaciones de radios de comunicación, en operación normal de la RFU, el nivel de radiación emitida está muy por debajo del límite de seguridad.
- Cuando se realicen trabajos cerca de la antena, debe asegurarse que el transmisor se encuentre apagado.
- Antes de abrir los conectores coaxiales o de la guía de onda que llevan energía, apague el transmisor.
- Se debe considerar cualquier conector RF abierto como potencia de carga. No se miran los conectores coaxiales a una distancia menor a 1 pie.

4.3.1.2. Seguridad eléctrica

Los trabajadores de telecomunicaciones están expuestos a riesgos ocupacionales derivados del contacto con líneas eléctricas de alta tensión durante las actividades de construcción, mantenimiento y operación que pueden causar daños permanentes e inclusive la muerte. Por tal motivo se presentan algunas medidas de prevención:

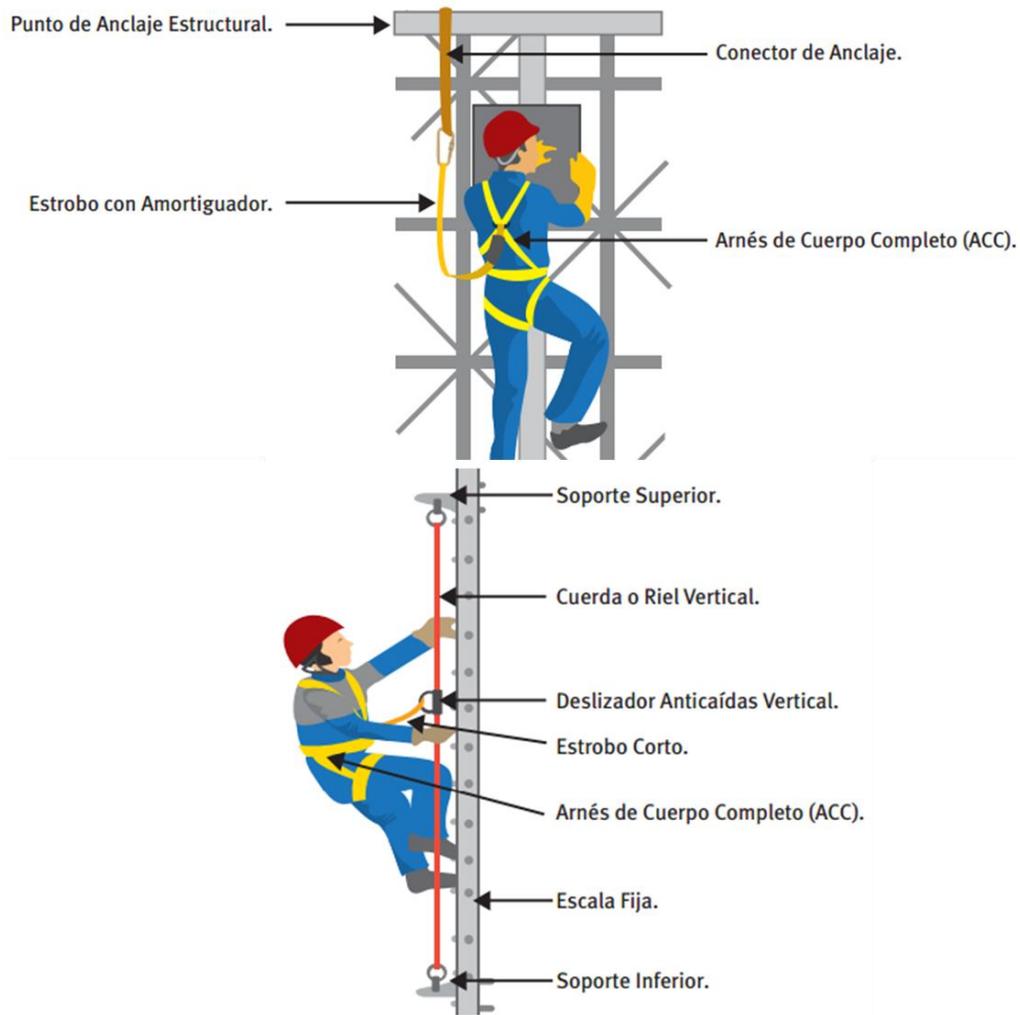
- Disponer que la instalación, mantenimiento y reparación de equipos eléctricos sea realizada únicamente por técnicos capacitados y calificados.
- Desactivar y conectar a tierra de manera debida las líneas vivas antes de realizar los trabajos.
- Garantizar el uso adecuado de equipos y procedimientos de seguridad especiales cuando el trabajo se realice cerca o en las proximidades de partes electrizadas expuestas de un sistema eléctrico.
- Es recomendable utilizar zapatos dieléctricos (diseñados especialmente para aislar a la persona del suelo), guantes aislantes, el motivo del calzado y guantes es que sirven para evitar una descarga, en caso de contacto eléctrico accidental.
- Dado que las descargas de corriente eléctrica eligen la trayectoria a tierra, en todas las instalaciones eléctricas o estructuras de acero, como mástiles o torres, deberá existir una conexión a tierra como medida de seguridad.
- No utilizar en el cuerpo piezas de metal. Éstas pueden ocasionar un corto circuito. Al tener materiales conductores en el cuerpo facilitamos la posibilidad de producir un corto circuito haciendo contacto en dos líneas vivas o en un neutro y una fase.

4.3.1.3. Trabajo en altura y protección contra caídas

El trabajo en altura es todo labor que se realiza a más de 1,8 metros sobre el nivel del suelo donde se encuentra el trabajador y que además presenta el riesgo de sufrir una caída libre, o donde una caída de menor altura puede causar una lesión grave. El montaje de torres y la instalación de antenas ponen en peligro físico a los técnicos, por ello existen normas que se deben cumplir:

- Se deben llevar a cabo tareas de regulación y mantenimiento de montacargas y elevadores, así como impartir capacitación en su uso a los operadores. Las actividades de mantenimiento y operación de las plataformas elevadoras se ajustarán a los procedimientos de seguridad establecidos, que incluyen aspectos tales como equipamiento y uso de medidas de protección contra caídas (por ejemplo, barandillas), traslado de los elevadores únicamente cuando han sido retirados.
- El uso de escaleras debe ajustarse a procedimientos de seguridad establecidos con antelación, que incluyen la correcta ubicación, la manera en que los trabajadores suben y se paran en los escalones, y el uso de prolongaciones.
- Implementar un programa de protección contra caídas que incluya, entre otras cosas, capacitación en técnicas de subida y uso de medidas de protección contra caídas; inspección, mantenimiento y reemplazo de los equipos de protección contra caídas y rescate de trabajadores que han quedado suspendidos en el aire.
- El arnés debe estar diseñado para soportar el cuerpo durante y después de la detención de una caída.

Figura 69. **Equipo de protección para trabajos en alturas**



Fuente: <http://www.energygreen.cl/wp-content/uploads/2017/10/Seguridad-para-trabajos-en-altura.pdf>. Consulta: agosto de 2016.

4.3.2. **Instalación del equipo Ceragon**

En base a las especificaciones técnicas de los equipos Ceragon a instalar, se debe asegurar que operen según los parámetros brindados por el fabricante

maximizando la vida útil de los equipos y reduciendo la probabilidad de una avería por una mala instalación.

4.3.2.1. Instalación de la unidad interior IP-10E

Equipo y herramientas para la instalación:

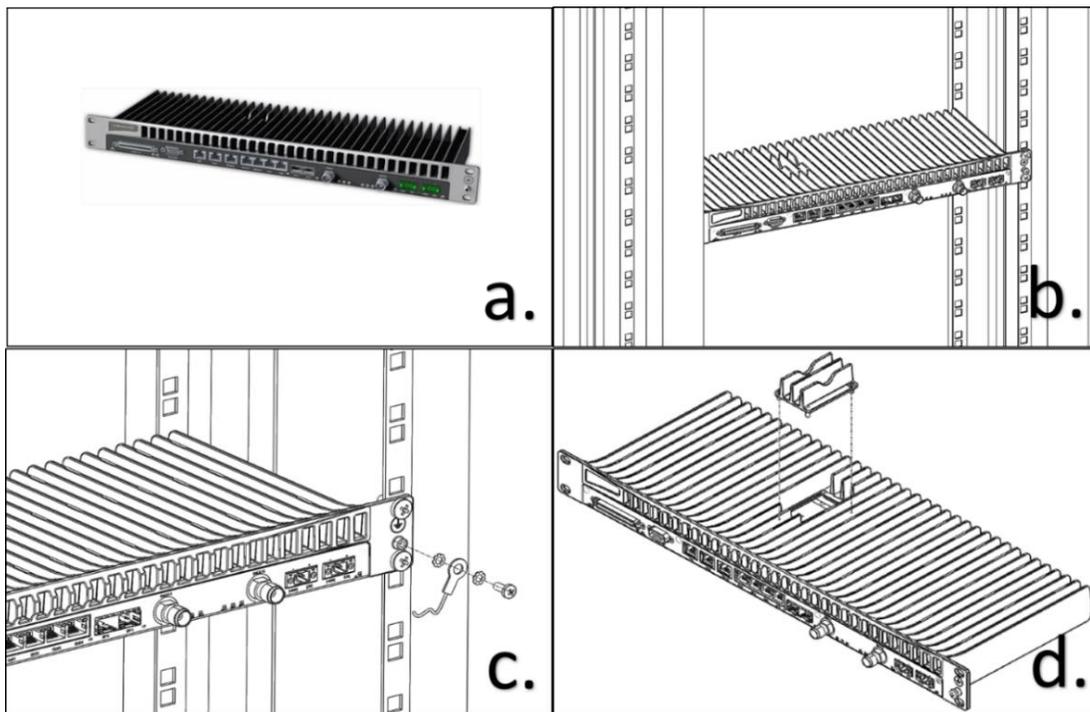
- Chasis de la IDU IP-10E
- Rack 19"
- Llaves de turcas de 13 mm, 18 mm y 19 mm
- Destornillador Phillips
- Destornillador Torx TX10, TX20, TX25 y TX30
- Ponchadora para conectores IDC D-sub
- Crimper para cable Micro coaxial
- Alicata cortador, entre otros

Proceso de instalación:

- Sostener e insertar la IDU IP-10E en el rack de 19" como muestra la figura 70.b. Se sujeta con los tornillos de roscas aéreas que vienen en el kit de instalación.
- Conectar el cable de tierra al chasis del IP-10E en el único punto como muestra la figura 70.c usando un solo tornillo y los dos arandales de presión.
- El cable de conexión a tierra debe ser calibre 16 AWG o superior para soportar la corriente que fluirá a través de él.
- Aterrizada la IDU, se procede con el cableado de energía. Al momento de la manipulación se debe tener apagado los equipos y utilizar la protección necesaria que involucren el manejo de electricidad.

