

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

ESTUDIO E INSTALACIÓN DE ENLACES MICROONDA EN BANDA LIBRE ENTRE QUITO Y LATACUNGA PARA TRANSMISIÓN DE DATOS E INTERNET PARA LA EMPRESA ECUAONLINE S.A.

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

CHULDE CHULDE KLEVER JAVIER

kleverxavier@hotmail.com

DIRECTOR: ING. PABLO LÓPEZ

pwlopezm@hotmail.com

Quito, Julio de 2010

DECLARACIÓN

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

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

CHULDE KLEVER

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por CHULDE CHULDE KLEVER JAVIER, bajo mi supervisión.

PABLO LÓPEZ MERINO

DIRECTOR DE PROYECTO

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	XII
PRESENTACIÓN	XIV
DESCRIPCIÓN	PÁGINA
<u>1</u> CAPÍTULO 1 FUNDAMENTO TEÓRICO DEL PROYECTO	<u>1</u>
1.1 LA RADIOFRECUENCIA	1
1.1.1 HISTORIA	1
1.1.2 RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA	2
1.1.2.1 Radiación liberada por un electrón	2
1.1.3 ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO	4
1.2 PROPAGACIÓN	5
1.2.1 PROPAGACIÓN DE ONDAS TERRESTRES	5
1.2.2 PROPAGACIÓN DE ONDAS ESPACIALES	6
1.2.3 PROPAGACIÓN POR ONDAS CELESTES	7
1.2.3.1 Propagación ionosférica	8
1.2.3.2 Propagación troposférica.	9
1.2.4 FORMAS DE PROPAGACIÓN.	11
1.2.5 PROPIEDADES ÓPTICAS DE LAS ONDAS DE RADIO	11
1.2.5.1 Refracción	11
1.2.5.2 Reflexión	13
1.2.5.3 Difracción	14
1.2.6 ATENUACIÓN Y ABSORCIÓN DE ONDAS	15
1.2.6.1 Atenuación	16
1.2.6.2 Absorción	16
1.2.7 INTERFERENCIA	17
1.2.8 PÉRDIDAS EN LA TRAYECTORIA POR EL ESPACIO LIBRE	18
1.2.9 MARGEN DE DESVANECIMIENTO	19
1.3 ANTENAS	20
1.3.1 FUNCIONAMIENTO BÁSICO DE LA ANTENA	20
1.3.2 CIRCUITOS EQUIVALENTES A UNA ANTENA	21
1.3.3 TERMINOLOGÍA PARA ANTENAS	22
1.3.3.1 Diagrama de radiación	22
1.3.3.2 Campo cercano y lejano	23
1.3.3.3 Resistencia de radiación	24
1.3.3.4 Ganancia directiva y ganancia de potencia	25
1.3.3.5 Potencia isotrópica efectiva irradiada	26
1.3.3.6 Polarización de la antena	27
1.3.3.7 Abertura del haz de la antena	27
1.3.3.8 Ancho de banda de antena	28

1.3.3.9	Impedancia de entrada de la antena	28
1.3.4	ANTENAS DE UHF Y MICROONDAS	29
1.3.5	ANTENA DE REFLECTOR PARABÓLICO	30
1.3.6	MECANISMOS ALIMENTADORES	32
1.3.6.1	Alimentación central	32
1.3.6.2	Alimentación por bocina	33
1.3.6.3	Alimentación de Cassegrain	34
1.4	COMUNICACIONES DIGITALES	34
1.4.1	MODULACIÓN DIGITAL	36
1.4.1.1	Modulación digital de amplitud	36
1.4.1.2	Modulación por desplazamiento de frecuencia	36
1.4.1.3	Modulación por desplazamiento de fase	37
1.4.1.4	Modulación por desplazamiento binario de fase	37
1.4.1.5	Modulación por desplazamiento cuaternario de fase	38
1.4.1.6	PSK de ocho fases	39
1.4.1.7	PSK de Dieciséis fases	40
1.4.1.8	Modulación de amplitud en cuadratura	41
1.4.1.9	Multiplexación OFDM	41
1.4.1.10	Eficiencia de ancho de banda	44
1.4.1.11	Modos de Transmisión	45
1.5	EQUIPOS DE RADIO CON SOPORTE TCP	46
1.5.1	RAD DATA COMMUNICATIONS	46
1.5.1.1	Características principales	46
1.5.2	REDLINE COMMUNICATIONS	47
1.5.2.1	REDCONEX AN-30e	47
1.5.2.2	REDCONNEX AN-50e	48
1.5.3	ALVARION BREEZE NET B PTP	49
1.5.3.1	Características principales	49
1.6	REDES DE COMPUTADORAS CONCEPTOS BÁSICOS	50
1.6.1	TIPOS DE REDES	51
1.6.1.1	Red de área personal (PAN)	51
1.6.1.2	Red de área local (LAN)	51
1.6.1.3	Red de área del campus (CAN)	52
1.6.1.4	Red de área metropolitana (MAN)	52
1.6.1.5	Red de área amplia (WAN)	53
1.6.2	TOPOLOGÍA	53
1.6.3	MODELO OSI	54
1.6.3.1	Capa Física (Capa 1)	54
1.6.3.2	Capa de enlace de datos (Capa 2)	55
1.6.3.3	Capa de red (Capa 3)	56
1.6.3.4	Capa de transporte (Capa 4)	56
1.6.3.5	Capa de sesión (Capa 5)	57
1.6.3.6	Capa de presentación (Capa 6)	58
1.6.3.7	Capa de aplicación (Capa 7)	58

1.6.4	MODELO TCP/IP	58
1.6.4.1	Capa de Acceso de Red	59
1.6.4.2	Capa de Internet	60
1.6.4.3	Capa de Transporte	61
1.6.4.4	Capa de Aplicación	61
1.6.4.5	Características del protocolo TCP	62
1.7	COMPONENTES DE UNA RED DE COMPUTADORAS	63
1.7.1	EL COMPUTADOR	63
1.7.2	TARJETAS DE RED	63
1.7.3	SWITCH	64
1.7.4	ROUTER	65
1.7.5	SERVIDORES	65
1.7.5.1	Servidor de archivos	65
1.7.5.2	Servidor de correo	66
1.7.5.3	Servidor de telefonía	66
1.7.5.4	Servidor proxy	66
1.7.5.5	Servidor web	66
1.7.5.6	Impresoras	66
1.7.5.7	Terminal tonto	66
1.7.5.8	Servidor DNS	67
1.8	TERMINOLOGÍA PARA CONFIGURACIÓN DE EQUIPOS DE RADIO	67
1.8.1	CHANNEL BANDWIDTH [MHz]	67
1.8.2	RATE	67
1.8.3	SSID	67
1.8.4	THROUGHPUT [Mbps]	68
1.8.5	TX POWER [dBm]	68
1.8.6	TX POWER EIRP [dBW] (PIRE, POTENCIA ISOTRÓPICA, RADIADA, EQUIVALENTE)	68
1.8.7	RSS [dB] (ROBUSTNESS SIGNAL STRENGTH)	68
1.8.8	PING	68

2 CAPÍTULO 2 DISEÑO DEL ENLACE DE RADIO **70**

2.1	SITUACIÓN ACTUAL	70
2.1.1	RED ACTUAL EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI	72
2.1.2	NODO GUANGO	73
2.1.3	NODO QUILOTOA	74
2.2	ESTUDIO DE FACTIBILIDAD	75
2.3	PRESUPUESTO ECONÓMICO DEL PROYECTO	77
2.4	TOPOGRAFÍA DEL TRAYECTO	79
2.4.1	PERFIL TOPOGRÁFICO DEL TRAYECTO OFICINA TWIN TOWERS – ATACAZO	79
2.4.2	PERFIL TOPOGRÁFICO DEL TRAYECTO ATACAZO – GUANGO	80
2.4.3	VISTA TOPOGRÁFICA DE LOS DOS ENLACES	80
2.5	CÁLCULOS	81
2.5.1	DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS RAD AIRMUX200	82

2.5.1.1	Servicios Ethernet	83
2.5.1.2	Servicios TDM (E1/T1)	84
2.5.2	ANTENAS RADIOWAVES	84
2.5.3	ZONA DE FRESNEL	85
2.5.4	CÁLCULO DEL RADIO DE LA PRIMERA ZONA DE FRESNEL	86
2.5.5	CÁLCULO DEL DESPEJE	87
2.5.5.1	Cálculo sin tomar en cuenta la altura de las torres.	88
2.5.5.2	Cálculo tomando en cuenta la altura de las torres.	88
2.5.5.3	Torre soportada por tirantes	88
2.5.6	PRESUPUESTO DEL ENLACE	90
2.5.7	ENLACE 1: TWIN TOWERS – ATACAZO	90
2.5.7.1	Datos:	91
2.5.7.2	Pérdida en el espacio libre	91
2.5.7.3	Margen de desvanecimiento	91
2.5.7.4	Potencia de recepción disponible	91
2.5.7.5	Cálculo de la confiabilidad real del enlace	92
2.5.7.6	Simulación con RadioMobile	92
2.5.8	ENLACE 2: ATACAZO – GUANGO	93
2.5.8.1	Datos:	93
2.5.8.2	Pérdida en el espacio libre	93
2.5.8.3	Margen de desvanecimiento	93
2.5.8.4	Potencia de recepción	94
2.5.8.5	Cálculo de la confiabilidad real del enlace	94
2.5.8.6	Simulación con RadioMobile	95
2.6	PARÁMETROS SIMULADOS CON LINK BUDGET	95
2.6.1	ENLACE TWIN TOWERS – ATACAZO	95
2.6.2	ENLACE ATACAZO – GUANGO	96
2.7	ACOPLAMIENTO Y ESQUEMAS DE LAS ETAPAS DEL ENLACE	97
3	CAPÍTULO 3 INSTALACIÓN Y PRUEBAS	100
3.1	INSTALACIÓN DE LAS ETAPAS DEL ENLACE	100
3.1.1	INFRAESTRUCTURA	100
3.1.2	PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS	100
3.1.2.1	Instalación del pararrayos	101
3.1.3	ELECTRICIDAD	102
3.2	PRUEBAS DE CONECTIVIDAD	102
3.2.1	CONFIGURACIÓN DE EQUIPOS	103
3.2.2	INSTALACIÓN DE LAS ANTENAS PARABÓLICAS	105
3.2.3	INSTALACIÓN DE LOS RADIOS	108
3.2.4	CONEXIÓN ODU-ANTENA	109
3.2.5	CONECTIVIDAD ENTRE NODOS	110
3.3	CALIBRACIÓN Y PUESTA A PUNTO	111
3.4	PRUEBAS DE ANCHO DE BANDA	113

3.5 VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO TOTAL DEL ENLACE	113
---	------------

<u>4 CAPÍTULO 4 RESULTADOS</u>	<u>115</u>
---------------------------------------	-------------------

4.1 CONCLUSIONES	115
-------------------------	------------

4.2 RECOMENDACIONES	117
----------------------------	------------

4.3 BIBLIOGRAFÍA	118
-------------------------	------------

ANEXO A DATOS DE LOS EQUIPOS DE RADIO RAD DATA COMMUNICATIONS

ANEXO B INVERSOR DE ENERGÍA CDP X-VERTER 812

ANEXO C DESCRIPCIÓN SWITCH CISCO CATALYST 2960

ANEXO D DESCRIPCIÓN ANTENAS PARABÓLICAS RADIOWAVES

ÍNDICE DE IMÁGENES

FIGURA 1.1 EL ÁTOMO	3
FIGURA 1.2 PROPAGACIÓN POR ONDA SUPERFICIAL	6
FIGURA 1.3 PROPAGACIÓN DE ONDAS ESPACIALES	7
FIGURA 1.4 LÍNEA DE VISTA LEJANA	7
FIGURA 1.5 REFRACCIÓN EN UNA FRONTERA PLANA	12
FIGURA 1.6 REFRACCIÓN EN UNA FRONTERA CON GRADIENTE	12
FIGURA 1.7 REFLEXIÓN DE UNA ONDA ELECTROMAGNÉTICA	13
FIGURA 1.8 REFLEXIÓN DE UNA SUPERFICIE SEMIÁSPERA	14
FIGURA 1.9 DIFRACCIÓN DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS	15
FIGURA 1.10 ABSORCIÓN ATMOSFÉRICA DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS	17
FIGURA 1.11 INTERFERENCIA DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS	18
FIGURA 1.12 ONDAS ESTACIONARIAS	21
FIGURA 1.13 CIRCUITOS EQUIVALENTES A UNA ANTENA	22
FIGURA 1.14 GRÁFICAS DE RADIACIÓN	23
FIGURA 1.15 POLARIZACIÓN DE LAS ANTENAS	27
FIGURA 1.16 ABERTURA DE HAZ DE ANTENA	27
FIGURA 1.17 RELACIÓN ENTRE LA GANANCIA DE POTENCIA Y LA ABERTURA DEL HAZ DE UNA ANTENA	29
FIGURA 1.18 HAZ PRINCIPAL Y LÓBULOS LATERALES PARA UNA ANTENA PARABÓLICA TÍPICA	31
FIGURA 1.19 ANTENA CON ALIMENTACIÓN CENTRAL	33
FIGURA 1.20 ANTENA PARABÓLICA CON ALIMENTADOR POR CUERNO	33
FIGURA 1.21 ALIMENTACIÓN DE CASSEGRAIN	34
FIGURA 1.22 TRANSMISIÓN DIGITAL	35
FIGURA 1.23 RADIO DIGITAL	36
FIGURA 1.24 MODULACIÓN DE AMPLITUD	36
FIGURA 1.25 MODULACIÓN FSK	37
FIGURA 1.26 DIAGRAMA FASORIAL Y DE CONSTELACIÓN DE UN MODULADOR BPSK	38
FIGURA 1.27 RELACIÓN DE FASE DE SALIDA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO PARA MODULADOR BPSK	38
FIGURA 1.28 DIAGRAMA FASORIAL Y DE CONSTELACIÓN DE UN MODULADOR QPSK	39
FIGURA 1.29 SALIDA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO EN UN MODULADOR QPSK	39
FIGURA 1.30 DIAGRAMA FASORIAL Y DE CONSTELACIÓN DE UN MODULADOR 8-PSK	40
FIGURA 1.31 FASE DE SALIDA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO, PARA UN MODULADOR 8-PSK	40
FIGURA 1.32 DIAGRAMA DE CONSTELACIÓN DE UN MODULADOR 16-PSK	40
FIGURA 1.33 DIAGRAMA FASORIAL Y DE CONSTELACIÓN DE UN MODULADOR 8-QAM	41
FIGURA 1.34 FASE Y AMPLITUD DE SALIDA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO PARA MODULACIÓN 8-QAM	41
FIGURA 1.35 MULTIPLEXACIÓN OFDM EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA Y EL TIEMPO	43
FIGURA 1.36 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN TRANSMISOR OFDM	43
FIGURA 1.37 SUBPORTADORAS OFDM EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA	44
FIGURA 1.38 EQUIPO AIRMUX, IZQUIERDA TRANSCEIVER, DERECHA UNIDAD INTERIOR	47
FIGURA 1.39 REDLINE AN-50E, TERMINAL Y TRANSCEIVER	49
FIGURA 1.40 BREEZENET B300	50
FIGURA 1.41 RED DE ÁREA PERSONAL	51
FIGURA 1.42 RED DE ÁREA LOCAL	52
FIGURA 1.43 RED DE ÁREA DEL CAMPUS	52
FIGURA 1.44 RED DE ÁREA METROPOLITANA	53
FIGURA 1.45 RED DE ÁREA AMPLIA	53
FIGURA 1.46 VARIOS TIPOS DE TOPOLOGÍAS	54

FIGURA 1.47 CAPAS DEL MODELO TCP Y MODELO OSI	63
FIGURA 1.48 TARJETAS PCI, ETHERNET Y WI- FI	64
FIGURA 1.49 SWITCH DE 16 PUERTOS	65
FIGURA 1.50 ROUTER CON CAPACIDAD DE RED INALÁMBRICA	65
FIGURA 2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS NODOS A NIVEL NACIONAL	71
FIGURA 2.2 ESQUEMA DEL TRAYECTO QUITO – LATACUNGA	72
FIGURA 2.3 VISTA DE LA DISPOSICIÓN DE UN NODO	73
FIGURA 2.4 MAPA LÓGICO DE CLIENTES EN EL NODO GUANGO	74
FIGURA 2.5 MAPA LÓGICO DE CLIENTES EN EL NODO QUILOTOA	75
FIGURA 2.6 CARRETERA DE ACCESO AL REPETIDOR ATACAZO (SUROCCIDENTE DE QUITO)	76
FIGURA 2.7 CARRETERA DE ACCESO AL NODO GUANGO (ZONA ORIENTAL DE LATACUNGA)	77
FIGURA 2.8 VISTA TRIDIMENSIONAL DEL ENLACE QUITO-LATACUNGA	79
FIGURA 2.9 PERFIL DEL TRAYECTO TWIN TOWERS-ATACAZO	80
FIGURA 2.10 PERFIL DEL TRAYECTO ATACAZO-GUANGO	80
FIGURA 2.11 ENLACE QUITO-LATACUNGA	81
FIGURA 2.12 SISTEMA DE RADIO AIRMUX	83
FIGURA 2.13 DIAGRAMAS DE RADIACIÓN ANTENA RADIO WAVES SP4	85
FIGURA 2.14 ZONAS DE FRESNEL	86
FIGURA 2.15 ALTURA DE DESPEJE	87
FIGURA 2.16 COMPONENTES PRINCIPALES DE UNA TORRE DE COMUNICACIONES	89
FIGURA 2.17 PRESUPUESTO DE UN ENLACE RADIOELÉCTRICO	90
FIGURA 2.18 ENLACE TWIN TOWERS - ATACAZO	90
FIGURA 2.19 RESULTADOS SIMULACIÓN CON RADIOMOBILE	92
FIGURA 2.20 ENLACE ATACAZO - GUANGO	93
FIGURA 2.21 RESULTADOS SIMULACIÓN RADIOMOBILE	95
FIGURA 2.22 RESULTADOS SIMULACIÓN LINK BUDGET ENLACE 1	96
FIGURA 2.23 RESULTADOS SIMULACIÓN LINK BUDGET ENLACE 2	97
FIGURA 2.24 DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS Y MATERIALES EN LOS NODOS	98
FIGURA 3.1 TORRE CON TENSORES Y CASETA DE EQUIPOS	100
FIGURA 3.2 TENDIDO Y SUJECIÓN DEL CABLE	101
FIGURA 3.3 INSTALACIÓN DE LOS CABLES DE DESCENSO Y DRENAJE	101
FIGURA 3.4 COBERTURA DE ZANJA CONCLUIDA	102
FIGURA 3.5 SISTEMA ELÉCTRICO DE LA CASETA DE EQUIPOS	102
FIGURA 3.6 VERSIÓN DE FIRMWARE Y HARDWARE DEL EQUIPO	103
FIGURA 3.7 CONFIGURACIÓN DE DIRECCIÓN PARA MONITOREO	104
FIGURA 3.8 CLAVE DE ENLACE PARA FINES DE ENCRIPCIÓN	104
FIGURA 3.9 SSID Y POTENCIA DE TRANSMISIÓN	104
FIGURA 3.10 FRECUENCIAS DISPONIBLES EN EL EQUIPO DE RADIO	105
FIGURA 3.11 MONTAJE DEL ALIMENTADOR EN LA ANTENA DE 28 DBI	106
FIGURA 3.12 MONTAJE DEL MECANISMO DE ANCLAJE	106
FIGURA 3.13 INSTALACIÓN ANTENA TRAYECTO ATACAZO-GUANGO	107
FIGURA 3.14 INSTALACIÓN ANTENA TRAYECTO ATACAZO-QUITO	107
FIGURA 3.15 MONTAJE DE EQUIPOS DE COMUNICACIÓN EN SUS RESPECTIVAS ANTENAS	108
FIGURA 3.16 TERMINALES DE TOMA A TIERRA	108
FIGURA 3.17 CONEXIÓN DE CABLES DE BAJA PÉRDIDA	110
FIGURA 3.18 ENLACE ATACAZO-GUANGO	111
FIGURA 3.19 ENLACE ATACAZO-GUANGO YA CALIBRADO	112
FIGURA 3.20 ENLACE OFICINA QUITO - ATACAZO YA CALIBRADO	112

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1 CLASIFICACIÓN DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS	4
TABLA 1.2 RESUMEN DE LA MODULACIÓN DIGITAL	44
TABLA 2.1 CIUDADES DONDE ECUAONLINE S.A. TIENE COBERTURA	70
TABLA 2.2 COORDENADAS DE LOS NODOS QUE SON PARTE DEL PROYECTO	76
TABLA 2.3 COSTO DE ARRENDAMIENTO DE CANALES DE DATOS	78
TABLA 2.4 PRESUPUESTO ECONÓMICO DEL PROYECTO	78
TABLA 2.5 PAGO DE SERVICIOS	78
TABLA 2.6 COSTOS DE LOS EQUIPOS DE RADIO	82
TABLA 2.7 FACTOR DE CLIMA	96
TABLA 2.8 RESULTADOS DE LOS ENLACES	97
TABLA 3.1 DIRECCIONES IP A SER ASIGNADAS	103
TABLA 3.2 ANCHO DE BANDA REAL ALCANZADO	113

RESUMEN

El presente proyecto tiene como principal objetivo llevar a cabo el estudio y la respectiva instalación de dos enlaces microonda los cuales proveerán de servicio de datos e internet a los abonados actuales y futuros de la zona del valle interandino de la provincia del Cotopaxi.

Este sistema de transmisión permitirá aumentar el ancho de banda disponible en los nodos de cobertura que la empresa Ecuonline S.A. mantiene en el sector, y también será posible la eliminación de los costos que genera el arrendamiento de canales dedicados en el trayecto Quito – Latacunga.

Los equipos de radio que se utilizaran trabajan en las bandas de uso libre 5,4 y 5,8 GHz consiguiendo así una disminución en los costos totales del proyecto.

La planeación se apoya fundamentalmente en la generación de mapas digitales en dos y tres dimensiones usando varias aplicaciones tales como Global Mapper, RadioMobile, Google Earth las cuales nos permiten visualizar las mejores ubicaciones para instalar los componentes del sistema de transmisión.

PRESENTACIÓN

El presente proyecto se ha dividido en cuatro capítulos cuya breve descripción la tenemos en las siguientes líneas.

En el primer capítulo tenemos el marco teórico que nos brinda información de temas como, la radiofrecuencia, propiedades de las ondas electromagnéticas, factores que influyen en la radiotransmisión, antenas usadas para microondas, conceptos básicos, en fin, teoría sobre los componentes del sistema de transmisión por radio y los factores ambientales que influyen sobre éste.

En el capítulo dos se desarrolla el estudio de factibilidad con los respectivos cálculos que implica la instalación de un sistema de comunicación vía microonda, además de una descripción de la situación de la red en la empresa Ecuonline S.A.

En el tercer capítulo detallamos los pasos que se llevaron a cabo en la instalación de cada componente que conforma el sistema de comunicación.

En el cuarto y último capítulo se presentan las conclusiones obtenidas sobre el desarrollo del proyecto y además tenemos algunas recomendaciones relacionadas sobre todo con la instalación de los componentes del enlace.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTO TEÓRICO DEL PROYECTO

1.1 LA RADIOFRECUENCIA

1.1.1 HISTORIA

Aún cuando fueron necesarios muchos descubrimientos en el campo de la electricidad hasta llegar a la radio, su nacimiento data en realidad de 1873, año en el que el físico británico James Clerk Maxwell publicó su teoría sobre las ondas electromagnéticas. La teoría de Maxwell se refería sobre todo a las ondas de luz; quince años más tarde en 1888, el físico alemán Heinrich Hertz logró generar eléctricamente tales ondas. Suministró una carga eléctrica a un condensador y a continuación le hizo un cortocircuito mediante un arco eléctrico. En la descarga eléctrica resultante, la corriente saltó desde el punto neutro, creando una carga de signo contrario en el condensador, y después continuó saltando de un polo al otro, creando una descarga eléctrica oscilante en forma de chispa. El arco eléctrico radiaba parte de la energía de la chispa en forma de ondas electromagnéticas. Hertz consiguió medir algunas de las propiedades de estas ondas “hercianas”, incluyendo su longitud y velocidad; fue el primero en demostrar la existencia de la radiación electromagnética construyendo un aparato para producir ondas de radio. En 1879 Hughes demostró la recepción de señales de radio procedentes de un emisor de chispas alejado un centenar de metros. En dichos experimentos hizo circular una corriente de una célula voltaica a través de una válvula rellena de limaduras de zinc y plata, que se aglomeraban al ser bombardeadas con ondas de radio. Este principio lo utilizó el físico británico Oliver Joseph Lodge en un dispositivo llamado cohesor para detectar la presencia de ondas de radio. El cohesor, una vez hecho conductor, se podía volver a hacer aislante golpeándolo y haciendo que se separasen las partículas.

El ingeniero electrotécnico e inventor italiano Guglielmo Marconi está considerado universalmente el inventor de la radio. A partir de 1895 fue desarrollando y perfeccionando el cohesor y lo conectó a una forma primitiva de

antena, con el extremo conectado a tierra. Además mejoró los osciladores de chispa conectados a antenas rudimentarias. En 1896 consiguió transmitir señales desde una distancia de 1,6 Km., y registró su primera patente inglesa.

En 1897 transmitió señales desde la costa hasta un barco a 29 Km. en alta mar. Dos años más tarde logró establecer una comunicación comercial entre Inglaterra y Francia capaz de funcionar con independencia del estado del tiempo; a principios de 1901 consiguió enviar señales a más de 322 Km. de distancia, y a finales de ese mismo año transmitió una carta entera de un lado a otro del océano Atlántico.

A lo largo de todos estos años se introdujeron diferentes mejoras técnicas. Para la sintonía se utilizaron circuitos resonantes dotados de inductancia y capacitancia. Las antenas se fueron perfeccionando, descubriéndose y aprovechándose sus propiedades direccionales. Se utilizaron los transformadores para aumentar el voltaje enviado a la antena. Se desarrollaron otros detectores para complementar al cohesor y su rudimentario descohesor. De esta forma y con los estudios y aportes de muchas personas se logra dar inicio a la radiocomunicación a distancia.

1.1.2 RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

La radiación electromagnética es una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes, que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro. A diferencia de otros tipos de onda, como el sonido, que necesitan un medio material para propagarse, la radiación electromagnética se puede propagar en el vacío.

1.1.2.1 Radiación liberada por un electrón ¹

Gracias al modelo atómico que Niels Bohr publicó en 1913 podemos explicar el fenómeno, con este modelo trata de hacer comprender la estructura y comportamiento de los átomos.

¹ http://www.albertoroura.com/peich.php?ondas_electromagneticas



Figura 1.1 El Átomo

En la Figura 1.1 vemos un átomo formado por un núcleo y en este caso tres orbitas con electrones, a la primera orbita le corresponde el número cuántico principal "n = 1", a la segunda orbita "n = 2", y la tercera orbita "n = 3", las orbitas adquieren un número cuántico principal en correspondencia de su orden.

Si aplicamos un cierto voltaje al electrón que está en la primera orbital se excitará adquiriendo energía y se elevará al siguiente orbital, dado a la gran inestabilidad que posee el electrón en un orbital que no le corresponde volverá a su orbital original, liberando la energía sobrante en forma de fotones, son esos fotones los que se envían y reciben en una comunicación inalámbrica, la energía de estos se mide multiplicando la constante de Planck ($6,625 \cdot 10^{-34}$ J*s) por la frecuencia de la onda generada, por frecuencia se entiende el número de veces que el fotón cambia de positivo a negativo en un segundo.

$$E = h * f$$

Si lo que necesitamos es lograr una comunicación entre dos dispositivos (emisores y receptores) lejanos tendremos que aplicar una cantidad de voltaje a los electrones conforme a la distancia que queramos cubrir, así como usar diferentes tipos de átomos para conseguir diferentes valores de λ (una emisión con una longitud de onda larga cubrirá distancias mayores que una onda corta, aunque la larga tiene mayor pérdida). Dependiendo del fenómeno estudiado, la radiación electromagnética se puede considerar no como una serie de ondas sino como un chorro o flujo de partículas, llamadas fotones. Esta dualidad onda-partícula hace que cada fotón tenga una energía directamente proporcional a la frecuencia de la onda asociada, dada por la relación de Planck.

Una onda electromagnética es la forma con la que la energía (radiación electromagnética) se propaga por el espacio gracias a que los electrones las liberan en unas ciertas condiciones, gracias a esto son posibles tecnologías como Bluetooth, WiFi, FM, CB, PMR y muchas más que necesiten enviar información a través del espacio.

1.1.3 ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO²

Atendiendo a su longitud de onda, la radiación electromagnética recibe diferentes nombres, y varía desde los energéticos rayos gamma (con una longitud de onda del orden de picómetros) hasta las ondas de radio (longitudes de onda del orden de kilómetros), pasando por el espectro visible (cuya longitud de onda está en el rango de las décimas de micrómetro). El rango completo de longitudes de onda es lo que se denomina el espectro electromagnético.

El espectro visible es un minúsculo intervalo que va desde la longitud de onda correspondiente al color violeta (aproximadamente 400 nanómetros) hasta la longitud de onda correspondiente al color rojo (aproximadamente 700 nm).

En telecomunicaciones se clasifican las ondas mediante un convenio internacional de frecuencias en función del empleo al que están destinadas:

No	INTERVALO	DESIGNACIÓN	λ	EMPLEO
2	30Hz - 300Hz	ELF(extra low frequency)	10000 Km	
3	0,3KHz - 3KHz	VF(Voice frequency)	1000 Km	
4	3KHz - 30KHz	VLF(Very low frequency)	100 Km	Radio de gran alcance
5	30KHz - 300KHz	LF(Low frequency)	10 Km	Radio, navegación
6	0,3MHz - 3MHz	MF(Medium frequency)	1000 m	Radio de onda media
7	3 MHz - 30 MHz	HF(High frequency)	100 m	Radio de onda corta
8	30 MHz - 300 MHz	VHF(Very high frequency)	10 m	TV, radio
9	300 MHz - 3 GHz	UHF(Ultra high frequency)		TV, radar, telefonía móvil
10	3 GHz - 30 GHz	SHF(Super high frequency)		Radar
11	30 GHz - 300 GHz	EHF(Extra high frequency)		Radar
12	0,3 THz - 3 THz	Luz Infrarroja	1 cm	
13	3 THz - 30 THz		1 mm	
14	30 THz - 300 THz		0,1 mm	
15	0,3 pHz - 3 pHz			
16	3 pHz - 30 pHz	Luz visible		
17	30 pHz - 300 pHz	Rayos X		
18	0,3 Ehz - 3 Ehz	Rayos gamma		
19	3 Ehz - 30 Ehz	Rayos cósmicos		

Tabla 1.1 Clasificación de las ondas electromagnéticas

² <http://www.monografias.com/trabajos26/radiocomunicaciones/radiocomunicaciones>

1.2 PROPAGACIÓN³

Las ondas electromagnéticas de radio que viajan dentro de la atmósfera terrestre se llaman ondas terrestres, y las comunicaciones entre dos o más puntos de la Tierra se llaman radiocomunicaciones terrestres. Las ondas terrestres se ven influidas por la atmósfera y por la Tierra misma. En las radiocomunicaciones terrestres las ondas se pueden propagar de varias formas, que dependen de la clase de sistema y del ambiente. Como se dijo anteriormente las ondas electromagnéticas también viajan en línea recta, excepto cuando la Tierra y su atmósfera alteran sus trayectorias. En esencia hay tres formas de propagación de ondas dentro de la atmósfera terrestre: onda terrestre, onda espacial y ondas celestes o ionosféricas.

1.2.1 PROPAGACIÓN DE ONDAS TERRESTRES⁴

También se les llama ondas superficiales. Las ondas terrestres deben estar polarizadas verticalmente, esto se debe a que el campo eléctrico en una onda polarizada horizontalmente, sería paralelo a la superficie de la Tierra, y esas ondas se pondrían en corto por la conductividad del suelo. Con las ondas terrestres, el campo eléctrico variable induce voltajes en la superficie terrestre, que hacen circular corrientes muy parecidas a las de una línea de transmisión. La Tierra también tiene pérdidas por resistencia y por dieléctrico. Por consiguiente las ondas terrestres se atenúan a medida que se propagan. Se propagan mejor sobre una superficie conductora, como por ejemplo, el agua salada y se propagan muy mal sobre superficies desérticas. Las pérdidas en las ondas terrestres aumentan rápidamente al aumentar la frecuencia. Por consiguiente; su propagación se limita en general a frecuencias menores que 2 MHz.

La propagación por ondas terrestres se usa normalmente en comunicaciones entre barcos y de barco a tierra, para la navegación y las comunicaciones marítimas móviles, las ondas tienen frecuencias tan bajas como 15 KHz.

Las desventajas de la propagación de ondas terrestres son:

³ <http://es.wikipedia.org/wiki/Propagacion>

⁴ TOMASI WAYNE Capitulo 9 pág. 359

Requieren una potencia de transmisión relativamente alta.

Se limitan a frecuencias muy bajas, bajas e intermedias (VLF, LF, MF) y requieren grandes antenas.

Las pérdidas en el terreno varían mucho dependiendo de su composición.

Las ventajas son:

Con la potencia suficiente de transmisión, se pueden usar las ondas terrestres para comunicar dos lugares cualesquiera en el mundo.

Estas ondas son afectadas muy poco por la cambiante atmósfera.

