

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA UNIDAD DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN GESTIÓN DE TELECOMUNICACIONES

Tesis previa a la obtención del Grado de Magister en Gestión de Telecomunicaciones

"ESTUDIO SOCIO – TÉCNICO – ECONÓMICO DE TECNOLOGIAS DE ACCESO APLICADAS A ZONAS DE DENSIDAD POBLACIONAL DISPERSA"

Autores:

Eduardo Peralta Quinde. Javier Martínez Ledesma.

Dirigido por:

Ing. Edgar Ochoa Figueroa.



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA UNIDAD DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN GESTIÓN DE TELECOMUNICACIONES

Autores:

Eduardo Peralta Quinde.

Javier Martínez Ledesma.

Dirigido por:

Ing. Edgar Ochoa Figueroa.

"ESTUDIO SOCIO – TÉCNICO – ECONÓMICO DE TECNOLOGIAS DE ACCESO APLICADAS A ZONAS DE DENSIDAD POBLACIONAL DISPERSA"

En el presente trabajo de tesis, se presentan los resultados del análisis Técnico Económico de las diferentes tecnologías de acceso para el servicio de telecomunicaciones en las áreas rurales del Ecuador. Se analizó varias tecnologías tales como CDMA 450, VSAT, MSAM, WIFI, etc.

Con los resultados obtenidos será posible reducir la brecha digital que existeentre las zonas urbanas y rurales del Ecuador, incluyendo a la mayor parte de la población a los servicios de la sociedad de la información y el buen vivir, posibilitando que todos tengan las mismas oportunidades de desarrollo.

Para la experimentación fue necesario cumplir con las siguientes etapas previas:

Análisis técnico de las diferentes tecnologías de acceso.

Análisis de ventajas y desventajas de cada tecnología.

Análisis Económico de cada una de las tecnologías de acceso.

Modelación de varias tecnologías en diferentes sectores rurales del Ecuador.

Con este documento se podrá determinar de los análisis y comparaciones realizadas de cada una de las tecnologías las ventajas y desventajas que presentan cada una de ellas ,de igual manera esto se complementara con las modelación de estas tecnologías endiferentes sectores rurales del Ecuador , se ha comparado su ventajas y desventajas en el aspecto socio técnico económico, teniendo como resultado los parámetros que se deben considerar en el momento de realizar un despliegue para la dotación de servicios de telecomunicaciones en la ares rurales del Ecuador.

"ESTUDIO SOCIO – TÉCNICO – ECONÓMICO DE TECNOLOGIAS DE ACCESO APLICADAS A ZONAS DE DENSIDAD POBLACIONAL DISPERSA"

"ESTUDIO SOCIO – TÉCNICO – ECONÓMICO DE TECNOLOGIAS DE ACCESO APLICADAS A ZONAS DE DENSIDAD POBLACIONAL DISPERSA"

Eduardo Peralta Quinde

Ingeniero Eléctrico
Egresado de la Maestría en Gestión de Telecomunicaciones

Javier Martínez Ledesma

Ingeniero Electrónico
Egresado de la Maestría en Gestión de Telecomunicaciones

DIRIGIDO POR:

Edgar Ochoa Figueroa

Ingeniero Eléctrico
Especialista Superior en Derecho y Gestión de Telecomunicaciones
Magister en Telemática



CUENCA – ECUADOR

2014

Datos de catalogación bibliográfica

LUIS EDUARDO PERALTA QUINDE JAVIER EUGENIO MARTINEZ LEDESMA

"ESTUDIO SOCIO – TÉCNICO – ECONÓMICO DE TECNOLOGIAS DE ACCESO APLICADAS A ZONAS DE DENSIDAD POBLACIONAL DISPERSA"

Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca – Ecuador, 2014

MAESTRÍA EN GESTIÓN DE TELECOMUNICACIONES

Formato 170 x 240 mm Páginas: 280

Breve reseña de los autores e información de contacto



LUIS EDUARDO PERALTA QUINDE

Ingeniero Eléctrico Egresado de la Maestría en Gestión de Telecomunicaciones eperalta1@etapanet.net



JAVIER EUGENIO MARTINEZ LEDESMA

Ingeniero Electrónico Egresado de la Maestría en Gestión de Telecomunicaciones jmartinez@telecomaustro.com



Director:

EDGAR OCHOA FIGUEROA

Ingeniero Eléctrico
Especialista Superior en Derecho y Gestión de Telecomunicaciones
Magister en Telemática
edgar.ochoa@senatel.gob.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS
©2014 Universidad Politécnica Salesiana.
CUENCA – ECUADOR
LUIS EDUARDO PERALTAQUINDE
JAVIER EUGENIO MARTINEZ LEDESMA
"ESTUDIO DE TECNOLOGIAS DE ACCESO APLICADAS A ZONAS DE DENSIDAD POBLACIONAL DISPERSA"
IMPRESO EN ECUADOR – PRINTED IN ECUADOR

INDICE GENERAL

1.	FUNDAMENTOS Y OBJETIVO	1
	1.1 OBJETIVO DEL PROYECTO, PROCEDIMIENTO ESTABLECIDO Y NECESIDADES DE TI	1
	1.1.1 Caracterización de zona rural (dispersa)	3
	1.1.2 Necesidad de tecnologías apropiadas en las zonas rurales o dispersas	5
	1.1.3 Definición de "tecnología apropiada"	5
	1.1.4 Condiciones que debe cumplir una tecnología concreta para que su aplicac sea considerada apropiada en zonas rurales o dispersas	
	1.2 PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE LAS TECNOLOGÍAS	7
	1.2.1 Requisitos	7
	1.2.2 Variables generales de análisis	9
	1.2.2.1 Características Técnicas del Sistema.	9
	1.2.2.2 Infraestructura.	12
	1.2.2.3 Energía	12
	1.2.2.4 Costo	13
	1.2.2.5 Resumen de las variables de análisis	14
	1.3 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS:	16
	1.4 TECNOLOGIAS SELECCIONADAS PARA EL ANALISIS	16
	1.4.1 DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications):	16
	1.4.1.1 Cumplimiento de los Requisitos.	17
	1.4.2 VSAT (Very Small Aperture Terminals)	18
	1.4.2.1 Cumplimiento de los Requisitos.	18
	1.4.3 IEEE 802.11 (WI-FI)	19
	1.4.3.1 Cumplimiento de los Requisitos.	19
	1.4.4 IEEE 802.16 (Wi-MAX)	20
	1.4.4.1 Cumplimiento de los Requisitos.	21
	1.4.5 CDMA 450 (Acceso Múltiple por División de Código)	22

1.4.5.1 Cumplimiento de los Requisitos.	22
1.4.6 MSAN (Nodo de acceso Multi-servicios)	24
1.4.6.1 Cumplimiento de los Requisitos.	24
2. DESCRIPCION Y ANALISIS DE LAS TECNOLOGIAS SELECCIONADAS	27
2.1 SISTEMA DECT	27
2.1.1 Introducción.	27
2.1.1.1 Aplicaciones de DECT.	28
2.1.1.2 Áreas de Aplicación y Mercados	29
2.1.1.3 Situación actual del estándar DECT	29
2.1.2 Características Técnicas.	30
2.1.2.1 Bandas de Frecuencia.	31
2.1.3 Configuraciones de Red	31
2.1.4 Descripción de los equipos DECT	33
2.1.4.1 Equipos DECT compatibles con el perfil GAP	33
2.1.5 Aplicación de WLL.	35
2.1.5.1 Descripción de equipos para soluciones WLL corDECT	36
2.1.5.2 Topología típica de un sistema corDECT	40
2.1.6 Regulación.	41
2.1.6.1. Bandas de Frecuencia.	41
2.1.6.2. Autorizaciones.	42
2.1.7 Análisis del sistema DECT.	42
2.1.7.1 Estudio de las variables de análisis	42
2.1.7.1.1 Características técnicas del sistema.	43
2.1.7.1.2 Infraestructura.	45
2.1.7.1.3 Energía	46
2.1.7.1.4 Costo	47
2.1.7.2 Resumen de las variables de análisis	49
2.1.7.3 Conclusiones del análisis	52

2.1.7.3.1 Ventajas e inconvenientes de la aplicación de DECT en zonas rurales aisladas.	52
2.1.7.3.2 Conclusiones finales.	53
2.1.8 ANEXO: Estándares DECT del ETSI.	54
2.1.9 ANEXO: Fabricantes de equipos DECT.	55
2.1.10 ANEXO: Información comercial de algunos equipos DECT	56
2.2 ESTACIONES VSAT.	57
2.2.1 Introducción.	57
2.2.1.1 Áreas de aplicación de VSAT.	58
2.2.1.2 Situación actual del sistema VSAT.	59
2.2.2 Características Técnicas.	59
2.2.2.1 Bandas de Frecuencia.	60
2.2.2.2 Constelaciones de Satélites	61
2.2.2.2.1 Satélites utilizados por los sistemas VSAT.	63
2.2.2.3 Modos de acceso que proveen las redes VSAT	63
2.2.3 Configuración Funcional.	64
2.2.3.1 Configuraciones de Red.	65
2.2.3.2 Elección de una configuración.	66
2.2.3.3 Conectividad.	67
2.2.4 Descripción de los equipos.	68
2.2.4.1 Transponedores	68
2.2.4.2 Estación central, hub	68
2.2.4.3 Terminales remotos VSAT.	69
2.2.4.4 Soluciones comerciales existentes.	70
2.2.4.4.1 Fabricantes de equipos VSAT.	70
2.2.4.4.2 Proveedores de servicio VSAT	70
2.2.5 Regulación.	71
2.2.6 Soluciones VSAT para zonas rurales o dispersas	72
2.2.6.1 Terminales VSAT conectados a las líneas de abonado.	72
2.2.6.2 Terminales VSAT combinados con Wi-Fi.	73

2.2.7 Análisis del sistema VSAT.	73
2.2.7.1 Estudio de las variables de análisis	73
2.2.7.1.1 Características técnicas del sistema.	73
2.2.7.1.2 Infraestructura.	76
2.2.7.1.3 Energía	76
2.2.7.1.4 Costo	77
2.2.7.2 Resumen de las variables de análisis.	80
2.2.7.3 Conclusiones del análisis.	83
2.2.7.3.1 Ventajas e inconvenientes de la aplicación de VSAT en zonas rurales aisladas.	83
2.2.7.3.2 Conclusiones Finales.	85
2.2.8 ANEXO: Estándares VSAT del ETSI.	86
2.2.9 ANEXO: Información comercial de algunos equipos VSAT	88
2.3 ESTANDAR IEEE 802.11 (WI-FI)	89
2.3.1 Introducción.	89
2.3.1.1 Orígenes de las redes inalámbricas.	90
2.3.1.2 Estándares IEEE para Wi-Fi.	90
2.3.1.3 Áreas de aplicación de WLAN.	91
2.3.2 Características Técnicas.	92
2.3.2.1 Bandas de frecuencia.	93
2.3.2.2 Seguridad.	93
2.3.2.3 Métodos de transmisión.	94
2.3.2.3.1 Espectro Ensanchado por Secuencia Directa (DSSS)	94
2.3.2.3.2 Espectro Ensanchado por Salto de Frecuencia (FHSS)	95
2.3.2.3.3 OFDM	96
2.3.2.3.4 Tecnología de infrarrojos.	96
2.3.3 Configuración Funcional.	97
2.3.3.1 Redes Peer to Peer.	97
2.3.3.2 Redes con puntos de acceso	97
2.3.3.3 Interconexión de redes	98

2.3.4. Aplicaciones en exteriores, bucle de abonado inalámbrico, WLL	99
2.3.5. Descripción de los equipos.	99
2.3.5.1. Dispositivos cliente	100
2.3.5.1.1. Precios de tarjetas Wi-Fi para equipos cliente	100
2.3.5.2. Puntos de acceso y Gateways.	102
2.3.5.2.1. Precios de puntos de acceso y Gateways	104
2.3.5.3. Antenas y Amplificadores.	105
2.3.5.3.1. Precios de Antenas y Amplificadores	106
2.3.5.4. Precios de cables y conectores	108
2.3.6. Regulación.	108
2.3.7. Análisis del estándar 802.11.	109
2.3.7.1 Estudio de las variables de análisis	109
2.3.7.1.1 Características técnicas del sistema.	109
2.3.7.1.2 Infraestructura	112
2.3.7.1.3 Energía	112
2.3.7.1.4 Costo	113
2.3.7.2 Resumen de las variables de análisis.	116
2.3.7.3 Conclusiones del análisis	119
2.3.7.3.1 Ventajas e inconvenientes de la aplicación de Wi-Fi en zonas rurales aisladas.	119
2.3.7.3.2 Conclusiones Finales.	
2.3.8 ANEXO: Estándares IEEE 802.11 del IEEE	
2.3.9 ANEXO: Frecuencias de los métodos de transmisión de espectro ensanch	ado.
2.3.10 ANEXO: Fabricantes de equipos Wi-Fi	124
2.3.11 ANEXO: Información comercial de algunos equipos Wi-Fi	125
2.4 ESTANDAR IEEE 802.16 (WiMAX)	
2.4.1 Introducción	
2.4.1.1 Estándares IEEE para WiMAX	127
2.4.1.2 Áreas de aplicación de WLAN	129

2.4.2 Características Técnicas.	130
2.4.2.1 Bandas de frecuencia.	131
2.4.2.2 Seguridad.	132
2.4.2.3 Métodos de transmisión.	133
2.4.2.3.1 Duplexación.	133
2.4.3 Configuración funcional.	134
2.4.3.1 Configuración Punto a Multipunto (PTMP)	135
2.4.3.2 Configuración Punto a Punto.	135
2.4.3.3 Configuración en Malla (Mesh).	136
2.4.4 Aplicaciones en exteriores, bucle de abonado inalámbrico, WLL (W Local Loop).	
2.4.5 Descripción de los equipos.	138
2.4.5.1 Equipos ubicados en la zona del cliente.	139
2.4.5.1.1 Precios de equipos ubicados en la zona del cliente	140
2.4.5.2 Equipos ubicados en la BS.	140
2.4.5.2.1 Precios de equipos ubicados en la BS	142
2.4.6 Regulación.	143
2.4.7 Análisis del estándar 802.16.	144
2.4.7.1 Estudio de las variables de análisis	144
2.4.7.1.1 Características técnicas del sistema.	144
2.4.7.1.2 Infraestructura	147
2.4.7.1.3 Energía	147
2.4.7.1.4 Costo	148
2.4.7.2 Resumen de las variables de análisis.	150
2.4.7.3 Conclusiones del análisis.	153
2.4.7.3.1 Ventajas e inconvenientes de la aplicación de WiMAX en zonas aisladas.	
2.4.7.3.2 Conclusiones Finales.	154
2.4.8 ANEXO: Estandares 802.16 del IEEE.	155
2.4.9 ANEXO: Fabricantes de equipos WiMAX	156

2.4.10 ANEXO: Información comercial de algunos equipos WiMAX156
2.5 CDMA
2.5.1 Introducción
2.5.1.1 Estándares del CDMA
2.5.1.2 Áreas de aplicación de WLAN
2.5.2 Características técnicas
2.5.2.1 Bandas de frecuencia
2.5.2.2 Seguridad
2.5.2.3 Métodos de transmisión
2.5.2.3.1 DS-CDMA
2.5.2.3.2 MC-CDMA
2.5.3 Configuración funcional
2.5.4 Aplicaciones en exteriores, bucle de abonado inalámbrico, WLL171
2.5.5 Descripción de los equipos
2.5.5.1 Terminales CDMA
2.5.1.1 Precio y características de terminales CDMA
2.5.5.2.1 Precios y características de equipos ubicados en la BS176
2.5.6 Regulación
2.5.7 Análisis del sistema CDMA
2.5.7.1 Estudio de las variables de análisis
2.5.7.1.1 Características técnicas del sistema
2.5.7.1.2 Infraestructura
2.5.7.1.3 Energía
2.5.7.1.4 Costo
2.5.7.2 Resumen de las variables de análisis
2.5.7.3 Conclusiones del análisis
2.5.7.3.1 Ventajas e inconvenientes de la aplicación de CDMA 450 en zonas rurales aisladas
2.5.7.3.2 Conclusiones Finales
2.5.8 ANEXO: Estándares CDMA del 3GPP

	2.5.9 ANEXO: Fabricantes de equipos CDMA	191
	2.5.10 ANEXO: Información comercial de algunos equipos CDMA	191
	2.6 MSAN (NODO DE ACCESO MULTI-SERVICIOS)	193
	2.6.1 Introducción	193
	2.6.1.1 Áreas de aplicación de LAN.	194
	2.6.2 Características Técnicas.	194
	2.6.3 Configuración Funcional.	195
	2.6.4 Tecnologías de transmisión alámbricas usadas para zonas rurales	196
	2.6.4.1 ADSL (Línea de abonado digital Asimétrica).	197
	2.6.4.2 VDSL (Línea de abonado digital de Muy Alta velocidad de Datos)	198
	2.6.5 Características de una red de planta externa.	198
	2.6.5.1 Descripción de una red de planta externa con cable de cobre	198
	2.6.5.2 Elementos de planta externa con cable de cobre.	199
	2.6.6 Descripción de los equipos.	201
	2.6.6.1 Equipos MSAN.	201
	2.6.6.1.1 Precios de equipos MSAN	202
	2.6.6.2 Terminales.	203
	2.6.7 Análisis del sistema MSAN	204
	2.6.7.1 Estudio de las variables de análisis.	204
	2.6.7.1.1 Características técnicas del sistema.	204
	2.6.7.1.2 Infraestructura.	205
	2.6.7.1.3 Energía	206
	2.6.7.1.4 Costo	207
	2.6.7.2 Resumen de las variables de análisis.	208
	2.6.7.3 Conclusiones del análisis.	210
	2.6.7.3.1 Ventajas e inconvenientes de la aplicación de MSAN en zonas rural-	
	aisladas.	
	2.6.7.3.2 Conclusiones Finales.	
	2.6.8 ANEXO: Fabricantes de equipos MSAN.	
3.	ANÁLISIS SOCIOECONOMICO DE LAS TECNOLOGÍAS	213

	3.1 ANÁLISIS COMPARATIVO SOCIOECONÓMICO DE LAS	
	TECNOLOGÍAS.	213
	3.1.1 Prestaciones.	213
	3.1.2 Terminales.	213
	3.1.3 Infraestructura	214
	3.1.4 Costos.	214
	3.1.5 Ventajas e inconvenientes de cada tecnología, escenarios de aplicación.	223
	3.1.5.1 Análisis de la parroquia rural Mariano Moreno.	223
	3.1.5.2 Análisis de la parroquia rural San Miguel de Cuyes	237
	3.1.5.3 Análisis de la parroquia rural Atahualpa.	240
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	240

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Centralita PABX con DECT. [3]	28
Figura 2. Países en los que está presente la tecnología DECT. [3]	30
Figura 3. Modelo de referencia DECT. [3]	
Figura 4. Posibles configuraciones de red DECT. [3]	32
Figura 5. Unidad central DECT fabricada por SENAO. [6]	33
Figura 6. Unidad central DECT fabricada por Comflux. [6]	34
Figura 7. Repetidor DECT fabricado por SENAO. [6]	34
Figura 8. Modelos de teléfonos inalámbricos de las marcas	35
Figura 9. DIU modelo 200 de la marca Midas Communication Technologies.	[6]36
Figura 10. Estaciones base. Izquierda: modelo CBS 211 de Midas Communic	ation
Technologies. Derecha: modelo fabricado por BBS. [3]	37
Figura 11. WS modelo WS 304 de Midas Communication Technologies. [6].	38
Figura 12. Variantes de WS. Izquierda: Conexión directa de un PC al WS. De	recha:
MWS 100 de la marca Midas Communication Technologies. [6]	38
Figura 13. BSD modelo BSD 100 de la marca Midas Communication Techno	logies.
[6]	
Figura 14. Extensión de la cobertura mediante uso de un BSD. [6]	39
Figura 15. Estación repetidora RBS 100 de la marca Midas	40
Figura 16. Topología típica del sistema corDECT. [6]	41
Figura 17. Cobertura mundial usando tres satélites GEO. [7]	62
Figura 18. Separación espacial de satélites en una órbita geoestacionaria. [7]	62
Figura 19. Configuración funcional de una red VSAT. [7]	64
Figura 20. Configuración VSAT en estrella. [7]	65
Figura 21. Configuración VSAT en malla. [7]	66
Figura 22. Estación hub de 9m de diámetro ubicada en Sri Lanka. [7]	68
Figura 23. IDU Hughes modelo DW 2000. [7]	69
Figura 24. Terminales VSAT conectados a las líneas de abonado. [7]	72
Figura 25. Codificación por salto de frecuencia. [6]	95
Figura 26. Utilización de puntos de acceso.	98
Figura 27. Topología de enlace punto a punto usando Wi-Fi. [6]	99
Figura 28. Adaptador USB fabricada por SENAO. [6]	100
Figura 29. Gateway IG-4150 fabricado por ZoomAir. [6]	103
Figura 30. Punto de acceso AP11 fabricado por ZoomAir. [6]	103
Figura 31. Extensión inalámbrica de la red usando dos o más AP. [6]	
Figura 32. Antena SAP-2418 fabricada por SENAO. [6]	105