- Instalada la IDU en la posición correcta, se procede a la colocación de tarjetas requeridas para los servicios en el proyecto de instalación.
- Cuando se manipula la tarjetería de cualquier equipo es recomendable el uso de la pulsera antiestática para evitar daños.
- Realizar el cableado de E1 y servicios Ethernet hacia el panel de distribución en un grupo con amarres para conservar la estética.
- Se debe instalar el cable IF en la IDU, se debe considerar que el cable suba por la parte trasera para evitar la manipulación de otros cableados.
- El equipo se recomienda instalar en una sala refrigerada.

Figura 70. **Instalación de la IDU IP-10E**



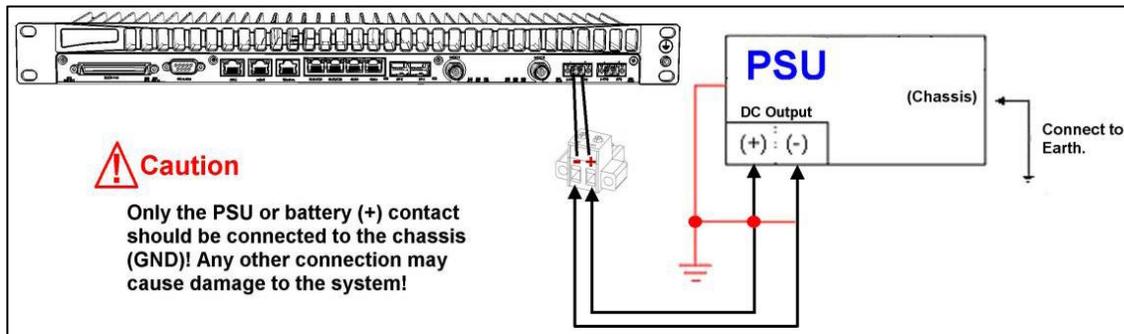
Fuente: <ftp://ftp.datacom.cz/ceragon/ip-10/manualy/>. Consulta: agosto de 2016.

4.3.2.2. Requisitos de energía

Los requisitos necesarios que se debe cumplir en la instalación para energizar debidamente los equipos son los siguientes:

- La energía en el nodo debe ser -40 VDC a -60 VDC, esto debido a los rectificadores instalados, quienes realizan el trabajo de conmutación al banco de baterías cuando la energía comercial falla.
- Protección por sobre corriente: Se debe incorporar en el cableado del sitio un dispositivo de protección contra descargas de corriente, de fácil acceso.
- Sistema de suministro a tierra: El equipo se conectará a un sistema de suministro conectado a tierra. Todos los equipos que se encuentren en las inmediaciones deberán estar conectados a tierra.
- El sistema de alimentación de Corriente Directa debe ser local, es decir, dentro de las mismas instalaciones que el equipo.
- No se permite dejar fuera del sistema de protección a tierra ningún dispositivo dentro del nodo o en las instalaciones del cliente.
- Se recomienda disponer de un UPS (Sistema de energía ininterrumpido), banco de baterías o energía por un motor generador.
- La unidad IDU cuenta con más de una conexión de alimentación de energía. Se debe retirar todas las alimentaciones para realizar alguna reparación en un equipo en específico.
- Antes de realizar el encendido de la IDU, se debe cerciorar que la ODU este apagada y una vez encendida la IDU, el sistema de ventilación funcione correctamente y muestre su led de estado, al igual que las fuentes de alimentación.

Figura 71. Interfaz de energía en la IDU IP-10E



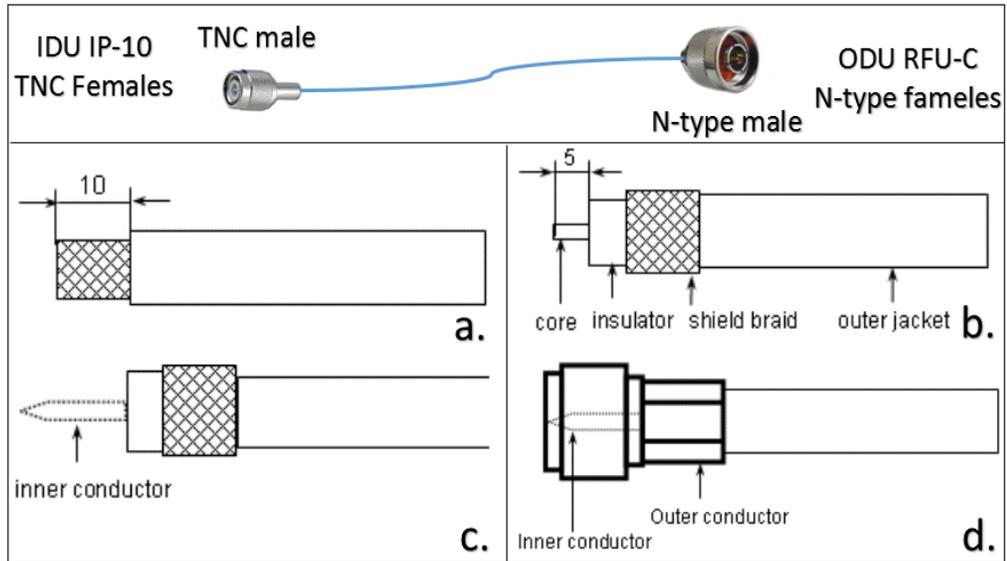
Fuente: <ftp://ftp.datacom.cz/ceragon/ip-10/manualy/>. Consulta: agosto de 2016.

4.3.2.3. Instalación del cable coaxial

Preparación y recomendaciones de instalación para el cable IF:

- Cortar la cubierta exterior del cable, sin dañar el blindaje. Figura 72.a.
- Doblar el blindaje expuesto sobre la cubierta externa, y cortar 5mm del aislador interno, sin dañar el conductor central. Figura 72.b.
- Inserte el Ping en el conductor central y usar un alicate para asegurar el pin al conductor central. Figura 72.c.
- Instalar el conector y asegurarlo. El conductor central no debe ser muy largo, ni muy corto, sino levemente más corto que el borde del conector. Figura 72.d.
- Para efectos de pérdidas, considerar una atenuación de 27 dB operando a 350 MHz de frecuencia interna y una distancia máxima de 200 m.
- El cable coaxial transporta la energía que alimenta la ODU, por lo que se recomienda precaución al manipularlo.

Figura 72. Preparación para el cable coaxial



Fuente: <ftp://ftp.datacom.cz/ceragon/ip-10/manualy/>. Consulta: agosto de 2016.

Tabla XIX. Especificaciones técnicas del cable RG223

Configuration Inner Conductor Material and Plating Dielectric Type Shield Materials Jacket Material and Color	Copper, Silver PE Silver Plated Copper Braid, Silver Plated Copper Braid PVC, Black
Electrical Specifications Impedance, Ohms Velocity of Propagation, % Maximum Operating Frequency, GHz Capacitance, pF/ft [pF/m] Maximum Operating Voltage, Volts	50 66 12.4 30.8 [101.05] 1,900
Electrical Specifications by Frequency Frequency 1 Frequency, MHz Attenuation, dB/100ft [dB/100m] Frequency 2 Frequency, MHz Attenuation, dB/100ft [dB/100m]	100 4 [13.12] 400 8.2 [26.9]

Fuente: www.pasternack.com/images/ProductPDF/RG223-U.pdf. Consulta: noviembre de 2016.

4.3.2.4. Instalación de la ODU (RFU-C)

Se debe revisar cada uno de los elementos de hardware del equipamiento que se dispone a instalar, de igual forma cerciorarnos de contar con las herramientas adecuadas, esto para evitar el daño a los equipos. La ODU posee distintos escenarios de instalación según el tipo de antenas que se utilicen para el enlace como polarización simple o polarización dual (se detalla en la sección 3.1.5), con o sin guía de onda hacia la antena.