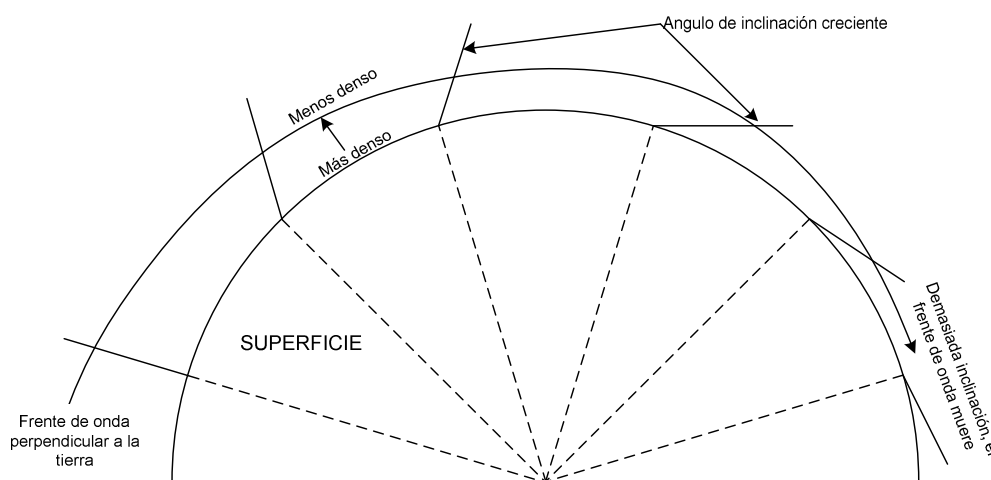


Figura 1.2 Propagación por onda superficial

1.2.2 PROPAGACIÓN DE ONDAS ESPACIALES

La propagación de la energía electromagnética en forma de ondas espaciales incluye la energía irradiada que viaja en los kilómetros inferiores de la atmósfera terrestre. Las ondas espaciales incluyen ondas directas y las reflejadas en el suelo. Las ondas directivas viajan esencialmente en línea recta entre las antenas de transmisión y recepción. La propagación de estas ondas se denomina transmisión por línea de vista (LOS de Line of sight). Por consiguiente la propagación directa de ondas espaciales está limitada por la curvatura de la Tierra. En la figura 1.3 se ve la propagación entre dos antenas. Se aprecia que la intensidad de campo en la antena receptora depende de la distancia entre las dos antenas (atenuación y absorción) y de si las ondas directas y reflejadas en el suelo están en fase (interferencia)

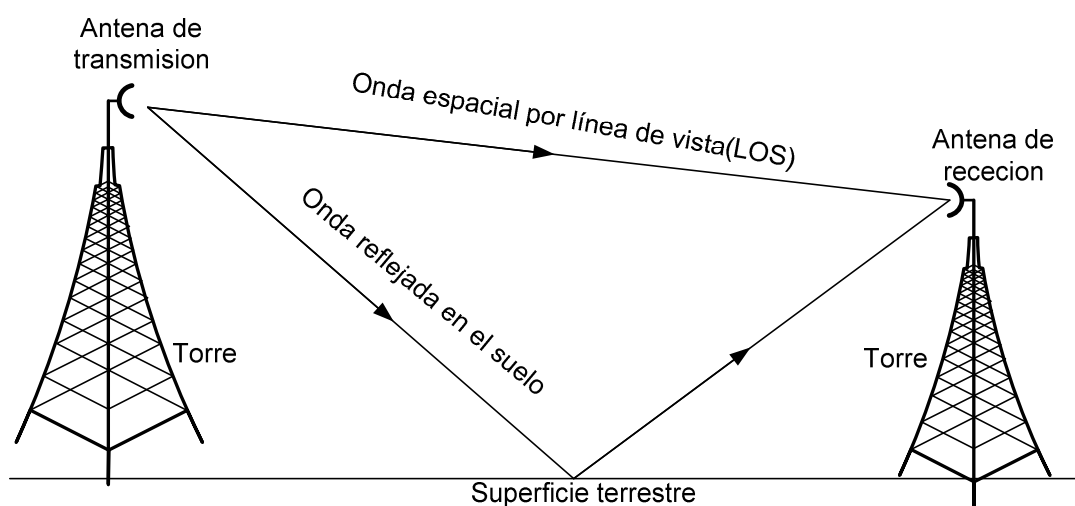


Figura 1.3 Propagación de ondas espaciales

La curvatura de la Tierra presenta un horizonte en la propagación de éste tipo de ondas que se suele llamar horizonte de radio. A causa de la refracción atmosférica, el horizonte de radio está más allá del horizonte óptico. La refracción se debe a la tropósfera, a cambios en su densidad, temperatura, contenido de vapor de agua y conductividad relativa. El horizonte de radio se puede alargar elevando las antenas de transmisión o recepción o ambas respecto a la superficie terrestre, con torres o colocándolas sobre montañas o edificios altos.

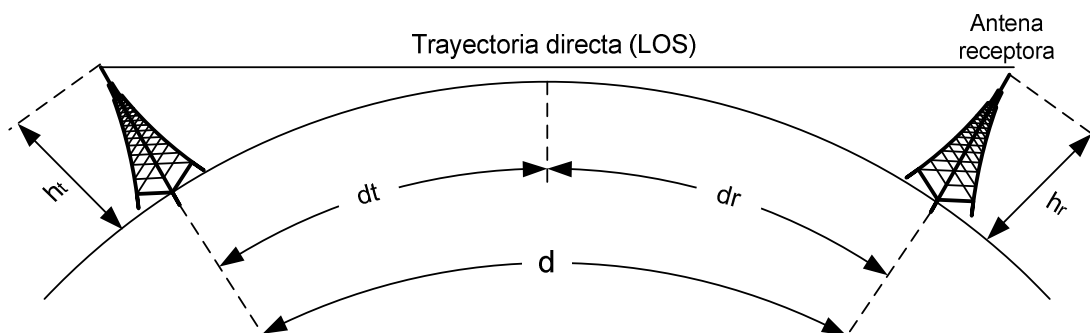


Figura 1.4 Línea de vista lejana

1.2.3 PROPAGACIÓN POR ONDAS CELESTES

Las ondas que se dirigen sobre el nivel del horizonte se llaman ondas celestes. En el caso normal estas ondas se irradian en una dirección que forma un ángulo relativamente grande con la Tierra, se irradian hacia el cielo donde son

reflejadas o refractadas hacia la superficie terrestre por la ionósfera. Debido a lo anterior a la propagación de ondas celestes se llama propagación ionosférica.

1.2.3.1 Propagación ionosférica⁵

La ionósfera es la región de la alta atmósfera entre 60 y 400 km de altura. Como el propio nombre indica está compuesta de iones y de plasma ionosférico y es de forma esférica al ser una de las capas de la atmósfera.

Es importante para la propagación porque permite reflejar o refractar ondas radioeléctricas por debajo de una frecuencia crítica llamada comúnmente MUF, frecuencia máxima utilizable.

La ionósfera está compuesta de tres capas

La capa D

La capa E

La capa F (durante la noche) que se divide en dos, las capas F1 y F2, durante el día.

1.2.3.1.1 Capa D

La capa D es la capa de la ionósfera más cercana a la Tierra. Se encuentra a unos 60 km de altura.

La ionización provocada por el viento solar aumenta la densidad de electrones en la capa D. Por esa razón, las ondas radioeléctricas son fuertemente absorbidas.

Durante la noche, la capa D no recibe viento solar, por lo que rápidamente desaparece.

Las explosiones solares, las manchas solares, las fluctuaciones en el campo magnético terrestre y las auroras polares, también afectan a la propagación ionosférica.

La capa D es sumamente absorbente para las frecuencias por debajo de unos 10 MHz, por lo tanto, las frecuencias afectadas son menos atenuadas cuando son atravesadas más cerca de la vertical.

⁵ TOMASY WAYNE Capítulo 9 pág. 362

1.2.3.1.2 *Capa E*

La capa E es una capa que refleja las ondas de radio. A veces se forma por ionización del aire por causas que no dependen de la radiación solar; algunos investigadores piensan que podría ser por fricción entre distintas capas de la atmósfera.

1.2.3.1.3 *Capa F*

Durante el día, la propagación de tipo "Esporádica-E" se da en la región E de la ionósfera, y a ciertas horas del ciclo solar la región F1 se junta con la F2. Por la noche las regiones D, E y F1 se quedan sin electrones libres, siendo entonces la región F2 la única disponible para las comunicaciones; de todas formas no es raro que también pueda darse por la noche la propagación "esporádica-E". Todas las regiones excepto la D reflejan ondas de HF. La Región D pese a no reflejarlas también es importante ya que ésta se encarga de absorberlas o atenuarlas. La región F2 es la más importante para la propagación de HF ya que: Está presente las 24 h. del día. Su altitud permite comunicaciones más lejanas. Normalmente refleja las frecuencias más altas de HF. El periodo de vida de los electrones es mayor en la región F2, y esa es la razón por la cual esta capa refleja ondas por la noche. Los periodos de vida de los electrones en las regiones E, F1 y F2 son de 20 segundos, 1 minuto y 20 minutos respectivamente.

1.2.3.2 **Propagación troposférica.**

Las condiciones climatológicas en la atmósfera a alturas de unos pocos pies hasta una milla o dos a veces son responsables del doblar de las ondas hacia abajo. Esta refracción troposférica hace la comunicación posible sobre grandes distancias que las que pudieran ser cubiertas por una onda espacial ordinaria. El doblar de la onda se incrementa con la frecuencia, por lo que la comunicación troposférica mejora conforme la frecuencia aumenta. El doblar es intrascendente en frecuencias por debajo de los 28 MHz, pero proporciona posibilidades interesantes de comunicación en frecuencias de 50 MHz hacia arriba.

La refracción en la tropósfera tiene lugar cuando las masas de aire se encuentran estratificadas en distintas regiones teniendo constantes dieléctricas diferentes. Sí el límite entre las dos masas de aire está perfectamente definido, la reflexión al igual que la refracción tienen lugar por las ondas que topan en el límite de la intersección de los ángulos.

La causa más común de refracción troposférica es la inversión por temperatura. Normalmente, la temperatura de las capas atmosféricas bajas decrece a una constante de 3 grados Fahrenheit por cada 1000 pies de altura. Cuando esta constante decrece por cualquier razón, se dice que existe una inversión de temperatura y la onda tiene lugar un dobléz mayor de lo normal. Algunos de los tipos de inversión térmica son inversiones dinámicas, originadas cuando masas de aire caliente se desplazan sobre masas de aire frío; el descenso de inversión es causado por el movimiento de aire calentado por compresión; la inversión nocturna, ocasionada por el rápido enfriamiento de la superficie después de la puesta del sol; y la inversión por las capas de nubes, ocasionada por el calentamiento del aire sobre las nubes por la reflexión de los rayos solares sobre la superficie de las nubes. Transiciones abruptas en el contenido de vapor de agua de la atmósfera puede también producir refracción y reflexión a las ondas de VHF.

Debido a las condiciones atmosféricas que producen refracción troposférica rara vez es estable durante un período de tiempo, la intensidad de la señal recibida usualmente varía o se "desvanece" sobre un amplio rango. Las variaciones de horario o de estación son también observadas. Las mejores condiciones ocurren con frecuencia en el atardecer y justamente antes de la salida del sol, y las condiciones son pobres al medio día cuando las condiciones de la atmósfera son estables. La reflexión troposférica es generalmente buena al inicio del verano y al inicio del otoño y son más pronunciadas a lo largo de las costas.

La onda troposférica mantiene esencialmente la misma polarización a lo largo del viaje, por lo que las antenas trasmisora y receptora deben tener el mismo tipo de polarización. Partiendo que las ondas que entran en la región de

refracción en cualquier otro ángulo de incidencia no son dobladas lo suficiente para ser útiles para comunicaciones, la antena transmisora debe de ser diseñada para máxima radiación horizontal. La antena receptora al igual debe tener un bajo ángulo para que la señal recibida sea bien utilizada.

1.2.4 FORMAS DE PROPAGACIÓN.

Las ondas Hertzianas se propagan en dos formas:

En el espacio libre.

En Líneas de transmisión.

1.2.5 PROPIEDADES ÓPTICAS DE LAS ONDAS DE RADIO

En la atmósfera terrestre, la propagación de frentes de onda y rayos puede diferir del comportamiento en el espacio libre, debido a efectos ópticos, como refracción, reflexión, difracción e interferencia. En una terminología muy coloquial, se puede imaginar la refracción como la flexión, la reflexión como rebote, la difracción como dispersión y la interferencia como choques. Se dice que estos fenómenos son propiedades ópticas porque se observaron primero en la ciencia de la óptica, que estudia el comportamiento de las ondas luminosas. Como las ondas luminosas son ondas electromagnéticas de alta frecuencia, parece razonable que las propiedades ópticas también se apliquen a las ondas de radio.

1.2.5.1 Refracción⁶

Es el cambio de dirección de un rayo al pasar en dirección oblicua de un medio a otro con distinta velocidad de propagación. La velocidad a la que se propaga una onda electromagnética es inversamente proporcional a la densidad del medio en el que lo hace. Por consiguiente, hay refracción siempre que una onda de radio pasa de un medio a otro de distinta densidad. La figura 1.5 muestra la refracción de un frente de onda en una frontera plana entre dos medios con distintas densidades.

⁶ TOMASI WAYNE Capitulo 9 pág. 353

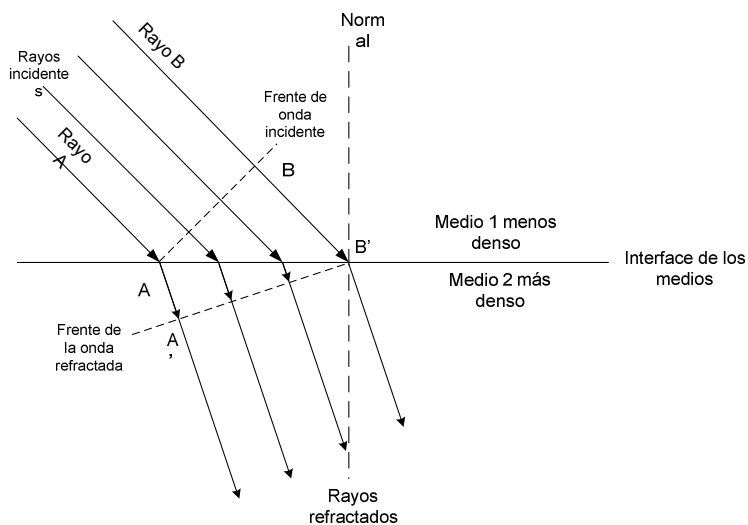


Figura 1.5 Refracción en una frontera plana

También se presenta la refracción cuando un frente de onda se propaga en un medio que tiene un gradiente de densidad, perpendicular a la dirección de propagación, es decir paralelo al frente de onda. La figura 1.6 representa la refracción en un medio de transmisión que tiene una variación gradual en su índice de refracción. El medio es más denso en la parte inferior. Entonces los rayos que viajan cerca de la parte superior lo hacen con mayor rapidez que los de la parte inferior. Lo desviación se hace en forma gradual a medida que avanza el frente de onda.

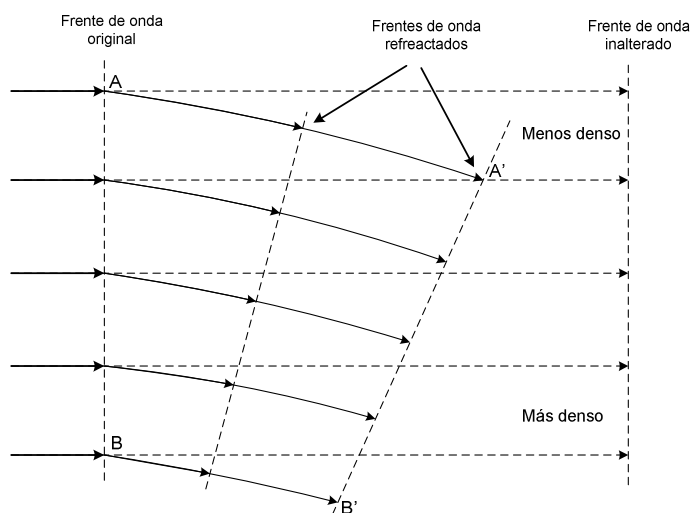


Figura 1.6 Refracción en una frontera con gradiente

1.2.5.2 Reflexión⁷

La reflexión electromagnética se presenta cuando una onda incidente choca con una frontera entre dos medios, y algo o toda la potencia incidente no entra al segundo material. Las ondas que no penetran se reflejan. La figura 1.7 muestra la reflexión de una onda electromagnética en un plano límite entre dos medios. Como todas las ondas reflejadas permanecen en el medio 1, las velocidades de las ondas incidente y reflejada son iguales. En consecuencia el ángulo de reflexión es igual al de incidencia. Sin embargo la intensidad del campo de voltaje reflejado es menor que la del voltaje incidente. La relación de las intensidades de voltaje reflejado a incidente se llama coeficiente de reflexión.

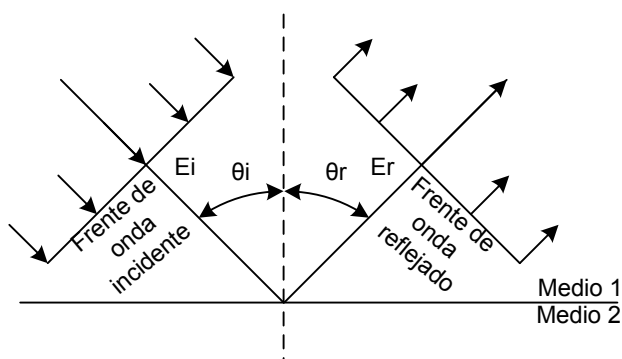


Figura 1.7 Reflexión de una onda electromagnética

Cuando la superficie reflectora no es plana, sino curva, la curvatura de la onda reflejada es distinta de la de la onda incidente. Cuando el frente de onda incidente es curvo, y la superficie reflectora plana, la curvatura del frente de la onda reflejada es igual a la del frente de la onda incidente. También se produce reflexión cuando la superficie reflectora es irregular o áspera, sin embargo, esa superficie puede destruir la forma del frente de onda. Cuando un frente de onda incidente choca con una superficie irregular, se dispersa al azar en muchas direcciones. A esa condición se le llama reflexión difusa, mientras que a la reflexión en una superficie completamente lisa se le llama reflexión corpuscular. Las superficies que caen entre lisas e irregulares se llaman semiásperas. Esas superficies generan una mezcla de reflexión difusa y especular. Una superficie semiáspera no destruye en su totalidad la forma del frente de onda reflejado. Sin embargo, hay una reducción de la potencia total.

⁷ TOMASI WAYNE Capitulo 9 pág. 354

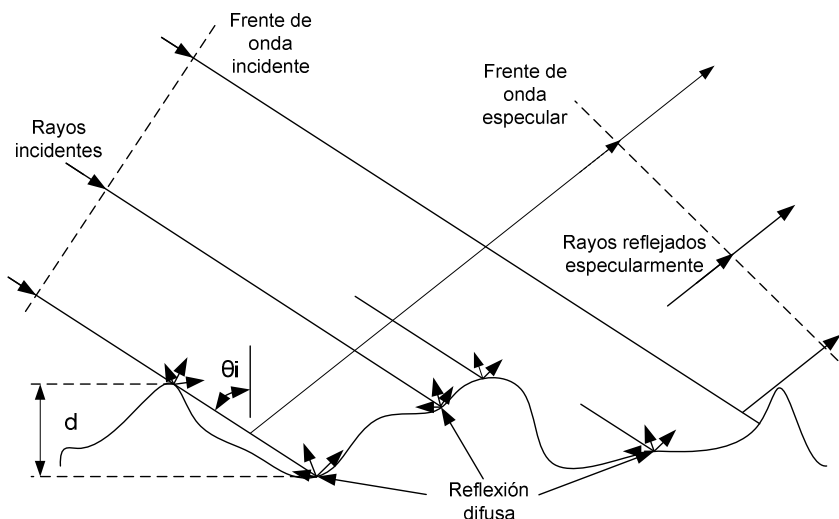


Figura 1.8 Reflexión de una superficie semiáspera

1.2.5.3 Difracción ⁸

Se define como la modulación o redistribución de la energía dentro de un frente de onda, al pasar cerca de la orilla de un objeto opaco. La difracción es el fenómeno que permite que las ondas luminosas o de radio se propaguen en torno a esquinas. En la descripción anterior de la refracción y reflexión se supuso que las dimensiones de las superficies refractora y reflectora eran grandes con respecto a la longitud de onda de la señal. Sin embargo, cuando un frente de onda pasa cerca de un obstáculo cuyas dimensiones sean de tamaño comparable a la longitud de onda, no se puede usar el análisis geométrico simple para explicar los resultados.

El principio de Huygens establece que todo punto sobre determinado frente de onda esférico se puede considerar como una fuente puntual secundaria de ondas, desde la cual se irradian y alejan otras ondas secundarias. En la figura 1.9 se ilustra este principio. En la fig.1.9 a se muestra la propagación normal de ondas considerando un plano infinito. Cada fuente puntual secundaria irradia energía hacia afuera, en todas direcciones. Sin embargo, el frente de onda sigue en su dirección original, y no se reparte, porque la anulación de ondas secundarias se hace en todas las direcciones, excepto en la del avance. Por lo anterior el frente de onda permanece plano.

⁸ TOMASI WAYNE Capitulo 9 pág. 357

Cuando se considera un frente de onda plano y finito, como en la fig. 1.9b es incompleta la anulación en direcciones aleatorias. En consecuencia el frente de onda se reparte hacia afuera, o se dispersa. A este efecto de dispersión se le llama difracción. La fig. 1.9c muestra la difracción en torno a la orilla de un obstáculo. Se ve que la anulación de ondulaciones solo es parcial. Se lleva a cabo en torno a la orilla de un obstáculo, lo cual permite que las ondas secundarias se “escurran” en torno a las aristas del objeto, hacia lo que se llama la zona de sombra.

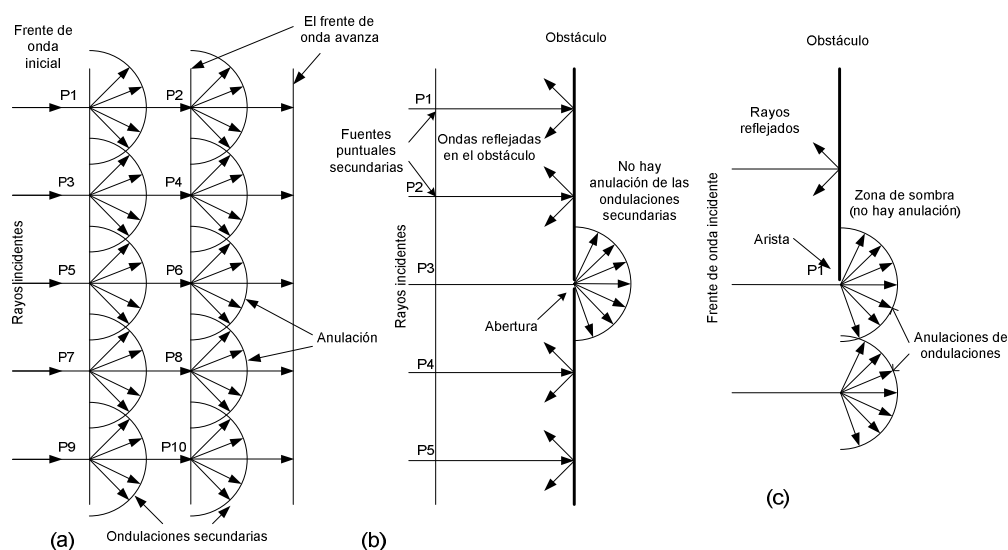


Figura 1.9 Difracción de ondas electromagnéticas

1.2.6 ATENUACIÓN Y ABSORCIÓN DE ONDAS⁹

El espacio libre es el vacío, por lo que no hay pérdida de energía al propagarse la onda por él. Sin embargo cuando las ondas se propagan por el espacio vacío se dispersan y resulta una reducción de la densidad de potencia. A esto se llama atenuación, y se presenta tanto en el espacio libre como en la atmósfera terrestre. Ya que la atmósfera no es un vacío, contiene partículas que pueden absorber energía electromagnética, a este tipo de reducción se llama pérdida por absorción, y no se presenta en ondas que viajan fuera de nuestra atmósfera.

⁹ TOMASI WAYNE Capitulo 9 pág. 351

1.2.6.1 Atenuación

La ley del cuadrado inverso de la radiación describe en forma matemática la reducción de densidad de potencia con la distancia a la fuente. A medida que se aleja un frente de onda de la fuente el campo electromagnético continuo que irradia la fuente se dispersa. Esto es, las ondas se alejan cada vez más entre sí, y, en consecuencia, la cantidad de ondas por unidad de área es menor. No se pierde o disipa nada de la potencia irradiada, porque el frente de onda se aleja de la fuente; la onda solo se extiende, o se dispersa, sobre un área mayor y disminuye la densidad de potencia con la distancia equivale a una pérdida de potencia y se suele llamar atenuación de la onda. Como la atenuación se debe a una dispersión esférica de onda se le llama atenuación espacial de la onda. Esta atenuación se expresa en general en función del logaritmo común de la relación de densidades de potencia (pérdida en dB)

1.2.6.2 Absorción

La atmósfera terrestre no es un vacío, está formada por átomos y moléculas de sustancias gaseosas, líquidas y sólidas. Algunos de estos materiales pueden absorber las ondas electromagnéticas. Cuando una onda se propaga por la atmósfera se transfiere energía de la onda hacia los átomos y moléculas. La absorción atmosférica es análoga a una pérdida de potencia I^2R . Una vez absorbida la energía se pierde para siempre, y causa una atenuación en las intensidades de voltaje y campo magnético, y correspondientemente en la densidad de potencia.

La absorción de las ondas en una atmósfera normal depende de su frecuencia y es relativamente insignificante a menos de unos 10 GHz la figura 1.10 muestra la absorción en decibelios por kilómetro, debida al oxígeno y vapor de agua para frecuencias mayores a 10 GHz.

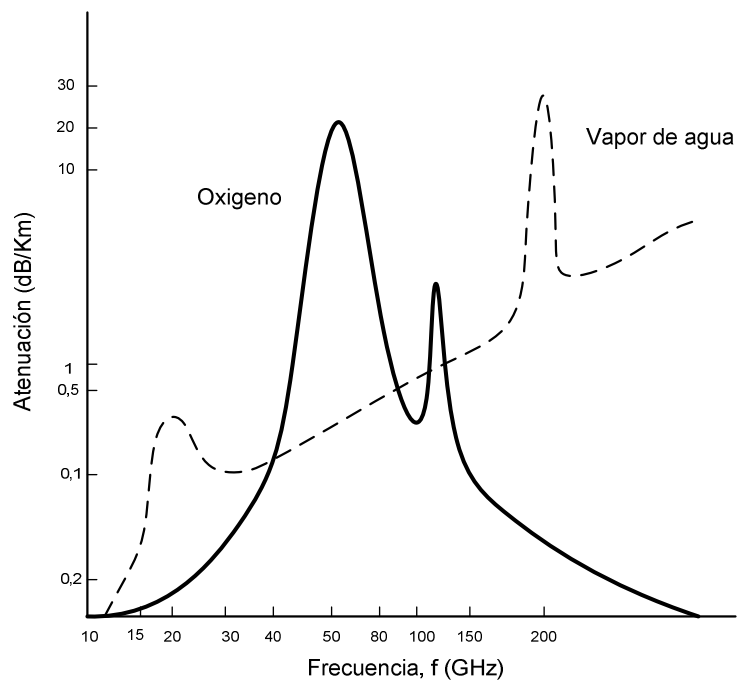


Figura 1.10 Absorción atmosférica de las ondas electromagnéticas

1.2.7 INTERFERENCIA¹⁰

Interferir quiere decir estar en oposición. La interferencia de ondas de radio se produce siempre que se combinan dos o más ondas de tal manera que se degrada el funcionamiento del sistema. La refracción, reflexión y difracción pertenecen a la óptica geométrica y eso quiere decir que su comportamiento se analiza principalmente en función de rayos y de frentes de onda. Por otro lado la interferencia está sujeta al principio de superposición lineal de las ondas electromagnéticas y se presenta siempre que dos o más ondas ocupan el mismo punto del espacio en forma simultánea. El principio de superposición establece que la intensidad total de voltaje en un punto dado en el espacio es la suma de los vectores de onda individuales. Ciertos tipos de medios de propagación tienen propiedades no lineales; sin embargo, en un medio como la atmósfera es válida la superposición lineal.

La fig. 1.11 muestra la interferencia entre dos ondas electromagnéticas en el espacio libre. En el punto X las dos ondas ocupan el mismo lugar en el espacio. Sin embargo la onda B ha recorrido una trayectoria diferente a la de la onda A y, en consecuencia, sus ángulos de fase relativos pueden ser distintos. Si la

¹⁰ TOMASI WAYNE Capítulo 9 pág. 357

diferencia de distancias recorridas es un múltiplo entero impar de la mitad de la longitud de onda se presenta la anulación total. Si la diferencia es un múltiplo entero y par, tiene lugar un reforzamiento. Lo más probable es que la diferencia de distancias sea intermedia entre las dos, y se produce una anulación o reforzamiento parcial. Para frecuencias menores que VHF, las longitudes de onda relativamente grandes evitan que la interferencia sea un problema apreciable. Sin embargo, con UHF o mas, la interferencia ondulatoria puede ser grave.

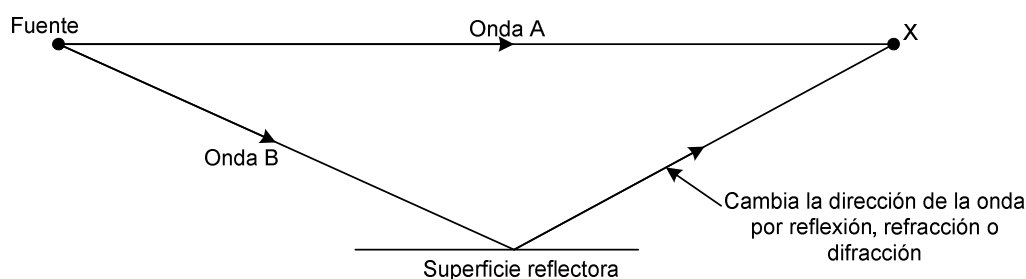


Figura 1.11 Interferencia de las ondas electromagnéticas

1.2.8 PÉRDIDAS EN LA TRAYECTORIA POR EL ESPACIO LIBRE¹¹

Se suele definir como la pérdida sufrida por una onda electromagnética al propagarse en línea recta por un vacío. Sin absorción y reflexión de energía en objetos cercanos. La pérdida en la trayectoria por el espacio libre es una cantidad técnica artificial que se origina debido a la manipulación de las ecuaciones de presupuesto de un enlace de comunicaciones, que deben tener determinado formato en el que se incluye la ganancia de la antena transmisora, la pérdida en trayectoria por el espacio libre y el área efectiva de la antena receptora. En realidad no se pierde energía alguna; tan solo se reparte al propagarse alejándose de la fuente y se reduce a una menor densidad de potencia en determinado punto a determinada distancia de la fuente. En consecuencia, un término más adecuado para definir el fenómeno es pérdida por dispersión. Ésta se debe simplemente a la ley del cuadrado inverso. Expresada en decibeles la ecuación es:

$$L_p = 20 \log \frac{4\pi f D}{c} = 20 \log \frac{4\pi}{c} + 20 \log (f) + 20 \log (D)$$

¹¹ TOMASI WAYNE Capitulo 9 pág. 366

Cuando la frecuencia se expresa en GHz y la distancia en Km, tenemos.

$$L_{p(dB)} = 92,4 + 20 \log(f) + 20 \log(D)$$

1.2.9 MARGEN DE DESVANECIMIENTO ¹²

Las radiocomunicaciones entre lugares remotos, sean de tierra a tierra o de tierra a satélite, requieren la propagación de señales electromagnéticas por el espacio libre. Al propagarse una onda por la atmósfera, la señal puede tener pérdidas intermitentes de intensidad, además de la pérdida normal en la trayectoria. Esas pérdidas se pueden atribuir a diversos fenómenos, que incluyen efectos de corto y largo plazo. Esta variación en la pérdida de la señal se llama desvanecimiento y se puede atribuir a perturbaciones meteorológicas como lluvia, nieve granizo, etc., a trayectorias múltiples de transmisión y a una superficie terrestre irregular. Para tener en cuenta el desvanecimiento temporal, se agrega una pérdida adicional de transmisión a la pérdida en trayectoria normal. A esta pérdida se le llama margen de desvanecimiento.

En esencia, el margen es un factor “espurio” que se incluye en la ecuación de ganancia del sistema para considerar las características no ideales y menos predecibles de la propagación de las ondas de radio, como por ejemplo la propagación por trayectorias múltiples y la sensibilidad del terreno.

$$Fm = 30 \log(D) + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70$$

Donde

Fm=margen de desvanecimiento (dB)

D= distancia (Km)

f= frecuencia (GHz)

R=confiabilidad en tanto por uno (99,99%=0,9999)

1-R= objetivo de confiabilidad para una ruta de 400Km en un sentido

A= factor de rugosidad

=4 sobre agua o sobre terreno muy liso

=1 sobre un terreno promedio

=0,25 terreno áspero y montañoso

¹² TOMASI WAYNE Capitulo 9 pág. 367

B= factor para convertir la peor probabilidad mensual en un probabilidad anual.

=1 para pasar una disponibilidad anual a la peor base mensual

=0,5 para áreas calientes y húmedas

=0,25 áreas continentales promedio

=0,125 áreas muy secas o montañosas

1.3 ANTENAS¹³

Una antena es un sistema conductor metálico capaz de radiar y capturar ondas electromagnéticas. Las antenas son para conectar las líneas de transmisión con el espacio libre, el espacio libre a líneas de transmisión, o ambas cosas. En esencia, una línea de transmisión acopla la energía de un transmisor o de un receptor con una antena, que a su vez acopla la energía con la atmósfera terrestre, y de la atmósfera a una línea de transmisión. En el extremo transmisor de un sistema de radiocomunicaciones con el espacio libre, una antena convierte la energía eléctrica que viaja por una línea de transmisión en ondas electromagnéticas que se emiten al espacio. En el extremo receptor, una antena convierte las ondas electromagnéticas del espacio en energía eléctrica en una línea de transmisión.

Una guía de ondas es un tipo especial de línea de transmisión formado por un tubo metálico conductor, a través del cual se propaga la energía electromagnética. Una guía de ondas se usa para interconectar en forma eficiente ondas electromagnéticas entre una antena y un transceptor.

1.3.1 FUNCIONAMIENTO BÁSICO DE LA ANTENA

El funcionamiento de una antena se comprende mejor con referencia en las ilustraciones de ondas estacionarias en un alineamiento de transmisión, fig. 1.12a. La línea de transmisión termina en un circuito abierto, que representa una discontinuidad abrupta para la onda incidente de voltaje y tiene la forma de una inversión de fase. La inversión de fase hace que se irradie algo del voltaje

¹³ TOMASI WAYNE Capitulo 10 pág. 371

incidente, sin reflejarse hacia la fuente. La energía radiada se propaga alejándose de la antena, en forma de ondas electromagnéticas transversales.

La eficiencia de radiación de una línea de transmisión abierta es extremadamente baja. Es la relación de la energía irradiada entre la energía reflejada. Para irradiar más energía tan solo se apartan entre si los conductores. A la antena obtenida así se le llama dipolo, visto en la fig. 1.12b. En la fig. 1.12c los conductores se apartan en una línea recta a la distancia de un cuarto de onda o monopolo vertical (antena de Marconi). Un dipolo de media onda se llama antena de Hertz mostrado en la figura 1.12d.