Figura 33. Amplificador para la banda de 2,4GHz fabricado por Hyperlink. [6]	106
Figura 34. Protector contra rayos fabricado por SENAO. [6]	108
Figura 35. Teléfono IP Cisco. [6]	111
Figura 36. Evolución del estándar 802.16-2004 y 802.16e. [6]	127
Figura 37. Configuración Punto a Multipunto (PTMP). [6]	135
Figura 38. Configuración Punto a Punto. [6]	136
Figura 39. Configuración en Malla o "Mesh". [6]	136
Figura 40. Ejemplo de WLL usando WiMAX con las configuraciones PMTP y F	TP.
[6]	137
Figura 41. Servicios de acceso soportados por WiMAX	138
Figura 42. CPE IDU de marca Alvarion para WiMAX. [6]	139
Figura 43. CPE ODU (Antena y amplificador) de marca Alvarion para WiMAX.	
Figura 44. Infraestructura BS para la red WiMAX, izquierda: IDU, derecha: OD	U. [6]
Figura 45. Antena sectorial de 90° de ancho de haz de la marca Netkrom. [6]	
Figura 46. Acceso Múltiple por división de código (CDMA),	
Figura 47. Servicios soportados por CDMA	
Figura 48. Evoluciones de CDMA 2000 1x. [9]	
Figura 49. Bandas designadas por UIT para operación de sistemas	
Figura 50. Bandas y subbandas para CDMA2000 y bandas para otras tecnologías	
E	
Figura 51. MC-CDMA y DS-CDMA. [9].	
Figura 52. Configuración CDMA PTMP, y su correspondiente	
Figura 53. Arquitectura básica CDMA. [9]	
Figura 54. Sistema WLL basado en CDMA. [9].	
Figura 55. Terminal CDMA 450 fabricado por Ewing Technology Co. [7]	
Figura 56. Estación base CDMA Huawei BTS3606. [7].	
Figura 57. Antenas CDMA 450 marca Andrew	
Figure 58. Antenas microonda Andrew.	
Figura 59. Configuraciones MSAN: a) punto a punto, b) en estrella. [2]	
Figure 61. Ped de plante systems [10]	
Figure 62. Alestel Lycent MS AN Litegrap 1540 [6]	
Figura 62. Alcatel-Lucent MSAN Litespan 1540. [6]	
Figura 64. Modem ADSL . [4]	
Figura 66. Ubicación de la parroquia Mariano Moreno	
rigui a vv. Obicación de la parroquia Mariano Moreno	∠∠4

Figura 67. Radio de cobertura de 0.94km en la parroquia	225
Figura 68. Red de planta externa tentativa en la parroquia Mariano Moreno. a) V	Vista
panorámica de toda la red, b) MSAN, armario y empalmes en cabecera cantonal.	
(usando Google Earth)	227
Figura 69. Posible ubicación de la BTS de CDMA 450 usando Google Earth	228
Figura 70. Área de cobertura si el radio de la celda	230
Figura 71. Área de cobertura sectorial 120° aproximada para brindar servicios de	e voz
	231
Figura 72. Parroquias del cantón Gualaquiza	
Figura 73. Distancia entre las parroquias San Miguel de Cuyes y	238
Figura 74. Parroquias del cantón Santa Elena.	241
Figura 75. Radio de cobertura de 1km para brindar Internet	243
Figura 76. Área de cobertura sectorial 120° aproximada para brindar	245

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de las diferentes velocidades de transmisión en función de	los
servicios y aplicaciones que permiten.	10
Tabla 2. Listado de las variables utilizadas en el análisis	16
Tabla 3. Bandas de Frecuencia usadas en DECT por Regiones	18
Tabla 4. Bandas de Frecuencia usadas en WiMAX	
Tabla 5. Sub-bandas de frecuencia autorizadas por la UIT para uso de la tecnolog	gía
CDMA 450	
Tabla 6. Bandas de Frecuencia usadas en DECT por Regiones	31
Tabla 7. Bandas de Frecuencia usadas en DECT por Regiones	
Tabla 8. Bandas de Frecuencia usadas en DECT por Regiones	43
Tabla 9. Costo del equipamiento de usuario.	
Tabla 10. Costo del equipamiento de usuario en emplazamientos que utilicen MV	WS.
Tabla 11. Costo del equipamiento de la infraestructura corDECT	48
Tabla 12. Resumen de las variables de análisis de la tecnología DECT	52
Tabla 13. Códigos de estándares ETSI de DECT	55
Tabla 14. Especificaciones del sistema DECT ofrecido por BBS Electronics. [3]	57
Tabla 15. Bandas de Frecuencia usadas en DECT por Regiones.	61
Tabla 16. Fabricantes de equipos VSAT.	70
Tabla 17. Servicios VSAT brindados por CNT	71
Tabla 18. Bandas de Frecuencia usadas VSAT.	74
Tabla 19. Costo de los equipos de cada emplazamiento	77
Tabla 20. Costo en el caso de que un terminal preste servicio	
Tabla 21. Costo en el caso de empleo de un sistema Wi-Fi	79
Tabla 22. Costo del servicio VSAT en función de la velocidad de transmisión	79
Tabla 23. Resumen de las variables de análisis de la tecnología VSAT	83
Tabla 24. Códigos de estándares ETSI de VSAT	88
Tabla 25. Especificaciones del terminal VSAT ofrecido por Gilat	89
Tabla 26. Diferentes estándares del IEEE para WLAN	91
Tabla 27. Características y precios de tarjetas NIC disponibles en el mercado	101
Tabla 28. Características y precios de tarjetas para USB disponibles en el mercac	lo.
	102
Tabla 29. Características y precios de algunos AP y gateways disponibles en el	
mercado.	105
Tabla 30. Características y precios de algunas antenas disponibles en el mercado	107

Tabla 31. Características y precios de algunos amplificadores disponibles en el	
mercado.	
Tabla 32. Tasa de bits de tecnología WiFi.	
Tabla 33. Costo de equipos terminales por emplazamiento.	
Tabla 34. Costo de equipos ubicados en nodos intermedios.	
Tabla 35. Costo de equipos ubicados cada nodo de conexión.	
Tabla 36. Costo de equipos ubicados en cada repetidor.	
Tabla 37. Resumen de las variables de análisis de la tecnología 802.11 (Wi-Fi)	
Tabla 38. Estándares IEEE.	
Tabla 39. Frecuencias DSSS.	
Tabla 40. Rango de frecuencias empleadas en DSSS	
Tabla 41. Canales FHSS en Europa, Norteamérica,	
Tabla 42. Especificaciones del AP/Router X6 5690 de la marca Zoom. [6]	
Tabla 43. Estándares IEEE 802.16.	
Tabla 44. Rango de frecuencias usadas en IEEE 802.16.	
Tabla 45. Características de OFDM y OFDMA.	
Tabla 46. Precio de equipos cliente para WiMAX.	
Tabla 47. Precio de estaciones base para WiMAX.	
Tabla 48. Características y precio antena sectorial Netkrom para WiMAX	
Tabla 49. Bandas de frecuencia aprobadas por la SENATEL	
Tabla 50. Costo de equipos terminales por suscriptor.	
Tabla 51. Costo de equipos ubicados en la estación base	
Tabla 52. Resumen de las variables de análisis de la tecnología 802.11 (Wi-Fi)	
Tabla 53. Estándares 802.16 (WiMAX).	
Tabla 54. Información característica de los equipos CPE IDU	
Tabla 55. Descripción de las características técnicas de CDMA. [9]	
Tabla 56. Área de cobertura por celda CDMA	
Tabla 57. Características y precio de los terminales fijos CDMA 450	
Tabla 58. Características y precio de las estaciones base CDMA 450.	
Tabla 59. Características y precio de antenas CDMA 450.	
Tabla 60. Características y precio de antenas de microonda.	
Tabla 61. Bandas de Frecuencia CDMA 450 usadas en Ecuador.	
Tabla 62. Costo de equipos terminales por suscriptor.	
Tabla 63. Costo de equipos ubicados en la estación base	
Tabla 64. Resumen de las variables de análisis de la tecnología CDMA	
Tabla 65. Lista de estándares 3GPP, ANSI, TIA de la tecnología CDMA.	
Tabla 66. Funciones de la BS Huawei BTS3606 [6]	
Tabla 67. Características Técnicas del terminal Huawei ETS1000 [6]	193

Tabla 68. Precios de nodos MSAN para aproximadamente	203
Tabla 69. Costo de equipos terminales por suscriptor.	207
Tabla 70. Costo de equipos ubicados en el nodo	207
Tabla 71. Resumen de las variables de análisis de la tecnología MSAN.	210
Tabla 72. Tabla comparativa de las prestaciones de las tecnologías de acceso	
analizadas.	216
Tabla 73. Tabla comparativa de los terminales de las tecnologías de acceso	
analizadas.	217
Tabla 74. Tabla comparativa referente a la infraestructura de las tecnologías de a	acceso
analizadas.	219
Tabla 75. Tabla comparativa referente a los costos de las tecnologías de acceso	
analizadas.	222
Tabla 76. Atenuación del cobre, afectando la tasa de bits,	225
Tabla 77. Cálculo de máxima pérdida permitida usando el modelo	229
Tabla 78. Costos de materiales de planta externa en la parroquia Mariano Moren	10.233
Tabla 79. Costos de instalación de planta externa en la parroquia Mariano Morer	no.
	234
Tabla 80. Costos de terminales e infraestructura para	236
Tabla 81. Costos de terminales e infraestructura para	
Tabla 82. Costos de terminales e infraestructura para solución en la parroquia	
Atahualpa	247



Dedicatoria

A mi esposa y a mis hijos, que sepan siempre que no hay nada difícil en la vida, que con esfuerzo y dedicación se puede llegar a la meta y que cada paso cuenta, no hay que mirar al horizonte, solo hay que dar el siguiente paso.

Ing. Eduardo Peralta Q.



Dedicatoria

Dedico esta tesis a mi Familia que siempre me ha apoyado de manera incondicional en cada una de las metas que me he planteado, dedico esta tesis también de manera especial a mis padres que han sido los puntales para que el día de hoy alcance un nuevo título académico.

Ing. Javier Martínez L.

PREFACIO

Este trabajo de tesis, presenta los resultados de la investigación del análisis técnico económico de las diferentes tecnologías de acceso para el servicio de telecomunicaciones existentes en la actualidad que pueden ser aplicadas en las diferentes zonas rurales del Ecuador, obteniendo de este análisis las ventajas técnico socio económicas para la implementación de redes de acceso por parte de las Empresas Proveedoras de Servicios de Telecomunicaciones y que generen el mayor beneficio social, el desarrollo y avance de los pueblos y mejoren la calidad de vida de los Ecuatorianos.

Los Resultados de este trabajo podrán ser aplicados para la determinación de la tecnología en la implementación de redes de acceso de telecomunicaciones en las diferentes zonas alejadas y rurales del Ecuador.



PROLOGO

En el presente trabajo de tesis, se presentan los resultados del análisis Técnico Económico de las diferentes tecnologías de acceso para el servicio de telecomunicaciones en las áreas rurales del Ecuador. Se analizó varias tecnologías tales como CDMA 450, VSAT, MSAM, WIFI, etc.

Con los resultados obtenidos será posible reducir la brecha digital que existe entre las zonas urbanas y rurales del Ecuador, incluyendo a la mayor parte de la población a los servicios de la sociedad de la información y el buen vivir, posibilitando que todos tengan las mismas oportunidades de desarrollo.

Para la experimentación fue necesario cumplir con las siguientes etapas previas:

- Análisis técnico de las diferentes tecnologías de acceso
- Análisis de ventajas y desventajas de cada tecnología
- Análisis Económico de cada una de las tecnologías de acceso.
- Modelación de varias tecnologías en diferentes sectores rurales del Ecuador.

Con este documento se podrá determinar de los análisis y comparaciones realizadas de cada una de las tecnologías las ventajas y desventajas que presentan cada una de ellas , de igual manera esto se complementara con las modelación de estas tecnologías en diferentes sectores rurales del Ecuador , se ha comparado su ventajas y desventajas en el aspecto socio técnico económico, teniendo como resultado los parámetros que se deben considerar en el momento de realizar un despliegue para la dotación de servicios de telecomunicaciones en la ares rurales del Ecuador.



Agradecimientos

A mis maestros, en especial a mi amigo y Director de Tesis Ing. Edgar Ochoa Figueroa, por su disposición y ayuda brindada en el transcurso del planteamiento y desarrollo del proyecto.

Ing. Eduardo Peralta Q.

En primer lugar agradezco a DIOS por haberme dado la oportunidad de haber seguido esta maestría, a mi Familia por haber cedido el tiempo que les correspondía, a mi amigo y compañero de Tesis Eduardo Peralta por el apoyo brindado y sin duda a nuestro Director de Tesis Ing. Edgar Ochoa Figueroa, por su ayuda brindada en el transcurso del desarrollo de la presente tesis.

Ing. Javier Martínez L.



CAPITULO 1

1. FUNDAMENTOS Y OBJETIVO

En la actualidad aproximadamente el 40% de la población ecuatoriana (5'392,713 personas según el último censo, INEC 2010) vive en zonas rurales de países en vías de desarrollo. Entre las numerosas carencias que presentan este amplio grupo de población, está la imposibilidad de acceso a las tecnologías de la información (TI) y las telecomunicaciones. La eliminación de estas carencias es de especial importancia, debido a que estas tecnologías pueden constituirse como una herramienta para facilitar el desarrollo y avance de los pueblos, mejorando la calidad de vida de un gran número de personas.

Pero los descubrimientos tecnológicos por sí mismos no son una condición suficiente para lograrlo. Esto significa, que para conseguir una innovación y cambio social, político e institucional, se debe crear un escenario donde las tecnologías puedan ser usadas de manera efectiva, con el fin de mejorar las condiciones de vida de los grupos más desfavorecidos de las regiones y provincias del Ecuador. Por ello, es necesario, identificar éstas nuevas tecnologías en las que se tenga en cuenta las condiciones especiales de las zonas a prestar servicio y se desarrollen servicios sostenibles y socialmente benéficos.

En particular en las áreas rurales y alejadas del Ecuador durante muchos años han sido marginadas en el desarrollo de los servicios de telecomunicaciones y por ende al acceso a las tecnologías de la información, teniendo el Ecuador una de las brechas digitales más altas en Latinoamérica. La disminución de esta brecha digital y por ende el desarrollo cultural, social, político y económico podrá lograrse solamente implementando redes de acceso que se acoplen a las condiciones mencionadas y se puedan desarrollar proyectos técnico - económicos viables.

1.1 OBJETIVO DEL PROYECTO, PROCEDIMIENTO ESTABLECIDO Y NECESIDADES DE TI.

El objetivo del proyecto es determinar la mejor solución tecnológica, económica y social para la implementación de redes de acceso en las áreas rurales del Ecuador para la prestación de servicios de telecomunicaciones, analizando las bondades técnicas de las diferentes tecnologías de acceso y determinando los costos que intervienen en la implementación de redes de acceso con las diferentes tecnologías existentes.

El procedimiento a seguir está basado en diferentes puntos: Estudio exploratorio y descriptivo de las diferentes tecnologías, investigación de los índices de penetración de los servicios de telecomunicaciones en las áreas rurales, investigación de las necesidades de tecnologías de información (TI) en estas zonas y sobre todo determinación de los costos que intervienen al implementar tecnologías de acceso en este tipo de zonas. Se plantea un método sistemático de análisis de las tecnologías de acceso para áreas rurales, sus costos de implementación, los servicios que se pueden brindar sobre estas redes, para determinar mediante un análisis comparativo, cuál o cuáles de ellas son las más apropiadas para nuestro entorno.

Las tecnologías de información y telecomunicaciones como hemos mencionado, podrían constituirse en una herramienta útil para el desarrollo estructural y económico de las zonas rurales y alejadas del Ecuador.

La disponibilidad de servicios de telecomunicaciones en estas zonas contribuiría a reducir la sensación de aislamiento motivada por la carencia de vías, medios de comunicación y las condiciones topográficas del entorno.

La implementación de servicios de telecomunicaciones podría estimular el desarrollo de las zonas rurales, puesto que posibilitan una ampliación de los mercados locales mediante la comunicación de los mismos. Además, la introducción de tecnologías de la información y comunicaciones en los procesos productivos, podrían originar mejoras en la eficiencia de la industria.

Por otra parte, los servicios de telecomunicación se podrían aprovechar para mejorar la educación y combatir el analfabetismo digital puesto que es posible su utilización para acercar los contenidos educativos a la población que vive en zonas aisladas, así como para impartir formación a distancia.

A su vez, estos servicios serían un apoyo fundamental para la mejora de otros servicios públicos. Esto se debe a que, aparte de las nuevas posibilidades que proporcionan las redes de comunicaciones, posibilitan una mejora de la eficiencia en la prestación de los mismos, lo cual se manifiesta en una disminución de los costos, lo que hace que se puedan seguir mejorando sus prestaciones.

En esta sección, se establecen las características de dichas regiones considerando que se trata de zonas rurales aisladas, las cuales están situadas en países en desarrollo, con las particularidades que esta circunstancia añade a la caracterización. El fin de esta especificación es determinar las condiciones que las tecnologías deben satisfacer para que sean consideradas "tecnologías apropiadas" para su aplicación en las zonas rurales aisladas de países en vías de desarrollo.

1.1.1 Caracterización de zona rural (dispersa)

Para caracterizar adecuadamente las zonas rurales situadas en el Ecuador, es fundamental tomar como punto de partida las particularidades que tiene los países en subdesarrollo, las cuales serían las siguientes:

- Bajos niveles de ingresos e incidencia de la pobreza en amplias capas de la población.
- ➤ Bajos niveles de participación de la población en los procesos económicos, sociales, culturales y políticos del país.
- > Bajos niveles de nutrición y problemas de subalimentación.
- > Crecimiento demográfico y gran proporción de población dependiente.
- > Bajos niveles de escolarización y alfabetización.
- Acceso limitado a los medios sanitarios y de salubridad (agua potable, alcantarillado, etc.).
- Niveles altos de desempleo y subempleo.
- Gran dependencia de la producción agrícola
- > Gran dependencia de remesas enviadas desde el exterior.
- Peso predominante del sector primario en la actividad de la población.

De estas características, se pueden extraer las siguientes, que serían las más interesantes de cara a la definición de zona rural en el Ecuador, que se pretende analizar:

- > Bajo nivel de actividad económica, basado principalmente en el sector primario.
- Bajos ingresos por habitante.
- Infraestructuras sociales insuficientemente desarrolladas (salud, educación, etc.).
- Bajos niveles de escolarización y alfabetización.
- > Gran dependencia de remesas económicas enviadas desde el Exterior.

Por otra parte, se aplica la expresión "rural" [ITU, Grupo Temático 7 de su labor en la definición de zonas rurales y remotas que figuran en el Informe sobre la Cuestión 4/2 de la Comisión de Estudio 2 del UIT-D, primer periodo de estudios (1995-1998)], "Tradicionalmente, el término rural se aplica a todo lo relativo al campo. Con frecuencia, rural se utiliza en oposición a urbano. Sin embargo, no es así en este caso. A los fines de este Informe, la expresión "rurales y remotas" (o sencillamente "rurales") se aplica a las zonas rurales aisladas e insuficientemente atendidas, en que interactúan diversos factores que dificultan el establecimiento de servicios de telecomunicaciones. Una zona rural puede consistir en asentamientos dispersos, aldeas o pequeñas ciudades, y puede estar situada a varios cientos de kilómetros de una ciudad o centro urbano. Sin embargo, en algunos casos una zona suburbana puede

también ser considerada rural". Por ello, se puede considerar que las zonas rurales presentarán al menos alguna de las siguientes características:

- Escasez o ausencia de instalaciones y servicios públicos, por ejemplo, suministro fiable de electricidad y agua, carreteras de acceso y transporte regular;
- Escasez de personal técnico;
- Condiciones topográficas difíciles, por ejemplo, lagos, ríos, colinas, montañas o desiertos, que hacen muy onerosa la construcción de redes de telecomunicaciones alámbricas;
- > Condiciones climáticas rigurosas que pueden afectar de forma crítica el equipo;
- Baja densidad de la población;
- Tasas de llamada muy elevadas por línea telefónica, que reflejan la escasez del servicio telefónico y el hecho de que un gran número de personas utilizan una línea telefónica única.

Teniendo en cuenta las características citadas por la UIT debidas al subdesarrollo y las motivadas por el hecho de que se trata de regiones rurales aisladas, podemos caracterizar las zonas rurales aisladas de países en desarrollo de la siguiente manera:

Características socioeconómicas:

- Bajo nivel de actividad económica, basado principalmente en el sector primario.
- Bajos ingresos por habitante.
- ➤ Infraestructuras sociales insuficientemente desarrolladas (salud, educación, etc.).
- Bajos niveles de escolarización y alfabetización.
- Escasez o ausencia de instalaciones y servicios públicos, por ejemplo, suministro fiable de electricidad y agua, carreteras de acceso y transporte regular.
- > Escasez de personal técnico.
- Densidad telefónica muy baja, regularmente se utiliza una línea telefónica para un gran número de personas (teléfono comunitario).

Características de la distribución de la población:

- Asentamientos dispersos, los cuales pueden estar situados a grandes distancias de los centros urbanos.
- > Baja densidad de población.

Características geográficas y climatológicas (pueden no estar presentes):

- Condiciones topográficas difíciles, por ejemplo, lagos, ríos, colinas, montañas o desiertos, que hacen muy onerosa la construcción de redes de telecomunicaciones alámbricas.
- Condiciones climáticas rigurosas que pueden afectar de forma crítica a los equipos.

1.1.2 Necesidad de tecnologías apropiadas en las zonas rurales o dispersas.

Se debe elegir la tecnología más apropiada en las zonas rurales o dispersas acoplándose a la realidad local, social y económica de la zona estudiada.

1.1.3 Definición de "tecnología apropiada"

Llamaremos tecnología apropiada a aquella que cubra la necesidad de telecomunicaciones de una comunidad o región concreta, adaptándose a las condiciones locales. De esta manera, una tecnología apropiada será aquella que se adecua a los recursos de la zona, tanto económicos como sociales, así como a las condiciones geográficas y climatológicas. Además, no podrá considerarse como apropiada una tecnología que requiera, para su operación y mantenimiento de conocimientos técnicos que no se puedan obtener en la región analizada.