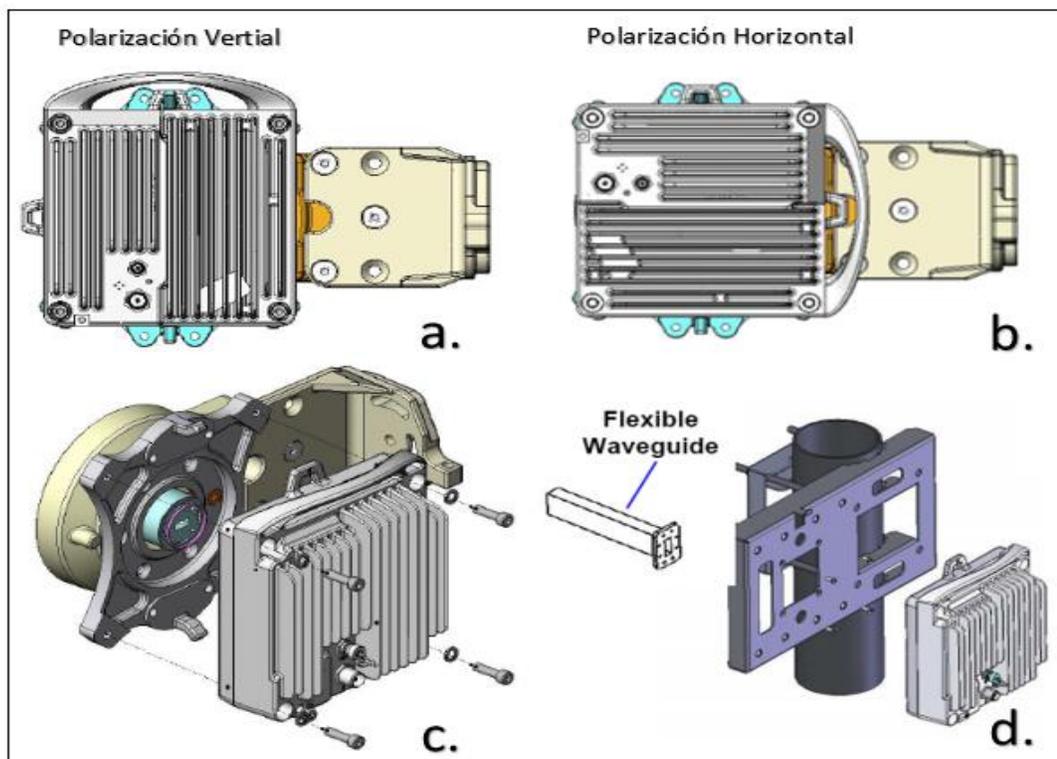
Recomendaciones para la instalación de la RFU-C:

- En la configuración 1+0 utilizada en este diseño, la RFU-C está conectada a la guía de onda hacia la antena. Ver la figura 73 d.
- En esta instalación se utiliza polarización Vertical. Considerar la orientación como muestra la figura 73 a y b.
- Al momento de utilizar guía de onda entre la ODU y la antena, se considera una pérdida de 0,1 hasta 1,8 dB según el acoplador utilizado.
- La unidad RFU-C está contenida en un gabinete de intemperie con una placa circular de la interfaz de la antena.
- El acoplador de la antena que se muestra en la figura 75 debe instalarse antes de colocar la ODU, debido a que complica la maniobra en la torre.
- Una vez instalado el acoplador en la antena, se debe instalar el acoplador de la ODU, esta se puede definir como principal o como respaldo en la configuración 1+1.
- En la instalación de la guía de onda se utilizan sujetadores al mástil para evitar que se mueva por el viento y se lesione.

Interfaz de la RFU-C y etiqueta de información. Ver la figura 60:

- Interfaz para la conexión de la antena (*Flanger* estándar UBR)
- Interfaz para la conexión con la IDU (Cable IF, conector N-type *fameles*)
- Conector de pruebas, para el alineamiento de la antena (Conector BNC)
- Conector de puesta a tierra

Figura 73. **Polarización e interfaz de RFU-C de Ceragon**



Fuente: manualslib.com/manual/1292678/Ceragon-Fibeair-Rfu-C.html. Consulta: julio de 2016.

El tipo y tamaño del conector de la guía de onda varía para las diferentes bandas de frecuencias en las que puede operar la RFU-C. Ver la tabla 20.

Tabla XX. **Guías de onda según la frecuencia para la RFU-C**

Frequency (GHz)	Waveguide Standard	Waveguide Flange	Antenna Flange
6	WR137	PDR70	UDR70
7/8	WR112	PBR84	UBR84
10/11	WR90	PBR100	UBR100
13	WR75	PBR120	UBR120
15	WR62	PBR140	UBR140

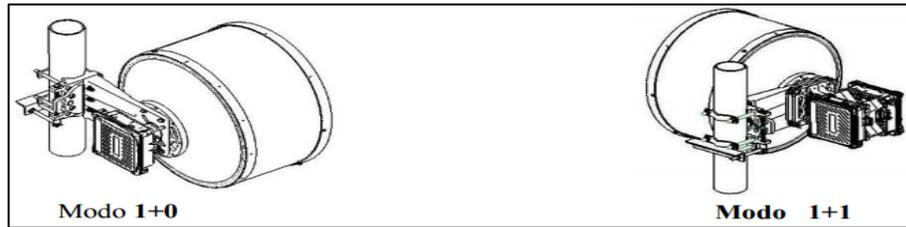
Fuente: manualslib.com/manual/1292678/Ceragon-Fibeair-Rfu-C.html. Consulta: julio de 2016.

4.3.2.5. **Instalación de la antena**

Hay dos opciones para conectar la ODU hacia la antena:

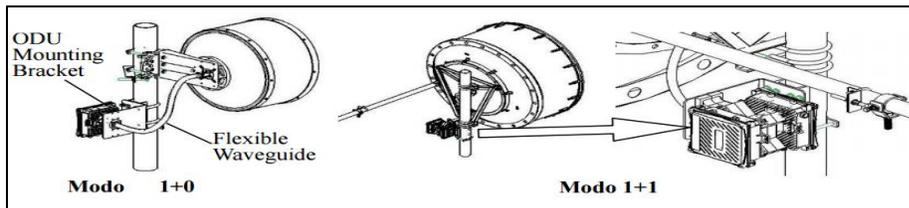
- Conexión “*SLIP-FIT*”. Adecuado para antenas con diámetros de 0,3 m – 3,2 m. Este método de montaje directo reduce el costo total en el equipo, y elimina las pérdidas de señal que se introducen cuando se debe instalar una guía de onda flexible.
- Conexión a través de una guía de onda flexible. Primero se debe instalar la ODU al dispositivo de montaje (el dispositivo de montaje de la ODU permite la conexión a la antena por medio de una guía de onda flexible). La consistencia en la polarización de la ODU y de la antena debe asegurarse al momento de realizar la instalación.
- Si el sistema cuenta con redundancia de equipo físico, implica instalar una ODU adicional (configuración 1+1). Es necesario instalar otro cable RF hacia la IDU. Es posible utilizar las dos ODU conectadas a la misma antena ya que esta es una unidad pasiva.

Figura 74. **Conexión SLIP-FIT**



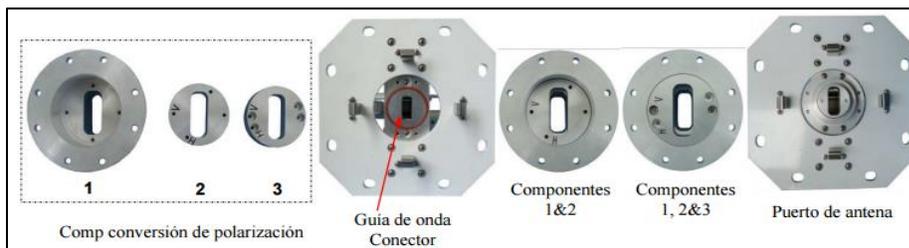
Fuente: www.sinwire.com/cms/upload/pdf/challenger/Challenger_Manual_ESP.pdf. Consulta: enero de 2017.

Figura 75. **Conexión a través de una guía de onda**



Fuente: www.sinwire.com/cms/upload/pdf/challenger/Challenger_Manual_ESP.pdf. Consulta: enero de 2017.

Figura 76. **Polarización vertical del acoplador**



Fuente: www.sinwire.com/cms/upload/pdf/challenger/Challenger_Manual_ESP.pdf. Consulta: enero de 2017.

Procedimiento para la polarización con el acoplador:

- De acuerdo a la figura 76, se debe fijar la polarización de la interfaz de la guía de onda del Divisor/Acoplador en modo Vertical.
- Asegurar que la marca “V” del componente 2, quede alineado con la polarización Vertical del componente 1 y fijar el tornillo.
- Asegurar que la marca “V” del componente 3, quede alineado con el tornillo de polarización Vertical del componente 1, y fijar el tornillo.
- Las características físicas del acoplador dependen directamente de la frecuencia RF.

Tabla XXI. **Acoplador y guía de onda para la frecuencia de 15 GHz**

Frequency		WG Type	Radio side (Remote) Flange Des.	FlexWG both sides Flange Des.	FlexWG both sides Flange Des.	Antenna (Remote) Flange Des.
Band	Range (GHz)					
15 GHz	14.5-15.4	WR 62	UBR140	PBR140	PBR140	UBR140

Fuente: manualslib.com/manual/1292678/Ceragon-Fibeair-Rfu-C.html. Consulta: julio de 2016.

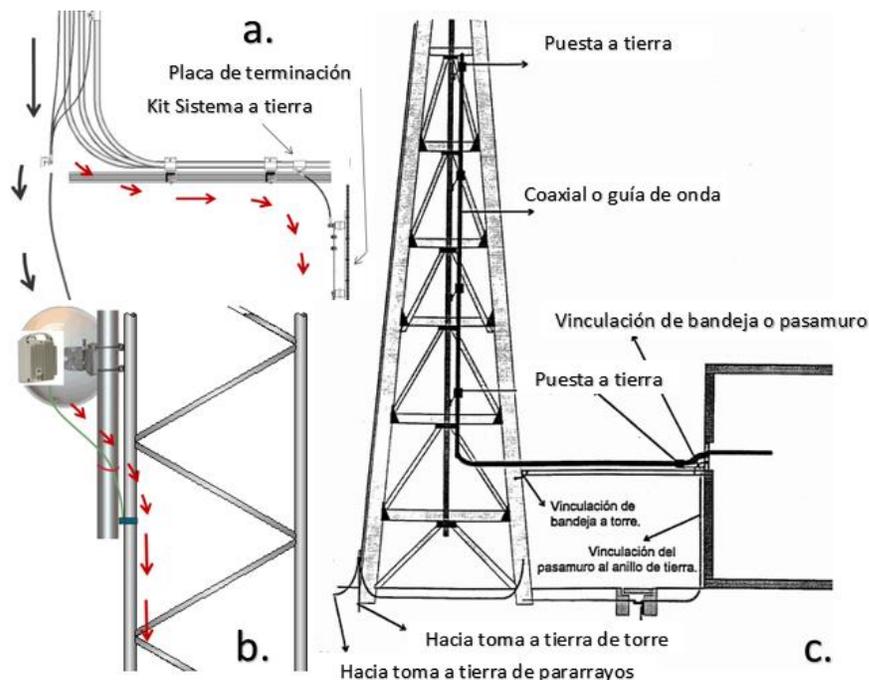
4.3.3. Sistema de puesta a tierra

Ceragon proporciona las herramientas de puesta a tierra necesarios para la instalación del radio. La antena debe estar vinculada por medio de un cable de cobre aislado de 50 – 70 mm² de sección, color verde, a la estructura metálica de la torre a través de terminales de compresión.