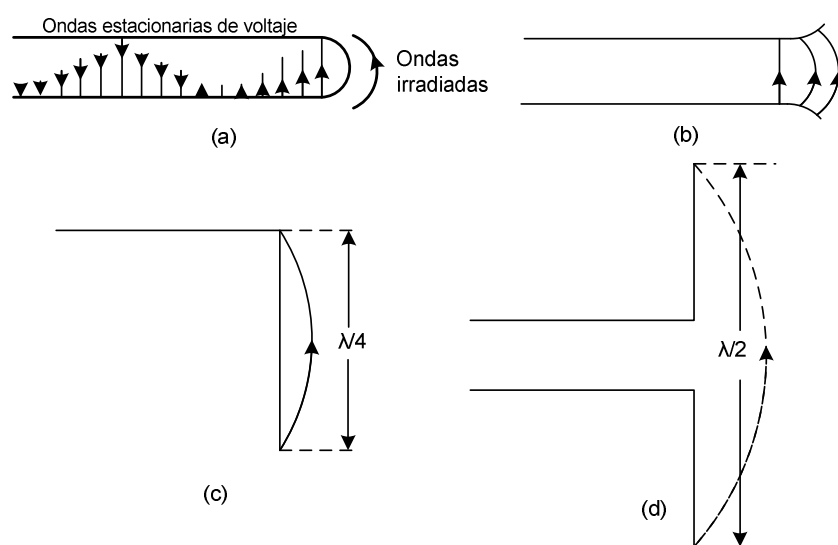


Figura 1.12 Ondas estacionarias

1.3.2 CIRCUITOS EQUIVALENTES A UNA ANTENA¹⁴

En las radiocomunicaciones, los transmisores están conectados a los receptores a través de líneas de transmisión, antenas y el espacio libre. Las ondas electromagnéticas se acoplan desde la antena transmisora hasta la receptora, a través del espacio libre en una forma parecida a cuando la energía se acopla del primario al secundario de un transformador. Sin embargo, con las antenas el grado de acoplamiento es mucho menor que en un transformador, e interviene una onda electromagnética y no solo una onda magnética. Un sistema de acoplamiento con antena se puede representar con una red de cuatro terminales como en la fig. 1.12a. La energía electromagnética se debe transferir

¹⁴ TOMASI WAYNE Capitulo 10 pág. 371

de la antena transmisora a un espacio libre y después, de éste a una antena receptora. La fig. 1.13 b y c muestra los circuitos equivalentes para cada una.

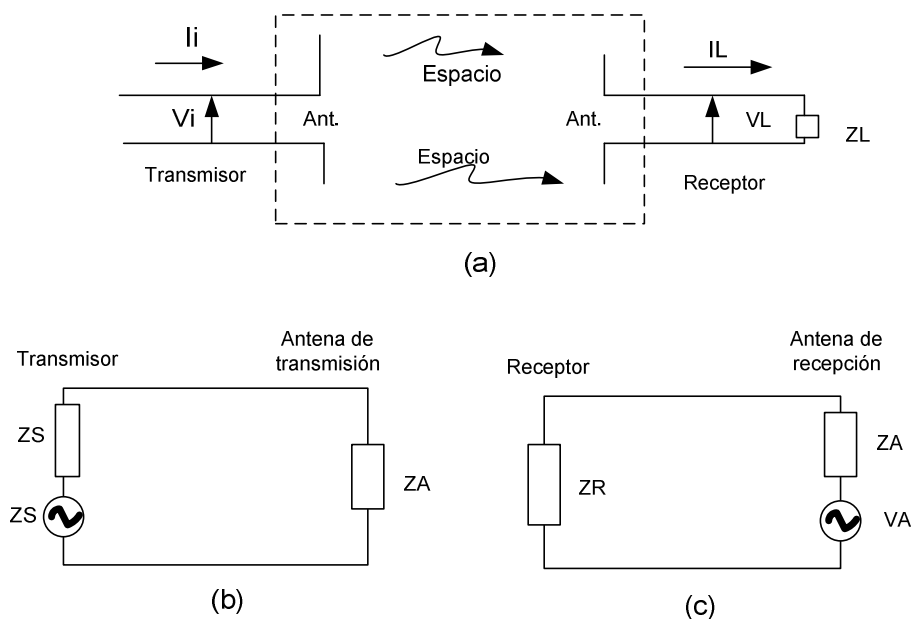


Figura 1.13 Circuitos equivalentes a una antena

1.3.3 TERMINOLOGÍA PARA ANTENAS¹⁵

1.3.3.1 Diagrama de radiación

Es una gráfica polar que representa intensidades de campo o intensidades de potencia en diversas posiciones angulares en relación con una antena. Si la gráfica de radiación se traza en términos de intensidad del campo eléctrico o de densidad de potencia se llama gráfica de radiación absoluta (es decir, distancia variable, potencia fija).

Si se grafica intensidad de campo o densidad de potencia con respecto al valor en algún punto de referencia, se llama gráfica de radiación relativa (es decir, potencia variable, distancia fija)

Las gráficas de radiación de la fig. 1.14 son bidimensionales. Sin embargo, la radiación de una antena es en realidad tridimensional. En consecuencia, las gráficas de radiación se toman tanto en el plano horizontal (vista superior) como los verticales (vista lateral). Para la antena omnidireccional de la fig. 1.14d, las

¹⁵ TOMASI WAYNE Capitulo 10 pág. 373

gráficas de radiación en los planos vertical y horizontal son circulares e iguales, porque la gráfica real de radiación para un radiador isotrópico es una esfera.

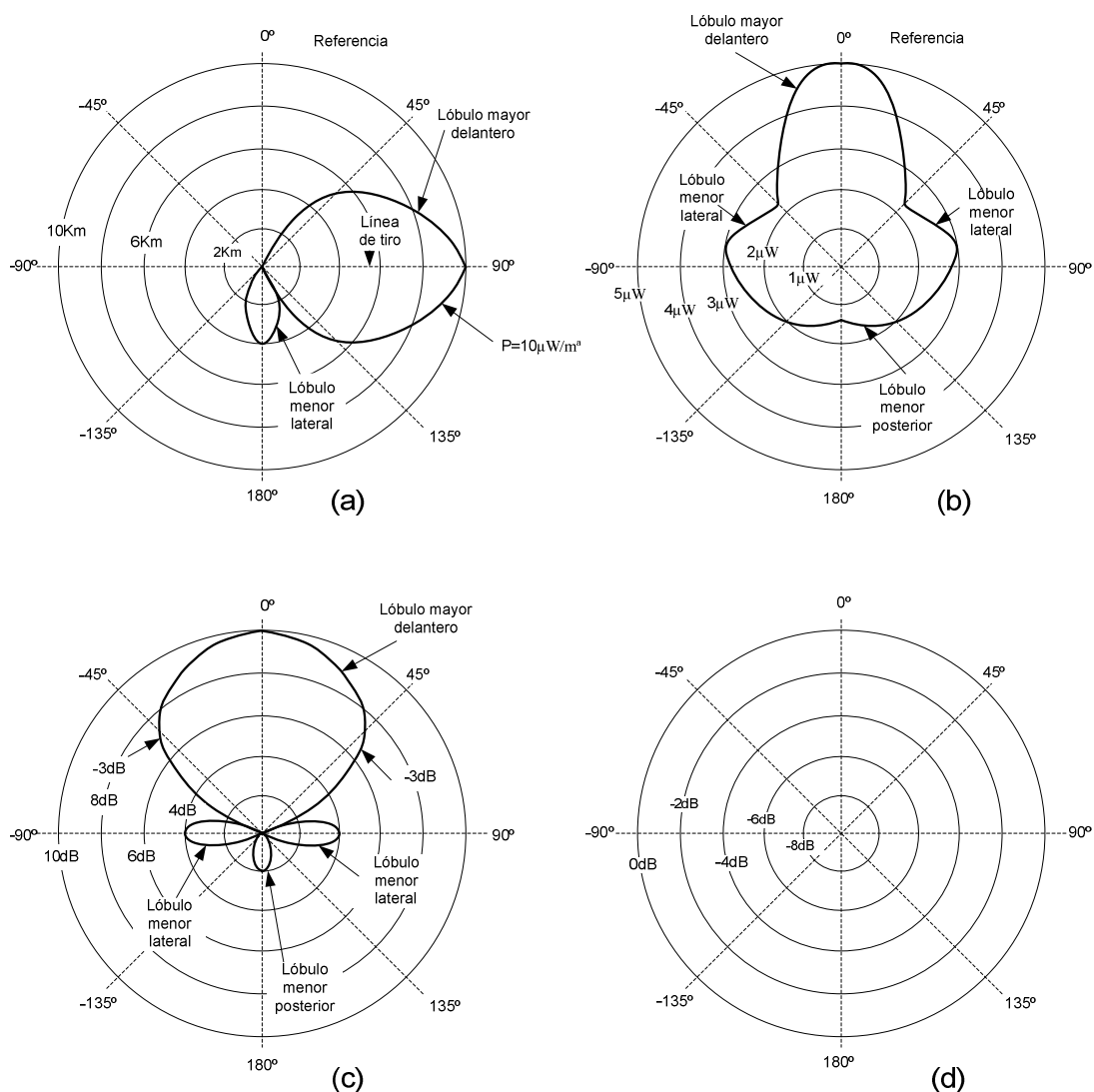


Figura 1.14 Gráficas de radiación

1.3.3.2 Campo cercano y lejano¹⁶

El campo de radiación cercano a una antena no es igual que el que está a una gran distancia. El termino campo cercano se refiere a la gráfica de radiación cerca de una antena, y el termino campo lejano indica una gráfica de radiación a gran distancia. Durante medio ciclo, se irradia potencia desde una antena, donde se almacena algo de la potencia en forma temporal en el campo cercano. Durante el siguiente medio ciclo, la potencia en el campo cercano regresa a la antena.

¹⁶ TOMASI WAYNE Capitulo 10 pág. 375

Esta acción se parece a la forma en que un inductor almacena y libera energía. En consecuencia, el campo cercano se llama a veces campo de inducción. La potencia que llega al campo lejano continua irradiándose y alejándose, y nunca regresa a la antena. En consecuencia a veces al campo lejano se le llama campo de radiación. La potencia irradiada suele ser la más importante, y en consecuencia, las gráficas de radiación son para el campo lejano. El campo cercano se define como la zona dentro de una distancia D^2/λ de la antena, siendo λ la longitud de onda y D el diámetro de la antena, en las mismas unidades.

1.3.3.3 Resistencia de radiación¹⁷

No toda la potencia que se suministra a una antena se irradia. Algo de ella se convierte en calor y se disipa. La resistencia de radiación es un poco “irreal”, porque no se puede medir en forma directa. Esta es una resistencia de antena a la corriente alterna, y es igual a la relación de la potencia irradiada por la antena entre el cuadrado de la corriente en su punto de alimentación.

$$R_r = \frac{P_{rad}}{I^2}$$

Donde: R_r =resistencia de radiación (ohms)

P_{rad} =potencia irradiada (watts)

I =corriente en el punto de alimentación

La resistencia de radiación es aquella que si se reemplazara la antena dispararía exactamente la misma potencia. La resistencia es una cantidad ficticia en cierto sentido, porque se refiere a un punto arbitrario de la antena, que tendría distintos valores de corriente para distintos puntos de referencia; de tal forma que se acostumbra referir la resistencia de radiación al punto de máxima corriente. Cuando se refiere al punto de corriente máxima, la resistencia de radiación se llama a veces resistencia de radiación de lazo, o antinodo. Es un concepto útil solo cuando se puede medir con facilidad, y no tiene significado en antenas en las que no hay un valor bien definido que se pueda tomar como referencia.

¹⁷ TOMASI WAYNE Capitulo 10 pág. 376

1.3.3.4 Ganancia directiva y ganancia de potencia

Los términos ganancia directiva y ganancia de potencia se malentienden con frecuencia. La ganancia directiva es la relación de la densidad de potencia irradiada en una dirección particular entre la densidad de potencia irradiada al mismo punto por una antena de referencia, suponiendo que ambas antenas estén irradiando la misma cantidad de potencia. La gráfica de densidad de potencia de radiación para una antena en realidad es una gráfica de ganancia directiva, si se toma la referencia de densidad de potencia para una antena normal de referencia, que en general es una antena isotrópica. La ganancia directiva máxima se llama directividad.

La ganancia de potencia es lo mismo que la ganancia directiva, excepto que se usa la potencia total alimentada a la antena; es decir, se toma en cuenta la eficiencia de la antena. Se supone que la antena dada y la de referencia tienen la misma potencia de entrada, y que la antena de referencia no tiene pérdidas. La ecuación de la ganancia de potencia es:

$$Ap = D\eta$$

Si la antena es sin pérdidas, irradia el 100% de la potencia de entrada, y la ganancia de potencia es igual a la ganancia directiva. La ganancia de potencia de una antena también se expresa en decibelios en relación con una antena de referencia. En este caso, la ganancia de potencia es:

$$Ap_{(dB)} = 10 \log \frac{P_{\eta}}{P_{ref}}$$

Para una referencia isotrópica, la ganancia de potencia en decibelios, de un dipolo de media onda, es 1,64 (2,15dB), aproximadamente. Se acostumbra expresar la ganancia de potencia en decibelios, cuando se refiere a un dipolo de media onda (dBd, sin embargo, si la referencia es un radiador isotrópico, se menciona los decibelios como dBi, y es 2,15dB mayor que si usara un dipolo de media onda como referencia. Una antena tan solo concentra la potencia irradiada en cierta dirección. Entonces, los puntos donde la potencia irradiada se concentra obtienen una ganancia aparente, en relación con la densidad de potencia en esos mismos puntos si se usara una antena isotrópica. Si la ganancia se obtiene en una dirección, debe haber una reducción de densidad de potencia en otra

dirección. La dirección a la que “apunta” una antena siempre es la de máxima radiación. Como una antena es un dispositivo recíproco, su gráfica de radiación también es su gráfica de recepción. Para alcanzar una potencia capturada máxima, una antena de recepción debe apuntar en la dirección desde donde se desea recibir. En consecuencia, las antenas de recepción tienen directividad y ganancia de potencia, exactamente como las de transmisión.

1.3.3.5 Potencia isotrópica efectiva irradiada¹⁸

EIRP (por Effective Isotropic Radiated Power) se define como la potencia equivalente de transmisión y se expresa como sigue.

$$EIRP = P_{rad}D_t(\text{watts})$$

Siendo

P_{rad} = potencia total irradiada (watts)

D_t = ganancia directiva de la antena de transmisión (adimensional)

O también $EIRP(\text{dBW}) = 10\log(P_{rad}D_t)$

La ecuación anterior se puede escribir en función de la potencia de entrada y la ganancia de potencia de la antena.

$$EIRP = P_{ent}A_t$$

Donde: P_{ent} = potencia total de entrada de la antena (watts)

A_t = ganancia de potencia de la antena (adimensional)

O bien $EIRP_{\text{dBm}} = 10\log\left(\frac{P_{ent}A_t}{0,001}\right)$

$$EIRP_{\text{dBW}} = 10\log(P_{ent}A_t)$$

La EIRP es la potencia equivalente que tendría que irradiar una antena isotrópica para alcanzar la misma densidad de potencia en la dirección elegida y en determinado punto, que otra antena. Por ejemplo, si determinada antena de transmisión tiene ganancia de potencia de 10, la densidad de potencia a una distancia dada de la antena es 10 veces mayor que la que sería si la antena fuera un radiador isotrópico. Una antena isotrópica tendría que irradiar 10 veces más potencia para alcanzar la misma densidad de potencia.

¹⁸ TOMASI WAYNE Capitulo 10 pág. 378

1.3.3.6 Polarización de la antena

La polarización de una antena no es más que la orientación del campo eléctrico que se irradia de ella. Una antena puede estar polarizada linealmente, elípticamente o circularmente. Si una antena irradia una onda electromagnética verticalmente polarizada, se define a la antena como verticalmente polarizada (o polarizada verticalmente). Si una antena irradia una onda horizontalmente polarizada, se dice que la antena está polarizada horizontalmente; si el campo eléctrico gira describiendo una elipse, esta elípticamente polarizada; si el campo gira en forma circular, esta circularmente polarizada. La fig. 1.15 muestra las diversas polarizaciones.

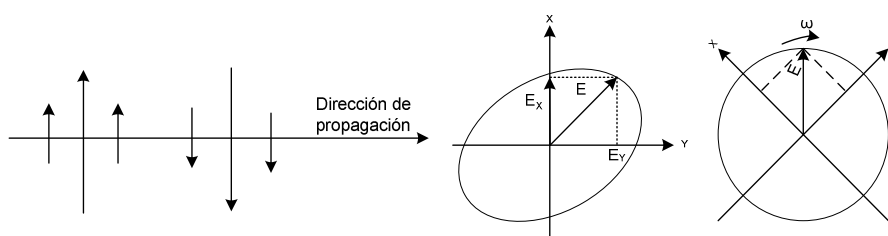


Figura 1.15 Polarización de las antenas

1.3.3.7 Abertura del haz de la antena¹⁹

La apertura del haz de una antena es la separación angular entre dos puntos de media potencia (-3dB) en el lóbulo mayor de la gráfica de radiación de una antena que se suele tomar en uno de los planos "principales". En la figura 1.16 se aprecia el ángulo del haz entre los puntos A, B, X. la apertura del haz se llama a veces ancho de haz de -3dB, o ancho de haz de media potencia, o ancho de lóbulo.

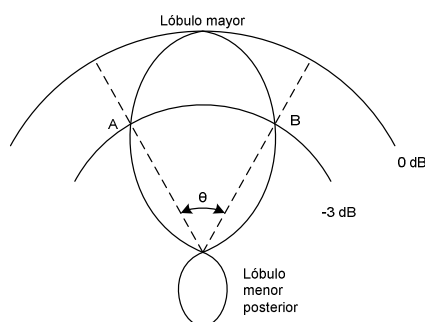


Figura 1.16 Abertura de haz de antena

¹⁹ TOMASI WAYNE Capitulo 10 pág. 382

1.3.3.8 Ancho de banda de antena²⁰

El ancho de banda de una antena se define en forma vaga, como el intervalo de frecuencias dentro del cual el funcionamiento de la antena es “satisfactorio”. Se toma en el caso normal, como la diferencia entre las frecuencias de media potencia (diferencia entre las frecuencias máxima y mínima de operación), pero a veces indica variaciones en la impedancia de entrada de la antena. El ancho de banda de la antena también se expresa normalmente, como un porcentaje de la frecuencia optima de operación de la antena.

1.3.3.9 Impedancia de entrada de la antena

La radiación de una antena es un resultado directo del flujo de corriente de RF. La corriente va hacia la antena por una línea de transmisión, que está conectada con un espacio pequeño entre los conductores que forman la antena. El punto de la antena donde se une la línea de transmisión se llama terminal de entrada, o simplemente punto de alimentación. El punto de alimentación presenta una carga de CA a la línea de transmisión, llamada impedancia de entrada de la antena. Si la impedancia de salida del transmisor y la impedancia de entrada de la antena son iguales a la impedancia característica de la línea de transmisión, no habrá ondas estacionarias en la línea y se transmitirá una potencia máxima a la antena, potencia que será irradiada.

$$Z_{ent} = \frac{E_i}{I_i}$$

Donde Z_{ent} = impedancia de entrada (ohmios)

E_i = Voltaje de entrada (voltios)

I_i = Corriente de entrada (amperios)

En general, la impedancia de entrada es compleja; sin embargo, si el punto de alimentación está a un máximo de corriente y no hay componente reactivo, la impedancia de entrada es igual a la suma de la resistencia de radiación más la resistencia efectiva.

²⁰ TOMASI WAYNE Capitulo 10 pág. 383

1.3.4 ANTENAS DE UHF Y MICROONDAS²¹

Las antenas UHF (0,3 a 3GHz) y para microondas (1 a 100GHz) deben ser muy direccionales. Una antena tiene ganancia aparente porque concentra la potencia irradiada en un haz delgado, más que mandarlo por igual en todas direcciones; además, la abertura del haz disminuye al aumentar la ganancia de la antena. La relación entre el área, la ganancia y el ancho de banda de la antena se ve en la fig. 1.17. Las antenas de microondas suelen tener aberturas de haz a mitad de potencia del orden de 1° o menos. Un haz angosto minimiza los efectos de la interferencia debida a fuentes externas y a antenas adyacentes. Sin embargo, para transmisión por la visual, como la que se usa en la radio de microondas un haz angosto impone varias limitaciones, como son estabilidad mecánica y desvanecimiento que pueden causar problemas en el alineamiento de la antena.

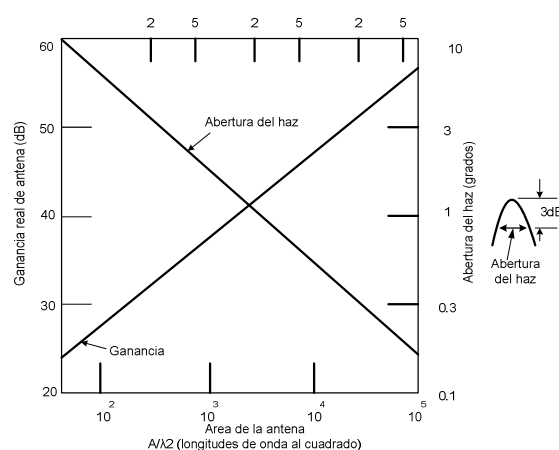


Figura 1.17 Relación entre la ganancia de potencia y la abertura del haz de una antena

Toda la energía electromagnética emitida por una antena de microondas no se irradia en la dirección del lóbulo principal; algo de ella se concentra en los lóbulos menores, llamados lóbulos laterales, que pueden ser fuentes de interferencia hacia o desde otras trayectorias de señal de microondas. La fig. 1.15 muestra la relación entre el haz principal y los lóbulos laterales, para una antena normal de microondas, como puede ser un reflector parabólico.

Las antenas de microondas tienen tres características importantes, que son la eficiencia direccional, acoplamiento lado a lado y acoplamiento espalda con

²¹ TOMASI WAYNE Capitulo 10 pág. 400

espalda. La eficiencia direccional, se define como la relación de su ganancia máxima en dirección delantera entre su ganancia máxima en dirección trasera. La eficiencia direccional en una instalación real puede ser menor a 20dB o más, que su valor aislado o de espacio libre, a causa de las reflexiones en el suelo del frente, de objetos en o cerca del lóbulo principal. La eficiencia direccional de una antena es crítica en el diseño de un sistema de radio, porque las antenas de transmisión y recepción, en las estaciones repetidoras, se ubican con frecuencia opuestas entre si, en la misma estructura.

Los acoplamientos lado a lado y espalda con espalda, en decibelios, la pérdida de acoplamiento entre antenas que conducen señales de salida de transmisión, y antenas cercanas que llevan señales de entrada de receptor. En forma típica, las potencias de salida de transmisión tienen una intensidad de 60dB o más que las potencias de recepción; en consecuencia, las pérdidas por acoplamiento deben ser altas, para evitar que una señal de transmisión de una antena interfiera con la señal de recepción de otra antena.

Las antenas muy direccionales se usan con los sistemas de microondas de punto a punto, o entre puntos fijos. Al enfocar la energía radioeléctrica en un haz angosto que se pueda dirigir hacia la antena receptora, la antena transmisora puede aumentar varios órdenes de magnitud la potencia efectiva irradiada, respecto a una antena no direccional. la antena receptora, en forma parecida a un telescopio, también puede aumentar la potencia efectiva recibida en una cantidad parecida. El tipo más común de antena de transmisión y recepción de microondas es el reflector parabólico.

1.3.5 ANTENA DE REFLECTOR PARABÓLICO²²

Las antenas de reflector parabólico proporcionan ganancias y directividades extremadamente altas, y son muy usadas en los enlaces de comunicaciones por radio y satélite. Una antena parabólica consiste en dos partes principales: un reflector parabólico y el elemento activo, llamado mecanismo de alimentación. En esencia, el mecanismo de alimentación encierra la antena primaria, que normalmente es un dipolo o una red de dipolos; la antena irradia

²² TOMASI WAYNE Capitulo 10 pág. 401

ondas electromagnéticas hacia el reflector. El reflector es un elemento pasivo, que tan solo refleja la energía que le llega del mecanismo de alimentación, la reflexión produce una emisión muy concentrada y muy direccional, en la que todas las ondas individuales están en fase entre sí y, por consiguiente, un frente de onda enfocado.

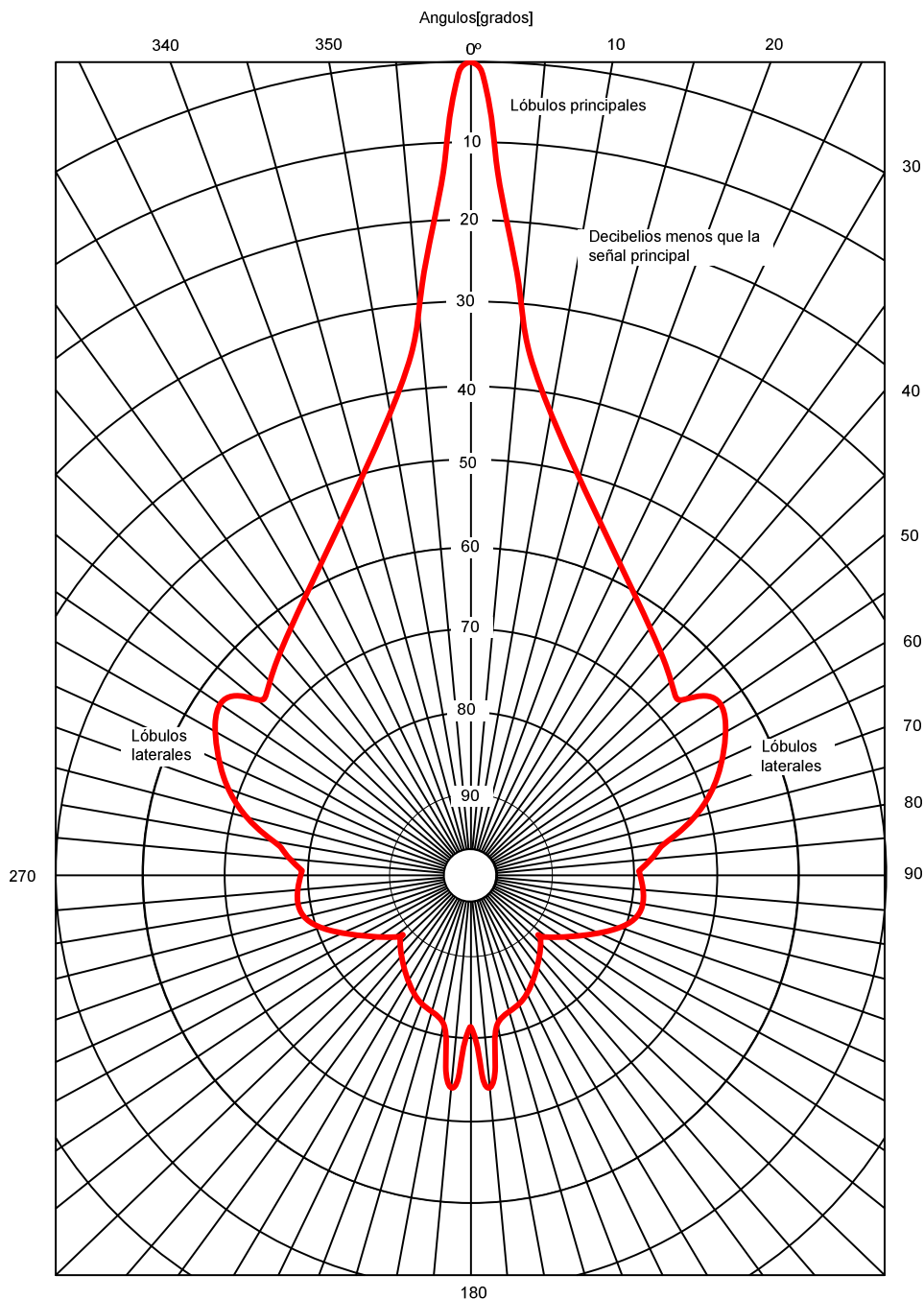


Figura 1.18 Haz principal y lóbulos laterales para una antena parabólica típica

1.3.6 MECANISMOS ALIMENTADORES²³

El mecanismo de alimentación en una antena parabólica es el que irradia, en realidad, la energía electromagnética, y por eso se llama antena primaria. Este mecanismo de alimentación es de importancia básica, porque su función es irradiar la energía hacia el reflector parabólico, sin tener efecto de sombra. En la práctica es imposible lograr lo anterior, aunque si se tiene cuidado al diseñarlo, la mayor parte de la energía se puede irradiar con la dirección adecuada, y se puede reducir la sombra al mínimo. Hay tres tipos principales de antenas: alimentación central, alimentación cónica, y alimentación Cassegrain.

1.3.6.1 Alimentación central²⁴

La figura 1.19 muestra un diagrama de un reflector paraboloides alimentado en el centro, con un reflector esférico adicional. La antena primaria se coloca en el foco. La energía irradiada hacia el reflector se refleja hacia afuera, en forma de un haz concentrado. Sin embargo, la energía que no refleja el paraboloides se reparte en todas direcciones, y tiene la tendencia a perturbar la distribución general de la radiación. El reflector esférico redirige esas emisiones, hacia atrás, al reflector parabólico, donde se vuelven a reflejar en la dirección correcta, aunque el reflector esférico adicional contribuye a concentrar más la energía en la dirección deseada, también tiene la tendencia de bloquear algunas de las reflexiones iniciales. En consecuencia la ventaja que logra se anula algo debido a su propio efecto de sombra, y su eficiencia general solo es un poco mejor que cuando no se agrega el reflector esférico.

²³ TOMASI WAYNE Capitulo 10 pág. 406

²⁴ TOMASI WAYNE Capitulo 10 pág. 407

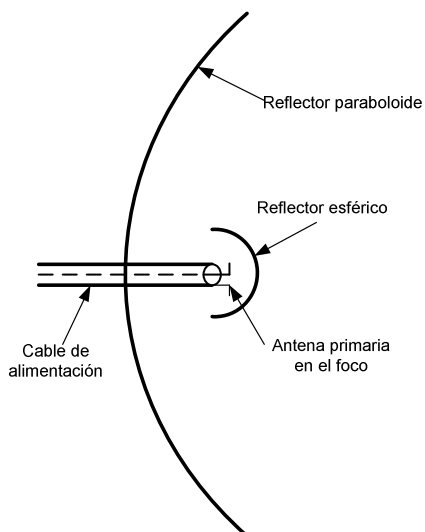


Figura 1.19 Antena con alimentación central

1.3.6.2 Alimentación por bocina

Con un mecanismo de alimentación por bocina, la antena primaria es una antena pequeña cónica, o de embudo, y no un dipolo simple o una red de dipolos. La bocina no es más que un material abocardado, hacia el reflector parabólico. Cuando un campo electromagnético que se propaga llega a la boca del cuerno, continúa propagándose en la misma dirección general, pero de acuerdo con el principio de Huygens, se reparte en dirección lateral y al final, el frente de onda se hace esférico. La estructura cónica puede tener varias formas diferentes: sectorial, piramidal o cónica. Como en la alimentación central, una alimentación cónica representa cierta obstrucción a las ondas que se reflejan del plato parabólico.

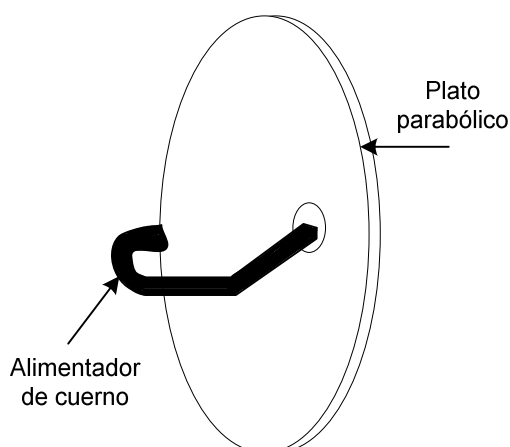


Figura 1.20 Antena parabólica con alimentador por cuerno

1.3.6.3 Alimentación de Cassegrain²⁵

Esta alimentación evolucionó de los telescopios astronómicos ópticos, la geometría de este reflector se muestra en la figura 1.21. La fuente de radiación primaria está en o justo atrás de una pequeña abertura en el vértice del paraboloide, y no en el foco. La antena primaria se apunta hacia un pequeño reflector secundario (subreflector Cassegrain) que está en el vértice y el foco.

Los rayos emitidos por la antena primaria se reflejan en el subreflector y a continuación iluminan el reflector parabólico principal, como si se hubieran originado en el foco. Los rayos son colimados por el reflector parabólico de la misma forma que los mecanismos de alimentación central y por bocina. El subreflector debe tener curvatura hiperbólica para reflejar los rayos de la antena primaria en tal forma que funcione como una fuente virtual en el foco del paraboloide

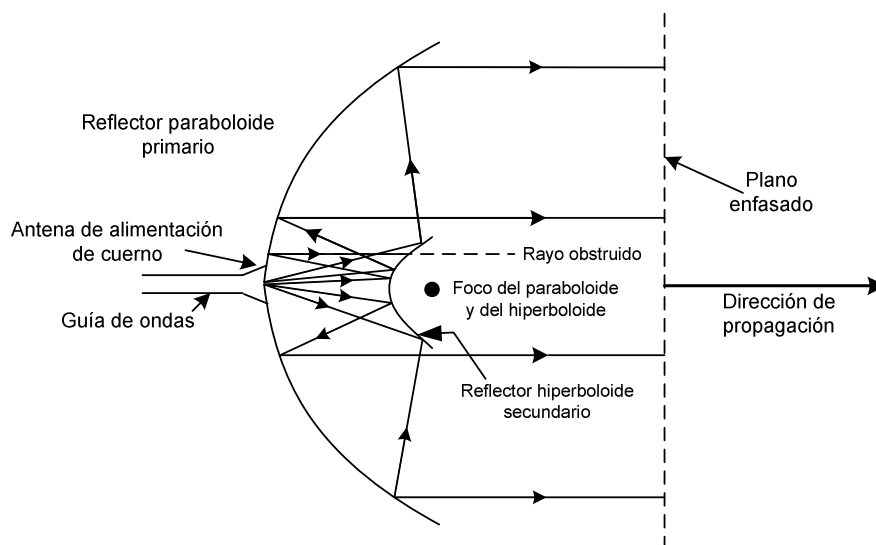


Figura 1.21 Alimentación de Cassegrain

1.4 COMUNICACIONES DIGITALES²⁶

En esencia, las comunicaciones electrónicas son la transmisión, recepción y procesamiento de la información usando circuitos electrónicos. La información se propaga a través de un sistema de comunicaciones en forma de símbolos que pueden ser analógicos, como la voz humana, la información de imágenes de

²⁵ TOMASI WAYNE Capitulo 10 pág. 407

²⁶ TOMASI WAYNE Capitulo 12 pág. 467

video; o la música; o bien pueden ser digitales, como los números codificados en un sistema binario, los códigos alfanuméricos, los símbolos gráficos, los códigos de operación de microprocesadores o la información de bases de datos. Sin embargo, y con mucha frecuencia, la información de la fuente no es adecuada para transmitir en su forma original y se debe convertir a una más adecuada antes de transmitirla. Por ejemplo con los sistemas digitales, la información analógica se convierte a una forma discreta antes de transmitirla, y con los sistemas de comunicación analógicos, los datos digitales se convierten en señales digitales antes de ser transmitidos.

Comunicaciones digitales es un término muy ambiguo que podría significar cosas diferentes a distintas personas. Los sistemas digitales de comunicación incluyen a aquellos en los que hay portadoras analógicas de frecuencia relativamente alta, que se modulan mediante señales de información digital de relativa baja frecuencia, y a los sistemas que manejan la transmisión de pulsos digitales.