Por ello, en cada área geográfica o región habrá que actuar de una manera diferenciada, lo que hace que una tecnología cuya aplicación sea muy apropiada en unos casos, puede ser completamente inapropiada en otros.

1.1.4 Condiciones que debe cumplir una tecnología concreta para que su aplicación sea considerada apropiada en zonas rurales o dispersas.

Las características de las zonas rurales del Ecuador que se han mencionado, hacen que se den unas condiciones que debe cumplir cualquier tecnología para poder ser considerada apropiada para su aplicación en regiones de este tipo. A continuación se detallan dichas condiciones relacionadas con las particularidades indicadas en la definición propuesta de zonas rurales o dispersas en el Ecuador.

* Bajo nivel de actividad económica, basado principalmente en el sector primario: Esto hace que los recursos económicos sean escasos en estas comunidades. Además, los reducidos ingresos per cápita y la gran incidencia de la pobreza en amplias capas de la población, hacen que los habitantes de las zonas consideradas no tengan, en muchos casos, cubiertas sus necesidades más elementales.

Por ello, la tecnología debe posibilitar la instalación de redes de comunicaciones que no requieran grandes inversiones en infraestructuras.

Asimismo, los costes de operación y mantenimiento deben ser bajos, puesto que en caso contrario, la baja capacidad de pago de estas poblaciones impedirá el acceso de las personas a la tecnología.

* Bajos niveles de escolarización y alfabetización: Por ello, el uso y mantenimiento diario de los terminales de usuario deberá ser lo más sencillo posible. Además, puede ser necesaria la capacitación de los usuarios en el momento de la instalación.

Por otra parte, es fundamental que el uso de los terminales, así como los contenidos a los que se acceda y los manuales de funcionamiento de los equipos de la red y de usuario, estén disponibles en idioma español o nativo del lugar (Quichua).

* Escasez o ausencia de instalaciones y servicios públicos, por ejemplo, suministro fiable de electricidad y agua, carreteras de acceso y transporte regular: Esta carencia de infraestructuras hace que sea muy complejo el transporte y la instalación de los equipos. Además, esto motiva que el acceso a los mismos requiera un tiempo que haga difícil mantener unos objetivos de calidad.

Por ello, la tecnología debe posibilitar el diseño de redes que requieran equipos lo más compacto posible para facilitar su transporte. Asimismo, el difícil acceso a los distintos emplazamientos, hace obligatoria la posibilidad de gestionar los diferentes elementos de red en forma remota.

Por otra parte, la inexistencia del servicio de suministro eléctrico o la irregularidad en la prestación del mismo, condicionará la prestación del servicio de telecomunicaciones, haciendo que, en muchas ocasiones, sea necesario instalar sistemas para proveer de energía a los equipos de la red y los Terminales de usuario (Sistemas fotovoltaicos).

Esto hace necesario el uso de sistemas de bajo consumo de energía, que sean compatibles con fuentes de electricidad autónomas.

- * Escasez de personal técnico: Por ello, serán necesarios sistemas sencillos y robustos, para facilitar el mantenimiento. Si la tecnología requiere una instalación y mantenimiento complejo, podría ser necesario considerar el desplazamiento de personal calificado para la formación del personal local, con el consiguiente incremento en los costos.
- * Asentamientos dispersos, los cuales pueden estar situados a grandes distancias de los centros urbanos y presentan una baja densidad de población. Además, frecuentemente, se presentan condiciones topográficas difíciles: Esto hace que el despliegue de redes de cable sea muy costoso desde el punto de vista económico,

puesto que para dar servicio a pocos usuarios es necesario cubrir elevadas distancias y salvar obstáculos geográficos, lo cual genera unos costos por línea muy elevados. Por ello, las tecnologías más adecuadas serán las inalámbricas.

* Condiciones climáticas rigurosas que pueden afectar de forma crítica a los equipos: En las zonas en las que las condiciones climáticas sean extremas, puede ser necesario el empleo de sistemas adicionales de protección de los equipos e incluso elementos de refrigeración. Esto incide negativamente en el costo y en la complejidad del sistema. Por ello, serán preferibles equipos robustos y resistentes a condiciones climáticas difíciles.

1.2 PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE LAS TECNOLOGÍAS

El procedimiento propuesto se basa en establecer unos requisitos imprescindibles que deberán cumplir las tecnologías para ser consideradas en el estudio posterior, el cual se fundamenta en el análisis de una serie de variables. Estas variables se determinan con el objetivo de cubrir todos los factores que puedan afectar al éxito del proyecto, teniendo en cuenta las consideraciones planteadas anteriormente.

De esta manera, se trata de aportar un método sistemático para determinar las circunstancias en las que una tecnología se puede considerar apropiada, para su aplicación en zonas rurales aisladas del Ecuador.

Por otra parte, el análisis de cada tecnología incluye la estimación de la magnitud del costo que supondría su aplicación para desplegar una red de telecomunicaciones piloto en el área rural de la provincia del Azuay.

Además, se indican una serie de factores, que deberían ser comprobados en función de las peculiaridades de la región a la que estaría destinado el proyecto. Estos factores hacen referencia a nuestra legislación, las facilidades que se presenten para el aprovisionamiento de todos los materiales y equipos necesarios para establecer la red de telecomunicaciones, las condiciones climáticas concretas de la zona y otras circunstancias tales como las medidas de seguridad para prevenir el robo de los equipos, la presencia de otras organizaciones en la región que presten servicios similares, etc.

1.2.1 Requisitos

En este apartado se establecen los requisitos cuyo cumplimiento se va a considerar imprescindible, para pasar al análisis detallado posterior de cada tecnología. Estas exigencias se detallan a continuación:

- Tecnología inalámbrica.

Los sistemas inalámbricos son, actualmente, la solución más efectiva en costos, facilidad y rapidez de implantación para su aplicación en zonas en las que no están disponibles las redes de comunicaciones tradicionales. Estas tecnologías han experimentado un gran avance en los últimos años, llegando a ser una seria alternativa, incluso en zonas donde está disponible la red telefónica, para aplicaciones que requieran cierto ancho de banda. Las redes inalámbricas son de particular importancia para implementaciones en el Ecuador y sus zonas rurales aisladas en general, o de difícil acceso, puesto que permiten un despliegue rápido de la infraestructura, superan fácilmente los obstáculos orográficos y pueden llegar a ofrecer un gran ancho de banda. Además, mientras que el despliegue de redes de cable resulta muy costoso en este tipo de zonas, debido a la distribución de la población, que se encuentra muy dispersa en grandes extensiones de terreno, el despliegue de redes inalámbricas es mucho más económico y en menor tiempo.

- Grado de madurez de la tecnología.

Se estudia el estado de desarrollo de la tecnología, que podrá calificarse como uno de los cinco siguientes:

- Emergente: Tecnología que parece prometedora.
- En crecimiento: La tecnología que está madurando haciéndose más útil en un dominio de aplicación concreto.
- Madurez: Nivel de rendimiento adecuado para su aplicación en todo tipo de proyectos.
- Saturación: No es posible mejorar el rendimiento de la tecnología.
- Obsolescencia: la tecnología se hace obsoleta cuando el rendimiento comparativo con otra posible tecnología competidora, la convierte en perdedora.

Serán preferibles aquellas tecnologías que se encuentren en su fase de madurez, puesto que esto garantiza que la tecnología ha sido suficientemente probada, por lo que se minimizan los riesgos y existen aplicaciones comerciales.

- Comunicaciones de voz y de datos.

La tecnología deberá soportar comunicaciones de voz y de datos, no siendo necesario que ambos tipos de comunicación deban prestarse simultáneamente. En principio, no se especifica la calidad de voz ni la velocidad de transmisión de los datos, las cuales serán variables fundamentales a considerar en el estudio de la tecnología, puesto que determinarán los servicios que el sistema de telecomunicaciones puede prestar.

- Cumplimiento de la legislación vigente en cuanto a regulación de telecomunicaciones.

El sistema elegido debe cumplir la legislación de telecomunicaciones vigente en el Ecuador a la fecha en materia de regulación, es decir, las bandas de frecuencia de operación deben estar disponibles y autorizadas por el ente de control.

1.2.2 Variables generales de análisis

Una vez verificado que la tecnología o las tecnologías bajo estudio satisfacen los requisitos comentados en el apartado anterior, se pasa a la realización del análisis sistemático con el objetivo de determinar las circunstancias para las que la aplicación de la tecnología resulta apropiada.

Este análisis consiste en estudiar detalladamente diferentes aspectos de las tecnologías mediante el empleo de una serie de variables, las cuales se dividen en grupos en función de qué dimensiones del sistema examinan. Con el fin de poder comparar las tecnologías, establecer escalas cuantitativas para la mayoría de las variables indicadas.

1.2.2.1 Características Técnicas del Sistema.

Este primer grupo de variables generales, incluye aquellas relacionadas con las prestaciones que ofrecería una red en cuya implementación se hubiese utilizado la tecnología bajo estudio. También, se tienen en cuenta otros factores que en algunos casos son determinantes, como la movilidad y la posibilidad de interconexión con otras redes, que siempre aportan valor agregado. Asimismo, se considera si la tecnología está estandarizada.

* Capacidad.

Esta variable estudia el número de usuarios que soportan los elementos clave de la red, tales como estaciones base, puntos de acceso o los centros de gestión de la red. La importancia de este factor reside en que si se supera la capacidad de dichos elementos, será necesario instalar otros, por lo que el costo de la red aumentaría, se debe indicar el número de usuarios que soporta cada elemento del sistema.

* Velocidad de bits.

Parámetro fundamental que determinará los servicios y aplicaciones que la red pueda soportar, se indican las diferentes velocidades de bit que ofrece la tecnología en sus distintas configuraciones (puede variar si se dan diversos grados de protección, si se realizan comunicaciones en modo conmutación de circuitos o conmutación de paquetes, etc.). Una vez especificado la velocidad de transmisión, se clasifica en una

de las categorías que se muestran en la Tabla 1, las cuales se han elaborado en función de los servicios que soportan las distintas tasas de transmisión. En cada fila, únicamente se indican los servicios nuevos que permite la velocidad de transmisión correspondiente respecto de los de la categoría anterior, entendiéndose que se incluyen los servicios anteriores.

Clasificación	Velocidad	Servicios y aplicaciones			
	de bits				
Baja	Hasta 64 kbps	Fax, correo electrónico sin imágenes, navegación por Internet a baja velocidad, voz sobre IP (con codificación, ente 6 y 12 kbps) de forma simultánea.			
Media	64 kbps - 256 kbps	Correo electrónico con imágenes, transferencia de ficheros a baja velocidad, voz sobre IP y navegación por Internet a velocidad media, videoconferencia con baja frecuencia de bit.			
Alta	256kbps - 1 Mbps	Transferencia de ficheros, navegación por Internet a alta velocidad, audio en tiempo real (MP3) y videoconferencia (H.261).			
Elevada	1 Mbps - 6 Mbps	Vídeo en tiempo real (MPEG 1 y MPEG 2).			

Tabla 1. Clasificación de las diferentes velocidades de transmisión en función de los servicios y aplicaciones que permiten.

* Banda de frecuencia.

A medida que se aumenta la frecuencia, aumentan las pérdidas de propagación de la señal en espacio libre y las debidas a factores atmosféricos y a la vegetación, por lo cual se acorta la longitud de los enlaces o el área de cobertura, si el sistema es celular. En vista de la importancia que tiene la frecuencia utilizada en el alcance de los enlaces, en esta variable, se indican las bandas de frecuencias en las que puede operar la tecnología y, en los casos en que se considere baja, se indicará si supone una ventaja o no en cuanto a la distancia de cobertura.

* Seguridad de las comunicaciones.

Se consideran los mecanismos de protección de la información frente a vulnerabilidades que incluye la tecnología, así como su eficacia, se indican los mecanismos de seguridad que incluye la tecnología. En función de estos mecanismos, la tecnología se clasifica en alguna de las categorías siguientes:

• Seguridad baja: Tecnologías que no incluyen mecanismos de seguridad.

- Seguridad media: Tecnologías que incluyen el encriptado de las comunicaciones como mecanismo de seguridad, pero se considera poco seguro.
- Seguridad alta: Tecnologías que incluyen métodos de encriptado de la señal y algoritmos de autenticación seguros.

* Posibilidades de interconexión con otras redes.

En muchas aplicaciones será necesaria la interconexión con otras redes como la red telefónica fija, se indican todas las posibilidades de interconexión que ofrece la tecnología.

* Movilidad.

Puede ser un requisito fundamental para algunas aplicaciones. En cualquier caso, puede aumentar el valor de la red, posibilitando la prestación de servicios complementarios, hecho que podría justificar una mayor inversión. Se indica si la red aporta movilidad completa en toda la red, en las células, o no se ofrece la posibilidad de utilizar terminales móviles.

* Posibilidad de gestionar la red a distancia.

El desplazamiento de las funciones de red hacia los sistemas de gestión a distancia, es una de las estrategias tecnológicas de mayor éxito en cuanto a la reducción de los costos de explotación y mantenimiento. Esto se debe, a que de esta manera, se reduce la necesidad de desplazamientos físicos de personal técnico a los lugares donde se encuentran las instalaciones, los cuales pueden requerir un tiempo considerable debido a las características de las zonas rurales. Se indica si la red posibilita la configuración, control y operación de los distintos elementos a distancia.

* Terminales.

Se valorará la posibilidad de conectar equipos informáticos a los terminales de radio, por ejemplo computadores personales u otro tipo de dispositivos como PDA's, notebooks, Smartphones etc. Estos equipos permitirán explotar al máximo los servicios portadores de datos. Además, también se tendrá en cuenta la facilidad de manejo de los terminales específicos del sistema bajo estudio, puesto que, cuanto más sencillos sean estos, menor será la formación requerida por parte de los usuarios para su utilización. Se indica si el terminal dispone de alguna interfaz para poder conectar otros equipos al mismo. Asimismo, se comenta si el manejo de los terminales es sencillo o requiere algún tipo de capacitación. Con el fin de poder cuantificar la dificultad de manejo de los terminales, se clasificará el nivel de conocimientos necesarios por parte del usuario, de la siguiente manera:

- > Usuario básico: Conoce el manejo de un teléfono.
- Usuario medio: Conocimientos de Ofimática, manejo del sistema operativo Windows y navegación por Internet.
- Usuario avanzado: Conocimientos de informática tales como la instalación de programas, configuración del sistema, conexión de dispositivos a la PC, etc.

1.2.2.2 Infraestructura.

Este grupo de variables pretende analizar todo lo relacionado con la infraestructura de la red. Por ello, se tiene en cuenta la complejidad de la instalación de todos los elementos, así como su funcionamiento y mantenimiento. Para poder cuantificar la dificultad de la instalación y operación del sistema considerado, se establecen unos perfiles para clasificar el personal que se requeriría para estas tareas. Los perfiles contarán con distintos niveles de cualificación, que servirán para diferenciar la complejidad que presentan las tecnologías por el nivel de conocimientos que se necesita para la instalación de los diferentes equipos, su operación y mantenimiento.

* Facilidad de instalación.

Grado de dificultad que tiene la instalación de los equipos así como el resto de los elementos necesarios para el funcionamiento de la red. Se cuantifica mediante la especificación de los perfiles necesarios para la instalación del sistema.

* Facilidad de operación y mantenimiento.

Complejidad de operación de la red y grado de cualificación técnica requerida para ello. También se tendrá en cuenta, de la misma manera, el mantenimiento de la red. Se cuantifican mediante la especificación de los perfiles necesarios para la operación y mantenimiento del sistema.

1.2.2.3 Energía.

Muchas áreas rurales en el país no tienen acceso a un suministro de energía fiable, lo que hace que en la mayoría de casos sea necesario utilizar fuentes autónomas para conseguir electricidad. En las situaciones en las que se dispone de alimentación de red eléctrica irregular, la solución más adecuada consistirá en el uso de pequeños sistemas fotovoltaicos y un banco de baterías que operen cuando la luz solar no esté disponible. Para estos casos sería deseable disponer de equipos de bajo consumo de energía.

Las tecnologías de energías renovables como la energía solar, las pequeñas turbinas eólicas y los sistemas micro hidráulicos son alternativas adecuadas para abastecer a las zonas rurales, debido a que el impacto sobre el medioambiente es menor. De todas

ellas, la más utilizada es la energía solar fotovoltaica, que si bien suele requerir una inversión inicial mayor que en el caso de los generadores motorizados, no presenta costos de operación y mantenimiento, por lo que el balance global del costo en el ciclo de vida del sistema, puede resultar favorable. El costo inicial de los equipos de energía solar se verá notablemente incrementado cuando las necesidades de energía sean muy altas. Asimismo, se debe tener en cuenta que la mayoría de equipos de este tipo han de diseñarse específicamente para la aplicación concreta, por lo que se requerirá la presencia de expertos en la zona correspondiente.

* Nivel de consumo de energía.

El consumo de energía de los equipos necesarios, puede ser determinante a la hora de elegir la tecnología más adecuada, pues los sistemas para conseguir electricidad pueden ver incrementado su costo a medida que aumente la necesidad de energía. Se indica el consumo de cada uno de los elementos del sistema.

1.2.2.4 Costo.

El presupuesto del proyecto de implantación de una red utilizando la tecnología considerada, es un factor decisivo para determinar la viabilidad del mismo, o lo que es lo mismo, la conveniencia de utilizar la tecnología en cuestión u otra que cumpliendo los objetivos técnicos tenga un costo menor.

Se consideran variables que analizan la magnitud de la inversión inicial necesaria, la operación y el mantenimiento. También es necesario tener en cuenta las posibilidades de mejora y evolución que pueda ofrecer la tecnología ya que podría satisfacer necesidades futuras complementarias a las actuales. En el análisis de las variables se establecerá la posible magnitud del presupuesto para casos ficticios, puesto que sólo es posible la realización de un estudio detallado de costos una vez que se lleva a cabo el diseño completo para una aplicación concreta.

* Costo de infraestructura.

Inversión inicial requerida para la implantación del sistema. Contiene el costo de los equipos de comunicaciones, los sistemas para proporcionar energía, el precio de las infraestructuras necesarias, impuestos de importación de equipos, concesiones de las licencias necesarias y costos de instalación, se indica el costo de los equipos del sistema y su instalación, los sistemas de energía renovable y la infraestructura necesaria para la instalación.

* Costo durante la vida útil.

Costo de operación y mantenimiento del sistema. Se indican los conceptos que habría que tener en cuenta para su cuantificación en cada caso.

* Modularidad y posibilidad de mejora gradual.

Normalmente, no se disponen de datos suficientes para estimar de manera precisa la demanda de servicios en una región dada, por lo que el grado de modularidad es interesante para determinar la dificultad y el coste incremental de cambios y ampliaciones de la red que sean necesarios.

Además, puesto que las redes rurales pueden dar servicio en cualquier lugar a unas pocas decenas o bien a miles de abonados, la escalabilidad es un factor económico de gran importancia. Por ello, se indica la facilidad que aporta la tecnología para realizar ampliaciones del sistema una vez desplegada la red.

* Conformidad con normas y estándares reconocidos.

La existencia de un estándar posibilita economías de escala para los fabricantes de equipamiento que hace que los precios disminuyan enormemente. Además, la disponibilidad de interfaces normalizadas entre los diferentes elementos hace que sea posible la utilización de aparatos de distintos productores, eligiéndose aquellos que mejor se adaptan a las necesidades particulares de cada proyecto. Se indica si la tecnología está o no estandarizada, y en caso afirmativo, la institución que ha llevado a cabo el estándar.

1.2.2.5 Resumen de las variables de análisis

En la siguiente lista (Tabla 2) se resumen todas las variables que se van a analizar para cada tecnología.

VARIABLES DE ANÁLISIS						
GRUPO DE VARIABLES VARIABLES						
Características Técnicas	Capacidad Se indica el número de usuarios que soport cada elemento del sistema.					
	Velocidad de Transmisión	 Baja: hasta 64 kbps Media: 64 kbps - 256 kbps Elevada: 256 kbps - 1 Mbps Muy elevada: 1 Mbps - 5 Mbps 				
	Banda de	– Se indican las bandas de frecuencia en las				

	Frecuencia	que opera la tecnología.			
		– Se comenta si se considera que posibilita			
		distancias de cobertura mayores.			
		- Seguridad baja: no se incluyen mecanismos			
		de seguridad.			
		 Seguridad media: se incluye encriptado, pero 			
	Seguridad	se considera poco seguro.			
		- Seguridad alta: se incluyen métodos de			
		encriptado de la señal y algoritmos de			
		autenticación seguros.			
	Interconexión	Se indican todas las posibilidades de			
	Interconexion	interconexión.			
		- Movilidad completa en toda la red			
		 Movilidad en la célula 			
	Movilidad	– No se ofrece la posibilidad de utilizar			
		terminales			
		Móviles			
	Gestión a	¿Es posible la configuración, control y			
	Distancia	operación de los elementos a distancia?			
	Distancia	(Si/No)			
		Posibilidad de conectar equipos informáticos			
	Terminales	Conocimientos requeridos para su manejo:			
		 Usuario básico: manejo de un teléfono. 			
		– Usuario medio: Ofimática, Windows e			
		Internet.			
		 Usuario avanzado: instalación de programas, 			
		configuración del sistema, conexión de			
	T 11.1 1 1	dispositivos a la PC.			
	Facilidad de	Se cuantifica mediante la especificación de los			
	Instalación	perfiles necesarios para la instalación,			
		operación y			
		mantenimiento del sistema:			
		- Informática y telecomunicación:			
In fue est-	Engilided de	- Técnico medio informático			
Infraestructura	Facilidad de	– Técnico superior informático			
	operación y mantenimiento	Técnico superior de sistemas de telecomunicación			
	mantenimiento	Instalaciones electrotécnicas			
		Técnico medio			
		Técnico medio Técnico superior			
		- Ingeniero técnico mecánico.			
	Consumo de	Se indica el consumo de cada uno de los			
Energía	Energía	elementos del sistema			
	Energia	Cicinentos del Sistema			

	Costo de Infraestructura	Costo de los equipos del sistema y su instalación, los sistemas de energía renovable y la infraestructura necesaria para la instalación.
	Costo durante la vida útil	Conceptos que habría que tener en cuenta para su cuantificación.
Costos	Modularidad y posibilidad de mejora	 Modularidad: se indica la facilidad para realizar ampliaciones una vez desplegada la red Existe posibilidad de mejora: Si/No
	Conformidad con normas y estándares reconocidos	Se indica si la tecnología está o no estandarizada, y en caso afirmativo, la institución que ha llevado a cabo el estándar.