Recomendaciones en la instalación del sistema a tierra en la torre:

- Todo el sistema de puesta a tierra deberá estar compuesto de materiales que resistan el deterioro en el tiempo y requieran un mínimo de mantenimiento.
- El sistema de puesta a tierra se caracteriza por dos componentes fundamentales: Electrodo de puesta a tierra (jabalinas, hierros de hormigón), reunidos en una placa general de puesta a tierra y la distribución de masa metálica.
- Verificar que la puesta a tierra de los equipos este realizada en paralelo y no en serie.
- El chasis del equipo microondas (ODU e IDU) y su correspondiente rack debe estar puesta a tierra mediante un conductor de cobre de 16 mm^2 con aislación verde directamente conectado al sistema principal de tierra.

Figura 77. **Instalación de puesta a tierra para la ODU**



Fuente: https://www.repic.co.jp/product/Lightning_protection.pdf. Consulta: enero de 2017.

Las herramientas de instalación consiste básicamente en una abrazadera que permite la unión eléctrica del conductor exterior del cable o guía de descanso de la antena con la torre, como lo muestra la imagen 77.a. La vinculación en la parte superior después de la curva del cable a nivel inferior, antes de la curva que ingresa a la sala de transmisión. La conexión eléctrica a la torre no se realiza directamente sobre esta sino montando una barra de cobre en la estructura (nunca agregar perforaciones en la torre) sobre la cual se conecta los sujetadores de puesta a tierra. Esta conexión debe ser lo más corta, directa y vertical posible.

4.4. Configuración de los equipos

La configuración consiste en toda operación lógica que se realiza en enlaces troncales, de acceso y última milla, equipos existentes en la red *core* del proveedor y equipos nuevos que se instalarán para el cliente.

4.4.1. Configuración de la red de proveedor (*router* metro y ETX-1300)

No se puede explicar la instalación e infraestructura de los equipos utilizados en el nodo y en la red de acceso debido a la complejidad, este estudio se restringe a explicar cómo se agregar un servicio nuevo en la ruta de transmisión existente hasta llegar a la red de última milla o infraestructura en la red metropolitana.

4.4.1.1. Configuración en el *router* central

La figura 51 de la sección 3.2.2 muestra la estructura básica de distribución en la red metropolitana por parte del ISP. Consiste en configurar

todas las interfaces y subinterfaces en el *router* central y distribuir los servicios en capa 2 en la red de Acceso. Se configuran las *vlangs* en subinterfaces. En el *router* central se utiliza la interfaz GigabitEthernet 2/16. Esta es una interfaz óptica por lo que no necesita ningún convertidor para comunicarse al equipo de acceso (ETX).

Figura 78. Configuración en el *router* central

```

BLOQUE 1 *****
Router1#show run int Gi2/16
Building configuration...

interface GigabitEthernet2/16
description ETX-1300 #1 VARIOS CLIENTES Gi2/16
mtu 1600
no ip address
no ip redirects
no ip unreachable
no ip proxy-arp
load-interval 30
speed 1000
duplex full
no cdp enable
channel-group 1 mode on
end

BLOQUE 2 *****
!
Router1#show int des | inc Pol.
Pol                up          up          ETX-CLIENTES Router#1 Gi2/16
Pol.1385           up          up          INFO 10M CENTRO HISTORIO Z1 C-0120670101
Pol.1386           up          up          SIPTRUNK 2M CENTRO HISTORIO Z1 C-0120670102
Pol.1391           up          up          MPLS 2M CENTRO HISTORIO Z1 C-0120670103
Pol.2554           up          up          GESTION CENTRO HISTORIO Z1 C-0120670101
.
.

Building configuration...
BLOQUE 3 *****
Router1#show run int Port-channel 1.1385

Current configuration : 249 bytes
!
interface Port-channell1.1385
description INFO 10M CENTRO HISTORIO Z1 C-0120670101
encapsulation dot1Q 1385
ip address 192.168.170.81 255.255.255.252
service-policy input RESTRICCIÓN_10M
service-policy output RESTRICCIÓN_10M
end
!

```

Fuente: elaboración propia.

En la interfaz Gi2/16 se configuran parámetros básicos pero necesarios para un buen funcionamiento de comunicación, negociación a *full* dúplex y trasa de transmisión a 1 000 bps. El MTU por defecto opera a 1 600 bytes. El proveedor tiene gestión de todo el medio hasta el cliente, por tal razón, se puede asegurar que la comunicación entre los equipos será óptima y no dejar ninguna negociación en modo automático, algunas interfaces tienden a configurarse en modo *half* dúplex.

La figura 78 muestra la interfaz Gi 2/16 asociada al *PortChannel* 1 con los parámetros antes mencionados y configurados. Los servicios para el cliente se separan por *vlan*s en subinterfaz a través del encapsulamiento DOT1Q para asociarlos a la red MPLS o internet; restringir el ancho de banda para cada servicio y otras configuraciones como protocolos de enrutamiento dinámico.

4.4.1.2. Configuración en equipo de acceso

Las redes que conectan a los usuarios finales (residenciales o corporativos) a los troncales de operadoras de telecomunicaciones se conocen como redes de acceso. Todas las conexiones entre los clientes finales y las centrales o nodos forman la llamada red de acceso. Mientras que las conexiones entre las diferentes centrales de diferente jerarquía forman lo que se conoce como red de transporte.

En este diseño se estudia el equipo RAD ETX-1300 como equipo de acceso. No se detalla la implementación de este equipo por la variedad de tecnologías y marcas de proveedores para la operación, pero si generalizar su aporte en la red. A través del equipo de acceso podemos entregar todos los servicios que el cliente necesite en diferentes interfaces como Ethernet óptica u

Como se ha descrito, el ETX-1300 es un interruptor óptico que recibe los servicios en sus interfaces Giga ópticas en capa 2 como *vlan*s en modo troncal. La manera en que el equipo de acceso distribuye cada servicio en su puerto correspondiente, es realizando un “*bridge*” entre los puertos asociados a la comunicación, como lo muestra el bloque 5 de la figura 79. Toma la interfaz Gigabit óptica (Ge1) y la interfaz de salida Fast Ethernet (Fe4) para asignar una ruta a la *vlan*.

La simpleza que permite el equipo de acceso ayuda a realizar cambios sin afectar a otros clientes asociados en la misma interfaz troncal del *router* central.

4.4.2. Configuración de la IDU IP-10E de Ceragon

Los equipos se pueden configurar a través de consola, en modo gráfico a través del navegador en la computadora o instalando un software que proporciona el fabricante. Se debe acceder mediante un cable de red al puerto de consola o en los puertos LAN, dependiendo la disponibilidad del equipo.

4.4.2.1. Configuración general del radio

Para configurar la unidad IP-10E de Ceragon se debe conectar al puerto 6 o 7 mediante un cable Ethernet. Configurar la conexión de red, tomando en cuenta que la IP por defecto del radio es 192.168.1.1 /24. En el navegador se escribe la IP por defecto que permite acceder a la plataforma web del equipo, para modificar la unidad se requieren las credenciales de fábrica.

Figura 80. Gestión de la unidad IP-10E

Search for page

- [Main View](#)
- Faults
- PM & Counters
- Configuration
 - General
 - [Unit Parameters](#)
 - [External Alarms](#)
 - [Management](#)
 - [Traps Configuration](#)
 - [Licensing](#)
 - [NTP](#)
 - [IP Table](#)
 - [SNMP](#)
 - [All ODU](#)
 - Versions
 - Ethernet Switch
 - Radio
 - Interfaces
 - Protection
 - Trails
 - Service OAM
 - Diagnostics & Maintenance

Local IP Configuration

IP address

Subnet mask

Default gateway

HW address

Remote IP Configuration

Remote IP address [Open Remote](#)

Remote IDU subnet mask

Management Ports

Number of ports (0..3)

In-Band management VLAN ID (1..4090)

Type

Capacity (Kbps)

Auto negotiation

Rate (Mbps)

Duplex

Fuente: elaboración propia en la plataforma web de Ceragon.

Figura 81. Licencia por defecto

Search for page

- [Main View](#)
- Faults
- PM & Counters
- Configuration
 - General
 - [Unit Parameters](#)
 - [External Alarms](#)
 - [Management](#)
 - [Traps Configuration](#)
 - [Licensing](#)
 - [NTP](#)
 - [IP Table](#)
 - [SNMP](#)
 - [All ODU](#)
 - Versions
 - Ethernet Switch
 - Radio
 - Interfaces
 - Protection
 - Trails
 - Service OAM
 - Diagnostics & Maintenance

Current License

License type

License code

Demo License

Demo admin

License Features

ACM license

Switch application license

Capacity

Network resiliency license

TDM-only capacity license

Fuente: elaboración propia en la plataforma web de Ceragon.