La fig. 1.22 y 1.23 muestran diagramas simplificados de bloques de un sistema de transmisiones digitales y uno de radio digital. En el primero, la fuente de información puede estar en forma digital o analógica. Si están en forma analógica debe convertirse en pulsos digitales antes de la transmisión, y reconvertirse a la forma analógica en el extremo de recepción. En un sistema digital de radio, la señal moduladora de entrada y la señal desmodulada de salida son pulsos digitales. Estos se podrían originar en un sistema digital de transmisión, o en la fuente original digital, como puede ser una computadora central, o bien estar en la codificación binaria de una señal analógica.

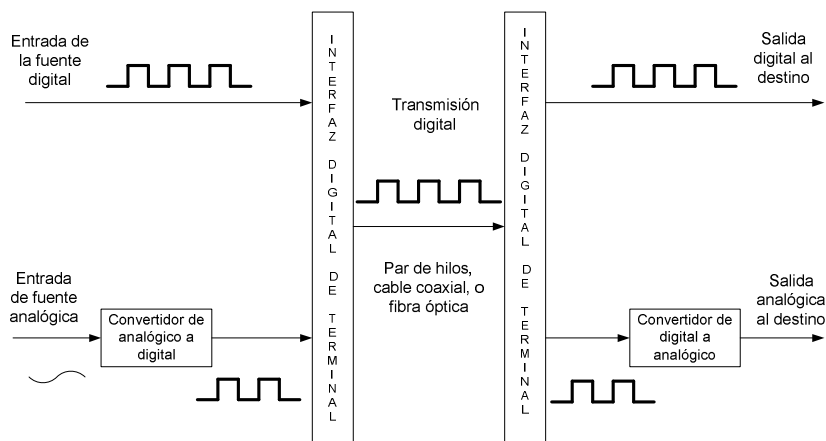


Figura 1.22 Transmisión digital

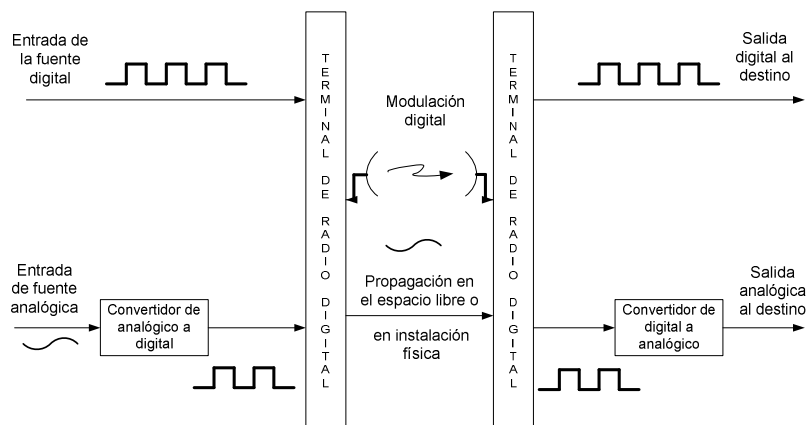


Figura 1.23 Radio digital

1.4.1 MODULACIÓN DIGITAL²⁷

1.4.1.1 Modulación digital de amplitud

Es la técnica de modulación más sencilla, no es más que modulación de amplitud con portadora completa y doble banda lateral.

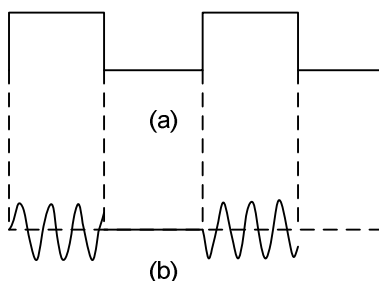


Figura 1.24 Modulación de amplitud

1.4.1.2 Modulación por desplazamiento de frecuencia

FSK (frequency-shift-keying) es otro tipo relativamente sencillo y de baja eficiencia de modulación digital. La FSK es una modulación de ángulo, de amplitud constante, parecido a la modulación convencional de frecuencia (FM), pero la señal moduladora es una señal binaria que varía entre dos valores discretos de voltaje, y no es una forma de onda analógica que cambie continuamente.

²⁷ TOMASI WAYNE Capitulo 12 págs. 470 - 471

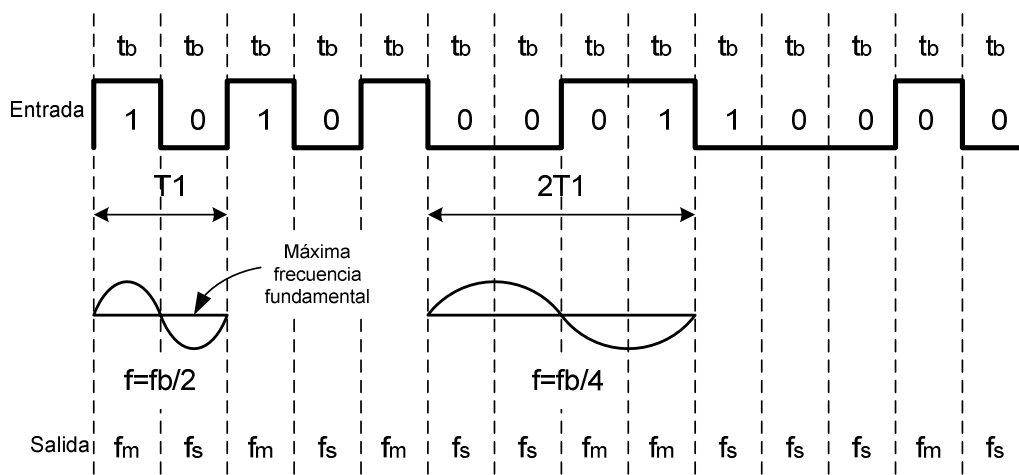


Figura 1.25 Modulación FSK

Con una FSK binaria, la señal binaria de entrada corre a la frecuencia de la portadora. Cuando la señal binaria de entrada cambia de un cero lógico a un uno lógico y viceversa la frecuencia de salida se desplaza entre dos frecuencias: frecuencia de marca, frecuencia de trabajo o frecuencia de 1 lógico y una frecuencia de espacio o de 0 lógico. Las frecuencias de marca y de espacio están separadas de la frecuencia de portadora por la desviación máxima de frecuencia. Sin embargo, es importante observar que las frecuencias de marca y de espacio se asignan de forma arbitraria, dependiendo del diseño del sistema.

1.4.1.3 Modulación por desplazamiento de fase²⁸

PSK (Phase-Shift-Keying) es otra forma de modulación digital angular de amplitud constante. Se parece a la modulación convencional de fase, excepto que en la PSK la señal de entrada es digital binaria, y es posible tener una cantidad limitada de fases de salida.

1.4.1.4 Modulación por desplazamiento binario de fase

BPSK (Binary Phase-Shift Keying) Consta de la modulación de desplazamiento de fase de 2 símbolos. También se la conoce como 2-PSK o PRK (Phase Reversal Keying).

Es la más sencilla de todas, puesto que solo emplea 2 símbolos, con 1 bit de información cada uno. Es también la que presenta mayor inmunidad al ruido,

²⁸ TOMASI WAYNE Capitulo 12 pág. 478

puesto que la diferencia entre símbolos es máxima (180°). Dichos símbolos suelen tener un valor de salto de fase de 0° para el 1 y 180° para el 0. En cambio, su velocidad de transmisión es la más baja de las modulaciones de fase.

La velocidad de transmisión de BPSK es baja, debido a que cada símbolo solo aporta un bit de información.

La tasa de errores de BPSK es baja, debido a su máxima separación entre saltos de fase.

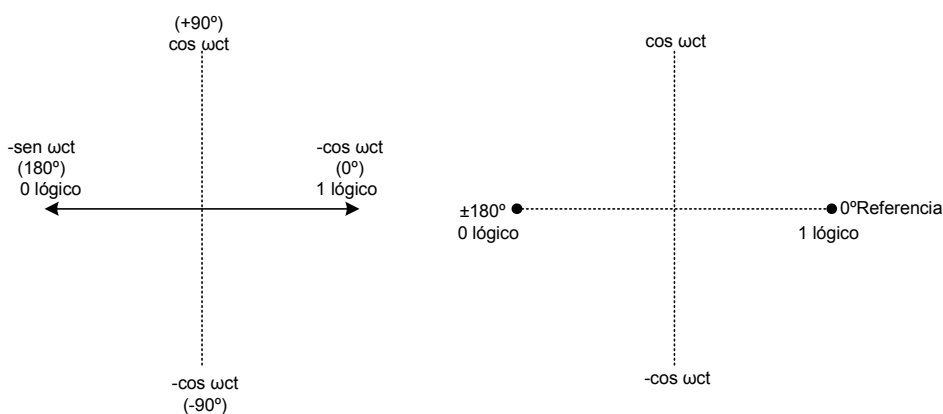


Figura 1.26 Diagrama fasorial y de constelación de un modulador BPSK

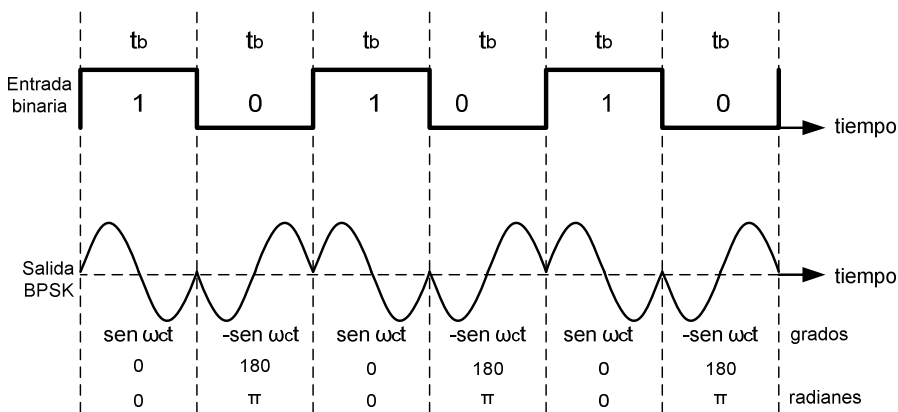


Figura 1.27 Relación de fase de salida en función del tiempo para modulador BPSK

1.4.1.5 Modulación por desplazamiento cuaternario de fase²⁹

QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying) 4-PSK Desplazamiento de fase de 4 símbolos, desplazados entre sí 90°. Normalmente se usan como valores de

²⁹ TOMASI WAYNE Capitulo 12 pág. 484

salto de fase 45° , 135° , 225° , y 315° . Cada símbolo aporta 2 bits. Suele dividirse el flujo de cada bit que forman los símbolos como I y Q.

El diagrama de constelación muestra 4 símbolos equiespaciados. La asignación de bits a cada símbolo suele hacerse mediante el código Gray, que consiste en que entre dos símbolos adyacentes los símbolos solo se diferencian en 1 bit. Esto se escoge así para minimizar la tasa de bits erróneos.

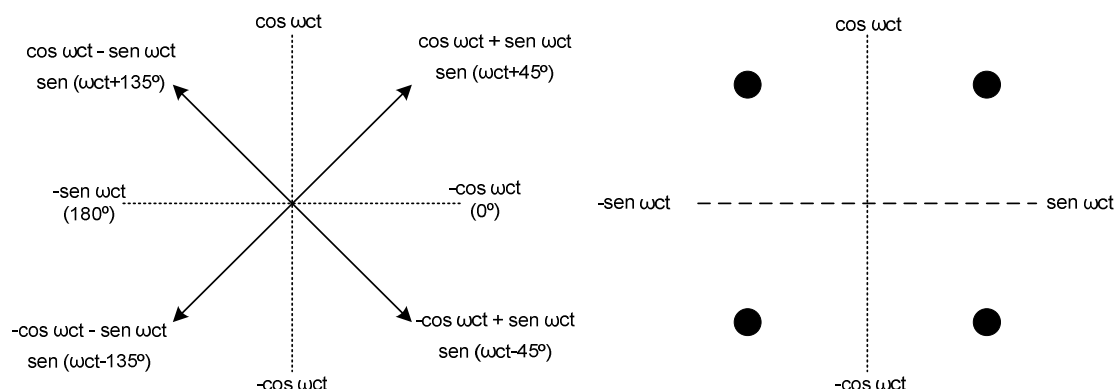


Figura 1.28 Diagrama fasorial y de constelación de un modulador QPSK

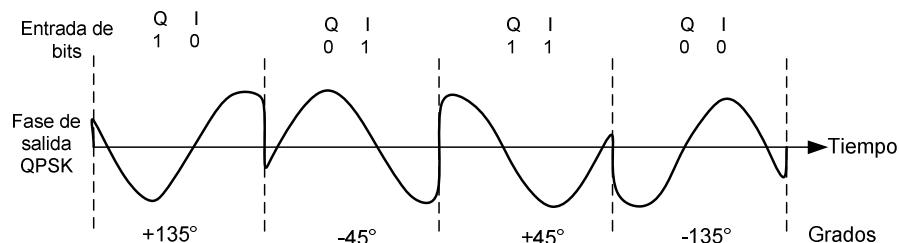


Figura 1.29 Salida en función del tiempo en un modulador QPSK

1.4.1.6 PSK de ocho fases³⁰

La PSK de 8 fases es una técnica de codificación M-aria en la que $M=8$. Con un modulador 8-PSK hay ocho fases posibles de salida. Para codificar ocho fases distintas se consideran los bits en grupos de tres.

³⁰ TOMASI WAYNE Capitulo 12 pág. 490

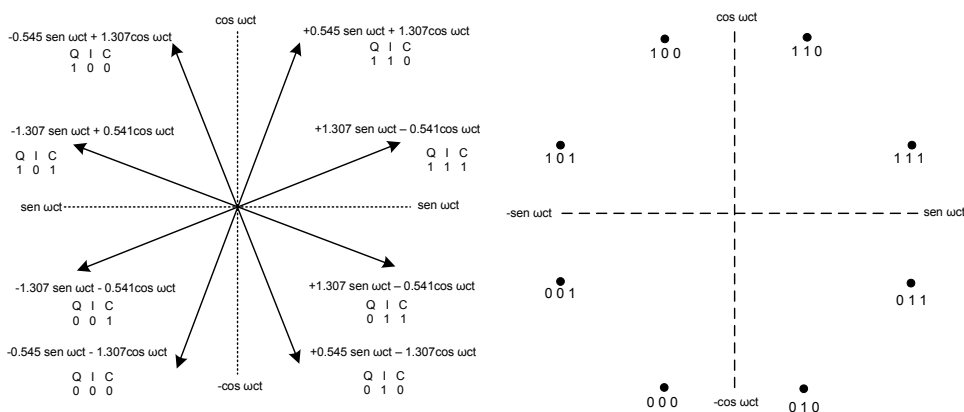


Figura 1.30 Diagrama fasorial y de constelación de un modulador 8-PSK

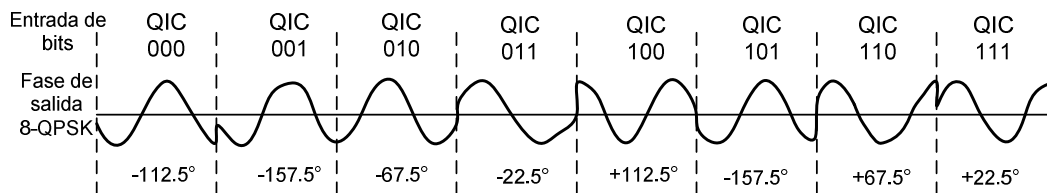


Figura 1.31 Fase de salida en función del tiempo, para un modulador 8-PSK

1.4.1.7 PSK de Dieciséis fases³¹

Codificación M-aria donde M=16, existen 16 fases posibles de salida. Éste modulador trabaja sobre los datos de entrada, en grupos de cuatro bits.

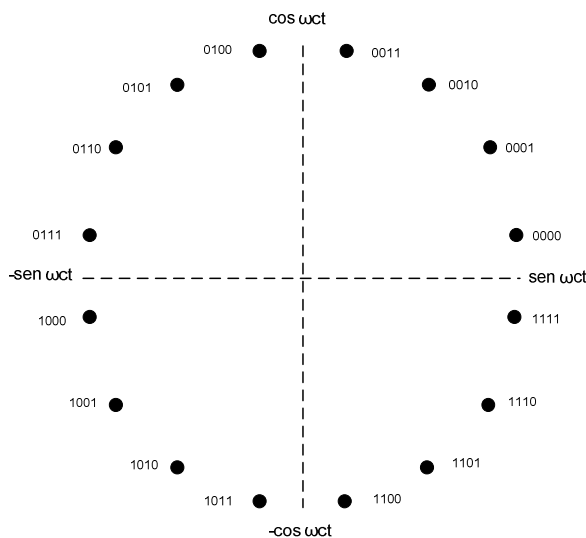


Figura 1.32 Diagrama de constelación de un modulador 16-PSK

³¹ TOMASI WAYNE Capitulo 12 pág. 496

1.4.1.8 Modulación de amplitud en cuadratura³²

QAM (Quadrature amplitude modulation) es una forma de modulación digital, donde la información digital está contenida tanto en la amplitud como en la fase.

La 8QAM es una técnica M-aria en la que $M=8$, a diferencia de 8PSK, la señal de salida de 8QAM no es una señal de amplitud constante, el transmisor trabaja con grupos de tres bits (tribits).

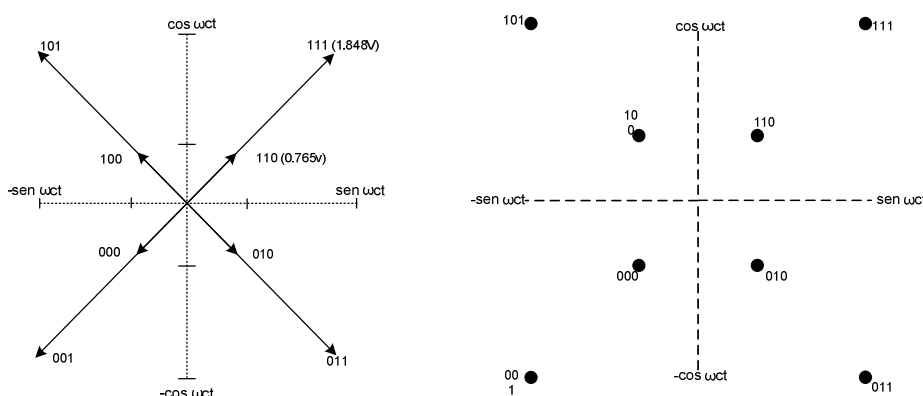


Figura 1.33 Diagrama fasorial y de constelación de un modulador 8-QAM

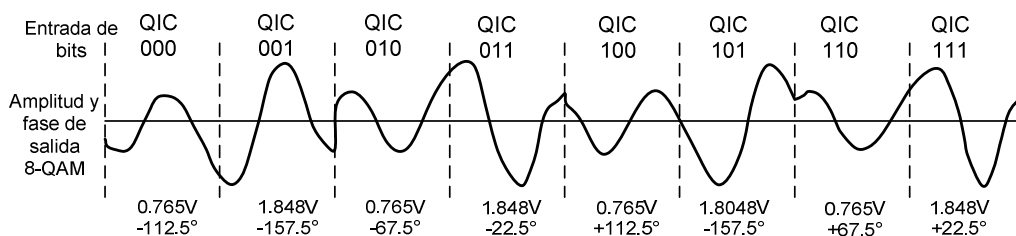


Figura 1.34 Fase y amplitud de salida en función del tiempo para modulación 8-QAM

1.4.1.9 Multiplexación OFDM³³

OFDM (Multiplexación por división de frecuencias ortogonales) es una forma de transmitir datos sobre un elevado número de portadoras (típicamente cientos o miles), de tal modo que la velocidad binaria sobre cada portadora sea muy inferior a la de la señal original. Esta circunstancia permite el envío de información de muy alta velocidad, evitando los límites de valores de relación

³² TOMASI WAYNE Capitulo 12 pág. 496

³³ FUNDAMENTOS DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Capítulo 3 págs. 139 - 142

señal a ruido muy elevadas en la señal: cada portadora necesita una relación señal a ruido relativamente pequeña para ser percibida correctamente. Adicionalmente prepararemos el conjunto para que los nueve símbolos, ahora más extendidos en el tiempo y por lo tanto más fácilmente detectables, se emitan todos a la vez.

La modulación OFDM no es una técnica que tenga sentido por sí misma, sino que cobra significado cuando se considera conjuntamente con otras modulaciones. Podríamos de hecho decir que las modulaciones OFDM son más un mecanismo de transporte o multiplexación de otras modulaciones digitales que se incorporan en cada una de las portadoras OFDM.

En efecto la modulación OFDM puede ser considerada por tanto, más una multiplexación que una modulación, en tanto que se basa en transmitir simultáneamente portadoras moduladas a su vez por cualquier otra modulación digital (BPSK, QPSK, QAM...). Cada portadora transporta señales de velocidad inferior a la principal, y por tanto más robustas (símbolos de mayor duración) a los efectos del canal de comunicaciones.

Normalmente se realiza la multiplexación OFDM tras pasar la señal por un codificador de canal con el objetivo de corregir los errores producidos en la transmisión, entonces esta modulación se denomina COFDM, del inglés Coded OFDM.

En lo que aspectos de frecuencia se refiere, el espaciado de las portadoras es un aspecto que se debe cuidar con mucha atención en este montaje. Se debe elegir el espaciado entre portadoras para asegurar la ortogonalidad de las mismas, es decir, que la demodulación de una no se vea limitada por la detección de otra. El espaciado frecuencial es igual a la inversa de la duración en que el receptor analizará la señal, lo que se denomina el periodo *de símbolo activo*. De hecho las portadoras OFDM suelen tener un cierto solapamiento que no impide su correcta detección sin más que conservar la ortogonalidad entre las portadoras. De este modo aumentaremos la eficiencia espectral conservando a cero la interferencia entre canales si somos capaces de mantener la ortogonalidad.

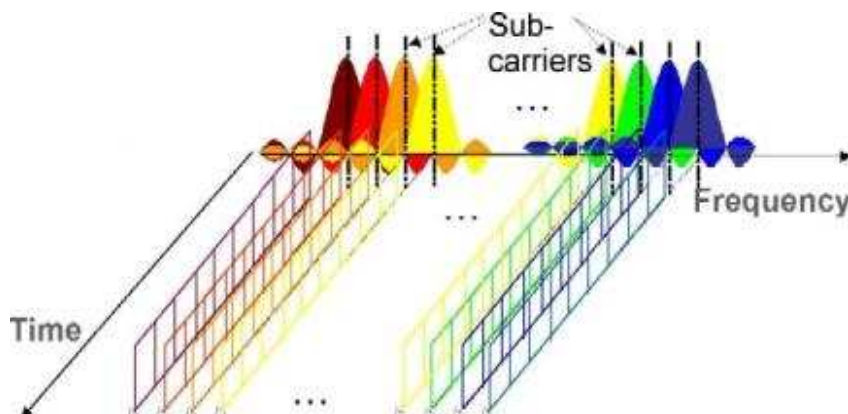


Figura 1.35 Multiplexación OFDM en el dominio de la frecuencia y el tiempo

Respecto a los aspectos temporales de la modulación, un refinamiento adicional de la multiplexación que nos ocupa es el intervalo de guarda. Cada símbolo de la modulación se transmite en un periodo de tiempo superior al que estrictamente se le asignaría. Con ello conseguimos que la señal no experimente interferencias entre símbolos con tal que la diferencia temporal entre las señales recibidas no exceda este intervalo de guarda.

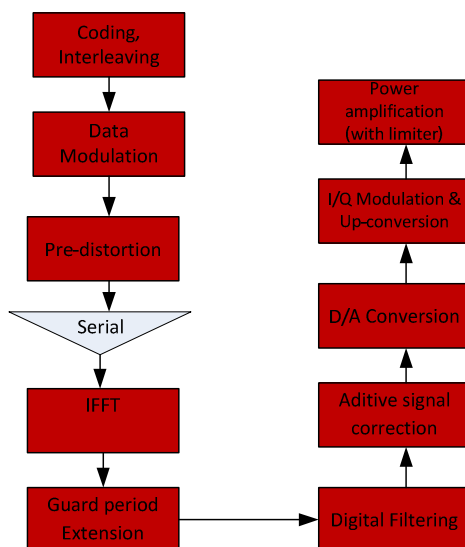


Figura 1.36 Diagrama de bloques de un transmisor OFDM

La modulación y demodulación de señales OFDM es hoy en día barata y sencilla por medio del tratamiento digital de la señal. Una de las principales ventajas de la modulación OFDM es su tolerancia al multitrayecto. En concreto, la dispersión del retardo por multitrayecto, que puede conducir a interferencia entre símbolos, será superada con tal de que tengamos intervalos temporales de guarda suficientes en los símbolos.

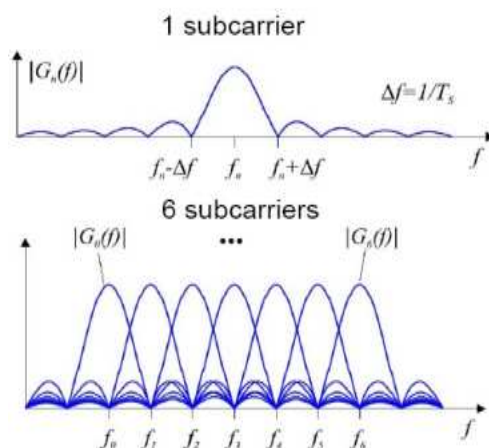


Figura 1.37 Subportadoras OFDM en el dominio de la frecuencia

1.4.1.10 Eficiencia de ancho de banda

La eficiencia de ancho de banda, o densidad de información, como a veces se le llama, se usa con frecuencia para comparar el funcionamiento de dos técnicas de modulación digital. En esencia es la relación de rapidez de transmisión de bits entre el ancho de banda mínimo necesario para determinado esquema de modulación. En general, la eficiencia de ancho de banda se normaliza a un ancho de banda de 1 Hz y en consecuencia indica la cantidad de bits que se pueden propagar a través de un medio, por cada Hertz de ancho de banda. La definición de matemática del ancho de banda es

$$\begin{aligned} \text{Eficiencia AB} &= \frac{\text{rapidez de transmisión (bps)}}{\text{ancho mínimo de banda (Hz)}} \\ &= \frac{\text{bits/segundo}}{\text{hertz}} = \frac{\text{bits/segundo}}{\text{ciclos/segundo}} = \frac{\text{bits}}{\text{ciclo}} \end{aligned}$$

Modulación	Codificación	Ancho de banda (Hz)	Baudios	Eficiencia de ancho de banda (bps/Hz)
FSK	Un bit	$\geq f_b$	f_b	≤ 1
BPSK	Un bit	f_b	f_b	1
QPSK	Dibit	$f_b / 2$	$f_b / 2$	2
8-PSK	Tribit	$f_b / 3$	$f_b / 3$	3
8-QAM	Tribit	$f_b / 3$	$f_b / 3$	3
16-PSK	Cuadribit	$f_b / 4$	$f_b / 4$	4
16-QAM	Cuadribit	$f_b / 4$	$f_b / 4$	4

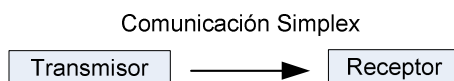
Tabla 1.2 Resumen de la modulación digital

1.4.1.11 Modos de Transmisión

En esencia hay cuatro modos de transmisión para circuitos de comunicaciones: simplex, half dúplex, dúplex y full dúplex.

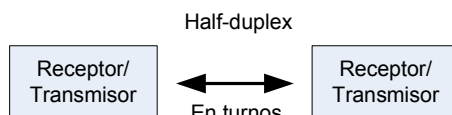
1.4.1.11.1 Simplex

En el funcionamiento simplex la transmisión de datos es unidireccional; solo se puede enviar información en una dirección. Las líneas simplex también se llaman solo de recepción, solo de transmisión o solo en un sentido. Los sistemas comerciales de televisión son ejemplos de comunicación simplex.



1.4.1.11.2 Half dúplex

La transmisión de datos es posible en ambas direcciones, pero no al mismo tiempo. Las líneas half dúplex también se llaman de dos sentidos alternas, o líneas de uno de dos sentidos. La radio de banda civil, es ejemplo de modo half dúplex.



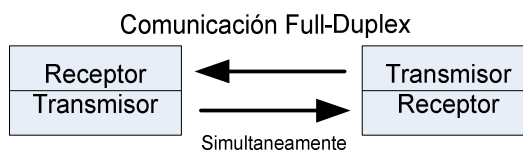
1.4.1.11.3 Dúplex

En el modo dúplex, las transmisiones se hacen en forma simultánea en ambas direcciones, pero deben ser entre las mismas dos estaciones. También se llaman de dos sentidos simultáneos, o en ambos sentidos.



1.4.1.11.4 Full dúplex

En este modo es posible la transmisión en ambas direcciones al mismo tiempo, pero no entre las dos estaciones, es decir, una estación transmite a una segunda y recibe al mismo tiempo de una tercera estación. Este modo solo es posible en circuitos de varios puntos.



1.5 EQUIPOS DE RADIO CON SOPORTE TCP

Existe gran variedad de equipos de radio con características adecuadas para la transmisión de tráfico TCP y además con la capacidad Backhaul, es decir; un ancho de banda suficiente para la conexión entre nodos (redes), a continuación se describirán las características de los equipos cuyas marcas son con las que la empresa Ecuonline S.A. ha trabajado a lo largo de varios años de servicio y por consiguiente tiene conocimiento sobre su desempeño.

1.5.1 RAD DATA COMMUNICATIONS³⁴

RAD ofrece equipos de gran ancho de banda para conectividad Punto-Punto soportando servicios E1, T1 y Ethernet en enlaces de gran distancia. Tiene capacidad hasta 18 MBps en modo full dúplex y con un alcance hasta de 80 Km con línea de vista.

1.5.1.1 Características principales

Capacidad: LOS (OFDM)

Banda de frecuencia: 5470 – 5725, 5725 - 5850 MHz (TDD)

Tamaño de canal: 20 MHz

Taza de transferencia: Hasta 18 Mbps Ethernet

Max potencia de transmisión: 8 dBm mod: F58EXT 23dBm mod: HE/F54HPEXT

Umbral de recepción: -84 dBm @ 12 Mbps QPSK (BER of 1x10e-9)

³⁴ Tomado del Manual del Usuario RAD DATA COMMUNICATIONS, versión en Inglés

Atributos de red: Bridge transparente
 Modulación: BPSK, 16QAM, 64QAM, OFDM
 Control de canal: DFS, ETSI
 Rango: hasta 80 km (LOS)
 Conexiones de red: 10/100 Ethernet (RJ-45)
 Configuración de equipo: SNMP, TELNET
 Administración: SNMP propietario
 Consumo: 110-240 VAC 50/60 Hz, 48 VDC



Figura 1.38 Equipo Airmux, izquierda transceiver, derecha unidad interior

1.5.2 REDLINE COMMUNICATIONS

Este proveedor de equipos de telecomunicaciones presenta modelos dedicados al transporte de datos para empresas de comunicaciones.

1.5.2.1 REDCONEX AN-30e³⁵

Es un equipo con capacidad enfocada en los proveedores de servicios para interconexión de nodos (redes), trabaja en las bandas libres de 5,4 y 5,8 GHz. Este equipo brinda la interconexión a gran distancia, aproximadamente 80 Km en línea de vista, soportando un alto throughput en tráfico IP y TDM.

1.5.2.1.1 Características.

Capacidad: LOS, and optical-LOS (OFDM)
 Banda de frecuencia: 5.470-5.850 GHz TDD

³⁵ Tomado de Redline User Manual

Tamaño de canal: 20 MHz (5 MHz pasos)
 Taza de transferencia: Hasta 44 Mbps Ethernet
 Max potencia de transmisión: 20 dBm (de acuerdo a regulación local)
 Umbral de recepción: -86 dBm @ 6 Mbps (BER of 1x10e-9)
 Atributos de red: Bridge transparente
 Modulación: BPSK a 64 QAM
 Control dinámico de canal: DFS, ATPC
 MAC: PTP, concatenation, ARQ
 Rango: Mayor a 80 km LOS @ 48 dBm EIRP
 Conexiones de red: 10/100 Ethernet (RJ-45)
 Configuración de equipo: HTTP (Web) interface, SNMP, CLI, consola (RS-232)
 Administración: SNMP: Standard/proprietary MIBs
 Poder: 110-240 VAC 50/60 Hz, 18-72 VDC dual

1.5.2.2 **REDCONNEX AN-50e**

Es un equipo de gran desempeño, diseñado para el mercado de portadores y proveedores de servicio, también opera en las bandas libres de 5,4 y 5,8 GHz, el modelo incorpora tecnología OFDM para mejor desempeño, hasta 49 MBps de taza Ethernet. Enlaces por sobre los 80 Km en línea de vista, soportando condiciones climáticas adversas. El equipo soporta los modos Punto-Punto y Punto-Multipunto.

1.5.2.2.1 Características.

Capacidad: LOS, optical-LOS, and non-LOS (OFDM)
 Banda de frecuencias: 5.470-5.850 GHz, TDD
 Tamaño de canal: 20 MHz (5 MHz paso)
 Taza de transmisión: Up to 49 Mbps Ethernet rate
 Potencia de transmisión máx.: 20 dBm (depende de región)
 Umbral de recepción: -86 dBm @ 6 Mbps (BER of 1x10e-9)
 Atributos de red: Bridge transparente
 Modulación: BPSK a 64 QAM (bidirectional dynamic adaptive)

Control dinámico de canal: DFS, ATPC
 MAC: PTP, PMP, concatenation/
 Rango: Superior a 80 km (LOS) @ 48 dBm EIRP
 Conexión de red: 10/100 Ethernet (RJ-45)
 Configuración: HTTP (Web), SNMP, CLI, consola (RS-232)
 Administración: SNMP: standard/proprietary MIBs
 Consumo: 110-240 VAC 50/60 Hz, 18-72 VDC, dual



Figura 1.39 Redline AN-50e, Terminal y Transceiver

1.5.3 ALVARION BREEZE NET B PTP³⁶

Alvarion también presenta una gama de equipos para aplicaciones Punto-Punto, capaz de soportar hasta 250 MBps, pudiendo así ser utilizado para interconectar redes de portadores o proveedores de servicios. Las características son tomadas del equipo de mayores prestaciones.