Tabla 2. Listado de las variables utilizadas en el análisis.

1.3 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS:

Al finalizar el estudio de las variables, se exponen las conclusiones obtenidas del estudio de cada tecnología, acerca de hasta qué punto se trata de una tecnología apropiada para su aplicación en zonas rurales aisladas del Ecuador. Esta exposición se realiza enumerando las ventajas e inconvenientes que presenta la aplicación de la tecnología en cuestión en este tipo de zonas.

Posteriormente, se analizan las condiciones concretas a las que mejor se adapta la tecnología, tales como tamaño de la red, número de terminales a los que debe dar servicio, distribución de los usuarios, etc. En función de las circunstancias en las que sea más apropiada la aplicación de la tecnología, se llevará a cabo un estudio de la magnitud del costo que podría representar la realización de una red para llegar a obtener una estimación del costo por terminal.

1.4 TECNOLOGIAS SELECCIONADAS PARA EL ANALISIS.

1.4.1 DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications):

El estándar DECT define una tecnología digital de acceso a diversos tipos de redes de telecomunicaciones permitiendo comunicaciones de voz y datos con gran fiabilidad, calidad y seguridad. A partir de este estándar se ha creado la tecnología corDECT que permite dar acceso a puntos lejanos (15 km desde la estación base).

1.4.1.1 Cumplimiento de los Requisitos.

A continuación, se demuestra que la tecnología DECT, así como corDECT, cumple con los requisitos que se han establecido para ser considerada válida para el análisis posterior.

* Tecnología inalámbrica.

La tecnología DECT es inalámbrica puesto que provee de acceso vía radio a distintas redes de comunicaciones. Consiste en una serie de estaciones base que se comunican con los terminales inalámbricos para voz y datos.

* Grado de madurez de la tecnología.

Se puede considerar que el sistema DECT se encuentra en su fase de saturación, si bien está completamente estandarizado por el ETSI y su fiabilidad y prestaciones han sido probadas en múltiples redes de distintos operadores. Pero actualmente esta tecnología sigue formando parte de ciertas redes de acceso FWA en lugares donde no se ha podido migrar a otra tecnología. Además en la actualidad cada vez existen menos fabricantes que ofrecen equipos DECT.

* Comunicaciones de voz y datos.

El estándar DECT permite llevar a cabo comunicaciones de voz de gran calidad y transmisiones de datos con velocidades de hasta 2 Mbps. A su vez, el sistema corDECT, permite llevar a cabo comunicaciones simultáneas de voz y datos, con una velocidad de transmisión de datos de 70 kbps y de 35 kbps en los casos en los que se realicen comunicaciones de voz al mismo tiempo.

Estas velocidades de transmisión, permiten holgadamente el soporte de aplicaciones de correo electrónico. Los correos se encaminan a través de la red a la que da acceso DECT, por lo que el ámbito dentro del cual se pueden realizar comunicaciones de este tipo vendrá impuesto por la red a la que se accede.

* Cumplimiento de la legislación vigente en cuanto a regulación de Telecomunicaciones.

El estándar DECT opera en las bandas de frecuencias entre 1880 MHz y 1920 MHz. Dentro de este rango, cada continente tiene definidas unas bandas para la utilización de DECT, que son las siguientes:

BANDAS DE FRECUENCIA USADAS EN DECT POR REGIONES							
	Europa Latino Africa (Salvo Sud Asia (Salvo China)						
Rango Frecuencia (MHz)	1880- 1900	1910- 1930	1880-1900	1880- 1920	1880-1900	1900- 1920	

Tabla 3. Bandas de Frecuencia usadas en DECT por Regiones.

1.4.2 VSAT (Very Small Aperture Terminals)

Los terminales de pequeña apertura, VSAT, son estaciones para acceso vía satélite a redes privadas y públicas de telecomunicaciones, por lo que permite cubrir grandes distancias y dar servicio en zonas remotas y de difícil acceso.

1.4.2.1 Cumplimiento de los Requisitos.

La tecnología VSAT cumple con los requisitos que se han establecido para ser considerada válida para el análisis posterior, como se comprueba a continuación.

* Tecnología inalámbrica.

VSAT es una tecnología inalámbrica puesto que da acceso a través de enlaces vía satélites geoestacionarios.

* Grado de madurez de la tecnología.

Se puede considerar que la tecnología VSAT se encuentra en su fase de madurez, puesto que está completamente estandarizada por el ETSI y su fiabilidad y prestaciones han sido probadas en múltiples redes de distintos operadores. Además, existen múltiples fabricantes que ofrecen desde equipos terminales hasta soluciones completas.

* Comunicaciones de voz y datos.

Las estaciones VSAT permiten llevar a cabo comunicaciones de voz, pero presentan el inconveniente de los elevados retardos introducidos por los enlaces vía satélite, debido a la gran distancia que han de cubrir. Por otra parte, las redes VSAT también soportan comunicaciones de datos sobre el protocolo IP, con velocidades de transmisión típicas de 128 kbps-256 kbps (la velocidad de transmisión dependerá de la capacidad contratada con el operador de satélite).

Esta velocidad de transmisión, permite el soporte de aplicaciones de correo electrónico en el ámbito de la red VSAT. También, se pueden enviar y recibir correos en la propia Internet, siempre que la red VSAT disponga de acceso en la estación central.

* Cumplimiento de la legislación vigente en cuanto a regulación de Telecomunicaciones.

Los terminales VSAT operan en las bandas de frecuencia C (4/6 GHz), Ku (11/14 GHz) y Ka (20/30 GHz).

La conveniencia de uso de estas bandas depende de la zona donde se vaya a dar servicio. Esto se debe a la atenuación causada por los hidrometeoros. De las tres bandas, la que presenta menor atenuación por la lluvia, es la banda C, ya que está situada en las frecuencias más bajas de las tres. Las dos bandas restantes presentan mayor atenuación por estos factores, sobre todo la banda Ka, puesto que el tamaño de las gotas de agua es similar a la longitud de onda a estas frecuencias. Por ello, la banda C es la más adecuada para comunicaciones de datos que requieran fiabilidad en zonas tropicales.

1.4.3 IEEE 802.11 (WI-FI)

El conjunto de estándares 802.11 del IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) posibilita la creación de redes de ordenadores, tanto de área local como de área más amplia, utilizando mecanismos de acceso radio.

Ofrece velocidades de transmisión bastante elevadas y aporta mecanismos avanzados de seguridad. La gran ventaja de este tipo de redes es su bajo coste y la facilidad de instalación de la red.

1.4.3.1 Cumplimiento de los Requisitos.

La tecnología definida en los estándares 802.11 cumple los requisitos impuestos, como se justifica a continuación.

* Tecnología inalámbrica.

La tecnología Wi-Fi se utiliza para crear redes inalámbricas y para dar acceso vía radio a redes Ethernet de cable.

* Grado de madurez de la tecnología.

Se puede considerar que la tecnología Wi-Fi se encuentra en su fase de madurez, puesto que está completamente estandarizada por el IEEE y su fiabilidad y prestaciones han sido probadas en múltiples redes de distintas aplicaciones. Además,

existen multitud de fabricantes que ofrecen todos los equipos necesarios para implementar una red de este tipo.

Por otra parte, la gran expansión que está experimentando y las mejoras que se están añadiendo mediante nuevos estándares del IEEE para mejorar su rendimiento, demuestran que esta tecnología no está en su fase de saturación.

* Comunicaciones de voz y datos.

Las redes Wi-Fi están fundamentalmente enfocadas a comunicaciones de datos, pero también permiten las comunicaciones de voz mediante el protocolo VoIP, que permite transmitir voz sobre redes IP. Por otra parte, las velocidades de transmisión son muy elevadas: desde los 11 Mbps del estándar 802.11b a los 56 Mbps del estándar 802.11a/g (estas velocidades se refieren a la transmisión por radio, siendo menor la capacidad efectiva: 5,5 Mbps y 36 Mbps respectivamente).

Las velocidades de transmisión de datos que se han comentado permiten el soporte de la aplicación de correo electrónico entre los equipos conectados a la red. Normalmente, las redes Wi-Fi estarán interconectadas a otras redes públicas o privadas por lo que el ámbito de las comunicaciones se puede extender globalmente.

* Cumplimiento de la legislación vigente en cuanto a regulación de Telecomunicaciones.

Las redes Wi-Fi operan en las bandas IMS (Industrial, Scientific and Medical) de 2,4 GHz y el de 5,5 GHz. Las bandas IMS permiten su uso sin licencia de ningún tipo. Pero únicamente está disponible en el ámbito mundial la banda de 2,4 GHz, puesto que la banda de 5,5 GHz no está disponible en Europa. En el apartado dedicado a los aspectos regulatorios del capítulo de esta tecnología se muestra de manera detallada las frecuencias disponibles en cada región del planeta.

1.4.4 IEEE 802.16 (Wi-MAX)

WiMAX, siglas de Worldwide Interoperability for Microwave Access (Interoperabilidad mundial para acceso por microondas), es una norma de transmisión de datos que utiliza las ondas de radio en las frecuencias de 2,3 a 3,5 GHz.

Es una tecnología de acceso que permite la recepción de datos por microondas y retransmisión por ondas de radio. El estándar que define esta tecnología es el IEEE 802.16. Una de sus ventajas es dar servicios de banda ancha en zonas donde el despliegue de cable o fibra por la baja densidad de población presenta unos costos por usuario muy elevados (zonas rurales).

Actualmente se recogen dentro del estándar 802.16, existen dos variantes:

- * WiMAX Fijo (802.16d): En el cual se establece un enlace radio entre la estación base y un equipo de usuario situado en el domicilio del usuario. Para el entorno fijo, las velocidades teóricas máximas que se pueden obtener son de 70 Mbps con un ancho de banda de 20 MHz. Sin embargo, en entornos reales se han conseguido velocidades de 20 Mbps con radios de celda de hasta 6 Km, ancho de banda que es compartido por todos los usuarios de la celda.
- * WiMAX Móvil (802.16e): Permite el desplazamiento del usuario de un modo similar al que se puede dar en GSM/UMTS, este estándar, en su variante "no licenciado", compite con el Wi-Fi IEEE 802.11n, ya que la mayoría de los portátiles y dispositivos móviles, empiezan a estar dotados de este tipo de conectividad (principalmente de la firma Intel).

1.4.4.1 Cumplimiento de los Requisitos.

La tecnología definida en los estándares 802.16 cumple los requisitos impuestos, como se justifica a continuación.

* Tecnología inalámbrica.

La tecnología WiMAX se utiliza para brindar acceso a tecnologías como telefonía fija, banda ancha de Internet, o ambos de forma simultánea en triple play (telefonía, internet, TV).

* Grado de madurez de la tecnología.

Se puede considerar que la tecnología WiMAX se encuentra en su fase de madurez, puesto que está completamente estandarizada por el IEEE en la actualidad, y su fiabilidad y prestaciones han sido probadas en múltiples redes de distintas aplicaciones. De esta manera teniendo millones de suscriptores en todo el mundo.

Además, existen multitud de fabricantes que ofrecen todos los equipos necesarios para implementar una red de este tipo, y existe una constante crecimiento de estos servicios, de esta manera esta tecnología no está en su fase de saturación.

* Comunicaciones de voz y datos.

Las redes WiMAX, al igual que Wi-Fi están enfocadas a comunicaciones de datos, pero también permiten las comunicaciones de voz, específicamente la telefonía fija mediante el protocolo VoIP. Las velocidades de transmisión pico son de hasta 70Mbps en un canal de 20MHz.

Específicamente WiMAX móvil (802.16e) admita velocidades de datos máximas downlink de hasta 46 Mbit/s, partiendo de una relación DL/UL de 3:1, y velocidades de datos máximas uplink de hasta 14 Mbit/s, partiendo de una relación DL/UL de 1:1, en un canal de 10 MHz.

* Cumplimiento de la legislación vigente en cuanto a regulación de Telecomunicaciones.

El foro "WiMAX Forum" ha acordado, entre otros aspectos, que las redes WiMAX operen en las siguientes bandas, por motivos de armonización de las Telecomunicaciones:

- Banda de 2.5 a 2.7 GHz, espectro licenciado.
- Banda de 3.4 a 3.6 GHz, espectro licenciado.
- Banda de 5.725 a 5.85 GHz, exento de licencia.

Las bandas usadas mundialmente son las siguientes:

BANDA	BANDAS DE FRECUENCIA USADAS EN WIMAX POR REGIONES							
	Canadá	USA	Latino américa	Europa	África	Rusia	Asia Pacif.	
Bandas Frecuencia (GHz)	2.5, 3.5, 5	2.5, 5	2.5, 3.5, 5	2.5, 5	2.5, 5	3.5	2.3, 2.5, 3.5, 5	

Tabla 4. Bandas de Frecuencia usadas en WiMAX.

1.4.5 CDMA 450 (Acceso Múltiple por División de Código)

CDMA450 es una solución 3G que combina los servicios de comunicación inalámbrica CDMA2000 con cobertura de red asequible con base en la banda de frecuencia 450 MHz; la ventaja de utilizar los 450 MHz es la gran propagación de la señal con la utilización de una sola estación base; se calcula que sin ningún tipo de obstáculo una estación base CDMA2000 en los 450 MHz, podría cubrir hasta 80 kilómetros.

1.4.5.1 Cumplimiento de los Requisitos.

La tecnología definida en los estándares CDMA2000 cumple los requisitos impuestos, como se justifica a continuación.

* Tecnología inalámbrica.

La tecnología CDMA brinda acceso y soporta servicios de voz e Internet banda ancha, transferencia de datos a altas velocidades, también brinda la convergencia entre dichos servicios, todo en un ambiente de interacción totalmente móvil. Actualmente siendo incluso una tecnología de acceso para terminales fijos.

* Grado de madurez de la tecnología.

El mercado actual de los servicios celulares inalámbricos sigue experimentando un rápido crecimiento. La mayoría de los operadores inician o continúan el proceso de instalación de los sistemas WLL, llamados también sistemas de acceso inalámbrico fijo (FWA), basándose en las tecnologías IMT-2000. Aunque en un principio las tecnologías IMT-2000 están pensadas para suministrar servicios de telecomunicaciones móviles, también aportan alternativas eficaces y rentables a las tecnologías por cable y de banda ancha fijas.

Por lo tanto, se puede considerar que la tecnología CDMA 450 se encuentra en su fase de madurez, puesto que es una tecnología completamente desarrollada, de fiabilidad comprobada; solo con la variación en la frecuencia de operación que brinda una mayor área de cobertura. Y dado a que es una tecnología de acceso relativamente nueva, no se aproxima a una fase de saturación.

* Comunicaciones de voz y datos.

CDMA 450 ofrece servicios de voz de alta calidad con CDMA 2000 1x que permite que cada portadora maneje un tráfico de aproximadamente 42 Erlangs.

Además, CDMA 2000 1x soporta acceso de datos a gran velocidad, hasta de 153kbps, y a través de la tecnología CDMA 2000 1x EV-DO acceso de banda ancha con velocidades de hasta 3Mbps.

CDMA 450 utiliza sólo una pequeña cantidad del espectro (por debajo de 1.8MHz incluyendo banda de guarda).

* Cumplimiento de la legislación vigente en cuanto a regulación de Telecomunicaciones.

Las bandas disponibles para esta tecnología son:

SUB-BANDA	Bandas de frecuencias de Transmisión (MHz)			
SUD-DANDA	Estación Móvil	Estación Base		
A	452.500 - 457.475	462.500 - 467.475		
В	452.000 - 456.475	462.000 - 466.475		

С	450.000 - 454.800	460.000 - 464.800
D	411.675 - 415.850	421.675 - 425.850
Е	415.500 - 419.975	425.500 - 429.975
F	479.000 - 483.480	489.000 - 493.480
G	455.230 - 459.990	465.230 - 469.990
Н	451.310 - 455.730	461.310 - 465.730

Tabla 5. Sub-bandas de frecuencia autorizadas por la UIT para uso de la tecnología CDMA 450.

Mediante Resolución 331-C-CONATEL-2008 de 23 de junio de 2008, el Consejo Nacional de resolvió en su artículo único: "Realizar las acciones necesarias para la liberación de una parte de la sub-banda A de CDMA 450, comprendida en los rangos 454,400 – 457,475 MHz y 464,400 – 467,475, en las provincias en las cuales se tenga un número menor o igual a diez (10) concesiones de frecuencias en dichos rangos. En aquellas provincias en las cuales se tenga un número mayor a diez concesiones, la SENATEL deberá verificar la disponibilidad de espectro para la reasignación de los concesionarios salientes y, además, el compromiso del operador entrante de indemnizar a dichos concesionarios. Todo esto con la finalidad de permitir la implementación de sistemas orientados a brindar servicios de telecomunicaciones fijos inalámbricos en áreas rurales.".

1.4.6 MSAN (Nodo de acceso Multi-servicios)

Un nodo de acceso de servicios múltiples (MSAN) puede soportar conexiones con fibra óptica y cobre, por lo general se instalan en la central telefónica son un intermedio entre las líneas telefónicas de los clientes y la red principal, ofrece en una única plataforma los servicios de telefonía RDSI y banda ancha como DSL.

1.4.6.1 Cumplimiento de los Requisitos.

La tecnología MSAN cumple los requisitos impuestos, como se justifica a continuación.

* Tecnología alámbrica.

La tecnología MSAN es una tecnología alámbrica puede soportar fibra óptica y cobre, brindando servicios de telefonía y datos.

* Grado de madurez de la tecnología.

La tecnología MSAN se encuentra en fase de crecimiento, dado que los equipos cuentan con soporte para fibra óptica, así soportando GPON, que va desplazando al cobre por su fiabilidad y demás prestaciones. Poco a poco se está masificando esta

tecnología y es ampliamente usada en ciudades con alta densidad poblacional o en recintos cuya densidad cuya dispersión poblacional no es muy elevada.

* Comunicaciones de voz y datos.

Se puede brindar el servicio de voz y/o datos según la configuración del equipo, la capacidad varía entre 1200-1500 usuarios (hasta 2000, según el fabricante), posee gran escalabilidad y modularidad, permite aumentar o reducir la cantidad de usuarios de narrowband (banda angosta, telefonía) y broadband (banda ancha, Internet) con el correspondiente incremento o decremento de tarjetas de 48 o 32 usuarios (según el fabricante).

Soporta conexiones de fibra óptica y de cobre. Puede ofrecer diferentes interfaces físicas, anchos de banda y diferentes modos de acceso de banda ancha como <u>POTS</u> (Plain Old Service), <u>ADSL</u>, <u>ADSL2</u>/2+, <u>SHDSL</u>, <u>VDSL</u>/VDSL2, <u>LAN</u>, <u>E1</u>, <u>IMA E1</u>, <u>G/EPON</u>, etc. Es decir admitiendo capacidad desde el orden de los Mbps hasta inclusive en el orden de los Gbps en caso de que la tecnología de última milla utilizada sea GPON.

* Cumplimiento de la legislación vigente en cuanto a regulación de Telecomunicaciones.

La tecnología MSAN al ser una tecnología alámbrica no requiere una concesión para frecuencias de operación, pero no se encuentra libre de regularizaciones, para operar un nodo MSAN se necesita una concesión para brindar servicios de valor agregado (SVA) cuyos permisos otorga la SUPERTEL.

CAPITULO 2

2. DESCRIPCION Y ANALISIS DE LAS TECNOLOGIAS SELECCIONADAS

2.1 SISTEMA DECT.

2.1.1 Introducción.

El estándar DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications), es una tecnología de acceso vía radio destinada a las telecomunicaciones inalámbricas, la cual opera en la banda comprendida entre 1880 MHz y 1930 MHz. Su finalidad es proporcionar acceso a diversos tipos de redes de telecomunicaciones, permitiendo comunicaciones de voz y datos con gran fiabilidad, calidad y seguridad.

DECT es la evolución lógica de los sistemas de comunicaciones analógicas que aparecieron en los años 80. Los primeros equipos de telefonía inalámbrica ofrecían al usuario la posibilidad de conexión a la red telefónica con una movilidad muy limitada. Estos teléfonos inalámbricos, los cuales operaban en distintas frecuencias de la banda de 1,7 MHz y en el canal 1 de televisión, utilizaban una tecnología sencilla, de tipo analógico con multiacceso por división en la frecuencia, FDMA (Frecuency Division Multiple Access).

La primera edición del estándar DECT fue publicada en 1992 y se centraba en la definición de la interfaz común de acceso, GAP (Generic Access Profile) además de otras interfaces para interconexión de redes (DECT/GSM, DECT/RDSI) con el fin de estimular la interoperabilidad entre equipos de diferentes fabricantes. La definición del estándar se completó en 1995 con la segunda edición.

Aunque inicialmente, la tecnología DECT estaba limitada a la provisión de acceso en entornos domésticos, los perfiles añadidos al estándar, posibilitan su aplicación en entornos empresariales y en exteriores, en áreas urbanas, mediante arquitecturas multicelulares, con células de pequeño tamaño (100- 200 m a lo sumo).