La configuración local consiste en la administración que necesita el proveedor a través de la *vlan* de gestión configurada en la red de acceso para alcanzar el equipo desde un gestor de monitoreo.

Figura 82. Configuración Ethernet switching

Unit allowed VLANs

Operation	Start VID	End VID	Name
Set ▼	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="button" value="Apply"/>			

#	VLAN ID	Name	State	Member Ports
1	1	default	ACTIVE	Eth1 Eth2 Eth5 Eth8
2	2	VLAN0002	ACTIVE	Eth1 Eth2 Eth5 Eth8
3	1545	CAMPERO-MPLS	ACTIVE	Eth1 Eth2 Eth3 Eth5 Eth8
4	1546	CAMPERO-INFO	ACTIVE	Eth1 Eth2 Eth4 Eth5 Eth8
5	2145	GESTION	ACTIVE	Eth1 Eth2 Eth5 Eth6 Eth7 Eth8

Fuente: elaboración propia en la plataforma web de Ceragon.

Figura 83. Configuración del protocolo SNMP

Search for page

- [Main View](#)
- [Faults](#)
- [PM & Counters](#)
- [Configuration](#)
 - [General](#)
 - [Unit Parameters](#)
 - [External Alarms](#)
 - [Management](#)
 - [Traps Configuration](#)
 - [Licensing](#)
 - [NTP](#)
 - [IP Table](#)
 - [SNMP](#)
 - [All CPU](#)

SNMP Parameters

SNMP version

SNMP read community

SNMP write community

SNMP V3 User Settings

Security mode

Authentication algorithm

User name

Password

Fuente: elaboración propia en la plataforma web de Ceragon.

El protocolo SNMP (Protocolo simple de administración de red) es un protocolo de capa de aplicación que facilita el intercambio de información de administración entre los dispositivos de red.

La configuración de Ethernet *switching* en el radio es la misma que se aplica en la red de acceso para entregar los servicios al cliente final. Con diferentes interfaces gráficas y opciones en cada tecnología y diferentes equipos utilizados por el proveedor, la idea básica se mantiene; recibir la *vlan* en una interfaz y entregarla en otra. La figura 82 muestra la *vlan* 1 que viene configurada por defecto en todas las interfaces. La sección 4.4.2.4 se describe la asignación lógica y física para cada interfaz en la IDU.

4.4.2.2. Configuración del radioenlace Ceragon

Los parámetros del radio hacen referencia al resumen de la sección 4.1 y la validación de la simulación realizada en Pathloss. Se ingresan los parámetros que definen el radioenlace y se espera obtener una potencia de recepción óptima en el radio extremo para que la información pueda ser recibida sin pérdidas. Para el usuario final el medio debe ser imperceptible brindando resultados de alta calidad en los servicios entregados.

La interfaz de Ceragon nos permite fácilmente ingresar a la contraparte del radioenlace como se observa en la figura 85.

La configuración MRMC (secuencia de codificación múltiple) de Ceragon consiste en la configuración de diferentes perfiles en los que puede operar el radio, según los parámetros asignados. La figura 86 muestra los datos del resumen de la tabla 17 aplicados en el perfil. El tipo de modulación, la capacidad de tráfico y el espaciamiento de frecuencia.

Figura 84. Parámetros del radio en la unidad local

Status Parameters

RFU type	RFU-C
RFU grade	Grade-2
Tx Rx frequency separation (MHz)	420.000
Tx level (dBm)	20
Rx level (dBm)	-39
MSE (dB)	-37.50
Defected blocks	387

Frequency Control

Tx frequency (MHz)	14907.000	14710.000..14908.000
Rx frequency (MHz)	15327.000	15130.000..15328.000

Set also remote unit

Configuration Parameters

Radio IF interface	Enable
Radio IF operational status	Up
Mute Tx	Disable
Max Tx level (dBm)	20 (-7..22)
Link ID	1 (1..65535)
MAC header compression	Disable
RSL degradation alarm admin	Disable

Fuente: elaboración propia en la plataforma web de Ceragon.

Figura 85. Parámetros del radio en la unidad remota

Remote Radio Parameters

Remote communication	Up
Remote IP address	10.13.72.170
Remote Rx level (dBm)	-39
Remote force max Tx level (dBm)	20 (-7..22)
Remote ATPC reference Rx Level	-60 (-70..-30)
Remote floating IP address	0.0.0.0

[Open Remote](#)

Apply Force Unmute Refresh

Fuente: elaboración propia en la plataforma web de Ceragon.

Figura 86. Configuración de codificación múltiple

The screenshot shows the 'MRCM Table' configuration page. On the left is a navigation tree with 'Radio' expanded to 'MRCM'. The main area shows the 'MRCM Table' with a table of scripts and a 'Regular mode MRCM Script' section below it.

#	Script Name	Channel Spacing (MHz)
1	10Mbps-3.2MHz-16QAM-Grade-1	3.5
2	10Mbps-6.5MHz-4QAM-Grade-1	7
3	15Mbps-3.2MHz-64QAM-Grade-1	3.5
4	20Mbps-6.5MHz-16QAM-Grade-1	7
Regular mode MRCM Script		
<input checked="" type="radio"/> 20Mbps-6.5MHz-16QAM-Grade-1		
<input type="button" value="Apply"/>		
5	39Mbps-6.5MHz-256QAM-Grade-1	7
6	39Mbps-26MHz-4QAM-Grade-1	28

Fuente: elaboración propia en la plataforma web de Ceragon.

4.4.2.3. Administración de las interfaces IDU IP-10E

La plataforma web de Ceragon detalla el estado de las interfaces, negociación y las *vlan*s permitidas. El puerto Ethernet 8 hace referencia al radio (conocido como interfaz en el aire).

Figura 87. Administración de las interfaces Ethernet

Operational Status	Enabled	Interface	Connector Type	Speed & Duplex	Function	VLAN ID	Learning	Flow Control	Service Type
Down	X	Ethernet #1	Optical 1000BaseX SFP	Auto negotiation: On Rate (Mbps): 1000 Duplex: Full	Trunk	Allowed VLANs: 1-2, 1546-1546, 2145 (All)	✓	Flow control: Off	Service network point
Down	X	Ethernet #2	Optical 1000BaseX SFP	Auto negotiation: On Rate (Mbps): 1000 Duplex: Full	Trunk	Allowed VLANs: 1-2, 1546-1546, 2145 (All)	✓	Flow control: Off	Service network point
Up	✓	Ethernet #3	RJ-45	Auto negotiation: On Rate (Mbps): 100 Duplex: Full	Access	Default VLAN ID: 1545	✓	Flow control: Off	Service network point
Up	✓	Ethernet #4	RJ-45	Auto negotiation: On Rate (Mbps): 100 Duplex: Full	Access	Default VLAN ID: 1546	✓	Flow control: Off	Service network point
Down	X	Ethernet #5	RJ-45	Auto negotiation: On Rate (Mbps): 10 Duplex: Half	Trunk	Allowed VLANs: 1-2, 1546-1546, 2145 (All)	✓	Flow control: Off	Service network point
Down	✓	Ethernet #6	RJ-45	Auto negotiation: On Rate (Mbps): 10 Duplex: Half	Management	Management VLAN: 2145			
Down	✓	Ethernet #7	RJ-45	Auto negotiation: On Rate (Mbps): 10 Duplex: Half	Management	Management VLAN: 2145			
Up	✓	Ethernet #8	Radio	Auto negotiation: Off Rate (Mbps): 1000 Duplex: Full	Trunk	Allowed VLANs: 1-2, 1546-1546, 2145 (All)	✓		Service network point

Fuente: elaboración propia en la plataforma web de Ceragon.

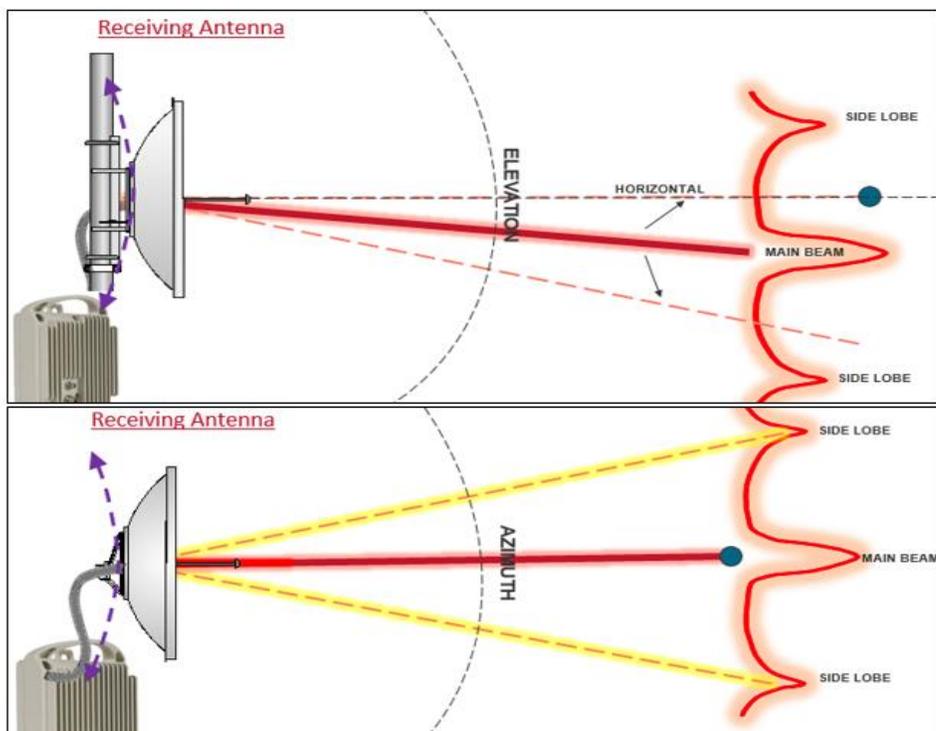
4.4.3. Pruebas y monitoreo del radioenlace Ceragon

Antes de poner en marcha el radioenlace, se recomienda realizar pruebas que validen la operatividad correcta. Los equipos en el medio deben ser monitoreados para solventar cualquier inconveniente que presente de manera proactiva y solucionarlo en el menor tiempo posible.