1.5.3.1 Características principales

Capacidad: LOS, and optical-LOS (OFDM)
 Banda de frecuencia: 5.470-5.850 GHz TDD
 Tamaño de canal: 20 MHz (5 MHz paso)
 Taza de transferencia: Hasta 44 Mbps Ethernet
 Max potencia de transmisión: 20 dBm (de acuerdo a regulación local)
 Umbral de recepción: -86 dBm @ 6 Mbps (BER of 1x10e-9)

³⁶ Tomado de Alvarion BreezeNET Brochure

Atributos de red: Bridge transparente

Modulación: BPSK a 64 QAM

Control dinámico de canal: DFS, ATPC

MAC: PTP, concatenation, ARQ

Rango: Mayor a 80 km LOS @ 48 dBm EIRP

Conexiones de red: 10/100 Ethernet (RJ-45)

Configuración de equipo: HTTP (Web) interface, SNMP, CLI, consola (RS-232)

Administración: SNMP: Standard/proprietary MIBs

Consumo: 110-240 VAC 50/60 Hz, 18-72 VDC dual



Figura 1.40 Breezenet B300

1.6 REDES DE COMPUTADORAS CONCEPTOS BÁSICOS

Una red de computadoras, también llamada red de ordenadores o red informática, es un conjunto de equipos (computadoras y/o dispositivos) conectados por medio de cables, señales, ondas o cualquier otro método de transporte de datos, que comparten información (archivos), recursos (CD-ROM, impresoras, etc.), servicios (acceso a internet, e-mail, chat, juegos), etc.

Una red de comunicaciones es un conjunto de medios técnicos que permiten la comunicación a distancia entre equipos autónomos (no jerárquica - master/slave-). Normalmente se trata de transmitir datos, audio y vídeo por ondas electromagnéticas a través de diversos medios (aire, vacío, cable de cobre, fibra óptica, etc.).

Para simplificar la comunicación entre programas (aplicaciones) de distintos equipos, se definió el Modelo OSI por la ISO, el cual especifica 7 distintas capas de abstracción. Con ello, cada capa desarrolla una función específica con un alcance definido.

Debe notarse que el concepto de red es independiente de la cantidad de enlaces que comprende.

1.6.1 TIPOS DE REDES³⁷

1.6.1.1 Red de área personal (PAN)

(Personal Area Network) es una red de ordenadores usada para la comunicación entre los dispositivos de la computadora (teléfonos incluyendo las ayudantes digitales personales) cerca de una persona. Los dispositivos pueden o no pertenecer a la persona en cuestión. El alcance de una PAN es típicamente algunos metros. Las PAN se pueden utilizar para la comunicación entre los dispositivos personales de ellos mismos (comunicación intrapersonal), o para conectar con una red de alto nivel y el Internet (un up link). Las redes personales se pueden conectar con cables con los buses de la computadora tales como USB y FireWire. Una red personal sin cables (WPAN) se puede también hacer posible con tecnologías de red tales como IrDA y Bluetooth.



Figura 1.41 Red de área personal

1.6.1.2 Red de área local (LAN)

Una red que se limita a un área especial relativamente pequeña tal como un cuarto, un solo edificio, una nave, o un avión. Para los propósitos

³⁷ <http://www.dednet.net/institucion/itba/cursos/000183/demo/biblioteca/121redesUTN.pdf>

administrativos, LANs grandes se divide generalmente en segmentos lógicos más pequeños llamados los Workgroups. Un Workgroups es un grupo de las computadoras que comparten un sistema común de recursos dentro de una LAN.

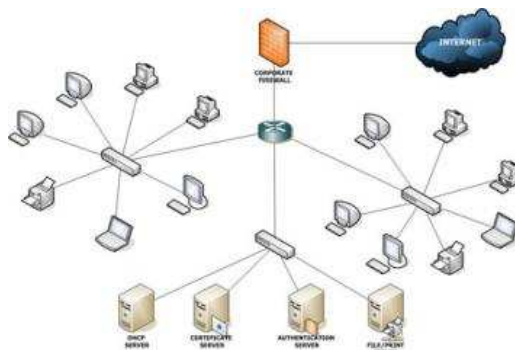


Figura 1.42 Red de área local

1.6.1.3 Red de área del campus (CAN)

Se deriva a una red que conecta dos o más LANs los cuales deben estar conectados en un área geográfica específica tal como un campus de universidad, un complejo industrial o una base militar.

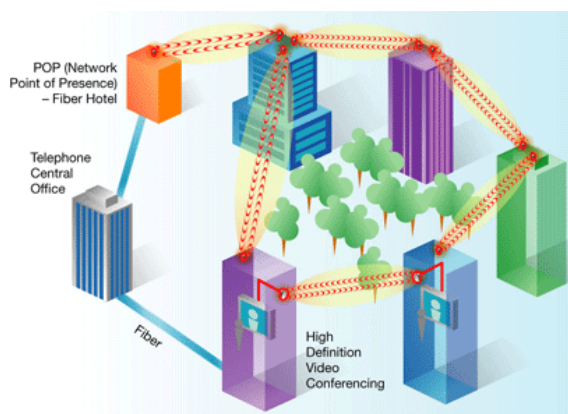


Figura 1.43 Red de área del campus

1.6.1.4 Red de área metropolitana (MAN)

Una red que conecta las redes de un área dos o más locales juntos pero no se extiende más allá de los límites de la ciudad inmediata, o del área

metropolitana. Los enrutadores (routers) múltiples, y los switches están conectados para crear a una MAN.



Figura 1.44 Red de área metropolitana

1.6.1.5 Red de área amplia (WAN)

Es una red de comunicaciones de datos que cubre un área geográfica relativamente amplia y que utiliza a menudo las instalaciones de transmisión proporcionadas por los portadores comunes, tales como compañías del teléfono. Las tecnologías WAN funcionan generalmente en las tres capas más bajas del Modelo de referencia OSI: la capa física, la capa de enlace de datos, y la capa de red.

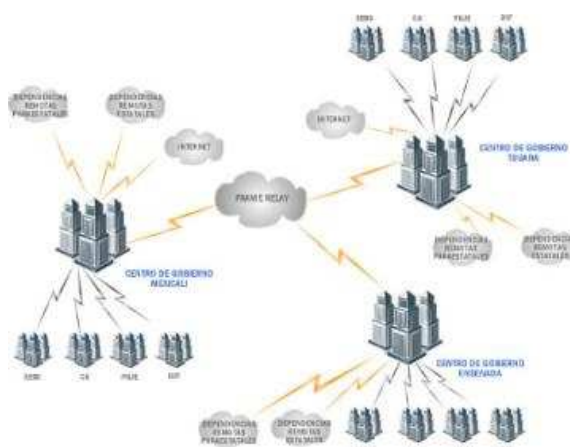


Figura 1.45 Red de área amplia

1.6.2 TOPOLOGÍA

Define como están conectadas computadoras, impresoras, dispositivos de red y otros dispositivos. En otras palabras, una topología de red describe la disposición de los cables y los dispositivos, así como las rutas utilizadas para las

transmisiones de datos. La topología influye enormemente en el funcionamiento de la red.

Las topologías son las siguientes: bus, anillo o doble anillo, estrella, estrella extendida, jerárquica y malla.

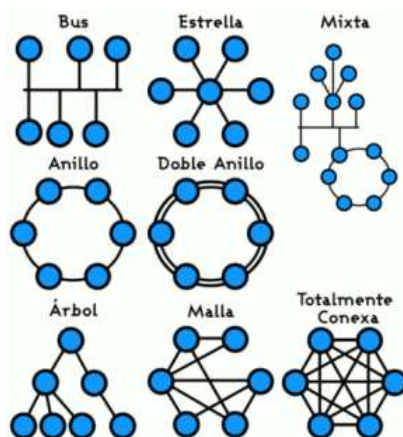


Figura 1.46 Varios tipos de topologías

1.6.3 MODELO OSI³⁸

El modelo de referencia de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI, Open System Interconnection) fue el modelo de red descriptivo creado por la Organización Internacional para la Estandarización lanzado en 1984. Es decir, fue un marco de referencia para la definición de arquitecturas de interconexión de sistemas de comunicaciones.

1.6.3.1 Capa Física (Capa 1)

La Capa Física del modelo de referencia OSI es la que se encarga de las conexiones físicas de la computadora hacia la red, tanto en lo que se refiere al medio físico (medios guiados: cable coaxial, cable de par trenzado, fibra óptica y otros tipos de cables; medios no guiados: radio, infrarrojos, microondas, láser y otras redes inalámbricas); características del medio (p.e. tipo de cable o calidad del mismo; tipo de conectores normalizados o en su caso tipo de antena; etc.) y la forma en la que se transmite la información (codificación de señal, niveles de tensión/intensidad de corriente eléctrica, modulación, tasa binaria, etc.)

³⁸ http://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_OSI

Es la encargada de transmitir los bits de información a través del medio utilizado para la transmisión. Se ocupa de las propiedades físicas y características eléctricas de los diversos componentes; de la velocidad de transmisión, si ésta es uni o bidireccional (símplex, dúplex o full-dúplex). También de aspectos mecánicos de las conexiones y terminales, incluyendo la interpretación de las señales eléctricas/electromagnéticas.

Sus principales funciones se pueden resumir como:

Definir el medio o medios físicos por los que va a viajar la comunicación: cable de pares trenzados (o no, como en RS232/EIA232), coaxial, guías de onda, aire, fibra óptica.

Definir las características materiales (componentes y conectores mecánicos) y eléctricas (niveles de tensión) que se van a usar en la transmisión de los datos por los medios físicos.

Definir las características funcionales de la interfaz (establecimiento, mantenimiento y liberación del enlace físico).

Transmitir el flujo de bits a través del medio.

Manejar las señales eléctricas/electromagnéticas

Especificar cables, conectores y componentes de interfaz con el medio de transmisión, polos en un enchufe, etc.

Garantizar la conexión.

1.6.3.2 Capa de enlace de datos (Capa 2)

Cualquier medio de transmisión debe ser capaz de proporcionar una transmisión sin errores, es decir, un tránsito de datos fiable a través de un enlace físico. Debe crear y reconocer los límites de las tramas, así como resolver los problemas derivados del deterioro, pérdida o duplicidad de las tramas. También puede incluir algún mecanismo de regulación del tráfico que evite la saturación de un receptor que sea más lento que el emisor.

La capa de enlace de datos se ocupa del direccionamiento físico, de la topología de la red, del acceso a la red, de la notificación de errores, de la distribución ordenada de tramas y del control del flujo.

Se hace un direccionamiento de los datos en la red ya sea en la distribución adecuada desde un emisor a un receptor, la notificación de errores,

de la topología de la red de cualquier tipo. La tarjeta NIC que se encarga de que tengamos conexión, posee una dirección MAC (control de acceso al medio) y la LLC (control de enlace lógico).

Los Switches realizan su función en esta capa siempre y cuando este encendido el nodo.

1.6.3.3 **Capa de red (Capa 3)**

El objetivo de la capa de red es hacer que los datos lleguen desde el origen al destino, aun cuando ambos no estén conectados directamente. Los dispositivos que facilitan tal tarea se denominan en routers.

Adicionalmente la capa de red lleva un control de la congestión de red, que es el fenómeno que se produce cuando una saturación de un nodo tira abajo toda la red. La PDU (Unidad de Datos del Protocolo) de la capa 3 es el paquete.

Los routers trabajan en esta capa, aunque pueden actuar como switch de nivel 2 en determinados casos, dependiendo de la función que se le asigne. Los firewalls actúan sobre esta capa principalmente, para descartar direcciones de máquinas.

En este nivel se realiza el direccionamiento lógico y la determinación de la ruta de los datos hasta su receptor final.

1.6.3.4 **Capa de transporte (Capa 4)**

Su función básica es aceptar los datos enviados por las capas superiores, dividirlos en pequeñas partes si es necesario, y pasarlos a la capa de red. En el caso del modelo OSI, también se asegura que lleguen correctamente al otro lado de la comunicación. Otra característica a destacar es que debe aislar a las capas superiores de las distintas posibles implementaciones de tecnologías de red en las capas inferiores, lo que la convierte en el corazón de la comunicación. En esta capa se proveen servicios de conexión para la capa de sesión que serán utilizados finalmente por los usuarios de la red al enviar y recibir paquetes. Estos servicios estarán asociados al tipo de comunicación empleada, la cual puede ser diferente según el requerimiento que se le haga a la capa de transporte. Por

ejemplo, la comunicación puede ser manejada para que los paquetes sean entregados en el orden exacto en que se enviaron, asegurando una comunicación punto a punto libre de errores, o sin tener en cuenta el orden de envío. Una de las dos modalidades debe establecerse antes de comenzar la comunicación para que una sesión determinada envíe paquetes, y ése será el tipo de servicio brindado por la capa de transporte hasta que la sesión finalice. De la explicación del funcionamiento de esta capa se desprende que no está tan encadenada a capas inferiores como en el caso de las capas 1 a 3, sino que el servicio a prestar se determina cada vez que una sesión desea establecer una comunicación. Todo el servicio que presta la capa está gestionado por las cabeceras que agrega al paquete a transmitir.

En resumen, podemos definir a la capa de transporte como:

Capa encargada de efectuar el transporte de los datos (que se encuentran dentro del paquete) de la máquina origen a la de destino, independizándolo del tipo de red física que se esté utilizando. La PDU de la capa 4 se llama Segmentos. Sus protocolos son TCP y UDP el primero orientado a conexión y el otro sin conexión.

1.6.3.5 Capa de sesión (Capa 5)

Esta capa es la que se encarga de mantener y controlar el dialogo establecido entre los dos computadores que están transmitiendo datos de cualquier índole. Ofrece varios servicios que son cruciales para la comunicación, como son:

Control de la sesión a establecer entre el emisor y el receptor (quién transmite, quién escucha y seguimiento de ésta).

Mantener puntos de verificación, que sirven para que, ante una interrupción de transmisión por cualquier causa, la misma se pueda reanudar desde el último punto de verificación en lugar de repetirla desde el principio.

Por lo tanto, el servicio provisto por esta capa es la capacidad de asegurar que, dada una sesión establecida entre dos máquinas, la misma se pueda efectuar para las operaciones definidas de principio a fin, reanudándolas en caso de interrupción. En muchos casos, los servicios de la capa de sesión son parcial o totalmente prescindibles.

En conclusión esta capa es la que se encarga de mantener el enlace entre los dos computadores que estén transmitiendo datos de cualquier índole.

1.6.3.6 Capa de presentación (Capa 6)

El objetivo de la capa de presentación es encargarse de la representación de la información, de manera que aunque distintos equipos puedan tener diferentes representaciones internas de caracteres (ASCII, Unicode, EBCDIC), números, sonido o imágenes, los datos lleguen de manera reconocible.

Esta capa es la primera en trabajar más el contenido de la comunicación que el cómo se establece la misma. En ella se tratan aspectos tales como la semántica y la sintaxis de los datos transmitidos, ya que distintas computadoras pueden tener diferentes formas de manejarlas.

Esta capa también permite cifrar los datos y comprimirlos. En pocas palabras es un traductor.

1.6.3.7 Capa de aplicación (Capa 7)

Ofrece a las aplicaciones (de usuario o no) la posibilidad de acceder a los servicios de las demás capas y define los protocolos que utilizan las aplicaciones para intercambiar datos, como correo electrónico (POP y SMTP), gestores de bases de datos y servidor de ficheros (FTP). Hay tantos protocolos como aplicaciones distintas y puesto que continuamente se desarrollan nuevas aplicaciones el número de protocolos crece sin parar.

1.6.4 MODELO TCP/IP³⁹

El TCP/IP es la base de Internet, y sirve para comunicar todo tipo de dispositivos, computadoras que utilizan diferentes sistemas operativos, minicomputadoras y computadoras centrales sobre redes de área local (LAN) y área extensa (WAN). TCP/IP fue desarrollado y demostrado por primera vez en 1972 por el departamento de defensa de los Estados Unidos, ejecutándolo en ARPANET, una red de área extensa del departamento de defensa.

³⁹ <http://www.alfinal.com/Temas/tcpip.php>

El modelo TCP/IP está compuesto por cuatro capas o niveles, cada nivel se encarga de determinados aspectos de la comunicación y a su vez brinda un servicio específico a la capa superior.

Algunas de las capas del modelo TCP/IP poseen el mismo nombre que las capas del *modelo OSI*. Resulta fundamental no confundir las funciones de las capas de los dos modelos ya que si bien tienen aspectos en común, estas desempeñan diferentes funciones en cada modelo.

Estas capas son:

1.6.4.1 **Capa de Acceso de Red**

También denominada capa de host de red. Esta es la capa que maneja todos los aspectos que un paquete IP requiere para efectuar un enlace físico real con los medios de la red. Esta capa incluye los detalles de la tecnología LAN y WAN y todos los detalles de las capas físicas y de enlace de datos del modelo OSI.

Los controladores para las aplicaciones de software, las tarjetas de módem y otros dispositivos operan en la capa de acceso de red. La capa de acceso de red define los procedimientos para realizar la interfaz con el hardware de la red y para tener acceso al medio de transmisión. Los estándares del protocolo de los módems tales como el Protocolo Internet de enlace serial (SLIP) y el Protocolo de punta a punta (PPP) brindan acceso a la red a través de una conexión por módem. Debido a un intrincado juego entre las especificaciones del hardware, el software y los medios de transmisión, existen muchos protocolos que operan en esta capa. Esto puede generar confusión en los usuarios. La mayoría de los protocolos reconocibles operan en las capas de transporte y de Internet del modelo TCP/IP.

Son funciones de esta capa: la asignación de direcciones IP a las direcciones físicas, el encapsulamiento de los paquetes IP en tramas. Basándose en el tipo de hardware y la interfaz de la red, la capa de acceso de red definirá la conexión con los medios físicos de la misma.

1.6.4.2 Capa de Internet

Esta capa tiene como propósito seleccionar la mejor ruta para enviar paquetes por la red. El protocolo principal que funciona en esta capa es el Protocolo de Internet (IP). La determinación de la mejor ruta y la conmutación de los paquetes ocurren en esta capa.

Protocolos que operan en la capa de internet:

1.6.4.2.1 IP

Proporciona un enrutamiento de paquetes no orientado a conexión de máximo esfuerzo. El IP no se ve afectado por el contenido de los paquetes, sino que busca una ruta desde y hacia el destino.

1.6.4.2.2 ICMP

Protocolo de mensajes de control en Internet suministra capacidades de control y envío de mensajes.

1.6.4.2.3 ARP

Protocolo de resolución de direcciones determina la dirección de la capa de enlace de datos, la dirección MAC, para las direcciones IP conocidas.

1.6.4.2.4 RARP

Protocolo de resolución inversa de direcciones determina las direcciones IP cuando se conoce la dirección MAC.

Funciones del Protocolo IP

Define un paquete y un esquema de direccionamiento.

Transfiere los datos entre la capa Internet y las capas de acceso de red.

Enruta los paquetes hacia los hosts remotos.

A veces, se considera a IP como protocolo poco confiable. Esto no significa que IP no enviará correctamente los datos a través de la red. Llamar al IP, protocolo poco confiable simplemente significa que IP no realiza la verificación y la corrección de los errores. De esta función se encarga TCP, es decir el protocolo de la capa superior ya sea desde las capas de transporte o aplicación.

1.6.4.3 **Capa de Transporte**

La capa de transporte proporciona servicios de transporte desde el host origen hacia el host destino. En esta capa se forma una conexión lógica entre los puntos finales de la red, el host transmisor y el host receptor. Los protocolos de transporte segmentan y reensamblan los datos mandados por las capas superiores en el mismo flujo de datos, o conexión lógica entre los extremos. La corriente de datos de la capa de transporte brinda transporte de extremo a extremo.

Se suele decir que internet es una nube. La capa de transporte envía los paquetes de datos desde la fuente transmisora hacia el destino receptor a través de la nube. El control de punta a punta, que se proporciona con las ventanas deslizantes y la confiabilidad de los números de secuencia y acuses de recibo, es el deber básico de la capa de transporte cuando utiliza TCP. La capa de transporte también define la conectividad de extremo a extremo entre las aplicaciones de los hosts. Los servicios de transporte incluyen los siguientes servicios:

- Protocolos TCP Y UDP

- Segmentación de los datos de capa superior

- Envío de los segmentos desde un dispositivo en un extremo a otro dispositivo en otro extremo.

1.6.4.4 **Capa de Aplicación**

La capa de aplicación del modelo TCP/IP maneja protocolos de alto nivel, aspectos de representación, codificación y control de diálogo. El modelo TCP/IP combina todos los aspectos relacionados con las aplicaciones en una sola capa y asegura que estos datos estén correctamente empaquetados antes de que pasen a la capa siguiente. TCP/IP incluye no sólo las especificaciones de Internet y de la

capa de transporte, tales como IP y TCP, sino también las especificaciones para aplicaciones comunes. TCP/IP tiene protocolos que soportan la transferencia de archivos, e-mail, y conexión remota, además de los siguientes:

FTP (Protocolo de transferencia de archivos): es un servicio confiable orientado a conexión que utiliza TCP para transferir archivos entre sistemas que admiten la transferencia FTP. Permite las transferencias bidireccionales de archivos binarios y archivos ASCII.

TFTP (Protocolo trivial de transferencia de archivos): es un servicio no orientado a conexión que utiliza el Protocolo de datagrama de usuario (UDP). Es útil en algunas LAN porque opera más rápidamente que FTP en un entorno estable.

NFS (Sistema de archivos de red): es un conjunto de protocolos para un sistema de archivos distribuido, desarrollado por Sun Microsystems que permite acceso a los archivos de un dispositivo de almacenamiento remoto, por ejemplo, un disco rígido a través de una red.

SMTP (Protocolo simple de transferencia de correo): administra la transmisión de correo electrónico a través de las redes informáticas. No admite la transmisión de datos que no sea en forma de texto simple.

TELNET (Emulación de terminal): Telnet tiene la capacidad de acceder de forma remota a otro computador. Permite que el usuario se conecte a un host de Internet y ejecute comandos. El cliente de Telnet recibe el nombre de host local. El servidor de Telnet recibe el nombre de host remoto.

SNMP (Protocolo simple de administración de red): es un protocolo que provee una manera de monitorear y controlar los dispositivos de red y de administrar las configuraciones, la recolección de estadísticas, el desempeño y la seguridad.

DNS (Sistema de denominación de dominio): es un sistema que se utiliza en Internet para convertir los nombres de los dominios y de sus nodos de red publicados abiertamente en direcciones IP.

1.6.4.5 Características del protocolo TCP

Establecimiento de operaciones de punta a punta.

Control de flujo proporcionado por ventanas deslizantes.

Confiabilidad proporcionada por los números de secuencia y los acuses de recibo.

Se dice que internet es una nube, por que los paquetes pueden tomar múltiples rutas para llegar a su destino, generalmente los saltos entre routers se representan con una nube que representa las distintas posibles rutas. La capa de transporte envía los paquetes de datos desde la fuente transmisora hacia el destino receptor a través de la nube. La nube maneja los aspectos tales como la determinación de la mejor ruta, balanceo de cargas, etc.

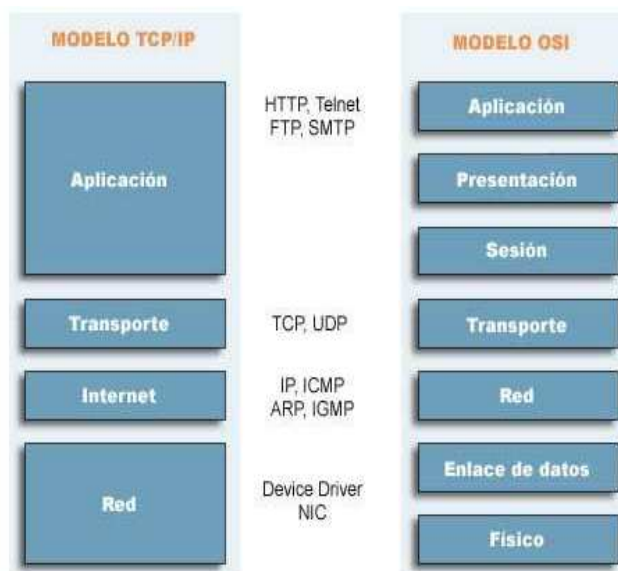


Figura 1.47 Capas del modelo TCP y modelo OSI

1.7 COMPONENTES DE UNA RED DE COMPUTADORAS

1.7.1 EL COMPUTADOR

La mayoría de los componentes de una red media son los ordenadores individuales, también denominados host; generalmente son sitios de trabajo (incluyendo ordenadores personales) o servidores.

1.7.2 TARJETAS DE RED

Para lograr el enlace entre las computadoras y los medios de transmisión (cables de red o medios físicos para redes alámbricas e infrarrojos), es necesaria la intervención de una tarjeta de red o NIC (Network Card Interface) con la cual se puedan enviar y recibir paquetes de datos desde y hacia otras computadoras, empleando un protocolo para su comunicación y convirtiendo esos datos a un formato que pueda ser transmitido por el medio (bits 0's/1's). Cabe señalar que a

cada tarjeta de red le es asignado un identificador único por su fabricante, conocido como dirección MAC (Media Access Control), que consta de 48 bits (6 bytes). Dicho identificador permite direccionar el tráfico de datos de la red del emisor al receptor adecuados.

El trabajo del adaptador de red es el de convertir las señales eléctricas que viajan por el cable (ej.: red Ethernet) o las ondas de radio (ej.: red Wifi) en una señal que pueda interpretar el ordenador.

Estos adaptadores son unas tarjetas PCI que se conectan en las ranuras de expansión del ordenador. En el caso de ordenadores portátiles, estas tarjetas vienen en formato PCMCIA. En algunos ordenadores modernos, tanto de sobremesa como portátiles, estas tarjetas ya vienen integradas en la placa base.

Adaptador de red es el nombre genérico que reciben los dispositivos encargados de realizar dicha conversión. Esto significa que estos adaptadores pueden ser tanto Ethernet, como Wireless, así como de otros tipos como fibra óptica, coaxial, etc. También las velocidades disponibles varían según el tipo de adaptador; éstas pueden ser, en Ethernet, de 10, 100 ó 1000 Mbps, y en los inalámbricos de 11 ó 55 Mbps.



Figura 1.48 Tarjetas PCI, Ethernet y Wi- Fi

1.7.3 SWITCH

Un conmutador o switch es un dispositivo digital de lógica de interconexión de redes de computadores que opera en la capa 2 (nivel de enlace de datos) del modelo OSI. Su función es interconectar dos o más segmentos de red, de manera similar a los puentes (bridges), pasando datos de un segmento a otro de acuerdo con la dirección MAC de destino de las tramas en la red.

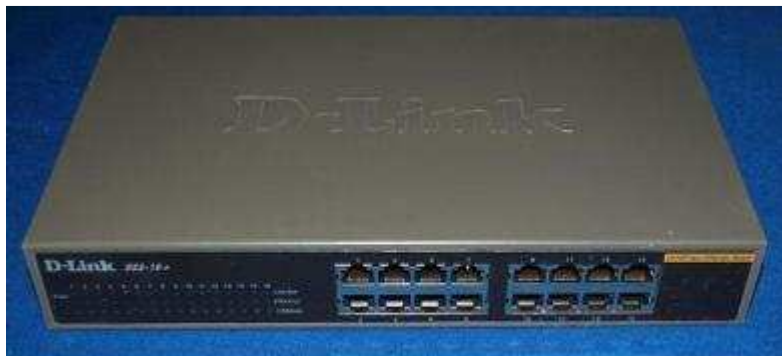


Figura 1.49 Switch de 16 puertos

1.7.4 ROUTER⁴⁰

El enrutador es un dispositivo de hardware para interconexión de red de computadoras que opera en la capa tres (nivel de red). Un router es un dispositivo para la interconexión de redes informáticas que permite asegurar el enrutamiento de paquetes entre redes o determinar la ruta que debe tomar el paquete de datos. En la figura 1.50 vemos un router que incluye servicio Wi-Fi para red inalámbrica.



Figura 1.50 Router con capacidad de red inalámbrica

1.7.5 SERVIDORES

En las siguientes listas hay algunos tipos comunes de servidores y sus propósitos.

1.7.5.1 Servidor de archivos

Almacena varios tipos de archivo y los distribuye a otros clientes en la red.

⁴⁰ <http://es.wikipedia.org/wiki/Router>

1.7.5.2 Servidor de correo

Almacena, envía, recibe, enruta y realiza otras operaciones relacionadas con *e-mail* para los clientes de la red.

1.7.5.3 Servidor de telefonía

Realiza funciones relacionadas con la telefonía, como es la de contestador automático, realizando las funciones de un sistema interactivo para la respuesta de la voz, almacenando los mensajes de voz, encaminando las llamadas y controlando también la red o el Internet; p. ej., la entrada excesiva del IP de la voz (VoIP), etc.

1.7.5.4 Servidor proxy

Realiza un cierto tipo de funciones a nombre de otros clientes en la red para aumentar el funcionamiento de ciertas operaciones (p. ej., *prefetching* y depositar documentos u otros datos que se soliciten muy frecuentemente). También *sirve* seguridad; esto es, tiene un Firewall. Permite administrar el acceso a internet en una red de computadoras permitiendo o negando el acceso a diferentes sitios web.

1.7.5.5 Servidor web

Almacena documentos HTML, imágenes, archivos de texto, escrituras, y demás material Web compuesto por datos (conocidos colectivamente como contenido), y distribuye este contenido a clientes que la piden en la red.

1.7.5.6 Impresoras

Muchas impresoras son capaces de actuar como parte de una red de ordenadores sin ningún otro dispositivo, tal como un "*print server*", a actuar como intermediario entre la impresora y el dispositivo que está solicitando un trabajo de impresión de ser terminado.

1.7.5.7 Terminal tonto

Muchas redes utilizan este tipo de equipo en lugar de puestos de trabajo para la entrada de datos. En estos sólo se exhiben datos o se introducen. Este tipo de terminales, trabajan contra un servidor, que es quien realmente procesa los datos y envía pantallas de datos a los terminales.

1.7.5.8 Servidor DNS

Este tipo de servidores resuelven nombres de dominio sin necesidad de conocer su dirección IP.

1.8 TERMINOLOGÍA PARA CONFIGURACIÓN DE EQUIPOS DE RADIO

La aplicación de administración de los equipos Airmux facilita la configuración, ya que los equipos nuevos que no disponen de una, al encender una pareja simultáneamente estos se enlazan y la aplicación inicia un ayudante de configuración, con lo que en pocos pasos tenemos los equipos listos para su instalación. Al tener la aplicación en idioma Inglés los términos utilizados no son muy desconocidos; así pues a continuación tenemos algunos de ellos.

1.8.1 CHANNEL BANDWIDTH [MHZ]

Es el ancho de banda que se empleará dependiendo de la modulación y tasa de transmisión configurada en el equipo.

1.8.2 RATE

Es la tasa de transferencia que se configura en el equipo (9, 12, 18, 36 Mbps) y que de acuerdo a ese parámetro el equipo transmite con uno de los tipos de modulación.

1.8.3 SSID

El SSID (Service Set Identifier) es un código incluido en todos los paquetes de una red inalámbrica para identificarlos como parte de esa red. El código consiste en un máximo de 32 caracteres alfanuméricos. Todos los dispositivos inalámbricos que intentan comunicarse entre sí deben compartir el mismo SSID.

Existen algunas variantes principales del SSID. Las redes *ad-hoc*, que consisten en máquinas cliente sin un punto de acceso, utilizan el BSSID (Basic Service Set Identifier); mientras que en las redes de infraestructura que incorporan un punto de acceso, se utiliza el ESSID (E de extendido). Nos podemos referir a cada uno de estos tipos como SSID en términos generales. A menudo al SSID se le conoce como nombre de la red.

1.8.4 THROUGHPUT [MBPS]

Es la velocidad efectiva máxima de transferencia de datos entre dos computadoras, considerando la compresión de datos, la corrección de errores y eventualmente el tiempo pasado para la conexión.

1.8.5 TX POWER [DBM]

Es la potencia que entrega el equipo transmisor hasta sus conectores de salida, que envían la señal a la antena.

1.8.6 TX POWER EIRP [DBW] (PIRE, POTENCIA ISOTRÓPICA, RADIADA, EQUIVALENTE)

Es la potencia equivalente que tendría que irradiar una antena isotrópica para alcanzar la misma densidad de potencia en la dirección elegida y en determinado punto, que otra antena. La PIRE se expresa en dBW (decibelio/Watios). Su valor es un factor influyente en la calidad de la recepción.

1.8.7 RSS [DB] (ROBUSTNESS SIGNAL STRENGTH)

Significa robustez de la intensidad de señal, éste parámetro es de gran ayuda para ajustar la alineación de las antenas, ya que pequeñas variaciones en la dirección hacen que varíe el RSS y mientras más bajo (en valor absoluto) es mejor.

1.8.8 PING

La utilidad ping comprueba el estado de la conexión con uno o varios equipos remotos por medio de los paquetes de solicitud de eco y de respuesta de

eco (ambos definidos en el protocolo de red ICMP) para determinar si un sistema IP específico es accesible en una red. Es útil para diagnosticar los errores en redes o enrutadores IP.

Muchas veces se utiliza para medir la latencia o tiempo que tardan en comunicarse dos puntos remotos, y por ello, se utiliza el término PING para referirse al lag o latencia de la conexión en los juegos en red.

CAPÍTULO 2

DISEÑO DEL ENLACE DE RADIO

2.1 SITUACIÓN ACTUAL

Ecuonline S.A. es una empresa dedicada a las telecomunicaciones y está enfocada principalmente en la dotación de servicio de Internet, la empresa tiene cobertura en varias provincias del país brindando las siguientes soluciones: Internet corporativo, hosting, de aplicaciones, implementación de redes privadas a nivel urbano e interurbano, correo electrónico, antispam, servidores FTP y mas servicios referentes a telecomunicaciones.

A continuación tenemos una tabla en la que consta la cobertura de la empresa Ecuonline S.A. a nivel nacional.

PROVINCIA	CIUDADES
CARCHI	TULCÁN, SAN GABRIEL
IMBABURA	IBARRA, ATUNTAQUI, COTACACHI, OTAVALO
PICHINCHA	CAJAS, CAYAMBE, TABACUNDO, GUAYLLABAMBA, QUITO Y LOS VALLES, MACHACHI
COTOPAXI	LASO, LATACUNGA, SALCEDO, SAQUISILI
TUNGURAHUA	AMBATO
CHIMBORAZO	ALAUISI
AZUAY	CUENCA
ESMERALDAS	ESMERALDAS
MANABÍ	MANTA, PORTOVIEJO, TOSAGUA, CALCETA, CHONE, JUNIN
GUAYAS	GUAYAQUIL
EL ORO	MACHALA, HUAQUILLAS
SUCUMBÍOS	LAGO AGRIO(NUEVA LOJA)
ORELLANA	EL COCA

Tabla 2.1 Ciudades donde Ecuonline S.A. tiene cobertura

La cobertura expuesta en la tabla indica las ciudades, pero hay que tener en cuenta que son una referencia, ya que muchos de los clientes no se encuentran precisamente dentro del perímetro urbano, para tener una mejor percepción de esto vemos en la imagen 2.1 la distribución geográfica de todos los nodos de cobertura.



Figura 2.1 Ubicación geográfica de los nodos a nivel nacional

Ciertos trayectos de toda la RED METRO se encuentran contratados con empresas portadoras, principalmente Global Crossing y Porta, las cuales disponen de tendido de fibra óptica y radioenlaces de alta capacidad respectivamente y que permiten mantener una gran cobertura. La visión de la

compañía es ir reemplazando los enlaces arrendados por infraestructura propia de manera paulatina, hasta lograr que toda la red de distribución sea de Ecuonline S.A.; de ahí el objetivo de eliminar el enlace existente en el trayecto Quito-Latacunga, para sustituirlo por tecnología inalámbrica propia.