También es posible la utilización de DECT en zonas rurales, en las que se da servicio a un reducido número de usuarios distribuidos en zonas extensas. En estos casos, la arquitectura empleada es la propia de los sistemas de bucle de abonado inalámbrico, WLL (Wireless Local Loop), lo que permite cubrir distancias de 15 km entre las

estaciones base y los equipos de usuario, esta tecnología lamentablemente ya no presenta crecimiento.

2.1.1.1 Aplicaciones de DECT.

El estándar prevé, en principio, las siguientes aplicaciones:

- **Teléfonos inalámbricos domésticos:** con una sola célula DECT, se consigue mejor calidad de voz que con los sistemas anteriores de telefonía sin hilos. Además, DECT añade una mayor seguridad y comunicaciones entre los terminales sin pasar por la red telefónica.
- Centralitas inalámbricas privadas (WPABX): un sistema multicelular DECT, como el que se muestra en la Figura 1, con una centralita inalámbrica, puede dar servicio a miles de usuarios, gracias a las elevadas densidades de tráfico soportadas por el estándar.

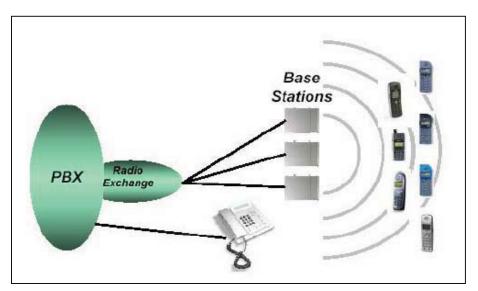


Figura 1. Centralita PABX con DECT. [3]

- Bucle de abonado inalámbrico (WLL): la tecnología DECT es una alternativa válida a los bucles de abonado vía cable, debido a su rapidez de establecimiento, bajo coste y altas prestaciones. Esto permite a los operadores un rápido despliegue y hacer las modificaciones de la zona de cobertura según las necesidades, con un coste mucho menor que el ocasionado por una red de cable.

- **Comunicaciones de datos:** inicialmente, DECT permitía enlaces de datos de hasta 552 kbps. Actualmente, los diferentes tipos de modulación empleados permiten tasas de transferencia de hasta 2 Mbps.
- Teléfonos duales GSM/DECT: que seleccionando de forma automática la red DECT o GSM a las que esté suscrito, aportaría al usuario la ventaja de utilizar un único terminal en el ámbito interno y externo a su empresa.

2.1.1.2 Áreas de Aplicación y Mercados.

La mayoría de contratos de productos DECT son para las aplicaciones telefónicas residenciales y de negocios. Se ha probado que es efectivo en costos para el consumidor final, dado que su costo se está reduciendo. Los consumidores reemplazan sus teléfonos inalámbricos de menor calidad (normas CT0 y CT1) por un producto DECT o adquieren su primer inalámbrico digital debido al alto nivel de seguridad y la calidad de las comunicaciones. Asimismo, la perspectiva de transformar el inalámbrico DECT en una centralita doméstica, PABX (Private Automatic Branch Exchange), mediante la compra de más terminales resulta muy atractiva para el consumidor final.

Otra aplicación de gran éxito de DECT fue el bucle de abonado inalámbrico (WLL) que permite cubrir distancias de hasta 15 km en condiciones de línea de vista, pero en la actualidad este uso de ha ido reduciendo principalmente por la existencia de tecnologías más robustas en todos los parámetros.

2.1.1.3 Situación actual del estándar DECT.

Pese a ser un estándar europeo, DECT se extendió y en la siguiente figura se puede apreciar el estado de DECT en el 2003, que tuvo una gran penetración en sus diferentes aplicaciones, y hasta el día de hoy en la mayoría de países sigue presente y no se ha podido migrar por asuntos económicos. Fue una tecnología que brindaba grandes prestaciones y seguridad respecto a otras tecnologías de la época.

En los países desarrollados las aplicaciones de DECT más extendidas son la telefonía inalámbrica doméstica, mientras en los países en vías de desarrollo, la aplicación fundamental fue la de WLL.

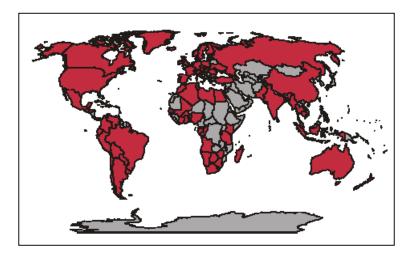


Figura 2. Países en los que está presente la tecnología DECT. [3]

2.1.2 Características Técnicas.

Las características técnicas más importantes del estándar DECT son las siguientes:

- Elevada capacidad: soporta densidades de tráfico de hasta 10000 Erlang/km2. Esto es posible gracias a las técnicas de multiacceso utilizadas: multiportadora, MC (Multi Carrier), acceso múltiple por división en el tiempo, TDMA y enlaces dúplex por división en el tiempo, TDD.
- Uso eficaz del espectro que se logra mediante la técnica selección dinámica de canales, DCS (Dynamic Channel Selection).
- Movilidad: Itinerancia y traspaso automáticos dentro de una célula y entre células y sistemas.
- Alto nivel de seguridad y privacidad de las comunicaciones.
- Servicios de voz de alta calidad y datos a distintas velocidades.
- Coexistencia: en una misma zona pueden operar diversos sistemas DECT coordinados o no de diferentes operadores o propietarios.
- Diversas estructuras de cobertura: monocélula con una estación base o multicélula con varias.
- Acceso a la red telefónica conmutada, a la red digital de servicios integrados, RDSI, a las redes de telefonía móvil GSM y DCS1800 (Digital Cellular System at 1800 MHz), a redes X.25 y a redes de área local, LAN (Local Area Network).
- Permite el despliegue de redes muy eficientes en cuanto a costes se refiere.
- Alta flexibilidad en los protocolos definidos, lo que permite futuras ampliaciones.

2.1.2.1 Bandas de Frecuencia.

DECT se ha expandido por todo el mundo: muchos países de Asia, Latinoamérica, África lo han adoptado, por lo que existen diversas bandas de frecuencia en cada zona, todas ellas, rondando los 1900 MHz. Las bandas correspondientes a cada región son las siguientes:

BAND	BANDAS DE FRECUENCIA USADAS EN DECT POR REGIONES							
	Europa	Latino américa	África (Salvo Sudáf.)	Sud áfrica	Asia (Salvo China)	China		
Rango Frecuencia (MHz)	1880- 1900	1910-1930	1880-1900	1880- 1920	1880-1900	1900- 1920		

Tabla 6. Bandas de Frecuencia usadas en DECT por Regiones.

2.1.3 Configuraciones de Red.

Un sistema DECT está formado, básicamente, por la llamada parte fija, FP (Fixed Part), la cual comprende al menos una estación base o parte fija de radio, RFP (Radio Fixed Part), y por una o varias partes portátiles, PP (Portable Part), las cuales contienen todos los elementos situados entre el usuario y la interfaz aérea DECT.

En el modelo de referencia DECT se encuentran también el dominio de la red global y el de la red local, como se muestra en la Figura 3:

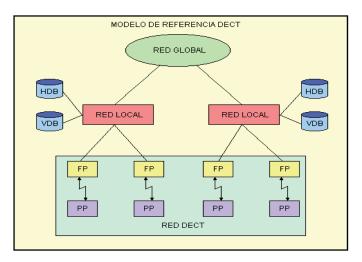


Figura 3. Modelo de referencia DECT. [3]

La red global es una red general, como podría ser la red de telefonía básica o la red digital de servicios integrados, la cual permite la comunicación entre sistemas DECT y sistemas finales.

La red local tiene asociadas las bases de datos de abonados domésticos, HDB (Home Data Base) y visitantes, VDB (Visitors Data Base), en las cuales figuran, entre otros datos, el tipo de abono, información de localización, numeración, conversión de identidades DECT y datos para la tarificación.

La red DECT admite diversas configuraciones, las cuales se muestran en la Figura 4.

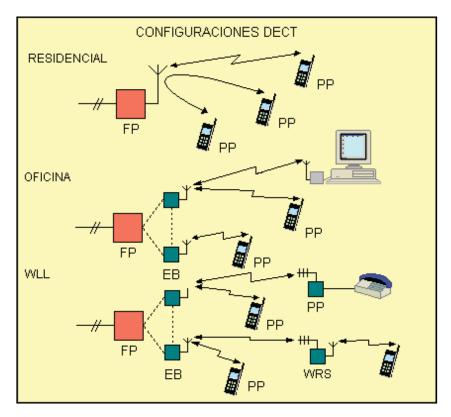


Figura 4. Posibles configuraciones de red DECT. [3]

Como se puede observar en la figura, se podría requerir de estaciones de transmisión inalámbricas (WRS) para el enlace con terminales en zonas alejadas.

2.1.4 Descripción de los equipos DECT.

Si bien el estándar dispone de múltiples posibilidades para la realización de comunicaciones de voz y datos a distintas velocidades, e incluso un perfil para su uso en redes WLL, la aplicación que más éxito tuvo en el mercado es la telefonía inalámbrica. Por ello, la mayoría de fabricantes de este tipo de sistemas, únicamente ofrecen equipos compatibles con el perfil genérico de acceso, GAP. Por otra parte, también se pueden encontrar equipos para la transmisión de datos mediante el perfil DMAP.

2.1.4.1 Equipos DECT compatibles con el perfil GAP.

Los equipos que utilizan el perfil de acceso genérico, GAP, son los más comunes. Únicamente permiten comunicaciones de voz por lo que pueden resultar útiles en circunstancias en las que se pretenda extender unos cientos de metros el área de influencia de la red telefónica desde algún punto en el que se disponga de acceso.

La instalación de este tipo de equipos es muy sencilla: únicamente es necesario conectar la unidad central a la red telefónica y ubicar el resto de los elementos donde sea necesario (siempre que se disponga de energía eléctrica).

- Unidad Central:

Las unidades centrales, como la que se muestra en la Figura 5, ejercen las funciones de centralitas PABX y controlan las estaciones base. Normalmente, incluyen una estación base que presta cobertura en un rango máximo de 100 m en interiores y 300 m en exteriores, dan servicio a 3 estaciones base remota y a 28 terminales inalámbricos como máximo, disponiendo de 6 canales por lo que permiten 6 comunicaciones simultáneas. Disponen de cuatro líneas para conectarse a la red telefónica y de dos conectores que posibilitan la conexión de un teléfono convencional, un fax o un módem, en cada uno de ellos.

El costo de una estación central típica se sitúa en los 1200 USD, mientras que su consumo de potencia es de 60W como máximo.



Figura 5. Unidad central DECT fabricada por SENAO. [6]

- Estación base remota:

Las estaciones base remotas, como la mostrada en la Figura 6, ofrecen una cobertura máxima de 100 m en interiores y 300 m en exteriores. Disponen de cuatro canales para dar servicio a otras tantas comunicaciones simultáneas. Se comunican con la unidad central, mediante una conexión de cable de 1 km como máximo; su consumo de potencia es de aproximadamente 5W y su costo es de aproximadamente 400 USD.



Figura 6. Unidad central DECT fabricada por Comflux. [6]

- Repetidor:

Los repetidores, como el que se puede observar en la Figura 7, permiten ampliar la cobertura de los sistemas DECT, cubriendo un rango de 100m en interiores y 300m en exteriores como máximo. Tanto la unidad central, como cada estación base remota, soportan hasta 6 repetidores cada una.

El costo de un repetidor se sitúa en torno a los 200 USD, mientras que su consumo de potencia es de 5W como máximo.



Figura 7. Repetidor DECT fabricado por SENAO. [6]

- Teléfonos Inalámbricos:

Los teléfonos inalámbricos, como los que se pueden observar en la Figura 8, los cuales están disponibles desde unos 80 USD, permiten realizar comunicaciones de voz mediante el sistema DECT. Pueden comunicarse con las estaciones base remotas o con la base de carga y su consumo es aproximadamente de 3W.



Figura 8. Modelos de teléfonos inalámbricos de las marcas Grundig, Panasonic y Alcatel. [6]

2.1.5 Aplicación de WLL.

La utilización de DECT en aplicaciones de bucle de abonado inalámbrico, WLL, hizo que esta tecnología se incluya en este proyecto, a pesar de que el estándar presenta un perfil adaptado a la prestación de servicios de bucle de abonado vía radio, el alcance máximo se ve limitado a distancias de hasta 5 km, debido a que no se cuenta con mecanismos para fortalecer el sistema frente a la dispersión temporal.

Por ello, los sistemas que se utilizan en aplicaciones de WLL para entornos rurales aislados, donde las distancias a cubrir son en muchas ocasiones, superiores a las máximas permitidas por el perfil RAP de DECT, se basan en el sistema *corDECT*.

El sistema de acceso corDECT, desarrollado en la India por la asociación formada por Midas Communication Technologies, el Instituto Tecnológico Indio de Madras (ITT Madras) y Analog Devices Inc. (compañía estadounidense), es una solución basada en DECT que provee de acceso simultáneo para comunicaciones de voz e Internet a velocidades medias contando con las siguientes características y fortalezas:

- Despliegue de la red de forma fácil y rápida.
- Requiere una baja inversión inicial gracias al bajo coste de los equipos.

- Alta calidad en la transmisión de voz (32 kbps).
- Velocidad de transmisión de datos: 70 kbps cuando se lleva a cabo únicamente una comunicación de datos y 35 kbps si se realizan simultáneamente una comunicación de voz y una de datos.
- Al estar basado en DECT, corDECT no requiere planificación de frecuencias.

2.1.5.1 Descripción de equipos para soluciones WLL corDECT.

- Unidad de interfaz DECT, DIU (DECT Interface Unit):

Una unidad DIU, como la que se puede observar en la Figura 9, proporciona la interfaz entre los usuarios y la red telefónica. Desarrolla las funciones de conmutación y control de las estaciones base. Asimismo, contiene el centro de operación y mantenimiento, OMC (Operation and Maintenance Centre), que lleva a cabo todas las funciones de administración, y permite una monitorización exhaustiva en tiempo real de la red.



Figura 9. DIU modelo 200 de la marca Midas Communication Technologies. [6]

Una unidad DIU, normalmente, es capaz de gestionar hasta 20 estaciones base y soporta hasta 1000 usuarios. El precio de estas unidades oscila entre los 2200 USD de una unidad DIU con capacidad para 100 líneas, hasta los 22000 USD de una unidad DIU con capacidad para 1000 líneas (la máxima capacidad posible).

Por otra parte, los sistemas que consten de varias DIU's, pueden utilizar el sistema de gestión de la red, NMS (Network Management System) para centralizar la gestión de las DIU's. Este sistema, que se conecta con cada unidad a través de la red telefónica, tiene un costo aproximado de 4800 USD. A su vez, el consumo de potencia de una unidad DIU será como máximo de 500W.

- Estación base compacta, CBS (Compact Base Station):

Las CBS, como las que se muestran en la Figura 10, proporcionan la interfaz radio entre los equipos de los usuarios y las unidades DIU. Generalmente, soportan hasta 12 comunicaciones simultáneas. Se llaman estaciones bases compactas debido a su reducido tamaño (alrededor de 25 cm de largo) y su bajo peso (cercano a 1 kg). Permiten cubrir distancias de hasta 10 km en condiciones de línea de vista y soportan entre 30 y 70 usuarios. El costo de estas estaciones base se sitúa en torno a los 1400 USD.

Las CBS pueden alimentarse directamente desde el DIU o mediante una fuente de alimentación local. En cualquier caso, el consumo de una CBS es aproximadamente de 250 mW.



Figura 10. Estaciones base. Izquierda: modelo CBS 211 de Midas Communication Technologies.

Derecha: modelo fabricado por BBS. [3]

- Unidad de acceso de usuario (WS):

Las unidades de acceso de usuario, se denominan generalmente WS (Wallset), puesto que suelen estar concebidas para su instalación en las paredes de las dependencias del

usuario. Las WS son el equipamiento fijo del usuario (o parte fija) y proporcionan la interfaz con la red telefónica.



Figura 11. WS modelo WS 304 de Midas Communication Technologies. [6]

Existen WS como la mostrada en la Figura 11, que únicamente proporcionan un conector para un teléfono, que puede ser de marcación decádica o de marcación multifrecuencia, un módem o un fax. Este modelo, además, dispone de un puerto RS232 para la conexión directa de un PC sin necesidad de módem para la conexión a Internet o inclusive, hay unidades WS múltiples (MWS) para proporcionar cuatro líneas, las cuales pueden ser usadas simultáneamente. Es posible observar estas variantes en la siguiente figura.

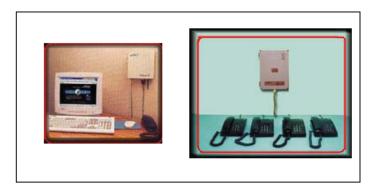


Figura 12. Variantes de WS. Izquierda: Conexión directa de un PC al WS. Derecha: MWS 100 de la marca Midas Communication Technologies. [6]

Todas las unidades de acceso de usuario comentadas, están formadas por dos equipos que se conectan mediante un par de cobre trenzado: el módulo transceptor, DTM (DECT Transceiver Module), que es la unidad exterior y contiene el sistema para efectuar las comunicaciones radio así como la antena, y el módulo de interfaz de

usuario, que se sitúa en el interior de las dependencias del usuario. Para las comunicaciones de voz se utiliza una codificación de 32 kbps y para el acceso a Internet se dispone de una velocidad de 70 kbps.

El costo de las unidades de acceso de usuario oscila entre los 180 USD que aproximadamente cuesta un WS simple y los 300 USD que cuesta un MWS. A su vez, el consumo de una unidad WS es de 6W, y de una unidad MWS unos 80W pero poseen baterías recargables, que duran 4 horas aproximadamente.

- Distribuidor de estación base (BSD):

Un BSD, como el que se muestra en la Figura 13, es una unidad compacta para su montaje en unidades rack que permite conectar hasta 4 CBS con un DIU mediante un enlace de 2,048 Mbps (1 E1), que puede realizarse mediante cable, fibra óptica o un enlace de microondas. La distancia máxima entre el BSD y el DIU, dependerá del medio utilizado para dicho enlace.

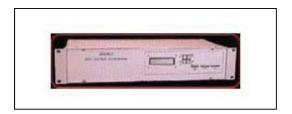


Figura 13. BSD modelo BSD 100 de la marca Midas Communication Technologies. [6]

Como se puede apreciar en la Figura 14, el BSD es una manera eficiente en costos, de extender la cobertura de la red a usuarios alejados del DIU.



Figura 14. Extensión de la cobertura mediante uso de un BSD. [6]

El costo de un BSD se sitúa alrededor de los 1200 USD. Además, habría que añadir el costo de las antenas para el enlace por microondas o el enlace de cable o fibra óptica para enlazar con el DIU. El consumo máximo de potencia de una unidad BSD es de 60W.

- Estación repetidora (RBS):

Las RBS, como la mostrada en la Figura 15, se utilizan para extender la cobertura del sistema puesto que actúan como repetidores entre las estaciones base, CBS, y las unidades de acceso de usuario, con capacidad para 11 comunicaciones simultáneas.



Figura 15. Estación repetidora RBS 100 de la marca Midas Communication Technologies. [6]

El costo de una RBS se sitúa cerca de los 5500 USD. Este costo, incluye el equipo necesario para su alimentación, un panel solar de 40 W y una batería.

2.1.5.2 Topología típica de un sistema corDECT.

La topología típica de un sistema corDECT se muestra en la Figura 16, consta de una unidad de interfaz DECT, la cual se conecta con la red telefónica mediante enlaces E1. El DIU se conecta con las estaciones base mediante tres pares de cobre. Con este tipo de conexión se puede enlazar estaciones base situadas hasta 4 km de distancia. Sin embargo, para zonas rurales, lo más habitual será realizar estas conexiones mediante enlaces de microondas. Para ello, es necesario utilizar los BSD, los cuales permiten enlazar hasta cuatro CBS. En este caso, el sistema no impone una limitación a la distancia del enlace. Las estaciones base, CBS, enlazan directamente con las instalaciones de usuario, WS, que se encuentren a menos de 10 km de distancia. En los casos en los que esta distancia sea mayor, será necesario el empleo de repetidores intermedios, RBS, que pueden situarse a una distancia máxima de 25 km de las estaciones base. Los repetidores prestarán servicio a usuarios situados a 10 km de distancia como máximo.

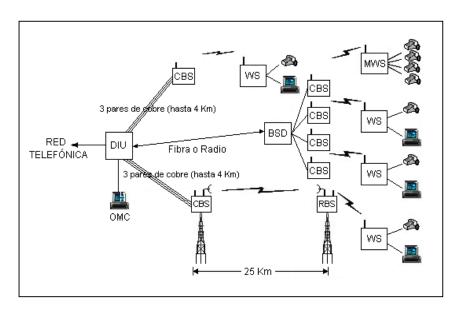


Figura 16. Topología típica del sistema corDECT. [6]

2.1.6 Regulación.

Los aspectos regulatorios referidos a la tecnología DECT (y corDECT), hacen referencia a las bandas de frecuencias destinadas para su uso, y a las autorizaciones requeridas en función del tipo de servicio y el ámbito de prestación del mismo.

2.1.6.1. Bandas de Frecuencia.

Como ya se ha comentado, las bandas de frecuencia destinadas a la tecnología DECT, y por extensión a los sistemas corDECT, están definidas por los organismos competentes y varían de unas regiones a otras.