4.4.3.1. Pruebas del radioenlace

Los equipos Ceragon en el medio deben ser monitoreados para conocer el estado y solventar cualquier inconveniente que presente de manera proactiva.

Figura 88. Orientación de las antenas

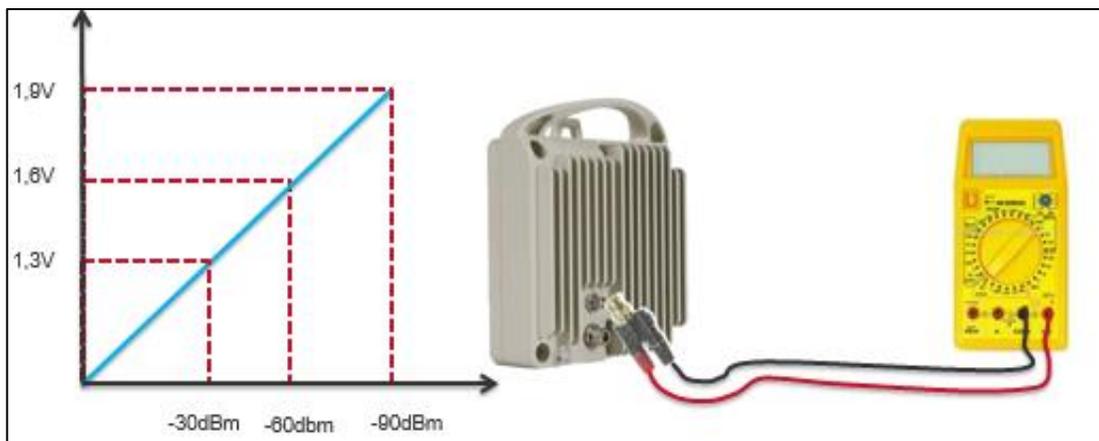


Fuente: manualslib.com/manual/1292678/Ceragon-Fibeair-Rfu-C.html. Consulta: julio de 2016.

En la alineación del radioenlace, con los resultados obtenidos en la simulación por Pathloss en la sección 4.2, proporciona los grados que deben tener la elevación y el azimut en cada antena para lograr línea de vista. Esto es posible porque en la simulación ingresamos las coordenadas de cada sitio y la altura de las antenas en el nodo del ISP y en el cliente. Por lo que es posible conocer la orientación de cada antena.

Al tener las antenas alineadas correctamente, se conecta un multímetro en la interfaz RSSI de la ODU y se mide el voltaje DC. La cantidad de voltaje recibida es inversamente proporcional a la potencia recibida en dBm.

Figura 89. **Relación de voltaje y potencia de recepción en la ODU**



Fuente: manualslib.com/manual/1292678/Ceragon-Fibeair-Rfu-C.html. Consulta: julio de 2016.

El objetivo es identificar correctamente el lóbulo principal de la onda recibida. Es posible tener una comunicación entre ambos puntos, pero puede estar alineado a un lóbulo lateral. Ver la figura 88.

4.4.3.2. Monitoreo de equipos en SolarWinds

El software de administración de desempeño de la red (*SolarWinds*) permite monitorear y administrar los equipos. El sistema reduce las interrupciones de la red, mejorar la eficiencia operativa con paneles, alertas e informes listos para usar en la plataforma web.

Es posible monitorear cualquier equipo o interfaz que se encuentre agregado a una comunidad del protocolo SNMP; la figura 90 muestra la configuración necesaria para gestionar el radio Ceragon del cliente, también es posible monitorear desde la central o red de acceso la interfaz que se provisiona para el cliente.

Figura 90. Agregar un equipo a la gestión de SolarWinds

Polling Hostname or IP Address: 10.13.72.171 IPv4 and IPv6 formats are both valid

Dynamic IP Address (DHCP or BOOTP)

Polling Method: [Help me choose a polling method](#)

- External Node: No Status
No data is collected for this node. Useful for monitoring a hosted application or other element on the node but not the node itself.
- Status Only: ICMP
Limited data (status, response time, and packet loss) is collected using ICMP (ping). Useful for devices which do not support SNMP or WMI.
- Most Devices: SNMP and ICMP
Standard polling method for network devices such as switches and routers, as well as Linux and Unix servers.

SNMP Version: SNMPv2c SNMPv2c is used, by default, when SNMPv

SNMP Port: 161

Allow 64 bit counters

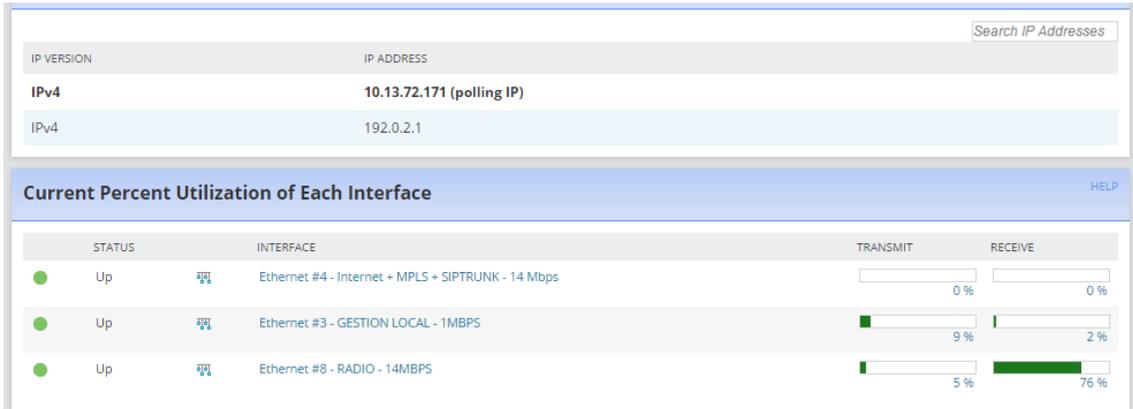
Community String: GESTION-CLIENTES Press down arrow to view all

Read/Write Community String:

Test Successful!

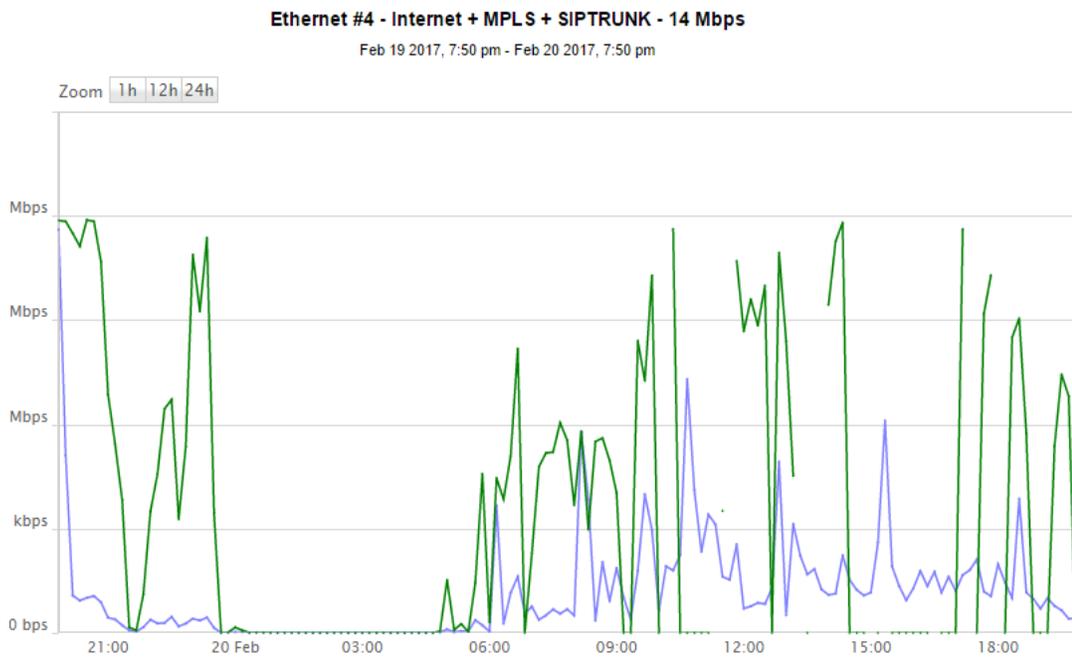
Fuente: elaboración propia en la plataforma web de *SolarWinds*.

Figura 91. Interfaz de monitoreo de la unidad IP-10E



Fuente: elaboración propia en la plataforma web de SolarWinds.

Figura 92. Consumo total del radioenlace



Fuente: elaboración propia en la plataforma web de SolarWinds.

Cada elemento agregado a la plataforma en la nube de *SolarWinds* permite escoger las interfaces a monitorear. Esto permite reducir el consumo de datos enviados al servidor y evitar el consumo de ancho de banda innecesario por interfaces sin utilizar en cada equipo. La figura 91 muestra las interfaces agregadas de la unidad IP-10E, donde se gestiona únicamente 3 interfaces, la que recibe el tráfico del equipo de Acceso, la interfaz del radio hacia la ODU a través del cable coaxial y la interfaz de gestión local.

En *Solarwinds* es posible generar un reporte estadístico en determinados períodos. Muestra el consumo de recursos sobre el equipo, como tráfico por interfaz y capacidad por hardware independiente a la marca del equipo.