La infraestructura y red de Ecuonline S.A. en la provincia de Cotopaxi inicia en la oficina de la empresa en Latacunga, desde la cual se dispone de enlaces inalámbricos que unen el nodo Guango (en la cordillera oriental) y el nodo Quilotoa (en la cordillera occidental). El trayecto Quito – Latacunga es realizado a través de la empresa estatal CNT (ATDATOS) quienes disponen del servicio de Portador o también conocido como Carrier, para ello utilizan dos líneas telefónicas y dos módems ADSL. La empresa arrienda una capacidad total de 2E1 (2x 2048 Kbps) que comunica los equipos de administración y control localizados en la oficina principal en la ciudad de Quito con el equipo Ruteador en la oficina de Latacunga.

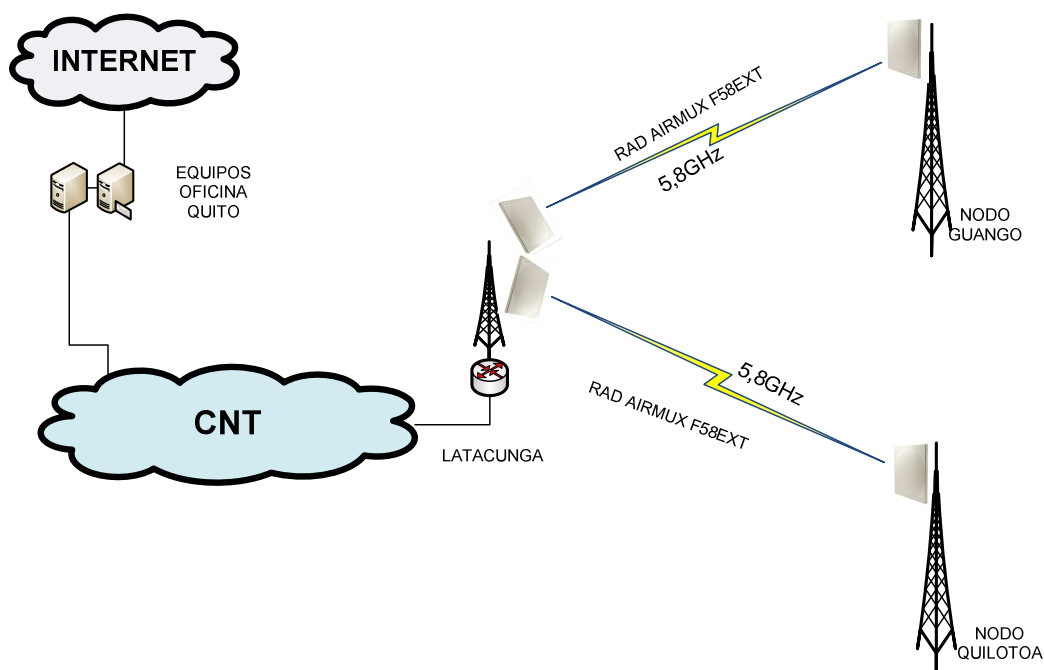


Figura 2.2 Esquema del trayecto Quito – Latacunga

2.1.1 RED ACTUAL EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI

En esta provincia tenemos los nodos Guango y Quilotoa, los cuales se conectan a la oficina de Latacunga a través de enlaces microondas a 5,8 GHz con equipos RAD Airmux F58EXT, en los nodos el equipo de radio se une con el

Switch de administración y distribución, a este equipo también se unen los diferentes equipos Access Point ubicados en la torre con su respectiva antena, y que son los que unen inalámbricamente el equipo del cliente con la red principal de Ecuonline S.A., en la imagen 2.3 podemos apreciar de mejor manera la disposición de los equipos.

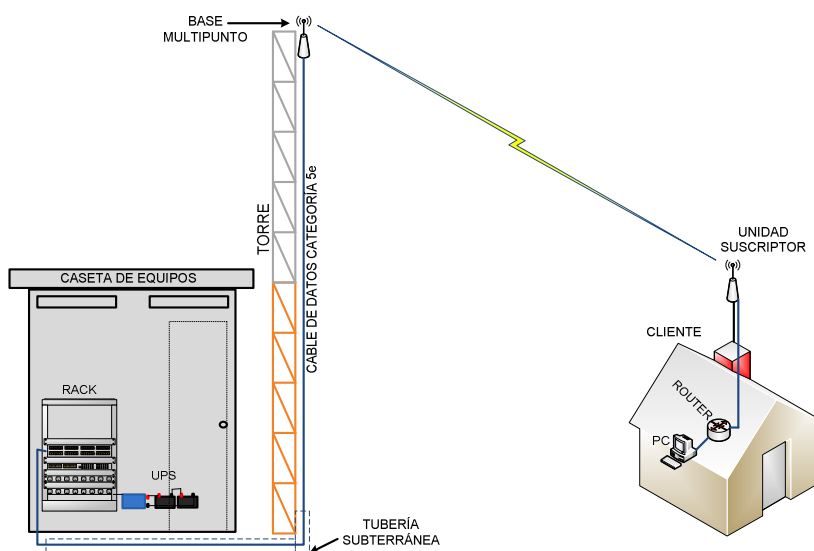


Figura 2.3 Vista de la disposición de un nodo

2.1.2 NODO GUANGO

Este nodo ubicado en la parte oriental de Latacunga a 3958,2 metros de altura, tiene una localización estratégica ya que se alcanza una cobertura bastante extensa del valle Interandino comprendido en las provincias de Cotopaxi, Pichincha y Tungurahua. El enlace principal proviene desde la oficina en la ciudad de Latacunga con una microonda con equipos RAD Airmux F58EXT con antenas flat, que logran obtener un canal de 12,6 Mbps Gran parte de los clientes de éste nodo reciben el servicio a través de una equipo base Alvarion a 5,8GHz con capacidad multipunto y las respectivas unidades suscriptoras que se comunican con la base, dependiendo de la capacidad que contrata el cliente los equipos pueden ser del estándar 802.11b u 802.11a o con equipos Alvarion. El nodo brinda servicio aproximadamente a 30 clientes y además es el punto de enlace para conectar al nodo en la montaña Pilisurco en la provincia de Tungurahua que provee servicio a su capital principalmente.

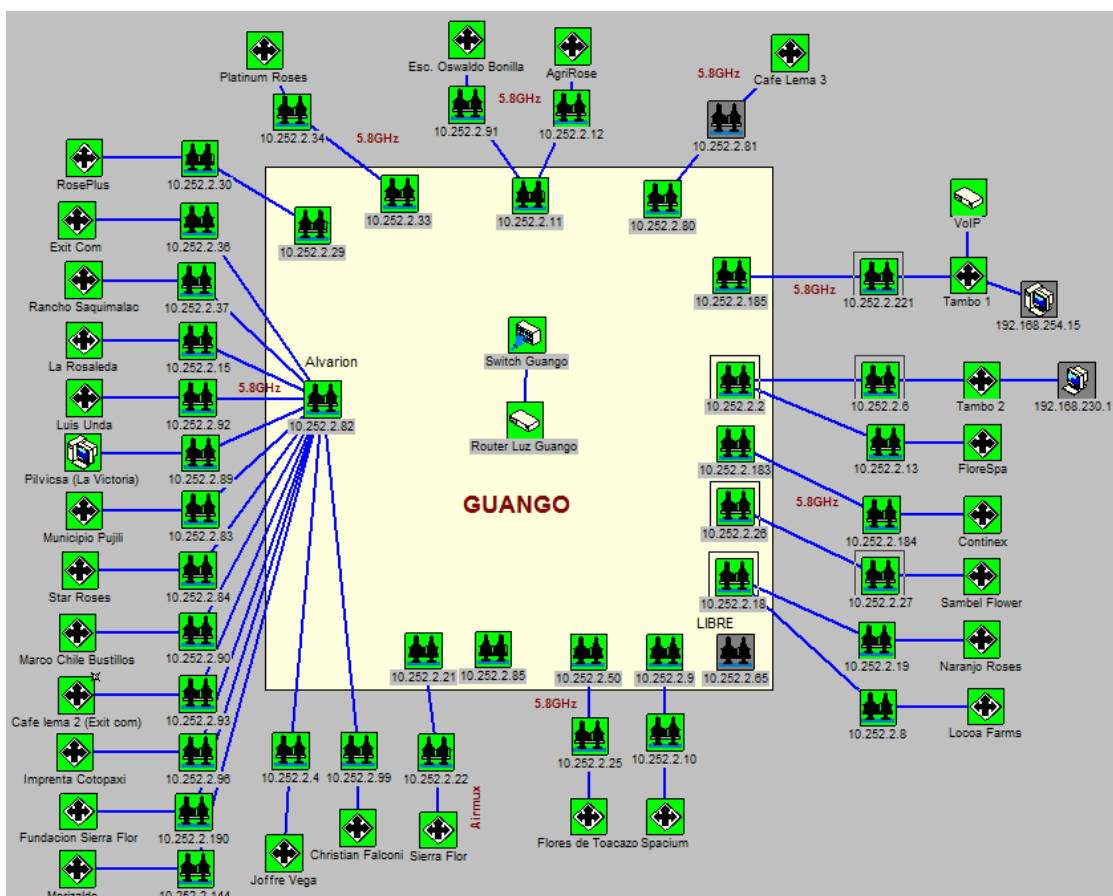


Figura 2.4 Mapa lógico de clientes en el nodo Guango

2.1.3 NODO QUILOTOA

Se encuentra ubicado en dirección occidental partiendo desde Latacunga, a unos 30 minutos por la vía Latacunga-La Mana, tiene un altitud de 3887 metros y tiene un nivel de cobertura inferior al nodo Guango, pero permite brindar servicio en ciertos sectores que no logran enlazarse con el nodo anterior. Al igual que en el nodo Guango, el enlace principal es con equipos RAD Airmux F58EXT con un canal de 13 Mbps y que está conectado a un switch Cisco Catalyst para administrar y distribuir el servicio a los usuarios, en éste nodo también se dispone de una base multipunto Alvarion con las mismas características que la instalada en el nodo Guango, esto se puede apreciar en la siguiente imagen en la cual 19 clientes se conectan con este equipo.

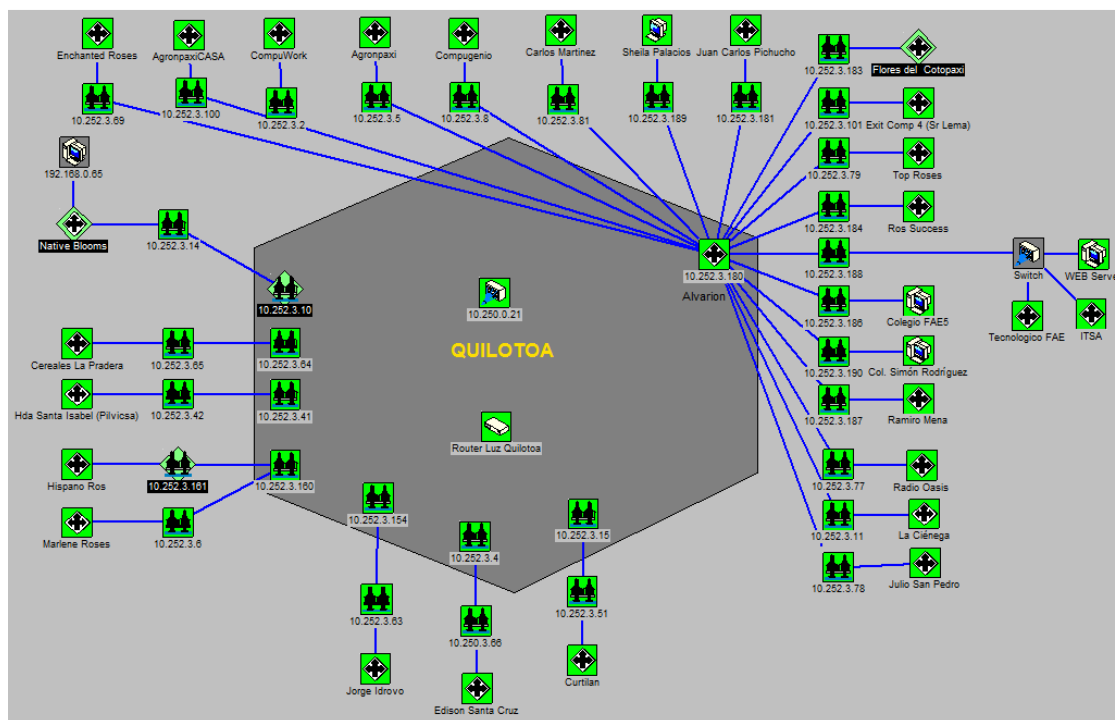


Figura 2.5 Mapa lógico de clientes en el nodo Quilotoa

2.2 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

El primer factor a tomar en cuenta en este tipo de proyectos es el trayecto a seguir para enlazar los nodos en cuestión. En nuestro caso, haciendo un estudio preliminar se puede concluir que no se lograra enlazar los nodos de una forma directa, entonces se realiza una investigación de campo, obviamente teniendo en cuenta los mapas topográficos; actualmente disponemos de mapas digitales obtenidos directamente desde el proyecto de la Nasa(SMRT), mismos que a través del software de distribución libre llamado RADIO MOBILE utilizado para diseñar enlaces de radio podemos interpretar la topografía del terreno y de cierta manera encontrar el punto más adecuado para la instalación de una torre repetidora. Ahora bien con estos antecedentes realizamos la obtención de datos reales, como son: toma de coordenadas geográficas de los nodos y del repetidor, verificación de factibilidad de rutas de acceso (carreteras), energía eléctrica del sistema público, arrendamiento del terreno donde se instalará la torre, y sobre todo la visibilidad hacia los nodos de inicio y de destino del enlace.

Pues bien, una vez realizada la recolección de información tenemos los siguientes resultados.

Coordenadas de los nodos y repetidores del proyecto.

NODO	LATITUD	LONGITUD
TWIN TOWERS	0°10 '51,61'' S	78°28 '47,2'' O
ATACAZO	0°19 '6,0'' S	78°36 '7,0'' O
GUANGO	0°53 '45,0'' S	78°30 '6,0'' O

Tabla 2.2 Coordenadas de los nodos que son parte del proyecto

Actualmente la información en formato digital es de gran ayuda, por lo que en éste proyecto se hace uso de herramientas como Google Earth, Global Mapper, las cuales pueden trabajar con fotografía aérea, mapas de alturas, modelación en tres dimensiones, son algunas características que nos permitirán realizar de manera optima la planeación del enlace microonda.

Con las coordenadas tomadas mediante GPS podemos fácilmente ubicar los lugares en los mapas virtuales, y visualizar la ruta que tomaremos para ejecutar el trayecto.

En las imágenes 2.6 y 2.7 podemos apreciar la factibilidad de las vías de acceso (carreteras) tanto al nodo denominado Guango, ubicado en la provincia de Cotopaxi al oriente de la ciudad de Latacunga, como al lugar donde se instalara el repetidor en la montaña llamada Atacazo, ubicada al suroccidente de la ciudad de Quito.



Figura 2.6 Carretera de acceso al repetidor Atacazo (Suroccidente de Quito)



Figura 2.7 Carretera de acceso al nodo Guango (Zona oriental de Latacunga)

En lo que tiene que ver con la energía eléctrica, se debe instalar una acometida desde un poste de distribución hasta el lugar donde se construirá la caseta de equipos. Esta acometida deberá instalarse dentro de una manguera de protección y será enterrada en una zanja, esto por sugerencia de agentes de seguridad que trabajan en el sector. El tendido de esta acometida tiene una distancia de 320 metros. El propietario del terreno llegó a un acuerdo para que la empresa Ecuonline S.A. instale su torre repetidora en el lugar que mejor se adapte a los requerimientos. Costos totales del proyecto deben contener estos detalles.

2.3 PRESUPUESTO ECONÓMICO DEL PROYECTO

A continuación se tiene una recopilación de los costos de todos los equipos, materiales y obra civil. Cabe mencionar que ciertos elementos y equipos están disponibles en la bodega de la empresa, además la instalación y puesta en funcionamiento de los enlaces está a cargo del departamento de planta externa de la misma Ecuonline S.A.

El costo de arrendamiento de los canales de datos que la empresa paga mensualmente es de 498 USD por cada canal, los valores se detallan en la tabla 2.3, y es éste costo lo que se necesita eliminar.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Canal de datos E1	2	498	996
Impuestos de ley	119.52 USD		
Total mensual	1115.52 USD		

Tabla 2.3 Costo de arrendamiento de canales de datos

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Torre(33m)	1	3000	3000
Caseta de equipos	1	600	600
Toma a tierra y Pararrayos	1	400	400
Antena Radio Waves 28 dBi	2	300	600
Antena Radio Waves 34,6dBi	2	1700	3400
Convertidor AC-DC-AC	1	179	179
Batería(106 A/h)	4	290	1160
Switch Catalyst 2960	1	500	500
Airmux HE-F/54HPEXT ODU	2	1680	3360
Airmux 115 UTP	4	274,65	1098,60
Airmux 200 F58EXT	2	250	1000
Cable UTP 5e	1	110	110
Instalación eléctrica	1	300	300
Cortapicos	1	8	8
		Total	15715,6

Tabla 2.4 Presupuesto económico del proyecto

Costos de arrendamiento y pago de servicios.

DESCRIPCIÓN	PERIODO	COSTO
Arriendo del terreno	MENSUAL	50
Electricidad	MENSUAL	50
Permisos de ley	ANUAL	340
TOTAL	MENSUAL	128,33

Tabla 2.5 Pago de servicios

2.4 TOPOGRAFÍA DEL TRAYECTO

Como ya se ha mencionado, para determinar el trayecto utilizaremos la información digital disponible en Internet usando para ello el software adecuado.

Para visualizar el terreno del trayecto, usamos los archivos del proyecto SMRT los cuales a través de la aplicación Global Mapper podemos generar una imagen en tres dimensiones, en la imagen 2.8 se ve la topografía general del área donde se instalarán los enlaces con la indicación de varios puntos representativos para tener una mejor percepción del trayecto.

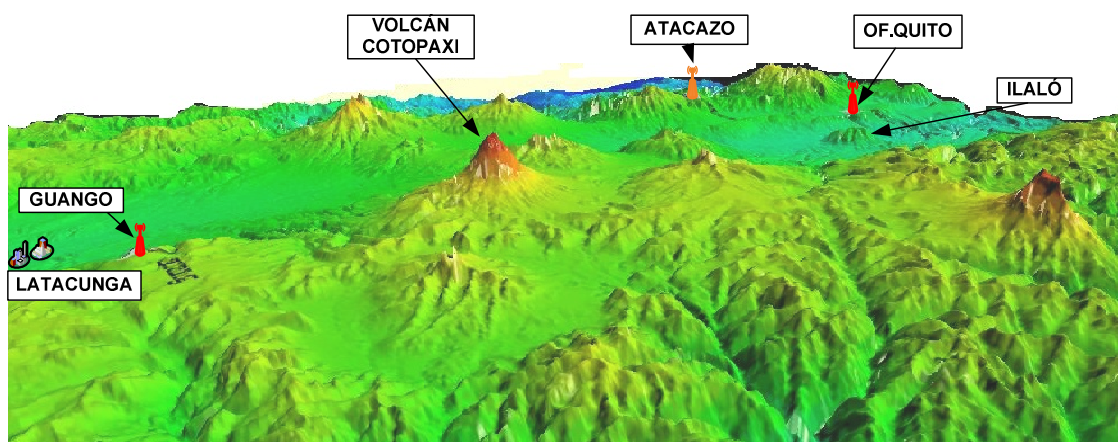


Figura 2.8 Vista tridimensional del enlace Quito-Latacunga

2.4.1 PERFIL TOPOGRÁFICO DEL TRAYECTO OFICINA TWIN TOWERS – ATACAZO

En la imagen 2.9 se puede observar que ningún obstáculo obstruye la línea de vista, además la torre en las instalaciones de Ecuonline S.A. se encuentra instalada sobre la terraza del edificio, por lo que la altura total sobre el suelo alcanzaría unos 65 metros y que es la suma de la altura del edificio más la de la torre.

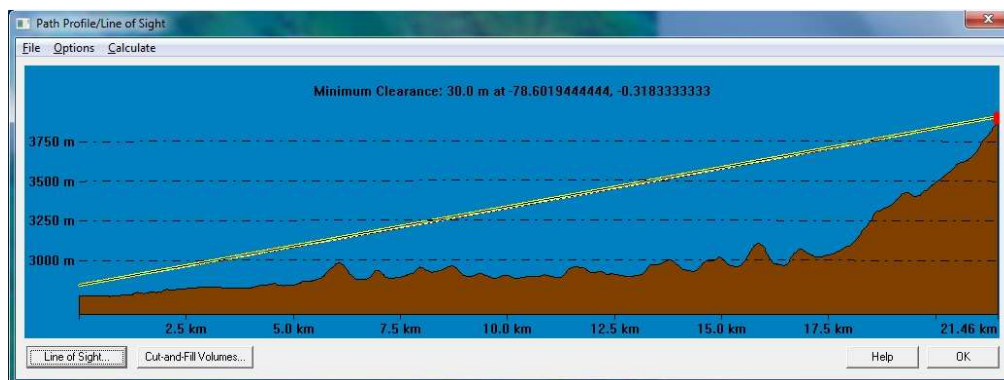


Figura 2.9 Perfil del trayecto Twin Towers-Atacazo

2.4.2 PERFIL TOPOGRÁFICO DEL TRAYECTO ATACAZO – GUANGO

La topografía del enlace Atacazo – Guango presenta un obstáculo aproximadamente en la mitad del trayecto que posiblemente afecte el desempeño, por lo que se debe realizar los cálculos pertinentes para asegurar el despeje necesario para la primera zona de Fresnel.

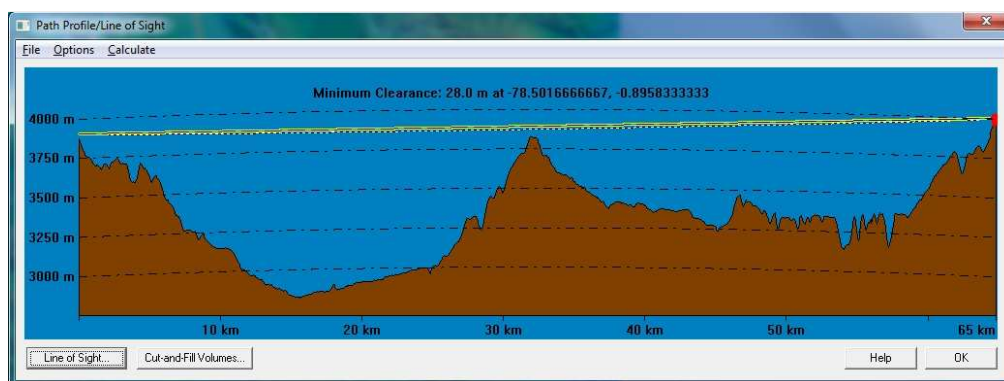


Figura 2.10 Perfil del trayecto Atacazo-Guango

Viendo las imágenes de ambos enlaces podemos concluir que este proyecto es factible de realizarlo

2.4.3 VISTA TOPOGRÁFICA DE LOS DOS ENLACES

En la imagen 2.11 se puede apreciar la distancia que cubre cada uno de los enlaces. Cada anillo aumenta su diámetro en 10 Km y se toma como centro el nuevo repetidor Atacazo.

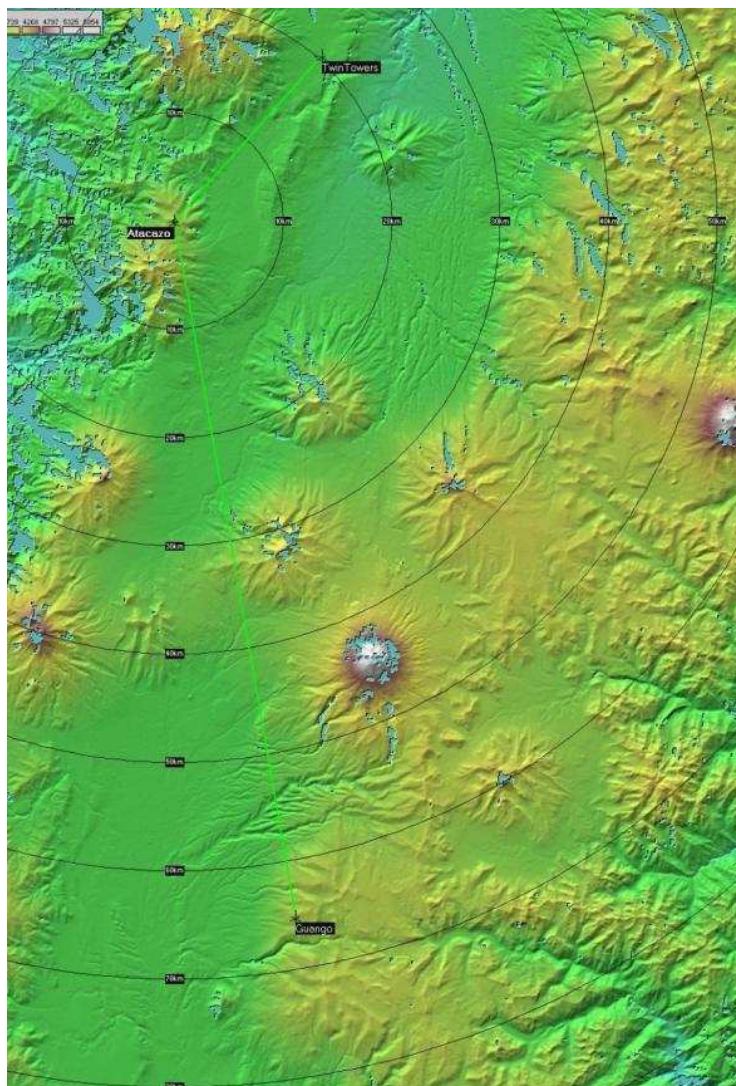


Figura 2.11 Enlace Quito-Latacunga

2.5 CÁLCULOS

Una vez realizados los estudios topográficos y haber determinado la distancia de cada enlace, se debe escoger los equipos cuyas características cubran las necesidades del proyecto.

Estudiando los equipos de comunicación detallados en el capítulo I determinamos que la mejor opción es utilizar los multiplexores RAD AIRMUX tanto en frecuencia 5,4 como 5,8 GHz por las siguientes razones.

- Experiencia, la empresa Ecuonline S.A. ya trabaja con este tipo de equipos, los cuales están instalados en los enlaces de Backbone en diferentes provincias del país.

- Garantía y servicio técnico, RAD Data Communications tiene representación en Ecuador a través de la empresa ISEYCO, que mantiene relaciones comerciales con Ecuonline S.A. Esta situación es de gran ayuda ya que si se necesita servicio técnico, reclamo de garantía, actualización del firmware de los equipos, asesoría técnica etc., ésta es ejecutada en muy poco tiempo, con lo que los trabajos a realizarse no sufren retrasos significativos.
- Capacidad, los equipos AIRMUX tienen las características adecuadas para mantener un enlace estable y con un ancho de banda suficiente para los requerimientos de la empresa. El equipo REDLINE tiene características excelentes pero para las necesidades del enlace cometeríamos un sobredimensionamiento innecesario y costoso. La familia de equipos Alvarion tiene capacidades de ancho de banda superiores a las otras marcas pero con el agravante de que no están preparados para mantener enlaces de larga distancia (máximo 60Km).
- Costo económico, por sus características de gran rendimiento la marca REDLINE tiene un costo muy superior a los equipos RAD, la línea Alvarion tiene costos elevados y además por la deficiencia de distancia de enlace no se puede tomarlos en cuenta. La siguiente tabla permite comparar los costos de cada equipo.

EQUIPO	COSTO USD
AIRMUX F58EXT	250
AIRMUX HEF54HP/EXT	1680
REDLINE an30e	2960
REDLINE an50e	3250
ALVARION BreezeNet B300	6900

Tabla 2.6 Costos de los equipos de radio

2.5.1 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS RAD AIRMUX200

El dispositivo Airmux-200, es una solución inalámbrica punto a punto que combina hasta cuatro E1/T1 y redes Ethernet con alto rendimiento en el procesamiento de tráfico sobre frecuencias libres. Cumple con las regulaciones

FCC, CAN/CSA y ETSI para transmisiones en bandas sin licencia. Como podemos ver en la imagen XXX el sistema consta de dos equipos, la unidad interior denominada IDU (indoor unit) encargada de la alimentación eléctrica y de la multiplexación y demultiplexación de los datos desde y hacia la unidad externa y la exterior llamada ODU (outdoor unit) que tiene dentro de la carcasa metálica la sección moduladora, la etapa de radiofrecuencia y el amplificador de potencia; el IDU y ODU se unen por medio de un cable Ethernet categoría 5e con protección para exteriores, que puede alcanzar una distancia de hasta 100 metros. La unidad externa puede estar incluida en una antena tipo flat de 22 dBi o bien dependiendo del modelo se puede usar una antena externa con la ganancia que necesitemos, el ODU está equipado con un conector “N” hembra para poder conectar el cable coaxial y por éste a la antena.

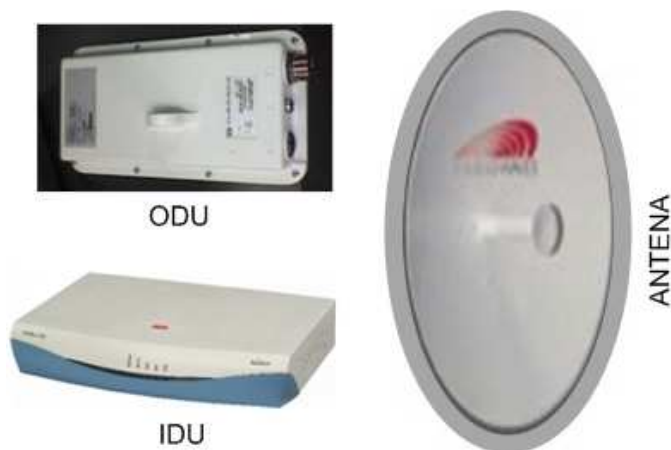


Figura 2.12 Sistema de radio Airmux

La interfaz aire es capaz de manejar hasta 48 Mbps y con un rendimiento real de hasta 18 Mbps en modo FULL DUPLEX, la distancia máxima que se puede lograr con el modelo Airmux200 es 80 Km manteniendo la línea de vista. El modo bridge transparente con el que cuentan permite la transmisión de tramas VLAN y puede almacenar hasta 2047 direcciones MAC.

La familia de equipos RAD pueden trabajar en varias bandas como son: 2,3 GHz; 2,4GHz; 4,9GHz; 5,3GHz; 5,4GHz; 5,8GHz; y 5,9GHz.

Airmux200 tiene dos tipos de servicios para el transporte de datos: Ethernet y TDM (E1/T1)

2.5.1.1 Servicios Ethernet

- Interface Ethernet.
- 10/100BaseT con auto negociación
- Hasta 18Mbps netos de throughput simétrico
- Latencia 3msec
- Mecanismo de retroceso para menores pérdidas por conexión (ARQ rápido)

2.5.1.2 Servicios TDM (E1/T1)

- De 1 a 4 interfaces E1/T1 en el IDU
- Estándar E1/T1, cumple con estándares ITU-T
- Velocidad E1/T1
- Sensibilidad de umbral para BER < 1×10^{-11}
- Retardo de una vía < 8msec
- Configuraciones de reloj avanzado.

2.5.2 ANTENAS RADIOWAVES

Radio Waves dispone de una amplia gama de antenas de calidad para las bandas UNII, ISM, para aplicaciones punto-a-punto y punto-a-multipunto. Estas antenas pueden usarse para interconexión de bases celulares, proveedores de internet (ISP), redes privadas y muchas otras.

Las características de la antena escogida son:

Diámetro	120 cm
Peso	27 Kg
Diseño liviano y resistente	
Conexión	conector tipo "N" hembra
Polarización	sencilla (horizontal o vertical)
Frecuencia de trabajo	5250 – 5850 MHz
Ganancia	34,6 dBi (nominales)
Apertura del haz (a -3dB)	3,4°
Diagrama de radiación en la figura 2.13	

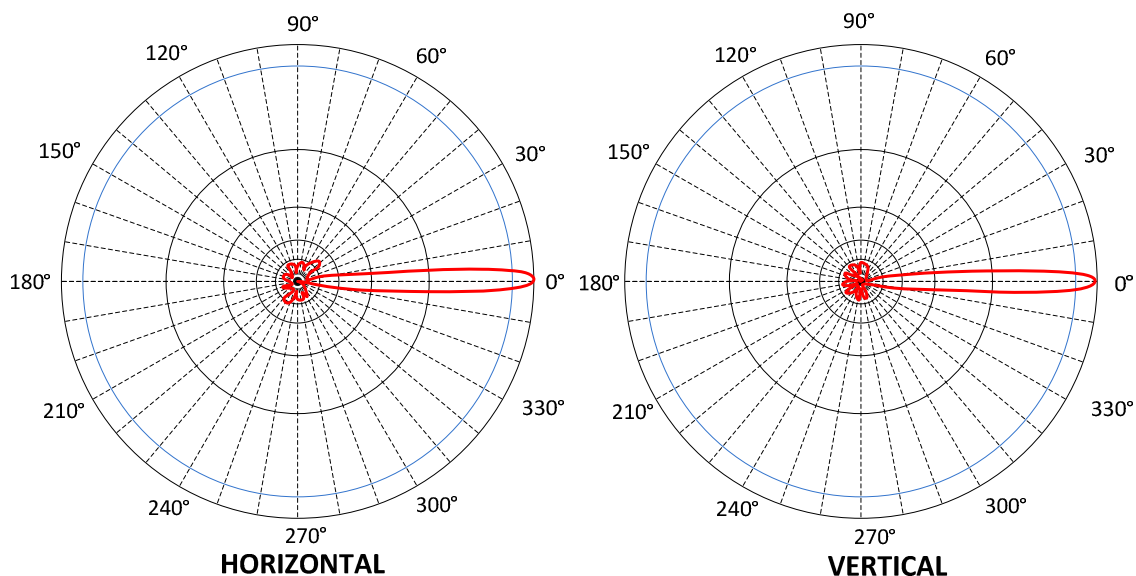


Figura 2.13 Diagramas de radiación antena Radio Waves SP4

2.5.3 ZONA DE FRESNEL

Tanto en óptica como en comunicaciones por radio o inalámbricas, la zona de Fresnel es una zona de despeje adicional que hay que tener en consideración además de haber una visibilidad directa entre las dos antenas.