BANDAS DE FRECUENCIA USADAS EN DECT POR REGIONES						
	Europa	Latino américa	África (Salvo Sudáf.)	Sud áfrica	Asia (Salvo China)	China
Rango Frecuencia (MHz)	1880- 1900	1910- 1930	1880-1900	1880- 1920	1880-1900	1900- 1920

Tabla 7. Bandas de Frecuencia usadas en DECT por Regiones.

En el caso de los equipos de sistemas DECT, hay que tener en cuenta que es probable que aquellos que se fabriquen en Europa únicamente puedan utilizarse en la banda de 1880-1900 MHz, por lo que su utilización no sería posible en Latinoamérica ni en China. Por ello, en estas regiones será necesario recurrir a equipos de fabricantes que al menos tengan presencia como distribuidores. Este suele ser el caso de los grandes fabricantes internacionales, como Alcatel, Ericsson, Grunding, Panasonic, Philips y Siemens.

Por su parte, este problema no se plantea en los sistemas corDECT, ya que permiten su adaptación en todo el margen de frecuencias comprendido entre 1880 y 1935 MHz.

2.1.6.2. Autorizaciones.

La ITU aprobó el uso de la tecnología DECT en las bandas de frecuencias antes mencionadas en la década de los 90, de esta manera las empresas CNT E.P. (ex Andinatel y Pacifictel) y ETAPA E.P. usaron dichas frecuencias para el uso y explotación de la tecnología DECT, en ese entonces sin autorización del CONATEL por medio de la SENATEL debido a que no hay como cambiar un Plan Nacional de Frecuencias de manera abrupta.

Sin embargo, con el paso de los años, no se emitió ningún tipo de regulación por parte de la SENATEL y hasta la fecha permanece sin regulación, es decir no se necesita una Licencia o autorización para autorizar el uso de dicha tecnología, no obstante las frecuencias asignadas para el uso de servicios de telecomunicaciones FWA (acceso fijo inalámbrico) no contemplan las de la banda entre 1910 y 1930MHz, es decir en la actualidad, dificilmente una empresa podrá usar y explotar la tecnología DECT.

2.1.7 Análisis del sistema DECT.

2.1.7.1 Estudio de las variables de análisis.

Debido a que la aplicación más interesante para su utilización en zonas rurales de países en vías de desarrollo, es el WLL, para lo cual se emplea el sistema corDECT, basado en DECT; el análisis de las variables se va a orientar hacia las particularidades de este tipo de sistemas, que en algunos casos difieren de DECT. Por ello, en las variables en las que sea necesario, se realiza un comentario general de DECT y una explicación particular de corDECT.

2.1.7.1.1 Características técnicas del sistema.

- Capacidad

La capacidad teórica del sistema DECT es muy elevada: soporta densidades de tráfico de hasta 10000 Erlang/km2. Esto es posible gracias a las técnicas de multiacceso utilizadas: multiportadora, MC (Multi Carrier), acceso múltiple por división en el tiempo, TDMA y enlaces dúplex por división en el tiempo, TDD.

Por su parte, la capacidad de un sistema corDECT es menor. Una estación base, CBS, soporta entre 30 y 70 usuarios y 12 comunicaciones simultáneas. Las unidades de interface DECT soportan hasta 1000 usuarios y 20 estaciones base.

- Velocidad de bit

El sistema DECT ofrece una velocidad de transmisión de hasta 2 Mbps, en función del perfil de acceso utilizado, sin embargo, para aplicaciones WLL, corDECT ofrece una velocidad de transmisión de datos máxima de 70 kbps, la cual se reduce a 35 kbps cuando se llevan a cabo comunicaciones de voz y datos simultáneos. Esta velocidad de transmisión, se puede clasificar como baja según la calificación enunciada en la Tabla 1

- Banda de frecuencia

Como ya se indicó en el inciso referente a las características técnicas, las bandas del funcionamiento de los sistemas DECT son las siguientes:

BANDAS DE FRECUENCIA USADAS EN DECT POR REGIONES						
	Europa	Latino américa	África (Salvo Sudáf.)	Sud áfrica	Asia (Salvo China)	China
Rango Frecuencia (MHz)	1880- 1900	1910- 1930	1880-1900	1880- 1920	1880- 1900	1900- 1920

Tabla 8. Bandas de Frecuencia usadas en DECT por Regiones.

Debido a las distintas bandas de frecuencia que están destinadas para este sistema en función de la región, el sistema corDECT se puede adaptar para operar en frecuencias comprendidas en la banda de 1880-1935 MHz.

- Seguridad de las comunicaciones

Los mecanismos de seguridad definidos en el estándar DECT dado por la ETSI, que también están implementados en los sistemas corDECT, son los siguientes:

- Protocolo de suscripción: el equipo de usuario dispone de un número secreto de suscripción, PIN (Personal Identification Number), concedido por el operador de red o proveedor de servicio, el cual debe ser introducido en la parte portátil y en la parte fija antes del comienzo del procedimiento.
- Protocolo de autenticación: la autenticación del terminal debe efectuarse antes de cada llamada. Consiste en la verificación de la clave secreta enviada por el terminal.
- Cifrado: los protocolos anteriores utilizan un sistema avanzado de cifrado como medida preventiva ante posibles escuchas.

- Posibilidades de interconexión con otras redes

El sistema DECT es una tecnología de acceso, por lo que las posibilidades de interconexión son muy amplias. Provee de acceso a la red telefónica conmutada, a la red digital de servicios integrados, RDSI, a las redes de telefonía móvil GSM y DCS1800 (Digital Cellular System at 1800 MHz), a redes X.25 y a redes de área local, LAN (Local Area Network).

No obstante, en el sistema corDECT, la interconexión se realiza en la interfaz del DIU con la red telefónica conmutada y con Internet mediante la utilización de un router.

- Movilidad

Los terminales DECT pueden llevar a cabo comunicaciones móviles dentro de la celda en la que tengan acceso. En el caso de entornos multicelulares, los terminales pueden mantener comunicaciones activas en todo el área de cobertura, llevando a cabo el sistema los traspasos necesarios entre células sin que se interrumpa la comunicación.

Sin embargo, el sistema corDECT únicamente da servicio a terminales fijos (WS y MWS) con el fin de simplificar el sistema y reducir el costo. Se podría proporcionar movilidad en un entorno reducido conectando un teléfono inalámbrico DECT al conector del WS.

- Posibilidad de gestionar la red a distancia

En los sistemas DECT convencionales formados por una unidad central que da servicio a tres estaciones base como máximo, situadas a pequeña distancia, la gestión de la red se reduce al control de estas estaciones y se realiza automáticamente desde la unidad central.

La gestión y las tareas de control de los sistemas corDECT están centralizadas en las unidades DIU, desde su centro de control y mantenimiento (OMC). Si bien cada DIU forma un sistema DECT conectado a la red telefónica, las organizaciones que dispongan de varios DIU, podrán utilizar el sistema de gestión de la red, NMS, para su gestión centralizada. La conexión de los DIU al NMS se puede realizar, como ya se ha comentado, a través de la propia red telefónica.

- Terminales

Los terminales DECT son los teléfonos inalámbricos, en los sistemas que utilizan el perfil GAP. El uso de los teléfonos inalámbricos es sencillo, muy similar al de un teléfono analógico convencional y análogo al de un teléfono móvil GSM, por lo que el grado de conocimientos del usuario, será el correspondiente al de la categoría de usuario básico.

Los terminales de las redes corDECT son los WS y MWS, los cuales de cara al usuario únicamente son registros que ofrecen dos tomas a las que conectar sus equipos. Estos serán teléfonos analógicos, teléfonos inalámbricos, faxes o computadoras, que pueden requerir capacitación para su manejo.

La instalación de los WS y MWS es sencilla, de igual manera de la unidad de exterior, se requerirán técnicos medios en instalaciones electrotécnicas o técnicos medios en informática. Por parte del usuario, conocimiento de nivel básico o medio para comunicaciones de datos.

2.1.7.1.2 Infraestructura.

- Facilidad de instalación

Como ya se ha comentado, la instalación de un sistema DECT con acceso mediante el perfil GAP, debido a la reducida distancia de cobertura de estos elementos, la instalación es rápida y sencilla. Por ello, el personal encargado de la instalación será de técnico medio en instalaciones electrotécnicas.

Por su parte, la instalación de un sistema corDECT es más compleja, en la instalación de las unidades de interfaz DIU, serán necesarios técnicos superiores de sistemas de

telecomunicación e informática, para la configuración de los enlaces a la red telefónica, los enlaces a las estaciones base, el software del OMC, etc.

- Facilidad de operación y mantenimiento

La operación de los sistemas DECT es controlada por los propios usuarios. Para el mantenimiento de los equipos se necesitarán técnicos medios en instalaciones electrotécnicas.

Por su parte, la operación del sistema corDECT se gestiona en las DIU y en el NMS cuando es necesario. En estos puntos se puede llevar a cabo un control total del funcionamiento del sistema, mediante software, por parte de técnicos superiores en sistemas de telecomunicación, con experiencia en la gestión de redes de este tipo. El mantenimiento de los equipos, en cuanto a cambio de parámetros y configuraciones y actualización del software, se puede hacer de manera remota.

2.1.7.1.3 Energía.

- Nivel de consumo de energía

El nivel de consumo de energía de los diferentes equipos se detalla a continuación:

- DIU: necesitará una fuente de alimentación que proporcione 500W, en condiciones de máxima carga.
- CBS: recibe la alimentación desde el DIU o el BSD al que esté conectada. Su consumo es de 250 mW y necesita un voltaje de 35-60V.
- BSD: necesitará una fuente de alimentación que proporcione 60W.
- WS/MWS: la fuente de alimentación deberá proporcionar 12V y 500mA como máximo. Los WS incluyen baterías recargables de 6V y 1,3Ah, que proporcionan una autonomía de 3,5 horas de utilización y 16 horas en modo espera. Por su parte, las baterías de las unidades MWS proporcionan 12V y 7,2Ah, con una autonomía de 4 horas de utilización para cada línea y 16 horas en modo espera.
- RBS: los repetidores pueden alimentarse mediante fuentes de alterna de 95 a 265V, o un conjunto de un panel solar de 40W y una batería recargable de 12v y 40Ah.

Como se puede observar, el consumo de los equipos es bajo. El consumo de los computadores está entre 20 y 40W para ordenadores portátiles y entre 350 y 500 W para computadores de escritorio.

2.1.7.1.4 Costo.

- Costo de infraestructura

La inversión necesaria para el despliegue de un sistema corDECT es muy baja, debido al bajo costo de los equipos de usuario y de la infraestructura. Como referencia, se pueden proporcionar los siguientes datos de costos:

– Equipamiento de usuario: se supone que en cada emplazamiento únicamente se conecta un computador y un teléfono analógico a la red. El costo sería el mostrado en la Tabla 9. Se utilizan computadoras portátiles debido a que presentan un consumo de energía mucho menor que los de escritorio. El sistema de energía solar, está dimensionado para proporcionar energía al ordenador, a la batería del WS y a dos luminarias.

Equipo	Coste (USD)
Ordenador personal	1800
WS (unidad de acceso de usuario)	180
Teléfono analógico	40
Sistema de energía solar	1200
TOTAL	3220

Tabla 9. Costo del equipamiento de usuario.

En el caso de que se utilizase un teléfono DECT en lugar de uno analógico, el costo se vería incrementado aproximadamente en unos 80 USD.

En los casos en los que se utilice un MWS, el coste sería el mostrado en la Tabla 10.

Equipo	Coste (USD)
4 ordenadores personales	7200
MWS (unidad de acceso de usuario múltiple	300
4 teléfonos analógicos	160
Sistema de energía solar	2640
TOTAL	10300

Tabla 10. Costo del equipamiento de usuario en emplazamientos que utilicen MWS.

Infraestructura: El costo de la infraestructura dependerá del número de usuarios a los que se vaya a dar servicio y la distribución de los mismos. El costo de los distintos elementos, se detalla en la siguiente tabla:

Equipo	Coste (USD)	
NMS (Sistema de gestión de red)	4000	
	Cada 100 usuarios (mínimo 100)	2160
DIU (Unidad de interfaz)	Para el máximo de 1000 usuarios	21600
	Sistema energía solar	3600
CBS (Estación base)	1440 (recibe la alimentación de BSD)	l DIU o del
BSD (Distribuidor de estaciones	Equipo	1200
base)	Sistema energía solar	960
RBS (Repetidor)	5400 (incluye el sistema de ene	ergía solar)
TOTAL	40360	

Tabla 11. Costo del equipamiento de la infraestructura corDECT.

- Costo durante la vida útil

El costo durante la vida útil de un sistema corDECT, incluirá los siguientes conceptos:

- Costos debido a las líneas de interconexión a la red telefónica e Internet.
- Costo del personal dedicado a la operación de la red y su mantenimiento.
- Costo del mantenimiento de los emplazamientos (gastos de los emplazamientos de los DIU, alquileres del terreno del resto de emplazamientos, cuando sea necesario para la construcción de torretas, energía eléctrica si se tiene acceso a la red, etc.)

Los costos por operación de un sistema corDECT se pueden considerar reducidos, si se tiene en cuenta la topología del sistema. Esto se debe a la sencillez de los equipos que forman la red (estaciones base, repetidores y WS), que requieren muy poco mantenimiento en persona.

- Modularidad y posibilidad de mejora gradual

El sistema corDECT, permite la ampliación de la red desplegada sin tener que llevar a cabo grandes modificaciones en el diseño de la red. Sin embargo, normalmente, los cambios que se quieran llevar a cabo requerirán la adición de nuevos módulos en las estaciones base o en el nodo central, lo cual puede crear complicaciones si se supera la capacidad de la instalación inicial. Por ello, la posibilidad de ampliación de los sistemas corDECT dependerá del margen de crecimiento que se permita en su diseño.

Los sistemas corDECT, no ofrecen la posibilidad de mejora en cuanto a las prestaciones del sistema.

- Conformidad con normas y estándares reconocidos

Todos los elementos del sistema DECT están estandarizados por el ETSI. Los códigos identificativos de los distintos documentos se incluyen en la sección 6.8. Por su parte, el sistema corDECT no está completamente estandarizado por ningún organismo oficial, pero se ha convertido en el estándar más usado para aplicaciones WLL de DECT.

2.1.7.2 Resumen de las variables de análisis.

En la siguiente tabla se resumen los resultados de las variables correspondientes a la tecnología de acceso DECT, organizadas por grupos.

CARÁCTERÍSTICAS TÉCNICAS		
VARIABLE	RESULTADO	
CAPACIDAD	 Capacidad teórica DECT: elevada, hasta 10000 Erlang/km2 Sistema corDECT. Capacidad por sistemas: CBS (estación base): entre 30 y 70 usuarios y 12 comunicaciones simultáneas. DIU (unidad de interfaz)soportan hasta 1000 usuarios y 20 CBS 	
VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN	 DECT: hasta 2 Mbps. Clasificación: velocidad muy elevada. CorDECT: 70 kbps (35 kbps si se realizan comunicaciones de voz y datos al mismo tiempo). Clasificación: velocidad baja. 	
BANDA DE FRECUENCIA	 Europa: 1880-1900 MHz Latinoamérica: 1910-1930 MHz África (salvo Sudáfrica): 1880-1900 MHz Sudáfrica: 1880-1920 MHz Asia (salvo China): 1880-1900 MHz China: 1900-1920 MHz 	
SEGURIDAD	Alta: Los métodos de seguridad empleados son: - Protocolo de suscripción - Protocolo de autenticación - Cifrado de las comunicaciones	
INTERCONEXIÓN	– DECT: RPTC, RDSI, GSM y DCS1800, X.25 y LAN	

	- CorDECT: RPTC e Internet		
GESTIÓN A DISTANCIA	 DECT: la gestión de las estaciones se realiza automáticamente desde la unidad central. CorDECT: la gestión y el control del sistema se centralizan en el DIU. 		
MOVILIDAD	 DECT. Movilidad completa: soporta los traspasos entre celdas. CorDECT: no permite la movilidad de los terminales. 		
TERMINALES	DECT: la instalación requiere técnicos medios en informática. – DECT GAP: usuario básico. CorDECT: WS Y MWS. La instalación requerirá técnicos medios en instalaciones electrotécnicas con formación adicional para configurar el computador o se necesitarán técnicos medios en informática. – Comunicaciones de voz: usuario básico. – Comunicaciones de datos: usuario medio.		
INF	INFRAESTRUCTURA		
VARIABLE	RESULTADO		
VARIABLE FACILIDAD DE INSTALACIÓN	DECT: fácil y rápida. Requiere técnicos medios en instalaciones electrotécnicas. CorDECT: requiere profesionales especializados. – DIU: técnicos superiores de sistemas de telecomunicación e informática – Estaciones base: técnicos superiores en		
FACILIDAD DE	DECT: fácil y rápida. Requiere técnicos medios en instalaciones electrotécnicas. CorDECT: requiere profesionales especializados. – DIU: técnicos superiores de sistemas de telecomunicación e informática		

VARIABLE	RESULTADO
	Bajo consumo de energía en todos los equipos. En los sistemas de energía de los usuarios, hay que tener en cuenta el consumo de energía del computador (entre 20 y 40 W para computadoras portátiles y entre 350 y 500 W para computadoras de sobremesa).
CONSUMO DE ENERGÍA	 DIU: 500W en condiciones de máxima carga. CBS: recibe la alimentación desde el DIU o el BSD al que esté conectada. Su consumo es de 250mW y necesita un voltaje de 35-60V. BSD: 60W. WS/MWS: 12V y 500mA. Los WS incluyen baterías recargables de 6V y 1,3Ah, que proporcionan una autonomía de 3,5 horas de utilización y 16 horas en modo espera. Las baterías de los MWS proporcionan 12V y 7,2Ah, con una autonomía de 4 horas de utilización para cada línea y 16 horas en modo espera. RBS: fuentes de alterna de 95 a 265V, o un conjunto de un panel solar de 40W y una batería recargable de 12v y 40Ah.
	COSTO
VARIABLE	RESULTADO
COSTO DE	Reducida inversión inicial: el costo de los equipos de usuario es de aproximadamente 3220 USD si se usa un WS o 10300 USD en el caso de emplear MWS.
INFRAESTRUCTURA	El costo de los equipos de infraestructura dependerá del tamaño de la red: – DIU para 1000 usuarios: 25200 USD – CBS: 1440 USD. – BSD: 2160 USD. – RBS: 5400 USD.
COSTO DURANTE LA VIDA ÚTIL	Se ve reducido porque se necesita poco personal para el funcionamiento y

	mantenimiento del sistema al realizarse de
	manera centralizada. Incluye:
	 Costos de las líneas de interconexión a la
	red telefónica e Internet.
	– Costo del mantenimiento de las licencias y
	autorizaciones, en el caso de que sean
	necesarias.
	- Costo del personal dedicado a la operación
	de la red y su mantenimiento.
	La posibilidad de ampliación de la red ha de
MODULARIDAD Y	preverse al realizar el diseño puesto que en
POSIBILIDAD DE	caso contrario, puede resultar costosa.
MEJORA	, F
172300141	El sistema no permite ampliaciones de las
	prestaciones.
	– El sistema DECT está estandarizado por el
CONFORMIDAD CON	ETSI.
NORMAS Y	El sistema corDECT no está estandarizado
ESTÁNDARES	por ningún organismo oficial, pero se ha
RECONOCIDOS	convertido en el estándar más usado para
	_
	aplicaciones de WLL DECT.

Tabla 12. Resumen de las variables de análisis de la tecnología DECT.

2.1.7.3 Conclusiones del análisis.

2.1.7.3.1 Ventajas e inconvenientes de la aplicación de DECT en zonas rurales aisladas.

Teniendo en cuenta las características de la tecnología DECT y, principalmente las particularidades del sistema corDECT, que es la aplicación de DECT a las redes de acceso WLL, y las variables de estudio del análisis, se puede concluir que las principales ventajas que ofrece para su despliegue en zonas rurales de países en vías de desarrollo, son las siguientes:

- **Bajo costo de los equipos:** El costo de los equipos del sistema es bajo, desde las terminaciones de red que se sitúan en las instalaciones del usuario, hasta los DIU.
- Prestaciones: Permite realizar comunicaciones simultáneas de voz y datos. Calidad en las comunicaciones de voz (32 kbps) y velocidades de transmisión de hasta 70 kbps y 35 kbps en el caso de comunicaciones simultáneas de voz y datos, que resultan adecuadas para la aplicación de correo electrónico y la navegación por Internet. También permite la utilización de faxes.

- **Tecnología probada en las regiones de estudio:** corDECT es una tecnología concebida para su aplicación en zonas rurales Ya ha sido probada con éxito en regiones rurales de distintos países como la India, Kenia y Brasil.
- Rápido despliegue: No se requiere la realización de una planificación de frecuencias, por lo se simplifica el diseño de la red. Relativa facilidad de transporte e instalación de equipos.
- Coexistencia de distintos operadores: El sistema posibilita la coexistencia de distintos operadores y distintas aplicaciones corDECT en la misma zona. Esto se debe a la selección dinámica de canales, DCS, que aporta una gran inmunidad frente al ruido.

Por otra parte, la aplicación de corDECT para la realización de redes WLL, presenta los siguientes inconvenientes:

- Soluciones propietarias: Aunque se basa en el estándar DECT y la mayoría de los fabricantes utilizan el sistema corDECT desarrollado por ITT Madras, las soluciones que ofrece cada uno presentan diferencias en la implementación del software que hace que sean incompatibles, por lo que únicamente se pueden emplear equipos de un sólo proveedor en un mismo sistema.
- Sistema poco flexible: Los equipos de los sistemas corDECT no permiten la realización de modificación alguna, como por ejemplo, el cambio de las antenas para lograr mayor cobertura. Además, requiere enlaces por cable desde el DIU a las estaciones, o la utilización de los distribuidores de estaciones base, que permiten realizar radioenlaces con las estaciones, pero suponen un costo añadido.