4.4.3.3. Atención al cliente ante averías

Para alcanzar los objetivos sobre tiempos de fallas, se utilizan sistemas de gestión en la nube como *Solarwids*, *dashboard* de Cisco Meraki, la plataforma de Ruckus, Colibrí de Teldat, entre otros. Para informar de forma proactiva a través de un correo electrónico o una alerta sobre los cambios que sufre un equipo o cambio de estado en una interfaz.

Entre los principales beneficios que proporcionan las plataformas de monitoreo se encuentran:

- Permite crear cuentas asociadas a los correos electrónicos de los clientes, donde recibirán las mismas notificaciones que recibirá el proveedor ante los cambios que surjan en el equipo.
- Las cuentas creadas permiten a los clientes observar las gráficas de los equipos entregados, únicamente con permiso de ver y no realizar ninguna modificación.

- Al proveedor le permite identificar la tendencia del consumo por los clientes, debido a que permite el análisis de datos por el consumo de aplicaciones.
- El cliente confía en las plataformas que no pueden ser manipuladas completamente por su proveedor, por lo que esta consiente del análisis estadístico entregado por las plataformas de monitoreo.
- Al proveedor le permite identificar cuellos de botella, puntos en la red donde se produce saturación del tráfico. Identificando dichos puntos, es posible tomar una acción proactiva antes de afectar los servicios.

5. ANÁLISIS ECONÓMICO

Este capítulo presenta la forma de cómo nace y se rentabiliza el proyecto iniciando por la venta en el área comercial para instalar el radioenlace por el departamento de ingeniería de clientes en la red metropolitana. El análisis económico involucra costos de equipos, personal técnico en la instalación, y el mantenimiento necesario en el área de operación.

5.1. Ingeniería preventiva y área comercial

Un ingeniero preventiva en el sector de telecomunicaciones tiene un perfil estratégico entre la comunicación del proveedor de servicios y el cliente. Tiene conocimientos del ámbito empresarial y la parte de ingeniería técnica. Cubre las carencias de un ejecutivo de ventas para brindar una solución al cliente.

Su función principal es tomar las necesidades del cliente, proponer una solución con las herramientas que cuenta el ISP, en este caso pueden ser soluciones por la red móvil 3G o LTE, enlaces de fibra óptica o a través de radioenlaces de alta capacidad. Involucra la investigación en el campo de futuras soluciones y trabajar en conjunto con los proveedores en diferentes tecnologías y homologaciones de equipos, adaptados a las necesidades que se buscan cubrir.

En este proyecto el cliente solicita la apertura de una nueva sucursal como se describe en la sección 2.1. La primera parte consiste en realizar una factibilidad con los requisitos del cliente. Hacer una propuesta formal del costo que requiere la solución, el tiempo de contratación de los servicios, las

condiciones y compromisos adquiridos, como tiempo de entrega, tiempo de solución ante una avería y brindar el soporte necesario en el transcurso de la instalación.

5.1.1. Revisión legal de la empresa

Antes de pactar un contrato con una entidad o institución el proveedor de Telecomunicaciones tiene la responsabilidad revisar la información legal de la empresa y el representante legal de dicha institución. Con el fin de evitar una mala negociación. Posteriormente pasar el proyecto a la siguiente fase de evaluación de costos.

Una persona jurídica, es una entidad que puede ejercer los derechos y adquirir obligaciones, pero no como una persona física o individuo sino como una institución con el fin de alcanzar un objetivo con o sin lucro.

Tabla XXII. Información de la persona jurídica

Razón Social:	Nombre Comercial:
Dirección:	Teléfono: Nit:
Número de inscripción:	Folio: Libro:
Nombre de representante Legal:	Estado Civil: Fecha nacimiento:
Profesión:	Nacionalidad: Domicilio:
Documento de Identificación:	Extendido en:
Referencias Comerciales (Proveedores / Clientes)	
Referencia 1:	
Referencia 2:	
Referencia 3:	

Fuente: <http://portal.sat.gob.gt/sitio/index.php/tramites-o-gestiones/tramites-y-requisitos-tributarios/inscripcion-contribuyentes.html>. Consulta: diciembre 2016.

5.1.2. Clasificación de clientes

Para el proveedor de servicios de telecomunicaciones, los clientes pueden clasificarse por su contribución económica, el estatus del cliente, la ubicación geográfica, el sector industrial, etcétera.

Los mejores clientes ofrecen compromisos de largo plazo si el proveedor cumple con sus obligaciones, realiza sus pagos a tiempo, evita caer en mora y provocar operaciones de corte, valora el servicio prestado, refiere la empresa y ayuda a crecer la rentabilidad del negocio. Las personas encargadas del estudio de mercado buscan el mayor enfoque de recursos a este perfil de clientes.

Tabla XXIII. **Clasificación de clientes**

Pymes	Clientes de menor potencial.	Bronce
Interno	Enlace de datos propios.	Plata
Grandes Clientes	Generan el mayor ingreso.	Plata
Accionistas	Clientes que tienen acciones de la empresa.	Oro

Fuente: elaboración propia.

En el contrato del servicio se especifican las obligaciones que tiene el proveedor sobre los servicios prestados al cliente, tiempos para solventar una falla en determinadas circunstancias. Estas condiciones están dadas según la clasificación del cliente y en ocasiones sobre los períodos de contratación. Reducir los tiempos de una falla o tener un enlace arriba con una efectividad de 95 % requiere gran inversión por parte del proveedor.

5.2. Factibilidad del proyecto

La factibilidad técnica de un proyecto consiste en presentar un estudio de los requisitos que necesita el proyecto, corresponde a la última fase previa a la instalación. Se formula en base a la información donde se tiene la menor incertidumbre posible para medir las posibilidades de éxito o fracaso. Sobre el resultado obtenido se tomará la decisión de proceder o no con el cierre de venta.

5.2.1. Inversión inicial

La evaluación de la factibilidad técnica se realiza luego de validar la información del cliente; tanto personal como jurídica, previendo una mala inversión a la empresa o evitar clientes fraudulentos.

La factibilidad surge con el fin de asegurar el alcance de los objetivos y ejecutar el proyecto sobre las condiciones existentes que aseguran la viabilidad en un periodo según el contrato legal. Estudia la posibilidad tecnológica (existencia de los equipos), posibilidad de crear una infraestructura, regulación de las normas legales (permisos municipales) para que la instalación pueda ejecutarse con el menor riesgo posible. La factibilidad técnica se basa en la estructura metodológica, identificación del problema y posibles soluciones, el diseño de estrategia de ejecución según las competencias profesionales de las personas involucradas en el proyecto.

La factibilidad económica se centra en dar un costo estimado de construir la última milla o red dedicada únicamente al cliente y equipos por utilizar. Este costo es absorbido por el cliente y puede o no ser independiente a la renta

mensual que adquiere el cliente sobre los servicios y capacidades de los mismos.

Tabla XXIV. Inversión inicial

Dirección	Nombre del servicio	Ancho de banda	Costo del radio microondas	Construcción ruta de TX	Equipos de acceso	Equipo de ruteo	Total de Inversión
10 calle A 6-57 de Zona 1, Guatemala	Internet corporativo	10 Mb.				\$ 350.00	\$ 6,950.00
10 calle A 6-57 de Zona 1, Guatemala	Siptrunk	2 Mb.	\$ 6,000.00	\$ 450.00	\$ 150.00	\$ -	\$ 6,600.00
10 calle A 6-57 de Zona 1, Guatemala	MPLS	2 Mb.				\$ 250.00	\$ 6,850.00
			\$ -	\$ -	\$ -		\$ -
Total por los 3 servicios:			\$ 6,000.00	\$ 450.00	\$ 150.00	\$ 600.00	\$ 7,200.00

Fuente: elaboración propia.

El resumen de la tabla 24 brinda el costo de inversión en infraestructura y equipos, costo que debe ser absorbido por el cliente. Esta información se envía al ejecutivo de ventas para unificar un resumen del proyecto y brindar una propuesta de instalación y renta por los servicios al cliente.

5.2.2. Rentabilidad del proyecto

Para darle una propuesta final al cliente, el ejecutivo de ventas debe realizar una evaluación económica según el período de contratación (en este caso es de 5 años) para evaluar la rentabilidad del proyecto. Dado que el cliente no puede cancelar el costo de inversión en un pago inicial, se dividirán los pagos a través de los 5 años junto con la renta mensual por los servicios, dando un total de 290 dólares mensuales, con un interés de 5 % anual.

Para evaluar este proyecto se calculan los indicadores de VAN y TIR, estos indicadores permiten analizar los flujos de dinero y ayudan en la toma de decisiones.

- Valor actual neto (VAN): el dinero cambia con el paso del tiempo a una tasa de interés, el VAN nos permite conocer el valor total del proyecto que se extenderá por 5 años y que puede considerar flujos positivos y negativos de ingresos. El VAN permite decidir si un proyecto es rentable (mayor a 0) o no rentable (menor a 0).
- Tasa interna de retorno (TIR): este indicador se relaciona con el VAN, determina cuál es la tasa de descuento que hace que el VAN de un proyecto sea igual a cero. Se expresa como un porcentaje. Puede entenderse como la tasa de interés máxima a la que es posible endeudarse para financiar un proyecto sin generar pérdidas.