Este factor deriva de la teoría de ondas electromagnéticas respecto de la expansión de las mismas al viajar en el espacio libre. Esta expansión resulta en reflexiones y cambios de fase al pasar sobre un obstáculo. El resultado es un aumento o disminución en el nivel de intensidad de señal recibido. Debiendo considerar la curvatura de la Tierra (K), que generalmente puede tomar valores de $K=2/3$ (peor caso) y $K=4/3$ (caso óptimo)

En la óptica y comunicaciones por radio, una zona de Fresnel, nombrada en honor del físico Auguste Jean Fresnel, es uno de los elipsoides de revolución concéntricos teóricamente infinitos que definen volúmenes en el patrón de radiación de la abertura circular (generalmente). Fresnel divide resultado en zonas de la difracción por la abertura circular.

La sección transversal de la primera zona de Fresnel es circular. Las zonas subsecuentes de Fresnel son anulares en la sección transversal, y concéntricas con las primeras. El concepto de las zonas de Fresnel se puede también utilizar para analizar interferencia por obstáculos cerca de la trayectoria de una viga

(antena) de radio. Esta zona se debe determinar primero, para mantenerla libre de obstrucciones.

La obstrucción máxima permisible para considerar que no hay obstrucción es el 40% de la primera zona de Fresnel. La obstrucción máxima recomendada es el 20%. Para el caso de radiocomunicaciones depende del valor de K (curvatura de la tierra) considerando que para un $K=4/3$ la primera zona de Fresnel debe estar despejada al 100% mientras que para un estudio con $K=2/3$ se debe tener despejado el 60% de la primera zona de Fresnel.

Para establecer las zonas de Fresnel, primero debemos determinar la línea de vista de RF ("RF LoS", en inglés), que en términos simples es una línea recta entre la antena transmisora y la receptora. Ahora la zona que rodea el RF LoS es la zona de Fresnel. El radio de la sección transversal de la primera zona de Fresnel tiene su máximo en el centro del enlace.

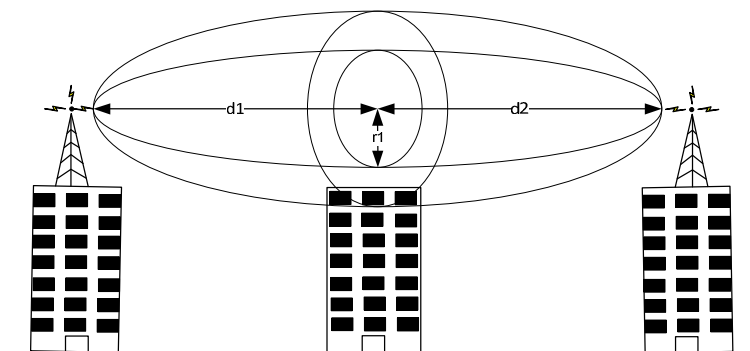


Figura 2.14 Zonas de Fresnel

2.5.4 CÁLCULO DEL RADIO DE LA PRIMERA ZONA DE FRESNEL

$$r_n = 548 \sqrt{\frac{n * d1 * d2}{f * d}}$$

Donde:

r_n es el radio de la n ésima zona de Fresnel [m].

$d1$ es la distancia desde el transmisor al objeto en [Km].

$d2$ es la distancia desde el objeto al receptor en [Km].

d es la distancia total del enlace en [Km].

f es la frecuencia en [MHz].

$$r_1 = 548 \sqrt{\frac{1 * 32,36 * 32,78}{5400 * 65,14}}$$

$$r_1 = 30,1 \text{ m}$$

Observando los perfiles topográficos podemos apreciar que en el trayecto Atacazo – Guango tenemos una elevación montañosa que podría obstruir el haz de radiación, por lo cual es necesario calcular la altura de despeje que tenemos en ese punto, y comprobar que ese valor sea mayor que el radio de la 1era zona de Fresnel; ésta altura se obtiene como sigue:

2.5.5 CÁLCULO DEL DESPEJE

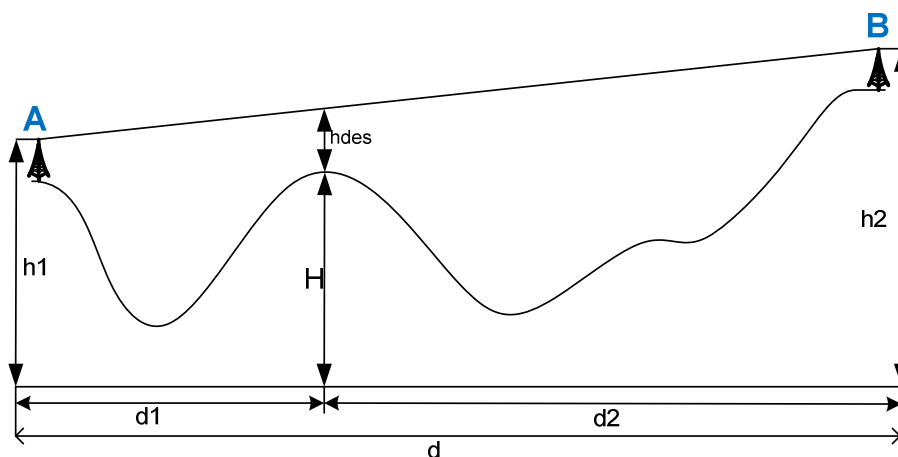


Figura 2.15 Altura de despeje

Donde:

h_{des} = Altura de despeje desde el obstáculo hasta la línea de vista

$h_1 = 3855,5 + 30$ m Altura del punto A (incluyendo la torre)

$h_2 = 3958,2 + 30$ m Altura del punto B (incluyendo la torre)

$H = 3827,7$ m Altura del obstáculo

$d = 65,14$ Km Distancia total del enlace

$d_1 = 32,36$ Km Distancia desde el transmisor hasta el obstáculo

$d_2 = 32,78$ Km Distancia desde el obstáculo hasta el receptor

k = Coeficiente del radio efectivo de la Tierra, este valor es igual a $4/3$ para la atmósfera estándar.

$a = 6370$ Km, radio promedio de la Tierra

$$h_{des} = h_1 + \frac{d_1}{d}(h_2 - h_1) - \left(H + \frac{d_1 * d_2 * 1000}{2k * a} \right)$$

2.5.5.1 Cálculo sin tomar en cuenta la altura de las torres.

$$h_{des} = 3855,5 + \frac{32,36}{65,14}(3958,2 - 3855,5) - \left(3827,7 + \frac{32,36 * 32,78 * 1000}{2 * \frac{4}{3} * 6370} \right)$$

$$h_{des} = 14,35 \text{ m}$$

2.5.5.2 Cálculo tomando en cuenta la altura de las torres.

$$h_{des} = 3885,5 + \frac{32,36}{65,14}(3988,2 - 3885,5) - \left(3827,7 + \frac{32,36 * 32,78 * 1000}{2 * \frac{4}{3} * 6370} \right)$$

$$h_{des} = 44,35 \text{ m}$$

Por lo tanto verificamos que $h_{des} > r_1$ asegurando así, que no existe obstrucción en el trayecto del enlace.

2.5.5.3 Torre soportada por tirantes

Una vez ejecutados los cálculos de la primera zona de Fresnel y para obtener una altura de despeje acorde con los requerimientos del enlace vemos que es necesario disponer de una torre con una altura de al menos 30 metros, la cual será del tipo soportada por tirantes de acero (contra ventadas) ya que su costo es muy inferior al de una torre auto soportada similar a las que usan los proveedores de telefonía móvil.

Las normas y parámetros que usa el contratista para instalar una torre de este tipo son las siguientes.

Dimensiones de las bases (3) de anclaje (0,6 x 0,6 x 1) [m] (La x An x Pr)

Dimensión de la base de la torre (1 x 1 x 1,2) [m]

Cables de anclaje de acero de 8 mm de diámetro

Tramos de la torre de 3 metros cada uno (11 tramos = 33 m)

Torre de tipo triangular de 40 cm por lado.

Radio de ubicación de las bases de anclaje tomando la base de la torre como centro 12 [m].

Las bases de anclaje se ubican a 120° una de otra para completar la circunferencia y distribuir la carga generada por viento de forma balanceada.

Los cables de tensión se ubican en grupos de tres en el tramo, cada uno se une a su base de anclaje correspondiente, para ésta torre se han dispuesto 21 cables tensores los cuales la sujetan desde el quinto tramo hacia arriba, los cables están anclados en cada tramo, que por cierto se encuentran pintados de acuerdo a las normas (blanco y anaranjado).

En la imagen 2.16 se puede ver la disposición de cada componente. Cabe mencionar que el contratista se encargará únicamente de la instalación de la torre y la construcción de la caseta de equipos.

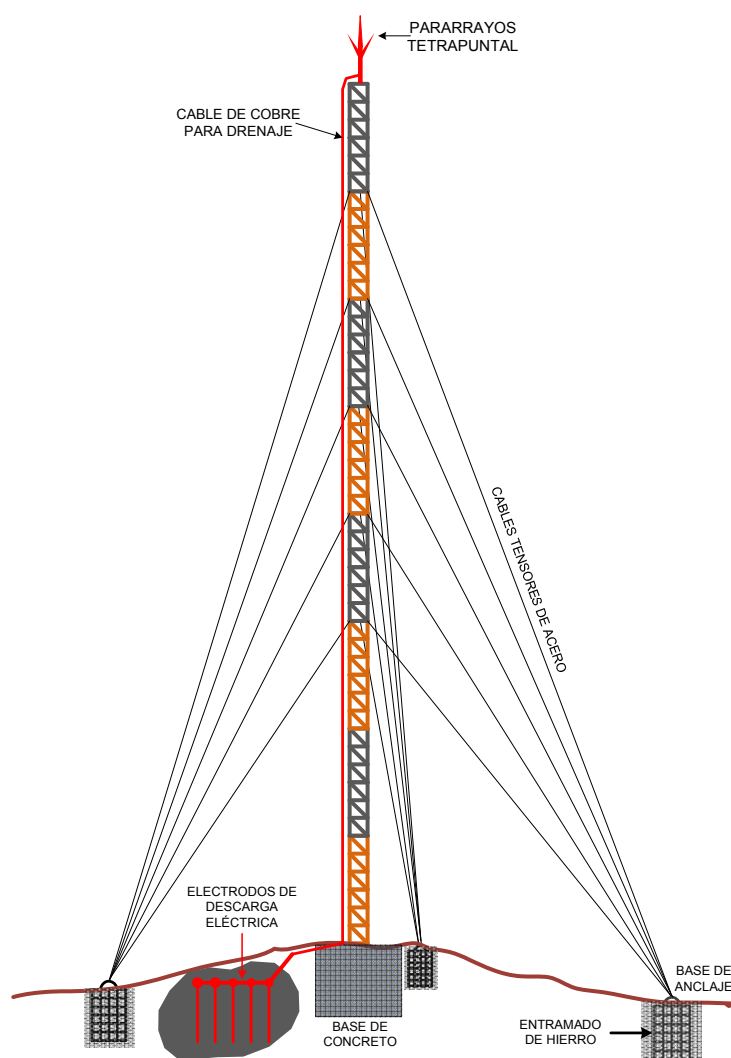


Figura 2.16 Componentes principales de una torre de comunicaciones

2.5.6 PRESUPUESTO DEL ENLACE

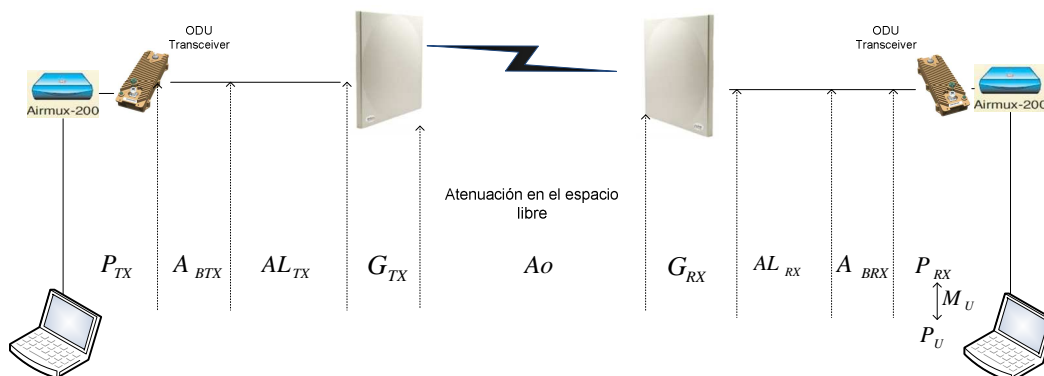


Figura 2.17 Presupuesto de un enlace radioeléctrico

Donde:

$$P_{RX} = P_{TX} - AB_{TX} - AL_{TX} + G_{TX} - A_o + G_{RX} - AL_{RX} - AB_{RX}$$

P_{RX} =Potencia disponible en la entrada de los terminales del equipo receptor.

P_{TX} =Potencia entregada por el transmisor al circuito de alimentación de la antena.

$AB_{TX}=AB_{RX}$ =Atenuación por Branching.

$AL_{TX} = AL_{RX}$ =Atenuación por la guía de ondas, en este caso cable de baja pérdida.

$G_{TX}=G_{RX}$ =Ganancia de la antena.

A_o = Pérdidas en trayectoria por el espacio libre.

P_U =Potencia umbral o sensibilidad del equipo.

M_U = Margen de umbral.

Los parámetros AB_{TX} , AB_{RX} , AL_{TX} , AL_{RX} , G_{TX} , G_{RX} son iguales respectivamente en este caso porque tenemos los mismos equipos e implementos en ambos lados del enlace.

2.5.7 ENLACE 1: TWIN TOWERS – ATACAZO



Figura 2.18 Enlace Twin Towers - Atacazo

2.5.7.1 Datos:

Equipo AIRMUX200 F58/EXT

$P_{TX} = 8 \text{ dBm}$

Sensibilidad = -84 dBm

Frecuencia central = $5800 \text{ MHz} = 5,8 \text{ GHz}$

Ganancia de la antena = 28 dBi (Antena parabólica)

Atenuación por cable de baja pérdida = 2 db

Branching = 0

Distancia del enlace = $20,43 \text{ Km}$

2.5.7.2 Pérdida en el espacio libre

$$A_o = 92,4 + 20 \log(5,8 \text{ GHz}) + 20 \log(20,43 \text{ Km})$$

$$A_o = 92,4 + 15,27 + 26,20$$

$$A_o = 133,87 \text{ dB}$$

2.5.7.3 Margen de desvanecimiento

$$FM = 30 \log(D) + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70$$

$$FM = 30 \log(20,43) + 10 \log\left(6 * \frac{1}{4} * \frac{1}{8} * 5,8\right) - 10 \log(1 - R) - 70$$

$$FM = 39,31 + 0,364 + 40 - 70$$

$$FM = 9,674$$

2.5.7.4 Potencia de recepción disponible

$$P_{RX} = P_{TX} - AB_{TX} - AL_{TX} + G_{TX} - A_o + G_{RX} - AL_{RX} - AB_{RX}$$

$$P_{RX} = 8 - 0 - 2 + 28 - 133,87 + 28 - 0 - 2$$

$$P_{RX} = -73,87 \text{ dBm}$$

$$M_U = -(66,83) - (-84)$$

$$M_U = 10,13$$

$$M_U > F_M$$

Con el cálculo y verificación de M_U mayor que F_M se asegura la confiabilidad de este enlace y en consecuencia su factibilidad.

2.5.7.5 Cálculo de la confiabilidad real del enlace

En la formula reemplazamos FM por MU y realizamos la operación.

$$R = 1 - 10^{(3 \log(D) + \log(6ABf) - 7 - \frac{FM}{10})}$$

$$R = 1 - 10^{(3,93 + 0,0364 - 7 - \frac{10,13}{10})}$$

$$R = 1 - 10^{-4,0466}$$

$$R = 0,9999101$$

$$R = 99,9910\%$$

2.5.7.6 Simulación con RadioMobile

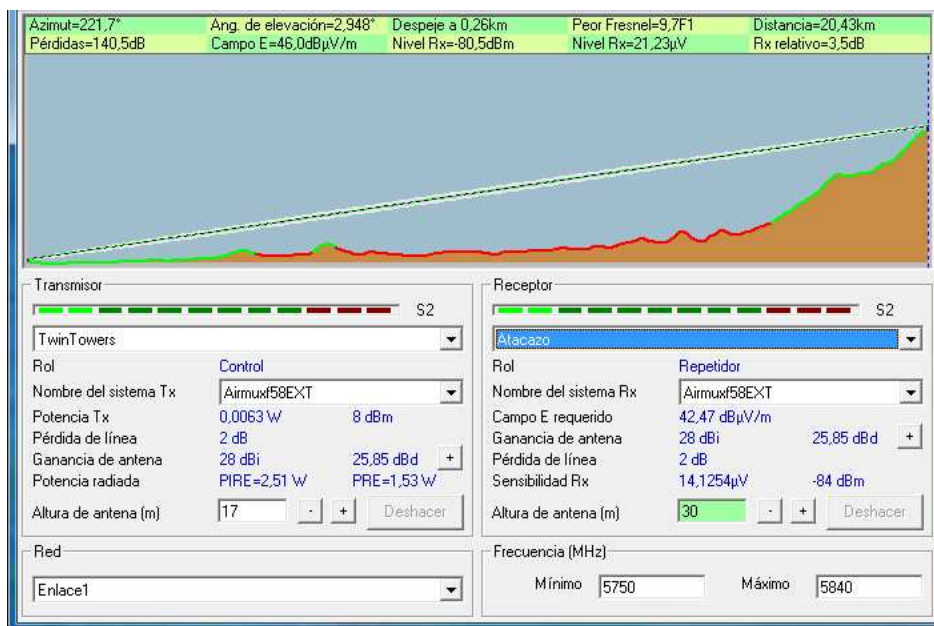


Figura 2.19 Resultados simulación con RadioMobile

2.5.8 ENLACE 2: ATACAZO – GUANGO

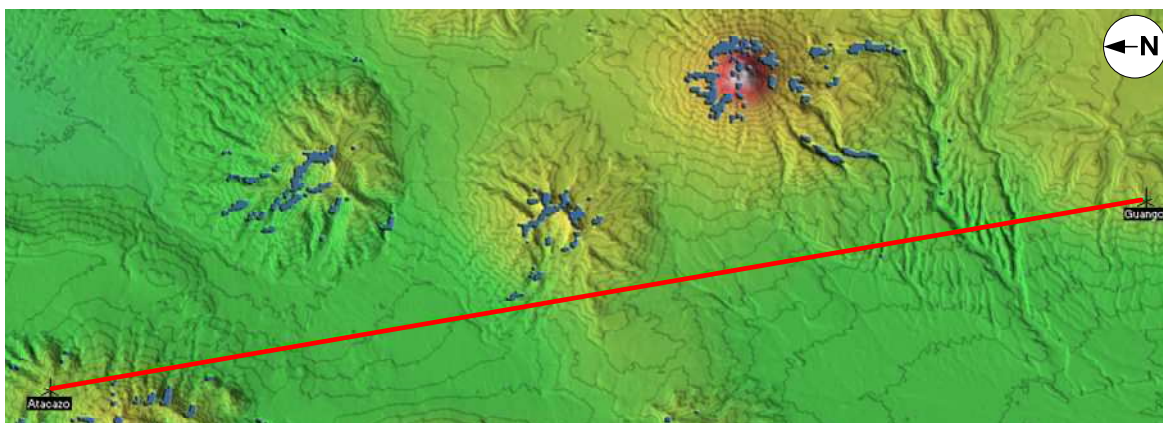


Figura 2.20 Enlace Atacazo - Guango

2.5.8.1 Datos:

Equipo AIRMUX200 HE/F54HP/EXT

$P_{TX} = 23 \text{ dBm}$

Sensibilidad = -84 dBm

Frecuencia central = $5500 \text{ MHz} = 5,5 \text{ GHz}$

Ganancia de la antena = $34,6 \text{ dBi}$ (Radio Waves Parabólica)

Atenuación por cable de baja pérdida = 2 db

Branching = 0

Distancia del enlace = $65,14 \text{ Km}$

2.5.8.2 Pérdida en el espacio libre

$$A_o = 92,4 + 20 \log(5,5 \text{ GHz}) + 20 \log(65,14 \text{ Km})$$

$$A_o = 92,4 + 14,81 + 36,28$$

$$A_o = 143,49 \text{ dB}$$

2.5.8.3 Margen de desvanecimiento

$$FM = 30 \log(D) + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70$$

$$FM = 30 \log(65,14) + 10 \log\left(6 * \frac{1}{4} * \frac{1}{8} * 5,5\right) - 10 \log(1 - R) - 70$$

$$FM = 54,42 + 0,134 + 40 - 70$$

$$FM = 24,55$$

2.5.8.4 Potencia de recepción

$$Prx = Ptx - AB_{TX} - AL_{TX} + G_{TX} - Ao + G_{RX} - AL_{RX} - AB_{RX}$$

$$Prx = 23 - 0 - 2 + 34.6 - 143,49 + 34.6 - 0 - 2$$

$$Prx = -55,29dBm$$

$$MU = -(55,29) - (-84)$$

$$MU = 28,71$$

$$MU > FM$$

Al igual que el enlace anterior tenemos la certeza de la confiabilidad del enlace.

2.5.8.5 Cálculo de la confiabilidad real del enlace

$$R = 1 - 10^{(3 \log(D) + \log(6ABf) - 7 - \frac{FM}{10})}$$

$$R = 1 - 10^{(5,44 + 0,0134 - 7 - \frac{28,71}{10})}$$

$$R = 1 - 10^{-4,4176}$$

$$R = 0,9999617$$

$$R = 99,9962\%$$

2.5.8.6 Simulación con RadioMobile

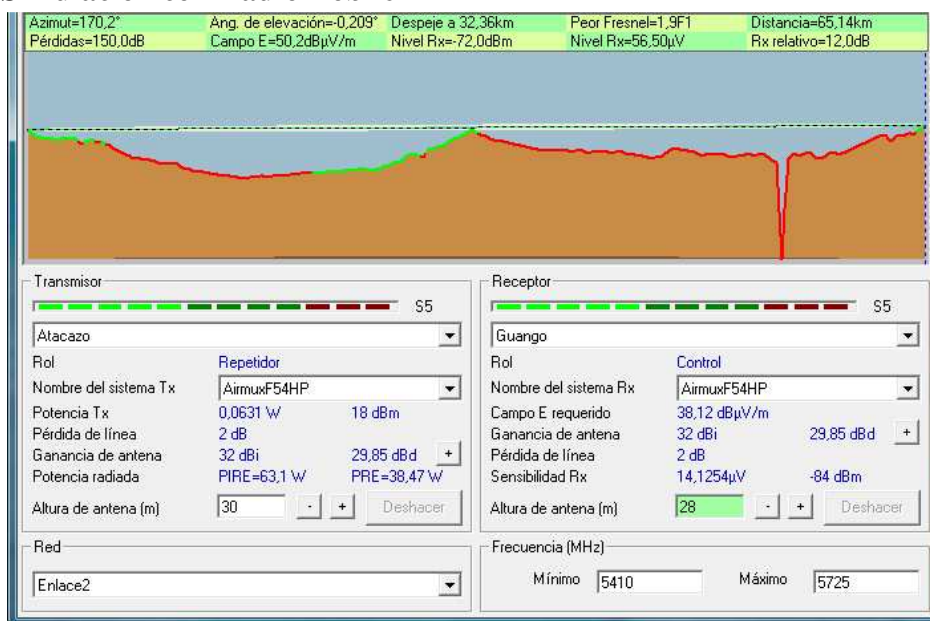


Figura 2.21 Resultados simulación RadioMobile

2.6 PARÁMETROS SIMULADOS CON LINK BUDGET

Junto con el software incluido en los equipos también podemos hacer uso de una aplicación vía navegador, con la cual podemos obtener un pronóstico del funcionamiento del enlace y con ello un ancho de banda aproximado. A continuación tenemos los resultados de Link Budget Calculator.

2.6.1 ENLACE TWIN TOWERS – ATACAZO

Datos de la simulación:

Channel, Ancho de banda del canal = 20 MHz

Tx Power, Potencia del transmisor = 8 dBm

Tx Antenna Gain, Ganancia de la antena transmisora = 28 dBi

Rx Antenna Gain, Ganancia de la antena receptora = 28 dBi

Cable Loss, Pérdidas en el cable coaxial = 4 dB

Fade Margin, Margen de desvanecimiento = 9,6 dB

Distance, Distancia del enlace = 20,43 Km

Climate, Clima = Promedio $c=1$ (El clima se establece de acuerdo a la tabla 2.6)

Value	Description
Good (C=0.25)	Mountains and dry climate
Average (C=1)	Average terrain and climate
Moderate (C=2)	Moderate terrain and climate
Difficult (C=4)	Over water or humid climate
Very Difficult (C=6)	Exterme humid climate

Tabla 2.7 Factor de clima

Product	AirMux-200AIND/F58F/EXT/4T1
Channel / RFP / Frequency	20 MHz / Auto / 5.8 GHz
Rate	18 Mb/s
Tx Power	8 dBm [4 - 8]
Tx Antenna Gain	28 dB
Rx Antenna Gain	28 dB
Cable Loss	4 dB
Fade Margin	9.6 dB
Tx Power EIRP	45 dBm / 31.6 Watt
Min Range	0.1 Km / 0.1 Miles
Max Range	38 Km / 23.6 Miles
Expected Performance	
Distance/Climate	20.43 Km / Average (C=1)
Expected RSS / Fade Margin	-65 dBm / 15 dB
Services	Ethernet Only
Ethernet Rate (Full Duplex)	5.6 Mb/s @ Ethernet Only
Recommended antenna height	16 Meter / 52 Feet
<input type="button" value="Calculate"/>	

Figura 2.22 Resultados simulación Link Budget enlace 1

2.6.2 ENLACE ATACAZO – GUANGO

Datos de la simulación

Channel, Ancho de banda del canal = 20 MHz

Tx Power, Potencia del transmisor = 23 dBm

Tx Antenna Gain, Ganancia de la antena transmisora = 34,6 dBi

Rx Antenna Gain, Ganancia de la antena receptora = 34,6 dBi

Cable Loss, Pérdidas en el cable coaxial = 4 dB

Fade Margin, Margen de desvanecimiento = 16 dB

Distance, Distancia del enlace = 20,43 Km

Climate, Clima = Promedio c=1

Product	AirMux-200/ODU-HE/F54HP/EXT		
Channel / RFP / Frequency	20 MHz	/ Auto	? / 5.4 GHz
Rate	24 Mb/s		
Tx Power	20	dBm [7 - 20]	
Tx Antenna Gain	28	dB	
Rx Antenna Gain	28	dB	
Cable Loss	2	dB	
Fade Margin	8	dB	
Tx Power EIRP	46 dBm / 39.8 Watt		
Min Range	0.1 Km / 0.1 Miles		
Max Range	78 Km / 48.5 Miles		
Expected Performance			
Distance/Climate	65.14	Km	/ Average (C=1) ?
Expected RSS / Fade Margin	-71 dBm / 8 dB		
Services	Ethernet Only		
Ethernet Rate (Full Duplex)	4.1 Mb/s @ Ethernet Only		
Recommended antenna height	30 Meter / 98 Feet		
<input type="button" value="Calculate"/>			

Figura 2.23 Resultados simulación Link Budget enlace 2

En la siguiente tabla detallamos todos los resultados obtenidos tanto en los cálculos como en la simulación de los enlaces

ENLACE	DISTANCIA (Km)	PTx, PRx (dBm)	GANANCIA ANTENAS	Ao (dB)	FM	MU	DISPONIBILIDAD	BW (Mbps)
OF TWIN-ATACAZO	20,43	8	28 dBi	133,87	9,67	10,13	99,9916	5,6
ATACAZO-GUANGO	65,14	23	34,6 dBi	143,49	24,55	28,71	99,9962	4,1

Tabla 2.8 Resultados de los enlaces

2.7 ACOPLAMIENTO Y ESQUEMAS DE LAS ETAPAS DEL ENLACE

Ya realizados los cálculos y verificar la viabilidad del proyecto se realiza la unión de todos los elementos para conformar el sistema total de transmisión, a continuación se detalla todos los equipos y sus respectivas conexiones para que el enlace completo funcione correctamente. Se realizara una breve explicación de todos los equipos e implementos.

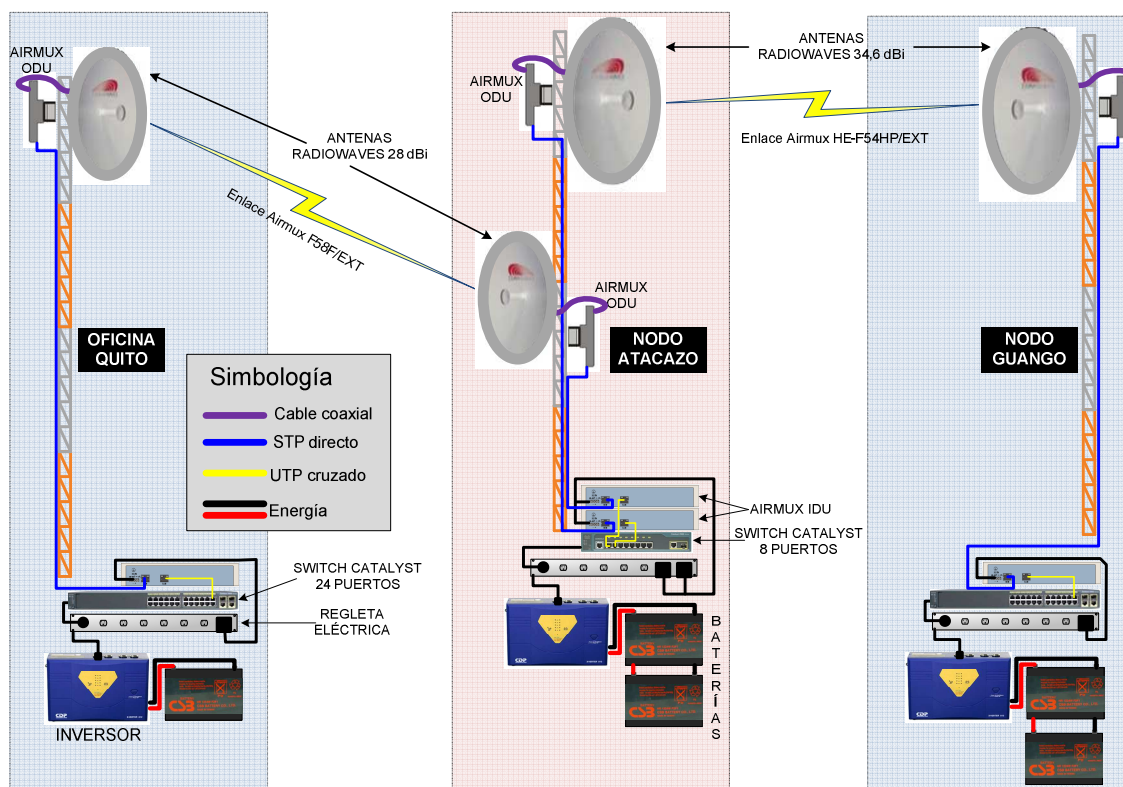


Figura 2.24 Distribución de equipos y materiales en los nodos

En la figura 2.24 podemos ver la distribución de los equipos en los tres nodos que conforman este proyecto. En la parte inferior se distingue el inversor y un banco de baterías que permiten alimentar de energía a todos los equipos electrónicos de forma ininterrumpida, en el nodo Atacazo tenemos dibujado dos baterías pero en realidad se instalarán 4 de alta capacidad, con ello podemos lograr un tiempo de autonomía de 18 a 20 horas sin servicio eléctrico, tiempo en el cual se puede reemplazar el banco por baterías recargadas en caso de que el siniestro no haya sido solucionado por la Empresa Eléctrica.

Arriba de las baterías se observa los switches de administración, en los nodos Quito y Guango se dispone de un switch Cisco Catalyst 2960 de 24 puertos, los cuales están configurados para conformar una MetroEthernet con soporte de VLANs, en el nodo Atacazo se instalara un equipo Catalyst 2960 de 8 puertos ya que al ser un nodo nuevo por el momento no es necesario la instalación de un switch de mas puertos, asimismo éste equipo estará configurado para permitir el direccionamiento de VLAN's y poseer puertos troncales para los enlaces principales.

Ahora tenemos la unidad de interiores de los equipos Airmux200, a ella se conecta la unidad externa (ODU) a través de un cable de datos STP categoría 5e que lo debemos crimpar de forma directa y lo conectamos en el IDU al puerto etiquetado como "ODU", también debemos colocar un patch cord cruzado que conecta el puerto "LAN" del IDU con el puerto del switch que se lo haya configurado para ese enlace.

Ahora nos encontramos en la torre, el cable que llega desde el IDU lo conectamos al puerto "IDU" del ODU, y cerramos los protectores y los sellamos con cinta adhesiva para evitar filtraciones y polvo, una vez montado el ODU a la torre hacemos la unión con el cable coaxial desde el conector "N" del ODU hasta el conector "N" de la antena, terminado esto sellamos los conectores con cinta adhesiva y cinta autofundente para proteger la unión de los elementos ambientales. Repetimos el procedimiento para todos los equipos de radio y sus antenas.

CAPÍTULO 3

INSTALACIÓN Y PRUEBAS

3.1 INSTALACIÓN DE LAS ETAPAS DEL ENLACE

3.1.1 INFRAESTRUCTURA

El primer paso para llevar a cabo el proyecto es la construcción de la infraestructura en el nuevo repetidor denominado Atacazo, que luego de los estudios realizados se determinó la ubicación y posición tanto de la torre como de la caseta de equipos. Una vez instalada la torre se construye la caseta con las dimensiones sugeridas por Ecuonline S.A., tomando en cuenta las medidas de las instalaciones de otros nodos de la empresa. En la fig.3.1 se puede apreciar parte del techo de la caseta y los primeros tramos de la torre metálica.



Figura 3.1 Torre con tensores y caseta de equipos

3.1.2 PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS

Una vez culminados los trabajos de construcción se debe iniciar con la instalación del sistema de protección eléctrica; esto es, el pararrayos y la conexión de toma a tierra. En las siguientes líneas se describe como se llevo a cabo la instalación de esta parte del proyecto.

3.1.2.1 Instalación del pararrayos

- Preparación de todos los materiales y herramientas.
- Estirada y sujeción del cable conductor a uno de los vértices de la torre.

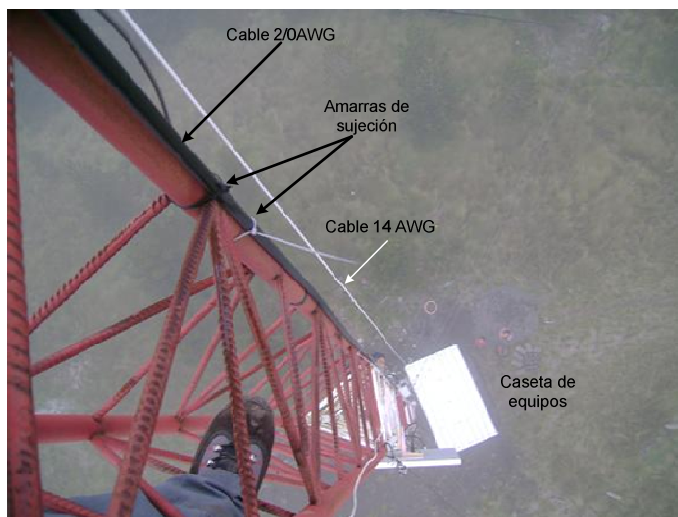


Figura 3.2 Tendido y sujeción del cable

- Conexión e instalación del pararrayo tetrapuntal al cable aislado.
- Apertura de zanja para instalación del cable de drenaje, siguiendo un patrón de "T".
- Instalación de seis barras cooperwell distribuidas uniformemente con aproximadamente cinco metros de separación.
- Tendido y unión del cable desnudo con las barras y con el cable de bajada de la torre.