Asimismo, la ampliación de un sistema corDECT una vez instalado puede resultar costosa si la ubicación de los nuevos usuarios hace necesaria la instalación de nuevas estaciones base o repetidores.

- Línea de vista: El sistema corDECT requiere visión directa entre las antenas que se comunican para conseguir las distancias de enlace adecuado. Este factor hará necesaria la construcción de torres para las antenas de las estaciones base, los repetidores intermedios e incluso mástiles para las unidades externas de la instalación de usuario. Como consecuencia de esto, el costo se incrementa y se complica la implantación de la red.

2.1.7.3.2 Conclusiones finales.

La tecnología corDECT, basada en el estándar DECT del ETSI, presenta características apropiadas para su aplicación en zonas rurales.

Ofrece unas prestaciones que satisfacen los requisitos impuestos en este estudio. Soporta comunicaciones de voz y datos, incluso simultáneas. La velocidad de transmisión que ofrece, permite la navegación por Internet y la aplicación de correo electrónico.

Por otro lado, esta tecnología permite la prestación de estos servicios mediante redes de acceso, WLL, utilizando equipos terminales de bajo costo, los cuales integran todos los elementos del transceptor radio, la antena y la unidad interior de usuario, en un volumen muy reducido, por lo que son muy fáciles de instalar. Además, su funcionamiento es muy sencillo: únicamente es necesario conectar el cable del teléfono y el del ordenador.

Los elementos de la infraestructura de la red también tienen un costo bajo gracias a que se trata de equipos que integran todos los elementos de serie, lo cual tiene la contraprestación de que no se puede llevar a cabo ningún tipo de modificación, ni en lo referente a las antenas utilizadas. Estos equipos presentan un consumo bajo e incluso, algunos como el repetidor, se distribuye con su sistema de alimentación solar.

Sin embargo, la tecnología DECT requiere línea de vista en sus aplicaciones, y aunque su alcance sea aceptable, es una debilidad importante teniendo en cuenta la orografía del Ecuador; además no permite modularidad y los costos pueden aumentar drásticamente si se incrementan los abonados. Son limitantes importantes al momento de brindar servicios de telecomunicaciones a zonas desatendidas.

Este estándar fue una tecnología revolucionaria en la década de los 90s, brindó varias soluciones e incluso gracias a esta tecnología se dio acceso a varios servicios, sin embargo en la actualidad es una tecnología que se encuentra en su fase de saturación debido a que ya no presenta crecimiento, si los equipos se mantienen en varios países del mundo es porque no se ha podido migrar a mejores tecnologías, principalmente por motivos económicos; además gran cantidad del equipamiento se encuentra descontinuado, por lo que no es una tecnología idónea para brindar servicios de telecomunicaciones a zonas rurales en la actualidad.

2.1.8 ANEXO: Estándares DECT del ETSI.

En el cuadro siguiente, se indican los códigos de todos los documentos del ETSI que contienen todas las especificaciones del sistema DECT. No se han traducido los epígrafes de los documentos puesto que se considera más exacto y procedente mantener las expresiones en inglés.

Part 1. Overview		
Part 2. Physical layer		
Part 3. Medium Access Control layer		
Part 4. Data Link Control layer		
Part 5. Network layer		
Part 6. Identities and Addressing		
Part 7. Security Aspects		
Part 8. Telephony		
DECT Generic Access Profile, GAP; ETS 300 494		
Part 1. Summary		
Part 2. Portable radio Termination (PT)		
Part 3. Fixed radio Termination (FT)		
DECT Data Services Profiles		
ETS 300 755: Service type F, class 2		
ETS 300 757: Service type E, class 2		
ETS 301 238: Service type D, mobility class 2		
ETS 301 239: Service type D, mobility class 1		
ETS 301 240: Point-to-Point Protocol (PPP)		
interworking for internet access and general multi-		
protocol datagram transport		
DECT GSM Interworking, GIP; ETS 300 494		
Part 1. Summary		
Part 2. Portable radio Termination (PT)		
Part 3. Fixed radio Termination (FT)		
ISDN Interworking ETS; 300 705		
Part 1. Portable radio Termination (PT)		
Part 2. Fixed radio Termination (FT)		
DECT GSM Interworking, GIP; ETS 300 494		
CTM Access profile, CAP; ETS 300 824		
Wireless Relay Stations, WRS; ETS 300 700		
Radio in the Local Loop, RLL; ETS 300 765		

DECT Radio Equipment and Systems; ETS 300 175

Tabla 13. Códigos de estándares ETSI de DECT

2.1.9 ANEXO: Fabricantes de equipos DECT.

Las direcciones web de los fabricantes de equipos DECT que se han mencionado en este capítulo son las siguientes:

- Alcatel, consultar: http://www.atlinks.com
- Ascalade Communications Limited, consultar: http://www.ascalade.com
- Bithium, consultar: http://www.bithium.com

- Dosh&Amand, consultar: http://www.dosch-amand.de/de
- Comflux, consultar: http://www.comflux.com.tw/eng
- EADS Telecom, consultar: http://www.eads-telecom.es
- Ericsson, consultar: http://www.ericsson.com
- Grundig, consultar: http://www.grundig.com
- Panasonic, consultar: http://panasonic.com
- Philips, consultar: http://www.philips.com
- Sagem, consultar: http://www.sagem-online.com
- SENAO International Limited, consultar: http://www.senao.com
- Siemens, consultar: http://www.siemens.com
- Wincomm Corporation, consultar: < http://www.wincomm.com.tw>

A continuación, se adjunta un listado de fabricantes de equipos corDECT con sus direcciones para localizar sus correspondientes páginas web:

- B.B.S. Electronics, consultar: http://www.bbsgroup.com.sg
- Goodwin Communication Systems, consultar: http://www.ge.goodwin.ru/eng
- Midas Communication Technologies, consultar: http://www.midascomm.com
- Shyam Telecom Limited, consultar: http://www.shyamtelecom.com

2.1.10 ANEXO: Información comercial de algunos equipos DECT.

En este anexo, se adjunta información comercial de la empresa B.B.S. Electronics relativa a equipos corDECT que se pueden encontrar en el mercado. En este caso se adjunta una hoja técnica del equipo corDECT.

Number of suscribers	1000 (máximum); per DIU
numbre of cbs	20 (máximum); per DIU
Numbre of bsds	5 (máximum); per DIU
Operating frecuency (Mhz)	DB1 1880-1900 DB2 1900-1920 DB3 1910-1930
Redundancy	Hot standby provided for all single point failures, except failure on interference cards

Network configuration	Local Exchange with R2MF signaling on e1 interference. Access unit with V5.2 interface on E1 lines. DID-PBX with R2-MF signaling on E1 lines & two wire junction lines, PABX with two wire junction lines.
Busy hour call attempts (BHCA)	20.000
Maximum traffic per CBS	5 Earlangs at 0, 5 blocking; support tipically33 suscribers at 0, 15 Earlang/sub. 50 suscribers at 0,1 Earlangs/sub & 70 suscribers at 0,07 Earlang⊂
Voice coding	Toll quality, 32Kbps ADPCM as per ITU T G.726
Instruments supported	Standart two wire telephone or payphone with battery reversal & 16/12 Khz (optional) metering pulse. Modem up to 9.6 Kbps, G3 Fax, RS232 interface to PC for 35 or 70 kbps internet access
Number of tones	Up to 11
Number of 3 party conferences	8
Number of announcements	10(2 six-second segments played alternately for each announcement).
Modulation	GFSK, MC-TDMA
Data transmission rate	Up to 32 Kbps (simultaneous voice and data) or up to 64 kbps data only.

Tabla 14. Especificaciones del sistema DECT ofrecido por BBS Electronics. [3]

2.2 ESTACIONES VSAT.

2.2.1 Introducción.

Los primeros satélites artificiales fueron lanzados a finales de la década de los cincuenta y principios de la década de los sesenta. Es en 1960 cuando comienza la etapa de experimentación de satélites artificiales con fines de telecomunicaciones, con el lanzamiento del satélite pasivo ECHO.

Las primeras aplicaciones para las que se utilizaron los satélites de comunicaciones, fueron los enlaces de voz y la difusión de señales de televisión. Con estos fines, se

pusieron en órbita los primeros satélites de comunicaciones activos como TELSTAR (1962), SYMCOM (1963-64) e INTELSAT I (1965).

Las transmisiones por satélite gozaron de gran éxito, el cual, junto con los grandes avances tecnológicos experimentados en los años siguientes, posibilitaron la aparición de estaciones de comunicaciones por satélite más pequeñas y fiables. De esta manera, se llega al concepto de VSAT, con la salida al mercado de la primera generación en 1983.

Los VSAT (Very Small Aperture Terminal) son, por tanto, pequeñas estaciones terrenas de comunicaciones por satélite. Se pueden considerar pequeñas puesto que el tamaño máximo de la antena es de 1,8 m en la banda Ka, 3,8 m en la banda Ku y 7,8 m en la banda C. Debido a su reducido tamaño y a la escasa infraestructura que requieren, la instalación es sencilla y tiene un costo reducido, en comparación con estaciones de tamaño convencional. Los terminales VSAT se pueden utilizar para llevar a cabo comunicaciones unidireccionales o bidireccionales. Además, los satélites soportan comunicaciones de datos, vídeo, Internet, fax y comunicaciones de voz.

2.2.1.1 Áreas de aplicación de VSAT.

Los servicios que se pueden ofrecer mediante redes VSAT, así como las posibles aplicaciones de este tipo de redes, son muy diversos y se utilizan tanto en el sector privado como en el público. A continuación, se exponen los posibles servicios que soportan estas redes:

- Comunicaciones de datos:

- Servicios de transacciones de datos para las comunicaciones de las empresas.
- Redes de acceso: acceso a Internet mediante la implementación de redes IP por satélite, bucle local inalámbrico para datos, etc.
- **Comunicaciones de voz:** telefonía, teléfonos de pago en lugares remotos y bucle local inalámbrico para voz.
- Difusión audiovisual: difusión de televisión y radio, digital y analógica. Se trata de redes de difusión puesto que el tramo que se cubre con tecnología VSAT es unidireccional. Sin embargo, las redes de difusión digitales generalmente disponen de un canal de retorno a través de otro tipo de red, que habitualmente es la red telefónica.

Por otra parte, las redes que utilizan tecnología VSAT, permiten el soporte de aplicaciones enfocadas a diferentes sectores:

 Sector privado: aplicaciones basadas en servicios de datos que aportan utilidad a diferentes tipos de empresas.

- Redes para transacciones bancarias: control del flujo de dinero, soporte a las transacciones, confirmación de tarjetas de crédito, etc.
- Industria petrolífera: control y adquisición de datos para las actividades de prospección, producción, transporte y distribución.
- Sector de hotelería y agencias de viajes: gestión de reservas, control de inventarios, programas de viajeros frecuentes, autorización de crédito, etc.
- Comercio: las redes VSAT también se aplican en cadenas de supermercados, comida rápida y otros comercios que constantemente controlan las ventas. El uso de redes de este tipo es de especial importancia en el área de las ventas de coches.

- Sector público:

- Telecomunicaciones rurales: VSAT provee enlaces muy eficaces en coste para poblaciones dispersas y pueblos pequeños. Muchos países, especialmente los que se encuentran en vías de desarrollo, están implementando redes VSAT para extender la infraestructura telefónica nacional. Entre los países en desarrollo que están utilizando redes VSAT para dar servicio a las zonas rurales aisladas, se encuentran Sudáfrica, Botswana, Indonesia, Chile, Perú, Kazakhstan, Bangladesh, Paquistán, Tailandia y Etiopía.
- Redes para aplicaciones de telemedicina.
- Redes de organismos oficiales.
- Redes para la difusión de radio y televisión.
- Servicios de emergencia.

2.2.1.2 Situación actual del sistema VSAT.

El sistema VSAT es una solución de telecomunicaciones consolidada, como demuestra el enorme número de terminales instalados (más de un millón) en más de 120 países. La gran expansión de las redes VSAT se debe a la capacidad de dar acceso a las redes de comunicaciones de voz y datos independientemente de la distancia y de las dificultades orográficas. Además, la miniaturización de los componentes y el incremento de las economías de escala, junto con la utilización del protocolo IP, están permitiendo a los proveedores de servicios incrementar la calidad de los mismos disminuyendo el costo.

2.2.2 Características Técnicas.

Las características técnicas más importantes de las redes VSAT son las siguientes:

Las redes VSAT pueden utilizar tres modos de funcionamiento distinto que determinan los servicios que pueden prestar: SCPC (un único canal por

portadora), TDMA (acceso múltiple por división en el tiempo, por lo cual hay varios canales por portadora) y DAMA (acceso múltiple en función de la demanda).

- Diversas configuraciones de red: en estrella, utilizando una estación central, o en malla, donde los terminales se comunican unos con otros sin necesidad de estación central. Además, los terminales VSAT se pueden conectar con tecnologías de bucle de abonado por cable o inalámbrico.
- Posibilidad de implementar redes únicamente de difusión o redes bidireccionales.
- Tasas de transferencia: dependerán del ancho de banda que se contrate en el satélite y del servicio. Como valores típicos para acceso a Internet, se podrían tomar los siguientes:
 - Hasta 512 kbps en el enlace ascendente (desde el terminal VSAT hacia la red).
 - Hasta 2048kbps en el enlace descendente (desde la red hacia el terminal VSAT).
- Variedad de aplicaciones: comunicaciones de voz, difusión de programas de televisión, fax, transmisión de datos, Internet, videoconferencia, aplicaciones de control y telemetría, etc.
- Permite la interconexión con redes fijas como la de telefonía (RPTC), la RDSI y redes públicas y privadas de datos.
- Amplia gama de interfaces disponibles para el usuario: RS232, X.21, V.35, G703 y 10-BaseT/100-BaseT (Ethernet).
- Fácil y rápido despliegue de la red.
- Flexibilidad y facilidad de modificación y ampliación de la red, puesto que únicamente es necesario cambiar la ubicación de los terminales o instalar nuevos.
- Reducido consumo: los terminales pueden funcionar con menos de 35 W de energía eléctrica.

2.2.2.1 Bandas de Frecuencia.

En general, los sistemas fijos VSAT, emplean transpondedores en los satélites en las siguientes bandas:

BANDAS DE FRECUENCIA USADAS EN SISTEMAS VSAT					
	Enlace Ascendente	Enlace Descendente	Regiones donde se		
	(GHz)	(GHz)	usa		
Banda C	6	4	Asia, Africa y Sudamérica		
Banda Ku	14	11 y 12	Europa y Norteamérica		
Banda Ka	30	20	Europa y Norteamérica		

Tabla 15. Bandas de Frecuencia usadas en DECT por Regiones.

La preferencia de uso de una banda u otra por regiones, se debe a la atenuación causada por los hidrometeoros. De las tres bandas, la que presenta menor atenuación por la lluvia, es la banda C, por ende, es la frecuencia más usada en zonas tropicales.

2.2.2.2 Constelaciones de Satélites.

La órbita en la que se sitúa un satélite, condiciona el tipo de servicio prestado y el tamaño de la antena de los terminales utilizados. La clasificación de los sistemas en función de la órbita en que se ubican, sería la siguiente [Huidobro, 2000]:

- Satélites GEO:

Abreviatura de Órbita Terrestre Geoestacionaria. Estos satélites orbitan a 35.848 km sobre el ecuador terrestre, lo que hace que el periodo de rotación del satélite sea de 24 horas. De esta manera, se consigue que el satélite permanezca visible siempre en las mismas zonas del planeta. Además, gracias a la elevada altitud a la que se sitúa la órbita, desde un satélite geoestacionario se domina casi la tercera parte de la superficie terrestre, por lo que se puede enlazar dos puntos cualesquiera del planeta con dos repetidores como máximo, o lo que es lo mismo, se podría cubrir toda la superficie terrestre con sólo tres satélites, como se puede observar en la figura 17.

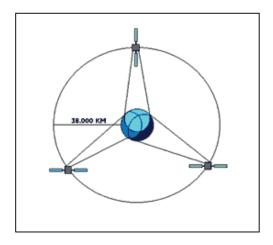


Figura 17. Cobertura mundial usando tres satélites GEO. [7]

Presenta alta latencia debido a la gran distancia de separación (no es posible comunicaciones de voz), así como necesitan obtener unas posiciones orbitales específicas alrededor del ecuador para mantenerse lo suficientemente alejados unos de otros (unos 800 o 1600 km, o lo que es lo mismo, uno o dos grados para las bandas Ku y C respectivamente), dada la resolución de las antenas receptoras, siendo la ITU y la FCC (en los Estados Unidos) los organismos encargados de administrar estas posiciones. Esta separación se puede observar en la Figura 18.

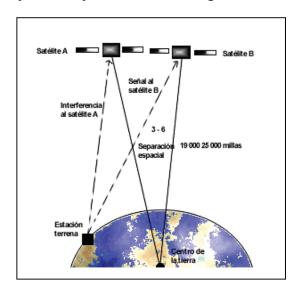


Figura 18. Separación espacial de satélites en una órbita geoestacionaria. [7]

- Satélites MEO

Los satélites de órbitas medias, MEO (Medium Earth Orbit), se encuentran a una altura comprendida entre los 10.000 y 20.000 km de la superficie terrestre. Por ello, su posición relativa respecto a la superficie terrestre no es fija. Además, al estar situados a una altitud menor que los satélites GEO, se requiere un número mayor de satélites MEO para cubrir la superficie terrestre. A cambio, se reduce significativamente el tiempo de latencia. Actualmente, no existen muchos satélites MEO, y se utilizan fundamentalmente para posicionamiento.

- Satélites LEO

Estos satélites están situados en órbitas de baja altura (LEO es la abreviatura de Low Earth Orbit), por lo que presentan una latencia muy reducida (unas pocas centésimas de segundo). Los LEO orbitan generalmente por debajo de 5000 km y la mayoría de ellos se encuentran mucho más abajo, entre 500 y 1600 km, por lo que se necesitan muchas decenas de estos satélites para cubrir la superficie terrestre, los cuales se desplazan a gran velocidad por lo que resultan visibles durante poco tiempo.

La aplicación más importante de las constelaciones de satélites LEO es la prestación de servicios de telefonía móvil con cobertura mundial, permitiendo así el uso de terminales con bajas potencias de emisión, lo que hace que se reduzca el tamaño de las baterías.

2.2.2.2.1 Satélites utilizados por los sistemas VSAT.

Los sistemas VSAT, utilizan satélites situados en la órbita geoestacionaria, GEO, puesto que son los más adecuados para prestar servicio a terminales fijos, debido a que la posición del satélite permanece inmóvil respecto de la Tierra. Sin embargo, los satélites MEO y LEO se desplazan a gran velocidad, por lo que son visibles durante poco tiempo, lo que complica el posicionamiento de la antena parabólica.

Por otro lado, los satélites GEO tienen un tiempo de vida mayor que el de los que funcionan en órbitas más bajas. Esto se debe a que la vida de un satélite, que oscila entre los 5 y los 15 años, depende de la duración del combustible necesario para mantenerlo en la órbita correcta (el consumo es mayor cuanto menor es la altura de la órbita).

2.2.2.3 Modos de acceso que proveen las redes VSAT.

La tecnología VSAT permite tres modos de acceso distinto, los cuales son:

- El modo SCPC, o canal único por portadora (Single Channel Per Carrier), alta capacidad y un solo canal de acceso por terminal.
- Sistema de acceso múltiple por división en el tiempo, TDMA (Time Division Multiple Access), alta capacidad, baja velocidad.
- Sistema de acceso múltiple asignado por demanda, DAMA (Demand Assigned Multiple Access), alta capacidad, baja velocidad.

Los modos de acceso, están directamente vinculados con los tipos de servicio que presta una red VSAT, puesto que condicionan desde la topología de la red (red en estrella con una estación central o red en malla, en la que se pueden comunicar los terminales directamente, sin necesidad de hub) y el tipo de comunicaciones que se pueden establecer, hasta los recursos de ancho de banda del satélite utilizados y, por tanto, el costo de la red.

2.2.3 Configuración Funcional.

Una red VSAT típica se presenta en la Figura 19, está formada por una serie de estaciones terrenales remotas (los VSAT propiamente dichos), las cuales se comunican con una estación central o hub a través de un satélite de comunicaciones geoestacionario.

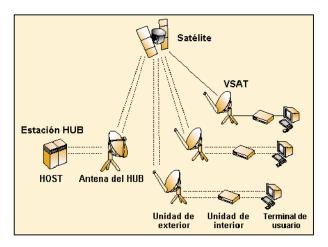


Figura 19. Configuración funcional de una red VSAT. [7]

Por tanto, se puede decir que la red está formada por dos componentes:

• Componente espacial: comprende el satélite de comunicaciones geoestacionario.

 Componente terrenal: comprende la estación central o hub y las estaciones remotas VSAT.

2.2.3.1 Configuraciones de Red.

- Configuración en estrella

La configuración en estrella (Figura 20), consiste en una estación central o hub que da servicio a una serie de terminales remotos VSAT, de tal manera que todas las comunicaciones pasan por el hub. Esta configuración tiene la ventaja de que el hub puede mantener un control efectivo de la red. Además, es compatible con la mayoría de requerimientos de tráfico.

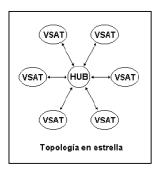


Figura 20. Configuración VSAT en estrella. [7]

Antes de profundizar, es necesario aclarar la siguiente terminología aplicable a las redes en estrella:

- Inbound: transferencia de información desde un VSAT al HUB.
- Outbound: transferencia de información desde el HUB a un VSAT.

Se habla de redes en estrella bidireccionales cuando las aplicaciones requieren que se comuniquen los VSAT con el HUB y viceversa (existen tanto inbounds como outbounds). Por el contrario en las redes en estrella unidireccionales, sólo hay comunicación desde el HUB hacia los VSAT (sólo hay outbounds).