Tabla XXV. Flujo de efectivo (VAN y TIR)

Flujo de Ingresos			Flujo de Egresos			Flujo de Efectivo Neto		
A		B		A-B				
AÑO	VALOR	AÑO	VALOR	AÑO	VALOR			
1	\$ 3,480.00	1	\$ 1,700.00	1	1780.00	Período (n):	5 años	
2	\$ 3,480.00	2	\$ 1,700.00	2	1780.00	Interés:	5 % (0.05)	
3	\$ 3,480.00	3	\$ 1,700.00	3	1780.00	Inversión Inicial:	\$-7,200.00	
4	\$ 3,480.00	4	\$ 1,700.00	4	1780.00	VAN:	14906.47	
5	\$ 3,480.00	5	\$ 1,700.00	5	1780.00	TIR:	8%	
TOTAL	\$17,400.00	TOTAL	\$ 8,500.00					

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 25 se realiza un análisis de flujo para 5 años, considerando el costo inicial del proyecto y la renta por los 3 servicios, dando un total de 290 dólares mensuales por 5 años.

En el flujo de egresos se consideran todos los gastos necesarios de operación, mantenimiento, repuestos, personal técnico para cumplir con los tiempos de atención e incidencias, aunque los equipos también tienen garantía por el fabricante.

Con el cálculo del VAN y TIR obtenidos se busca un indicador que permita tomar la decisión de invertir en el proyecto a 5 años y generar utilidades luego de cubrir el costo de operación e inversión inicial.

CONCLUSIONES

1. La ventaja con los sistemas de radios Ethernet en la red metro es la reducción de costos en infraestructura, adicional al tiempo que se requiere para tener el medio de transporte a disposición, considerando altas calidades del servicio.
2. Los radioenlaces ocupan una posición considerable en el campo de las telecomunicaciones, y en muchos sentidos se considera un fuerte competidor con los sistemas basados en cable o fibra. Un buen sistema permite transportar gran cantidad de información de manera económica y eficiente.
3. El radio Ceragon permite brindar diferentes combinaciones de protección a través de hardware y software, transmitiendo en dos polarizaciones sin consumir más ancho de banda aumentando la disponibilidad y rendimiento del enlace.
4. La instalación adecuada de una antena determina la eficiencia con la que puede radiar energía al espacio. Para la contraparte del radioenlace, cuanta energía puede recibir y entregar al receptor.
5. En el diseño se evalúan escenarios pesimistas y se evita trabajar con los equipos al límite de sus capacidades con el fin de brindar un enlace de alta calidad y no reducir la vida útil de los equipos por un mal diseño.

6. Los radioenlaces digitales de microonda permiten la unificación de interfaz Ethernet sobre el estándar IEEE 802.3, evitando equipos que se utilizan para la conversión de interfaces y evitando un punto de falla en la ruta de transmisión.
7. Los sistemas de monitoreo permiten ejecutar acciones proactivas y reducir los tiempos de afectación a los servicios, cada vez más las empresas operan 24/7 y dejar un servicio fuera por demasiado tiempo puede incurrir en una sanción para el ISP.
8. En la factibilidad económica se evidencia que la instalación de equipos caros se puede rentabilizar sobre contratos de larga duración reduciendo al mínimo las fallas y mantenimiento que requieren los equipos.

RECOMENDACIONES

1. Este estudio aborda muchos temas que no se profundizan como medidas de seguridad, cálculos matemáticos, análisis económico, pero se requiere hacer mención para entender la relación e importancia para implementar un radioenlace Ethernet con tecnología Ceragon.
2. Las tecnologías de redes inalámbricas están apoderándose de las comunicaciones desde áreas locales hasta enlaces satelitales de gran capacidad, por lo que se deben abordar más estudios sobre seguridad inalámbrica debido a que la señal puede ser interceptada y cifrada.
3. Sobre las comunicaciones inalámbricas, hoy por día se realizan estudios y pruebas para el uso de frecuencias en las que aún no se transmite información por la complejidad del medio. Al ser un recurso limitado, se restringen los anchos de banda en la comunicación.
4. Existen muchos sistemas de monitoreo, en algunas ocasiones los proveedores proporcionan los servidores en la nube para la administración y gestión de los equipos, el cual puede ser un extra al decidir que tecnología implementar.
5. El análisis económico permite identificar el costo necesario de ejecución, mantenimiento y operación del radioenlace. La factibilidad económica sustenta la rentabilidad del radioenlace. Por tal razón se aborda el estudio de indicadores como el VAN y TIR.

6. Capacitar a las personas involucradas en la implementación, operación y mantenimiento de los equipos. Cada proveedor proporciona recomendaciones específicas a los equipos, por lo que omitirlas puede afectar la disponibilidad del radioenlace.
7. Dar el mantenimiento necesario a los servidores que administran los equipos (en este estudio se abordó el gestor de *SolarWinds*) y revisar el estado de los equipos como el estado del procesador, consumo de energía y tráfico del enlace.
8. Existen entidades que se dedican a crear estándares y recomendaciones como IEEE, ITU-R para la implementación e instalación de radioenlaces. Esto significa un ahorro en cálculos complejos y tiempo en investigación.
9. Utilizar un simulador como Pathloss permite crear escenarios que evalúan los factores más relevantes que afectan el radioenlace al momento de implementarlo como el clima y el terreno de la región.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALBORNOZ, José Manuel. *Radioenlaces Digitales*. Mérida: Editorial Académica Española, 2013. 300. p.
2. ANGUERA Jaume & PÉREZ Antonio. *Teoría de Antenas*. Barcelona, España: Ingeniería La Salle, 2008. 336. p.
3. *Antena HPLP1-15*. [en línea]. <<http://www.radiowaves.com/en/product/hplp1-15>>. [Consulta: octubre de 2016].
4. *Cable coaxial IF RG223-U*. [en línea]. <<https://www.pasternack.com/images/ProductPDF/RG223-U.pdf>>. [Consulta: noviembre de 2016].
5. *Caja de conectorización*. [en línea]. <<http://fibraoptica.blog.tartanga.net/>>. [Consulta: octubre de 2016].
6. *CCNA módulo 1*. [en línea]. <<http://www.netacad.com/es>>. Consulta: agosto de 2016.
7. *Curvatura terrestre*. [en línea]. <<http://www.radioenlaces.es/articulos/correccion-de-la-altura-de-los-obstaculos/>>. [Consulta: julio de 2016].

8. *Distribución de potencia*. [en línea]. <http://www.eslared.org.ve/walc2012/material/track1/07-Presupuesto_de_potencia-es-v1.14-Notes.pdf>. [Consulta: noviembre de 2016].
9. *Espectro electromagnético*. [en línea]. <<http://www.astrofiscayfisica.com/2012/06/que-es-el-espectro-electromagnetico.html>>. [Consulta: junio de 2016].
10. GPON. [en línea]. <<http://wikitel.info/wiki/GPON>>. [Consulta: octubre de 2016].
11. IEEE Std. 521-2002. [en línea]. <<http://radioing.com/eengineer/bands.html>>. [Consulta: junio de 2016].
12. *Instalación de la ODU*. [en línea]. <www.sinwire.com/cms/upload/pdf/challenger/Challenger_Manual_ESP.pdf>. [Consulta: noviembre de 2016].
13. *Instalación de puesta a tierra*. [en línea]. <https://www.repic.co.jp/product/Lightning_protection.pdf>. [Consulta: enero de 2017].
14. *Instalación de SFP*. [en línea]. <manualmachine.com/allied-teleasis/ar770s/395802-user-manual/page:3/>. [Consulta: agosto de 2016].
15. *Institute Telecommunication Union REC-P.452*. [en línea]. <<https://www.itu.int/rec/R-REC-P.452/es>>. [Consulta: julio de 2016].

16. *Institute Telecommunication Union REC-P.838*. [en línea]. <<https://www.itu.int/rec/R-REC-P.838/es>>. [Consulta: julio de 2016].
17. *Metro Ethernet forum MEF4*. [en línea]. <https://mef.net/PDF_Documents/technical-specifications/MEF4.pdf>. [Consulta: enero de 2017].
18. *Modulación digital*. [en línea]. <<http://www.textoscientificos.com/redes/modulacion/>>. [Consulta: agosto de 2016].
19. *Radio Ceragon IP-10*. [en línea]. <<ftp://ftp.datacom.cz/ceragon/ip-10/manualy/>>. [Consulta: agosto de 2016].
20. *Radio Ceragon RFU-C*. [en línea]. <https://www.winncom.com/pdf/Ceragon_FibeAir_RFU_C/Ceragon_RFU-C_Product_Description.pdf>. [Consulta: octubre de 2016].
21. *Radio Out-door Unit RFU-C*. [en línea]. <<https://manualslib.com/manual/1292678/Ceragon-Fibeair-Rfu-C.html>>. [Consulta: septiembre de 2016].
22. *Red Metro Ethernet*. [en línea]. <<https://www.ieee.org.ar/downloads/metroethernet.pdf>>. [Consulta: agosto de 2016].
23. *SAT, trámite tributario*. [en línea]. <<https://portal.sat.gob.gt/portal/tramites-personas-empresas/>>. [Consulta: diciembre de 2016].

24. *Seguridad en la instalación.* [en línea]. <<http://www.areatecnologia.com/señales-seguridad.htm>>. [Consulta: noviembre de 2016].
25. *Seguridad de trabajo en alturas.* [en línea]. <<http://www.energygreen.cl/wp-content/uploads/2017/10/Seguridad-para-trabajos-en-altura.pdf>>. [Consulta: agosto de 2016].
26. *Switch ETX-1300 RAD.* [en línea]. <<https://manualslib.com/manual/1124513/Rad-Etx-1300.html>>. [Consulta: octubre de 2016].
27. *Teorema de Shannon.* [en línea]. <<http://wisptools.net/book/bookc1s3.php>>. [Consulta: septiembre de 2016].
28. *Transiver óptico.* [en línea]. <www.ctcu.com.tw/download/dms/Fiber_Transceiver.pdf>. [Consulta: enero de 2017].
29. *Zona de Fresnel.* [en línea]. <www.iesromerovargas.es/recursos/elec/sol/est-antenas.html>. [Consulta: julio de 2016].