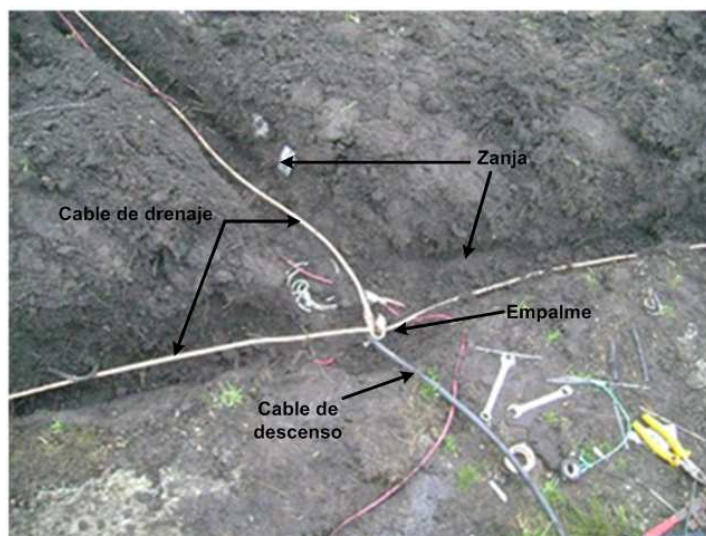


Figura 3.3 Instalación de los cables de descenso y drenaje

- Relleno y cobertura de la zanja.



Figura 3.4 Cobertura de zanja concluida

3.1.3 ELECTRICIDAD

Terminada la instalación de la protección contra descargas, continuamos con el suministro eléctrico para la caseta de equipos. Iniciamos con el tendido de la acometida desde un poste de la red eléctrica pública hasta el interior de la caseta en una caja con dos breakers. También es necesaria la instalación de la toma a tierra para la protección de los equipos.



Figura 3.5 Sistema eléctrico de la caseta de equipos

3.2 PRUEBAS DE CONECTIVIDAD

Para la ejecución del enlace los equipos Airmux tienen la característica de que al estar sin configuración alguna y al encenderlos en pareja, estos establecen

un enlace al cual podemos configurarlo con los parámetros que se estimen necesarios. Para un correcto funcionamiento se deben establecer las siguientes configuraciones.

3.2.1 CONFIGURACIÓN DE EQUIPOS

Para efectos de administración y monitoreo las direcciones IP asignadas a todos los equipos involucrados en este proyecto son:

DESCRIPCIÓN	UBICACIÓN	DIRECCIÓN IP
Airmux200 F58	Of. Quito	10.250.0.212
Airmux200 F58	Rep. Atacazo	10.250.0.213
Switch Catalyst 2960	Rep. Atacazo	10.250.0.19
Airmux200 HE/F54HP	Rep. Atacazo	10.250.0.176
Airmux200 HE/F54HP	Nodo Guango	10.250.0.177
Router(sensor energía)	Rep. Atacazo	10.250.7.254

Tabla 3.1 Direcciones IP a ser asignadas

La configuración de los equipos de radio se la hace con el software AIRMUX200 MANAGER, las configuraciones mínimas necesarias son las mencionadas a continuación.

- Verificación de la versión de firmware del equipo, de no ser la adecuada se actualiza el equipo a la última versión existente del firmware.

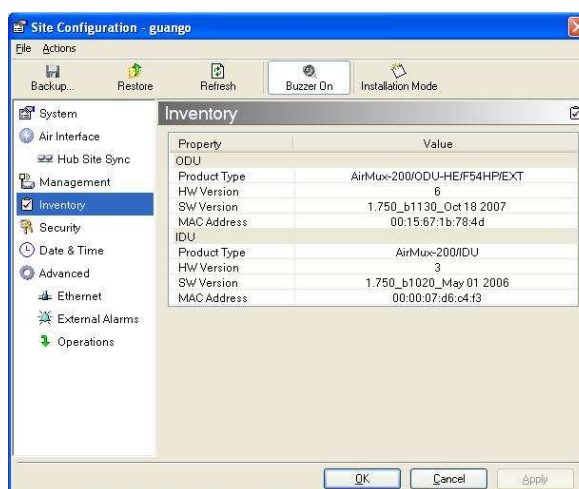


Figura 3.6 Versión de firmware y hardware del equipo

- Fijar la dirección IP para monitorización y administración del equipo de forma remota.

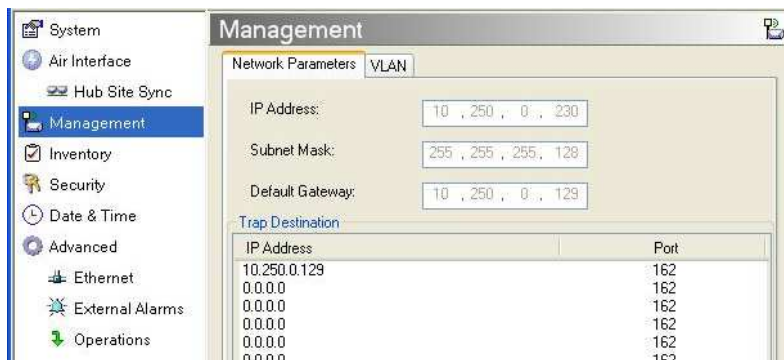


Figura 3.7 Configuración de dirección para monitoreo

- Crear una clave de enlace para evitar la intrusión a la red de Ecuaoonline.



Figura 3.8 Clave de enlace para fines de encriptación

- SSID para identificar los equipos de la red y mediante la autenticación puedan trabajar correctamente, además configuramos la potencia de transmisión y la frecuencia inicial de enlace, antes de que el equipo escoja la mejor, en el modo automático.

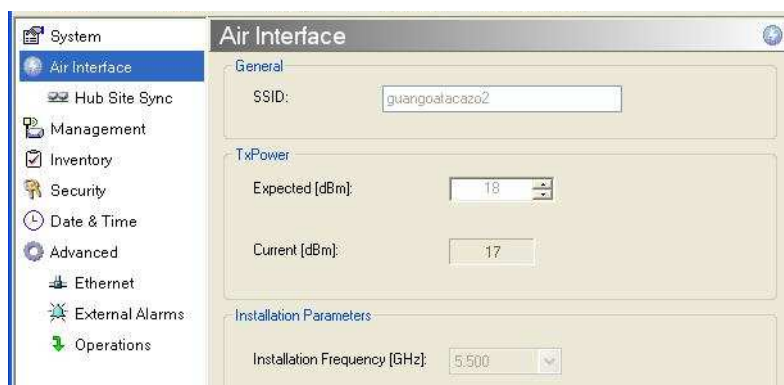


Figura 3.9 SSID y potencia de transmisión

- Fijación de frecuencia de trabajo, tomando en cuenta las frecuencias en las que se hallan trabajando los equipos que se encuentran en ese nodo.

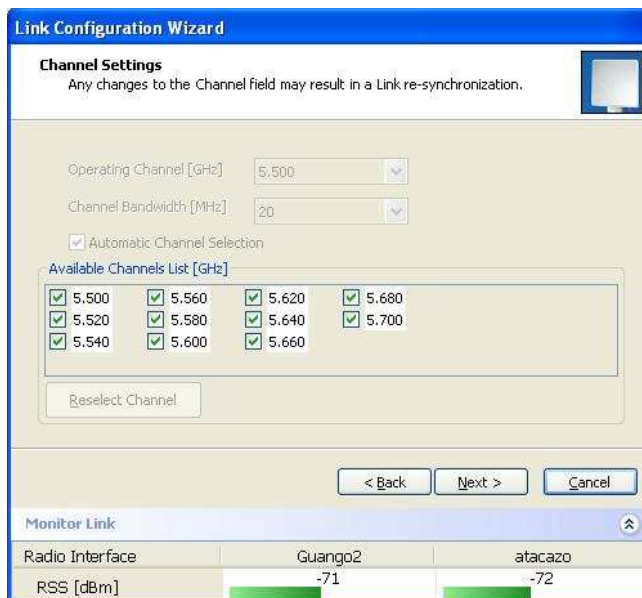


Figura 3.10 Frecuencias disponibles en el equipo de radio

- Observamos que los indicadores de enlace de comunicación se encuentren al máximo.

3.2.2 INSTALACIÓN DE LAS ANTENAS PARABÓLICAS

Una vez realizadas las configuraciones pertinentes, en primer lugar se procede a instalar las antenas en los lugares más adecuados, tomando en cuenta para ello la cercanía con otros equipos de radio en la torre, las frecuencias en las que operan y sus polarizaciones para evitar en lo posible algún tipo de interferencia.

La polarización de las antenas será vertical en ambos enlaces ya que los equipos al trabajar en diferentes rangos de frecuencias y además la separación entre las antenas permiten su instalación de este modo, sin afectar su rendimiento.

El primer paso para el montaje de las antenas es su armado ya que a excepción del reflector parabólico todo viene en piezas.

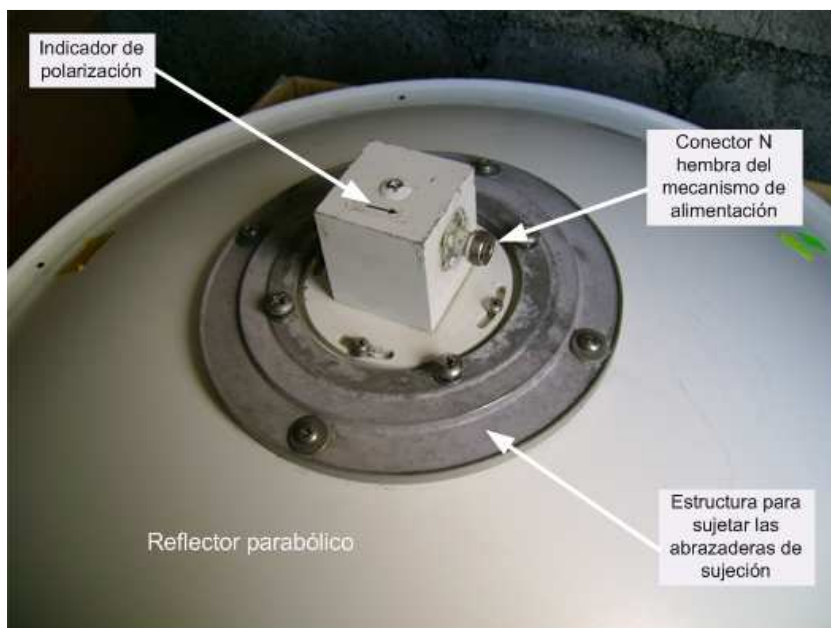


Figura 3.11 Montaje del alimentador en la antena de 28 dBi



Figura 3.12 Montaje del mecanismo de anclaje

Ahora se lleva a cabo el montaje en la torre, de acuerdo a los cálculos de altura de despeje, la antena del enlace Atacazo – Guango debe estar a 30 metros del suelo, en la imagen 3.13 podemos ver que por su tamaño ésta antena es montada sin el mecanismo alimentador, esto con el fin de realizar el apuntamiento de mejor forma, una vez en su lugar y debidamente apuntada se ajusta muy bien para evitar la desviación generada por los fuertes vientos de la zona y se coloca el

feeder(mecanismo alimentador). Además se observa que por seguridad y facilidad de ascenso la antena fue atada con una cuerda.



Figura 3.13 Instalación antena trayecto Atacazo-Guango



Figura 3.14 Instalación antena trayecto Atacazo-Quito

En la imagen 3.14 se ve el montaje de la antena para el enlace Atacazo–Oficinas Quito y se aprecia que su altura es a la mitad de la torre ya que en este enlace no existen obstáculos en la línea de vista y por consiguiente no es necesaria la posición a una mayor altura.

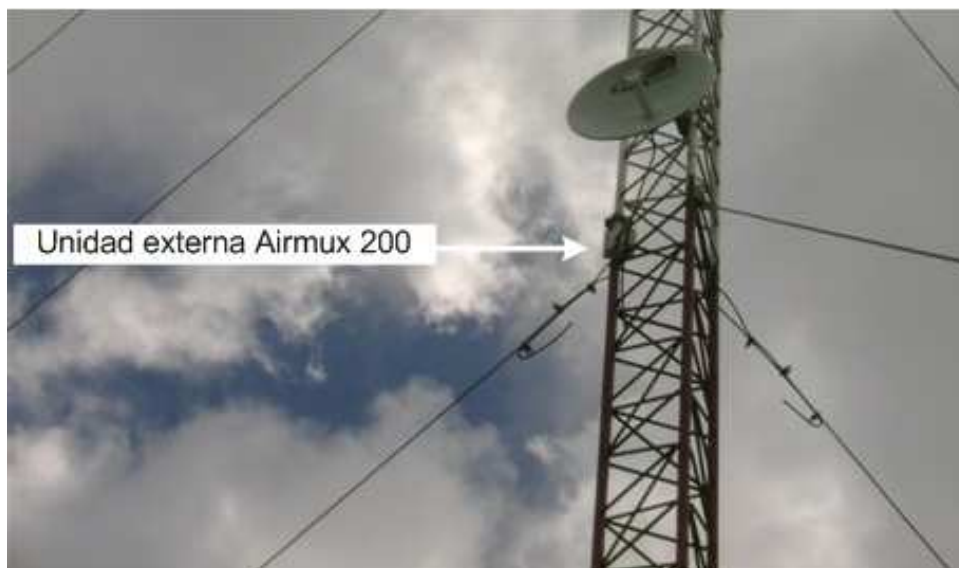


Figura 3.15 Montaje de equipos de comunicación en sus respectivas antenas

3.2.3 INSTALACIÓN DE LOS RADIOS

Una vez instaladas las antenas se realiza el montaje de las unidades externas de los equipos Airmux200 con sus respectivas conexiones tanto de datos como el coaxial hasta el alimentador de la antena, los ODU's son las unidades encargadas de la transmisión, recepción de las señales y también guardan la configuración del equipo, es decir, si tenemos que reemplazar la unidad de interiores (IDU) no tenemos que realizar ninguna configuración para hacerlo.



Figura 3.16 Terminales de toma a tierra

Algo importante es la conexión a tierra de los equipos, en la figura 3.16 vemos los terminales donde podemos conectar un cable multifilar 14 AWG que llevará las corrientes eléctricas al sistema de toma a tierra.

3.2.4 CONEXIÓN ODU-ANTENA

El cable coaxial para la conexión ODU-antena es el tipo RG8 y con sus terminales con conector tipo "N", estos cables de baja pérdida es posible fabricarlos, pero para este proyecto se decidió adquirirlos para evitar contratiempos futuros. Cuando la antena se encuentra apuntada y ajustada correctamente procedemos a colocarle el cable coaxial, este cable debe ser lo más corto posible para evitar degradaciones en la señal, en consecuencia el lugar donde está anclado el ODU debe ser cercano a la antena para no ejercer presión en el cable ni someterlo a deformaciones, normalmente estos cables coaxiales tienen una longitud de 60 cm.

Características eléctricas de los conectores tipo N:

- Impedancia: 50 Ω
- Frecuencia: 0 - 11 GHz
- Tensión máxima de pico: 1.500 V
- Relación de onda estacionaria entre 0 y 11 GHz.
- **1'3** Para conectores rectos de grado militar (*MIL-C-39012*)
- **1'35** Para conectores en ángulo recto de grado militar (*MIL-C-39012*)
- Pérdidas por cada conexión 1 dB.

Características del cable RG8:

Conductor central: alambre de cobre rojo recocido de 2,18 mm de diámetro.

Dieléctrico: (PEBD) polietileno de baja densidad de 7,25 mm de diámetro.

Blindaje: malla trenzada de alambres de cobre rojo de 16 x 9 x 0,15 eficacia (87%).

Cubierta exterior: (PVC) Policloruro de vinilo color negro diámetro final 10,25 mm.

En la imagen 3.17 vemos los cables de baja pérdida, a la izquierda preparados y a la derecha ya instalados.



Figura 3.17 Conexión de cables de baja pérdida

Cabe mencionar que la instalación de antenas y equipos se llevo a cabo durante dos días, en los que el personal de Ecuonline S.A. se dividió en tres grupos para cubrir las instalaciones de los 3 nodos involucrados en el proyecto.

3.2.5 CONECTIVIDAD ENTRE NODOS

Una vez concluidos los trabajos de instalación verificamos la conectividad hacia los equipos de radio de cada nodo; para ello los equipos Airmux200 tienen la característica de que al encenderse realizan un escaneo de frecuencias y al momento de tener indicios de la señal adecuada emiten un sonido que va cambiando a medida que cambia el nivel de esa señal, hasta el momento que se establece el enlace y el equipo se silencia.

La primera herramienta utilizada para verificar si existe conexión es realizar una solicitud de eco a través del protocolo ICMP, es decir, ping, con esto nos aseguramos que los equipos sean accesibles desde los nodos y desde el departamento de monitoreo en las oficinas de Quito. Para nuestro caso si tenemos respuesta tanto del nodo Guango como de las oficinas en Quito.

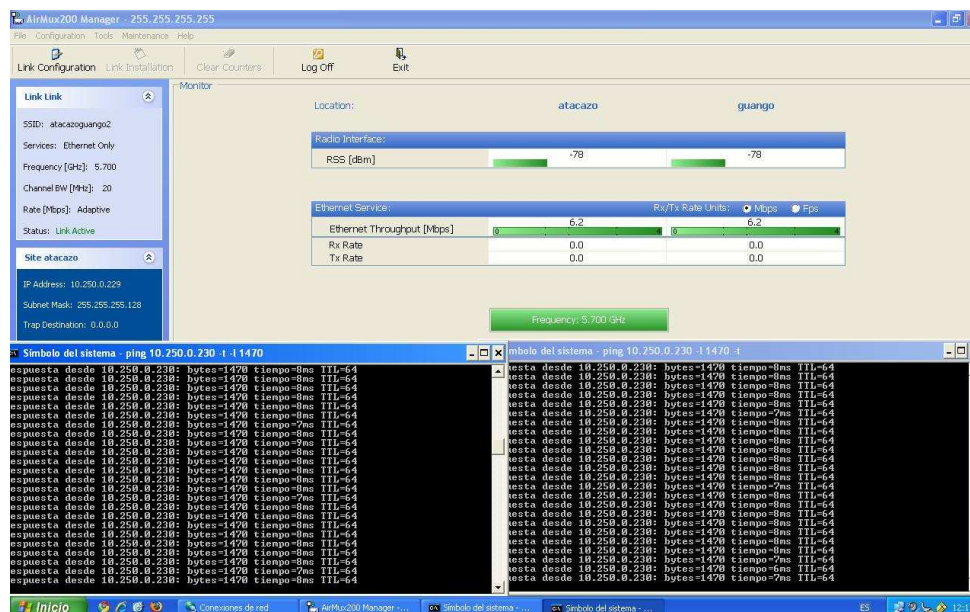


Figura 3.18 Enlace Atacazo-Guango

Para efectos de prueba las IP's configuradas son 10.250.0.229 en nodo Atacazo y 10.250.0.230 en nodo Guango, en la imagen 3.18 observamos la respuesta de ping realizada desde el nodo Atacazo hacia el equipo en el nodo Guango, el tiempo de respuesta para los equipos Airmux varía de 5 a 6 milisegundos en distancias cortas, por lo que para un enlace de 65,14 Km una respuesta de 8 ms está bien y además el enlace se encuentra estable.

3.3 CALIBRACIÓN Y PUESTA A PUNTO

En la imagen 3.18 se ve que los parámetros de ancho de banda y robustez de señal se encuentran en 6,2 MBps y -78dBm respectivamente, esto es dejando a los equipos en modo automático, así que para tener un máximo de ancho de banda y estabilidad en el enlace se debe probar manualmente cambiando los parámetros de frecuencia y tasa de transmisión para que el equipo cambie la modulación hasta encontrar el mejor rendimiento posible.

Una vez tengamos enlace entre equipos la calibración se puede llevar a cabo desde un solo punto y usando como herramienta una computadora portátil con sistema Windows y que disponga del software necesario. Un punto importante es la alineación de las antenas, y con ayuda del software podemos realizar pequeños ajustes en la posición de la antena hasta que el nivel de

robustez de señal se establece en el mejor valor posible, éste procedimiento es necesario hacerlo en ambas locaciones para tener el mismo valor de señal (RSS).

Al cambiar la frecuencia también cambian los niveles de señal; realizado el barrido de frecuencias se determinó que 5500 MHz es el valor adecuado. En la siguiente imagen vemos los parámetros definitivos y los niveles alcanzados.

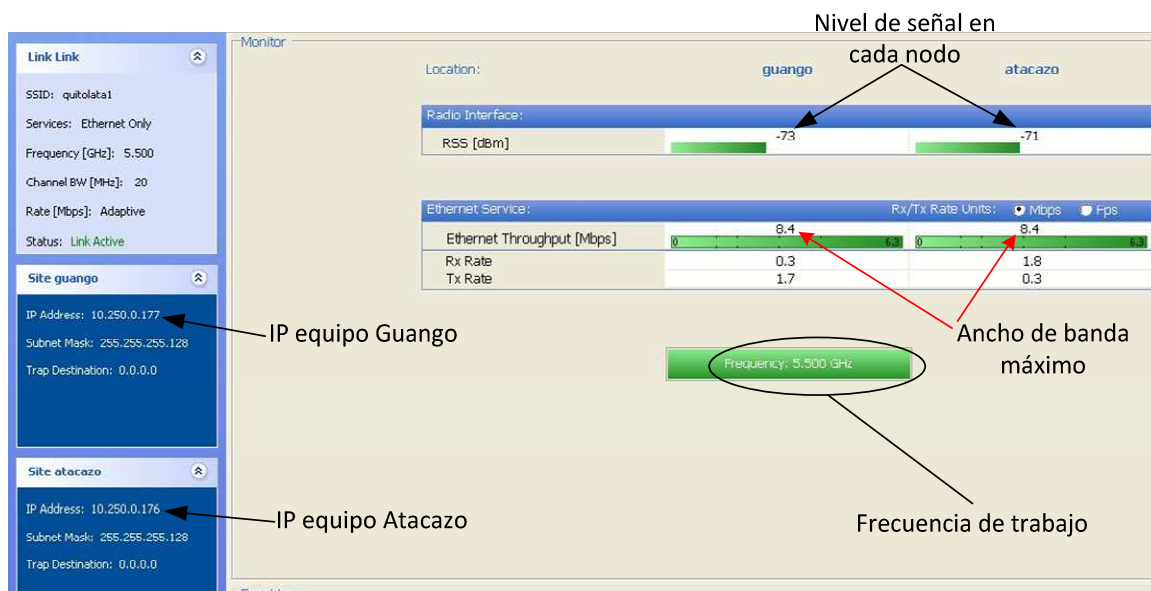


Figura 3.19 Enlace Atacazo-Guango ya calibrado

Las imágenes mostradas y los procedimientos explicados son tomados del enlace Atacazo – Guango por ser el de mayor distancia y por ende el de mayor relevancia. En la imagen 3.20 vemos los valores obtenidos en el enlace Quito-Atacazo.

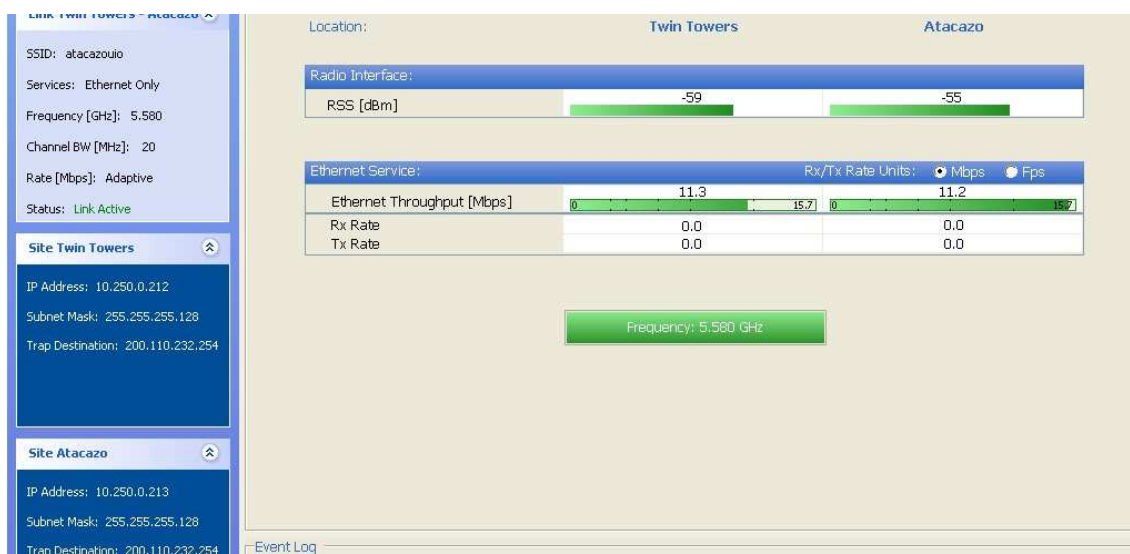


Figura 3.20 Enlace oficina Quito - Atacazo ya calibrado

3.4 PRUEBAS DE ANCHO DE BANDA

Los datos obtenidos por el software de los equipos de radio son los que registrarán en la transmisión de datos entre las oficinas en la ciudad de Quito y el nodo de cobertura Guango en la provincia de Cotopaxi. Los valores se detallan en la siguiente tabla, cabe mencionar que los datos de ancho de banda se refieren a transmisión en modo FULL DUPLEX.

ENLACE	DISTANCIA[Km]	RSS [dBm]	Throughput [Mbps]
Quito-Atacazo	20,43	-59	11,2
Atacazo-Guango	65,14	-71	8,4

Tabla 3.2 Ancho de banda real alcanzado

Una vez finalizadas las pruebas de estabilidad, tenemos que el ancho de banda disponible en el nodo Guango es de 8,4 Mbps, lo cual es mayor que las estimaciones generadas por la aplicación Link Budget Calculator que fue de 4,1Mbps. Las variaciones de tiempo en la latencia siguen fluctuando en los 8ms a pesar de saturar el enlace con carga máxima.

3.5 VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO TOTAL DEL ENLACE

Con las pruebas y puesta a punto finalizadas lo que sigue es conectar el enlace al switch de distribución en el nodo Guango que luego de algunas configuraciones en los puertos se redirige el tráfico de datos generado por los clientes de esta zona y ahora se transmiten por el nuevo camino de microondas.

A través de un servidor podemos realizar el monitoreo del tráfico generado en las interfaces de los switches de toda la red, en la imagen que sigue podemos ver el tráfico que se transmite por la interfaz (puerto) FastEthernet 22 del switch ubicado en las oficinas de Quito que es a la que se conecta el enlace Quito-Latacunga instalado recientemente. Vemos una media de consumo de descarga, es decir transmisión de 0,6 Mbps y la media de subida (recepción) es 100 Kbps.

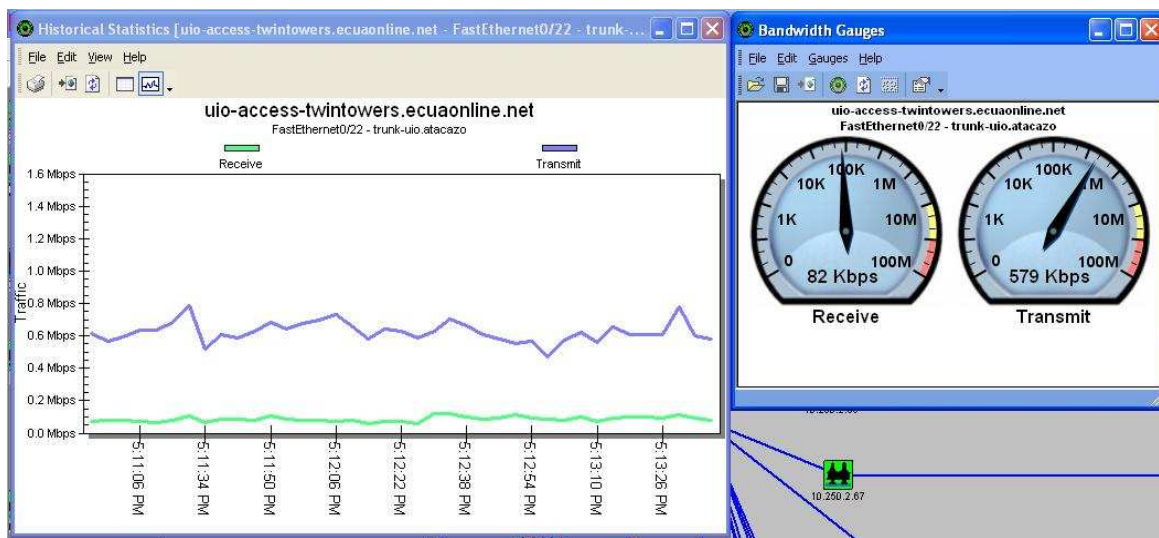


Figura 3.21 Monitoreo de consumo en enlace Quito-Latacunga

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

4.1 CONCLUSIONES

Una vez diseñado e instalado el proyecto, tenemos las siguientes conclusiones.

- Para determinar la ubicación del repetidor se debe empezar por la inspección en lugares elevados donde se observa que ya existen instalaciones de comunicación y verificar si tenemos las condiciones requeridas para nuestros propósitos; ya que la instalación en un lugar completamente nuevo es muy complicada y acarrea una serie de problemas que recurren en gastos.
- Establecer un enlace a través de microondas es la forma de telecomunicación mas económica y sobre todo su puesta en marcha se puede lograr en poco tiempo en comparación con un tendido de fibra óptica, que obviamente tiene una capacidad enorme, pero para poder instalarla se necesita permisos de los organismos gubernamentales, una inversión bastante generosa y mucho tiempo para realizar los estudios y su instalación.
- El ancho de banda logrado en este radioenlace es suficiente para eliminar la saturación en los clientes actuales de Ecuonline S.A., además la posible demanda futura por parte del cliente será cubierta por nuevos enlaces en paralelo que pueden ser instalados en las mismas torres, ya que los equipos instalados tienen la capacidad de sincronizarse entre sí hasta formar ocho enlaces sin causar interferencias ni degradación en su señal. Además las características de los switches Cisco Catalyst permiten balancear el tráfico que atraviesa por un cierto enlace y dividir ese tráfico en los enlaces que se tenga disponibles (en este caso hasta 8).

- Es de suma importancia que la instalación del sistema de protección eléctrica, es decir; pararrayos y toma a tierra se lleve a cabo en primera instancia, ya que al trabajar en montañas elevadas con elementos metálicos, equipos eléctricos y electrónicos sensibles se tiene el riesgo constante de sufrir descargas eléctricas que resulten en daños materiales o personales.
- La instalación de infraestructura propia libera a la empresa de la necesidad de arrendar ancho de banda a través de enlaces dedicados, además en caso de daños y defectos en el servicio se puede responder de forma inmediata para realizar las reparaciones correspondientes, lo cual en un enlace arrendado lleva más tiempo.
- El repetidor instalado puede utilizarse como un nodo de cobertura y proveer servicio en el sector sur de la ciudad de Quito y en ciertos lugares de sus valles aledaños.
- Trabajar con equipos y materiales de buena calidad deriva directamente en la calidad de servicio que se ofrece al cliente.
- El uso de equipos en bandas libres supone un ahorro en los costos de instalación, ya que no se exige la concesión de las frecuencias y únicamente se necesita realizar una declaración anual como un enlace punto a punto que tiene un costo manejable.
- Al utilizar equipos en frecuencia 5,4GHz podemos evitar la interferencia de radios cercanos que trabajan con el estándar 802.11a cuya frecuencia central es 5,8GHz y que en el caso de Ecuonline S.A. son los que mantienen los enlaces de ultima milla hasta el cliente final.
- En la decisión de ubicar un nodo en tal o cual lugar es esencial tener en cuenta las rutas de acceso a las torres repetidoras las cuales deben estar en

condiciones aceptables para poder llegar a ejecutar trabajos emergentes de una forma rápida sin contratiempos.

- Las características de los equipos y el ancho de banda alcanzado permiten ofrecer al cliente servicios basados en el protocolo IP como son: telefonía, multimedia en tiempo real, conformar redes privadas en las zonas de cobertura y más opciones que brinda la empresa.

4.2 RECOMENDACIONES

- Es necesario manejar un programa de mantenimiento preventivo para que los equipos trabajen de forma óptima evitando daños y sobre todo cortes en el servicio que traen consigo consecuencias económicas negativas.
- Se sugiere utilizar equipos cuya marca cuente con servicio técnico autorizado dentro del país para que en el caso de producirse fallas o hacer uso de garantías y mantenimiento, éste proceso no tome demasiado tiempo y de esta forma poder realizar el trabajo de sustitución o reparación rápidamente.
- Es importante que la configuración del enlace se realice primero en unas instalaciones controladas para tener la certeza de configurar los equipos con los mismos parámetros, ya que una vez en el campo no se tiene la garantía de que el enlace funcione inmediatamente y es necesario evitar contratiempos y dudas en las configuraciones.

4.3 BIBLIOGRAFÍA

http://es.wikipedia.org/wiki/Ondas_electromagneticas

http://www.albertoroura.com/peich.php?ondas_electromagneticas

SISTEMAS DE COMUNICACIONES ELECTRÓNICAS – TOMASI WAYNE –
PEARSON – CUARTA EDICIÓN

http://es.wikipedia.org/wiki/Radiacion_electromagnetica

<http://es.wikipedia.org/wiki/Propagacion>

FUNDAMENTOS DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES MÓVILES-
ALBERTO SENDIN ESCALNA EDITORIAL Mc Graw Hill paginas 139 - 142

<http://www.dednet.net/institucion/itba/cursos/000183/demo/biblioteca/121redesUTN.pdf>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Router>

<http://www.powerpoint-search.com/enlaces-microondas-ppt.html>

<http://srtm.usgs.gov/>

http://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_OSI

<http://www.alfinal.com/Temas/tcpip.php>

<http://www.titanwirelessonline.com/SearchResults.asp?Cat=156>

http://www.wimo.de/cgi-bin/verteiler.pl?url=wifi-cables_s.html

<http://www.timesmicrowave.com/cgi-bin/calculate.pl>

http://www.rad.com/3-2527/Wireless_Multiplexers/

http://www.kernelsoftware.com/products/catalog_6/alvarion,_inc..html

http://www.radiocomunicacion.com/ep/tit_b.htm

http://www.netlinkweb.com/radwin_pricelist.pdf

<http://www.monografias.com/trabajos26/radiocomunicaciones/radiocomunicaciones.shtml?monosearch>