Es habitual que en el caso de las redes en estrella unidireccionales, se realicen las comunicaciones de retorno mediante redes terrestres, como la RTB o la RDSI. Esta solución se emplea en redes asimétricas, donde el ancho de banda que se necesita para el flujo de datos hacia el usuario es mucho mayor que el requerido para el flujo inverso, esta implementación no es aplicable en zonas rurales desatendidas puesto que no existen redes alternativas.

- Configuración en malla

Esta configuración posibilita la realización de comunicaciones directas entre terminales remotos VSAT, a través del satélite de comunicaciones, como se puede observar en la Figura 21.

Esta configuración tiene las siguientes ventajas:

- Reducción del retardo de propagación de la señal: se pasa de un retardo de 0,5 s de una configuración en estrella, a un retardo de 0,25 s.
- No es necesaria la estación central: esto hace que se produzca una gran disminución del costo de la red debido al elevado valor del hub.

Sin embargo, al prescindir del hub, se debe designar un terminal VSAT maestro para llevar a cabo el control de la red.

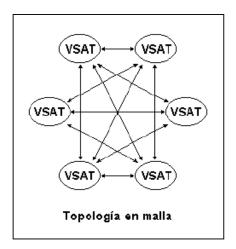


Figura 21. Configuración VSAT en malla. [7]

2.2.3.2 Elección de una configuración.

La elección de un tipo u otro de configuración, depende del tipo de aplicación para la que se vaya a utilizar la red. Las razones para elegir una arquitectura u otra son:

- Estructura del flujo de información en la red

Las redes VSAT soportan diferentes tipos de aplicaciones y servicios, teniendo cada uno de ellos una óptima configuración de red.

- Broadcasting (red de difusión): Una estación central reparte información a otras estaciones sin flujo de datos en el sentido inverso. Así, una configuración en estrella unidireccional soporta el servicio al menor coste.
- Red corporativa: La mayoría de compañías tienen una estructura centralizada, con una sede central para la administración, y fábricas o locales de venta distribuidos sobre una amplia zona, donde la información de los puntos remotos ha de ser recogida en la base central para la toma de decisiones. Esto sería soportado por una red en estrella unidireccional. Si además la central transmite hacia los puntos remotos para indicar órdenes, la configuración será en estrella y bidireccional.
- Interactividad entre puntos distribuidos: Adecuado para compañías con estructura descentralizada. El objetivo es que cada punto pueda comunicarse con cualquiera de los otros, con esto, la mejor configuración es la de una red en malla usando conexiones directas de un sólo salto de VSAT a VSAT.

- Retardo de la transmisión

Como ya se ha comentado anteriormente, una de las mayores restricciones para determinadas aplicaciones en el uso de satélites geoestacionarios es la del retardo, que en algunos casos puede ser considerable. Con un único enlace de VSAT a VSAT en una red sin HUB, el retardo de propagación ronda 0.25 s, siendo la mitad de lo que fuera en una red en estrella.

2.2.3.3 Conectividad.

El número de estándares con los que se puede interconectar el sistema VSAT es muy elevado. Un terminal VSAT puede ser configurado con la mayoría de interfaces de datos, tales como RS232, X.21, V.35, G703 y 10-BaseT/100-BaseT (Ethernet), en función de la complejidad de la unidad de interior. Por su parte, el hub puede interconectarse a un gran número de redes, por lo que una red VSAT puede soportar comunicaciones telefónicas a través de la red telefónica conmutada, aplicaciones sobre Internet, transmisión de faxes, conexiones con redes de datos públicas y privadas, etc.

Los terminales VSAT generalmente disponen de varios conectores para cada tipo de red que soporta, por lo que, por ejemplo, un terminal con 12 líneas para teléfono, como podría ser el terminal VSAT *GS 212S* fabricado por Global Communications Solutions, GCS, puede dar servicio a 12 usuarios distintos de la red telefónica.

2.2.4 Descripción de los equipos.

2.2.4.1 Transponedores.

Los satélites de comunicaciones están equipados con un número de transceptores radio conocidos como transpondeadores. El ancho de banda disponible en el satélite será la suma de los anchos de banda de todos sus transpondeadores (el ancho de banda de un transpondeador está, generalmente, entre 36 MHz y 54 MHz). La orientación de los diferentes transpondeadores determina las regiones en las que el satélite da cobertura.

Un transpondeador puede llegar a manejar de 10 a 15 redes de tamaño típico de 500 VSATs, debido al tiempo que se requiere para planificar la capacidad necesaria, los operadores de satélite normalmente ofrecen descuentos en los contratos de larga duración.

Será necesario alquilar dos canales: el canal desde la estación hub al satélite (outroute) y el canal desde el terminal VSAT al satélite (in-route). El ancho de banda de estos dos canales puede ser distinto, lo que es de particular interés para el tráfico de Internet, que normalmente es asimétrico.

2.2.4.2 Estación central, hub.

La estación central o hub, como la que se muestra en la Figura 22., es la responsable de funciones tales como la gestión y control de la red, la monitorización y configuración de los terminales remotos, asignación de canales, conmutación y encaminamiento de las comunicaciones y generación de los informes correspondientes de acceso y tráfico, parámetros de mantenimiento, etc. Todas estas funciones normalmente se concentran en un centro de gestión independiente de la red, el cual está formado por un ordenador (host) conectado con el hub.



Figura 22. Estación hub de 9m de diámetro ubicada en Sri Lanka. [7]

La configuración en estrella de la redes VSAT requiere una antena de gran envergadura, de esta manera el costo total de una estación central podría bordear el millón de dólares. Sin embargo, en situaciones en las que se necesite reducir el costo de la estación central, puesto que se trate de una red privada pequeña, se pueden emplear antenas parabólicas más pequeñas (de 3m de diámetro) sin que se produzca una pérdida sustancial de capacidad. También es posible arrendar o contratar hubs instalados en otros países.

2.2.4.3 Terminales remotos VSAT.

Los terminales remotos VSAT, están formados por los siguientes componentes:

Antena parabólica:

El diámetro de estas antenas es mucho menor que el de la antena del hub (diámetro máximo de 1,8 m en la banda Ka, 3,8 m en la banda Ku y 7,8 m en la banda C), razón por la cual se les denomina terminales de muy pequeña apertura.

- Unidad de exterior, ODU (Outdoor Unit):

La unidad exterior, junto con la antena parabólica, lleva a cabo la amplificación, transmisión y recepción de la señal.

- Unidad de interior, IDU (Indoor Unit):

La unidad interior está formada por una serie de componentes cuya función es proveer la interfaz con los equipos del cliente. Además, en los casos en los que se transmitan señales digitales, se encarga de la conversión de la señal digital a una señal analógica adecuada para su transmisión por radio (enlace ascendente) y viceversa (enlace descendente).

En la siguiente figura se presenta un IDU marca Hughes el cual soporta comunicaciones bidireccionales de banda ancha con los protocolos TCP/IP y UDP, soportando velocidades outbound de hasta 24Mbps e inbound de hasta 256kbps.



Figura 23. IDU Hughes modelo DW 2000. [7]

Los IDU de los terminales VSAT son muy versátiles ya que pueden ser configurados con la mayoría de interfaces de datos, tales como RS232, X.21, V.35, G703 y 10-BaseT/100-BaseT (Ethernet). Además, algunos equipos permiten la conexión de varios terminales como computadores, teléfonos y fax.

La instalación de los terminales VSAT es sencilla, además, el bajo consumo de energía de los terminales (menor que 35 W) hace que no requiera una instalación solar muy costosa en los casos en los que no esté disponible la red eléctrica.

2.2.4.4 Soluciones comerciales existentes.

2.2.4.4.1 Fabricantes de equipos VSAT.

En la actualidad existen múltiples fabricantes de sistemas VSAT. Algunos brindan una solución completa, otros fabrican solo los terminales IDU, como se puede observar en la siguiente tabla:

Fabricante		Equipos		
		ODU y antena	HUB	
Gilat Satellite Networks	X	X	X	
Global Communications Solutions Inc. (GCS)	X	X	X	
Hughes Network Systems	X	X	X	
Nextar	X			
NSN Network Services	X	X		
Satcom Resources	X	X		
Sintel Satellite Services		X	X	
Satellite Technology Management (STM)	X	X	X	

Tabla 16. Fabricantes de equipos VSAT.

2.2.4.4.2 Proveedores de servicio VSAT.

En el país, las empresas que cuentan con la concesión para brindar servicio de redes VSAT son la Corporación Nacional de Telecomunicaciones E.P. (CNT), Telconet, Punto Net, Etapa EP, Global Crossing, Ecuador Telecom S.A.

La CNT E.P. brinda servicios de VSAT teniendo una red satelital en banda C y un hub propietario, presta servicios de Internet y transmisión de datos bajo las siguientes características:

SERVICIOS VSAT EN CNT						
Compartición	Tasas de Datos	Disponibilidad				
1:1	128-256-512-1024 (kbps)	99.7%				
2:1						
4:1	128-230-312-1024 (kops)					
8:1						

Tabla 17. Servicios VSAT brindados por CNT.

2.2.5 Regulación.

Para brindar un servicio VSAT, es necesario que la empresa que va a brindar el servicio, tenga una concesión de Servicios Portadores de Telecomunicaciones otorgada por la SENATEL.

Posteriormente, necesita gestionar el uso de frecuencias para servicio fijo por satélite, cuyo concepto se cita a continuación.

Los servicios satelitales VSAT, legalmente se denominan como Servicio Fijo por Satélite y en la ley vigente se define de la siguiente manera:

"Servicio Fijo por Satélite: Servicio de radiocomunicación entre estaciones terrenas situadas en emplazamientos dados cuando se utilizan uno o más satélites; el emplazamiento dado puede ser un punto fijo determinado o cualquier punto fijo situado en una zona determinada; en algunos casos, este servicio incluye enlaces entre satélites que pueden realizarse también dentro del servicio entre satélites; el servicio fijo por satélite puede también incluir enlaces de conexión para otros servicios de radiocomunicación espacial."

Para obtener una concesión (título habilitante) del uso de frecuencias de la banda de Servicio Fijo por Satélite, tanto una persona natural, como una persona jurídica debe presentar los siguientes requisitos:

- Solicitud dirigida al Secretario Nacional de Telecomunicaciones detallando datos personales y el tipo de servicio que requiere.
- Copias de documentación personal, documentación de la compañía, documentación tributaria.
- Certificado de obligaciones económicas de la SENATEL y de no adeudar a la SUPERTEL.
- Estudio técnico del sistema elaborado en los formularios de la SENATEL, incluyendo velocidad de transmisión, modulación, FEC, etc.

Para la renovación del título habilitante para uso de frecuencias de Servicio Fijo por Satélite, los requisitos son similares a los de la obtención de la concesión. Para información más detallada, visitar el link de la SENATEL (www.conatel.gob.ec).

2.2.6 Soluciones VSAT para zonas rurales o dispersas.

Independientemente de la topología de red utilizada, es posible realizar soluciones de comunicaciones basadas en VSAT para dar servicio a zonas rurales en vías de desarrollo, utilizando únicamente dicha tecnología o combinándola con otras, para conseguir una red que se adapte a las necesidades de la zona con el menor costo posible. A continuación se exponen dos soluciones comúnmente usadas.

2.2.6.1 Terminales VSAT conectados a las líneas de abonado.

Una estación VSAT conectada a un número reducido de líneas telefónicas (por ejemplo, 12 líneas, como las disponibles en un terminal VSAT GS 212S fabricado por Global Communications Solutions, GCS), para terminales públicos o de abonado, puede ser una solución para satisfacer la demanda inicial de telefonía de una zona rural aislada, como se muestra en la configuración presentada en la siguiente figura.

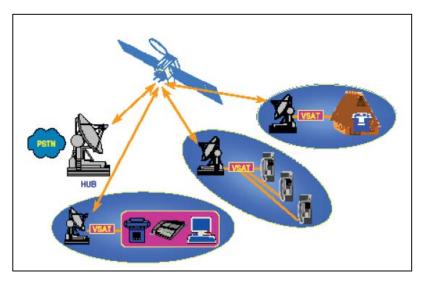


Figura 24. Terminales VSAT conectados a las líneas de abonado. [7]

Las ventajas de esta solución serían la rápida instalación y la eficiencia en costos que se consigue al compartir los recursos (terminal VSAT y enlace vía satélite) entre varios usuarios.

Por otra parte, para que se trate de una solución apropiada, deberá aplicarse para prestar servicio telefónico y de transmisión de datos, para algunos usuarios, en zonas en las que la demanda de líneas sea baja (entre 12 y 20 líneas, que son las que puede llegar a proporcionar un terminal) y los terminales de acceso se encuentren ubicados cerca del emplazamiento en el que se sitúe la estación VSAT, puesto los abonados se enlazarán mediante cable.

2.2.6.2 Terminales VSAT combinados con Wi-Fi.

Otra posible aplicación de los terminales VSAT consistiría en su utilización para conectar nodos de redes Wi-Fi. En este caso, La red VSAT proporcionaría una conexión de gran ancho de banda a los nodos que prestan servicio a una serie de clientes (alrededor de 20 clientes por nodo) que se encuentran a una distancia de pocos kilómetros.

Esta solución puede resultar apropiada en los casos de redes Wi-Fi en zonas rurales, en las que los usuarios estén ubicados en puntos distantes de los nodos.

2.2.7 Análisis del sistema VSAT.

2.2.7.1 Estudio de las variables de análisis.

2.2.7.1.1 Características técnicas del sistema.

- Capacidad

La capacidad de una red VSAT está condicionada por la técnica de multiacceso empleada. De esta manera, la técnica SCPC, con un canal por portadora, tendrá una capacidad baja (un terminal por cada portadora), mientras que la capacidad de un sistema que utilice TDMA será alta, al igual que si se utiliza el acceso bajo demanda, DAMA. En estos sistemas, podrán darse relaciones de hasta 100 terminales por cada portadora.

Por otra parte, la capacidad de los terminales remotos, varía en función del modelo. Existen modelos que permiten la conexión de varias computadoras y teléfonos (típicamente, entre 12 y 20 líneas por terminal).

- Velocidad de bit

La velocidad de transmisión de datos que ofrece la tecnología VSAT dependerá del ancho de banda que se contrate con el operador. Normalmente, se recomiendan relaciones en las que la velocidad de transmisión del outbound sea cuatro veces superior a la velocidad del inbound. De esta manera, se pueden dar velocidades de

64/256 kbps, 128/512 kbps. También se pueden proporcionar velocidades de transmisión de 64/128 o 128/256 con una relación 1/2.

Teniendo en cuenta estos valores, que son los habituales para sistemas de este tipo, la velocidad de transmisión de una red VSAT se puede clasificar como media-alta (considerando la clasificación expuesta en la Tabla 1). Debido a esto VSAT soporta el envío de faxes, la aplicación de correo electrónico e Internet a dicha velocidad. A su vez, las redes VSAT permitirán llevar a cabo comunicaciones de voz, las cuales pueden verse perjudicadas el retardo introducido por el enlace con el satélite.

- Banda de frecuencia

Como ya se indicó en la sección 2.2.2.1 Características técnicas, las bandas del funcionamiento de los sistemas VSAT son las siguientes:

BANDAS DE FRECUENCIA USADAS EN SISTEMAS VSAT					
	Enlace Ascendente	Enlace Descendente	Regiones		
	(GHz)	(GHz)	donde se usa		
Banda			Asia, Africa y		
C	6	4	Sudamérica		
Banda			Europa y		
Ku	14	11 y 12	Norteamérica		
Banda	_		Europa y		
Ka	30	20	Norteamérica		

Tabla 18. Bandas de Frecuencia usadas VSAT.

- Seguridad de las comunicaciones

Para conseguir privacidad en las comunicaciones de datos que circulan por una red VSAT, es posible cifrar la información que se envía. En cualquier caso, este mecanismo de protección debe ser aplicado por el usuario a los datos antes de introducirlos en el terminal VSAT. Por ello, se puede concluir que los sistemas VSAT como tal, no aportan mecanismos de protección de las comunicaciones.

- Posibilidades de interconexión con otras redes

Como ya se ha comentado, el número de estándares con los que se puede interconectar el sistema VSAT es muy elevado. Un terminal VSAT puede ser configurado con la mayoría de interfaces de datos, tales como RS232, X.21, V.35, G703 y 10-BaseT/100-BaseT (Ethernet), en función de la complejidad de la unidad IDU. Por su parte, el hub puede interconectarse a un gran número de redes, por lo que una red VSAT puede soportar comunicaciones telefónicas a través de la red telefónica conmutada,

aplicaciones sobre Internet, transmisión de faxes, conexiones con redes de datos públicas y privadas, etc.

- Movilidad

Existen terminales VSAT que se pueden transportar a bordo de remolques que permiten llevar a cabo comunicaciones desde cualquier punto fijo de la zona de cobertura. Sin embargo, no existen terminales VSAT que permitan comunicaciones en movimiento, por lo que se concluye que las redes VSAT no soportan la movilidad de los terminales.

- Posibilidad de gestionar la red a distancia

La gestión de una red VSAT se realiza en la estación central, en el caso de redes con topología en estrella, o por los propios terminales VSAT, en el caso de redes con topología en malla. Por ello, en el primer caso, la gestión está centralizada en un elemento, el cual puede situarse a gran distancia de la red de terminales, por lo tanto el hub se suele construir en regiones donde se cuente con el personal calificado necesario para gestionar la red de terminales a distancia.

En el caso de redes en malla, la gestión es llevada a cabo por los propios terminales por turnos. También en este caso, se puede centrar la gestión de la red en un terminal, que podría estar a gran distancia de los demás, por lo que se puede considerar que esta configuración también permite gestionar la red a distancia.

- Terminales

Los terminales VSAT no incluyen, generalmente, funciones que posibiliten su uso como terminal final de comunicaciones, sino que permiten la conexión de los terminales propios del servicio utilizado. Los IDU de los terminales VSAT son muy versátiles ya que pueden ser configurados con la mayoría de interfaces de datos, tales como RS232, X.21, V.35, G703 y 10-BaseT/100-BaseT (Ethernet).

Esto hace que su uso se reduzca a la conexión de otros aparatos al IDU, por lo que se puede considerar que su manejo es muy sencillo. Para los casos en los que se utilice únicamente para comunicaciones telefónicas, el grado de conocimientos del usuario será el correspondiente al de la categoría de usuario básico, según la clasificación citada en la Tabla 2. Sin embargo, para las comunicaciones de datos, el nivel de conocimiento del usuario, será al menos medio, debido a que necesitará manejar una computadora. Si se combina la tecnología VSAT con Wi-Fi, los usuarios deberán tener un nivel de conocimientos avanzado.

2.2.7.1.2 Infraestructura.

- Facilidad de instalación

La instalación de los terminales VSAT es sencilla debido a su reducido tamaño. Para poder llevarla a cabo, únicamente se necesita una brújula y una unidad de GPS para orientar la antena en la dirección adecuada, y un medidor de potencia para conseguir sintonizar el sistema correctamente. Por ello, el nivel de formación del personal que debe realizar las instalaciones, será el equivalente al del técnico medio en instalaciones electrotécnicas.

Por su parte, la instalación del hub, es costosa y compleja debido al diámetro de la antena que se necesita y a que contiene todos los equipos necesarios para la gestión de la red. Por ello, para su instalación se requerirán profesionales que cubran todos los perfiles incluidos en la clasificación expuesta en la explicación de esta variable en la Tabla 2.

- Facilidad de operación y mantenimiento

El manejo de los terminales VSAT así como su mantenimiento es mínimo. Además, para facilitar las reparaciones, los equipos se organizan por bloques e incluyen facilidades de autodiagnóstico. El nivel de formación del personal que se encargue del mantenimiento, será el equivalente al del técnico medio en instalaciones electrotécnicas.

A su vez, la operación y mantenimiento del hub es más compleja y requiere de la presencia de personal más calificado: técnicos superiores en sistemas de telecomunicación, en informática y en instalaciones electrotécnicas. Además, en función de la magnitud del sistema, puede ser necesaria la presencia de algún ingeniero técnico. La disponibilidad de estos profesionales, no debería suponer un gran inconveniente, si se tiene en cuenta al seleccionar la ubicación de la estación central.

2.2.7.1.3 Energía.

- Nivel de consumo de energía

El nivel de consumo de energía de los terminales VSAT se puede considerar muy bajo. Dependerá del número de conexiones de que disponga el terminal. Normalmente será inferior a 35 W por línea.

Para el dimensionamiento del sistema de alimentación, será necesario considerar el consumo de la computadora en los casos en los que se conecte al terminal, el cual se

puede cuantificar entre 20 y 40 W para computadoras portátiles y entre 350 y 500 W para computadoras de escritorio. A su vez, habría que añadir el consumo de los equipos Wi-Fi (si se usaran).

2.2.7.1.4 Costo.

- Coste de infraestructura

La inversión inicial requerida para la implantación de un sistema VSAT, dependerá de si el proyecto se enfoca desde el punto de vista de despliegue de toda la infraestructura (construcción del hub, instalación de los terminales, alquiler de ancho de banda en el satélite, etc.) o se contrata el servicio a un proveedor, que es lo más habitual, sobre todo para servicios a zonas rurales de países en vías de desarrollo.

En este caso, los costos de infraestructura, se reducen drásticamente, a los asociados al equipamiento del que dispongan los usuarios y a las licencias necesarias para la implantación del sistema. El costo del equipamiento de los usuarios sería el mostrado en la Tabla 19. El sistema de energía solar incluido en el equipamiento, está dimensionado para proporcionar energía a la computadora, al terminal VSAT y a dos luminarias.

Equipo	Costo (USD)
Computadora Portátil	1800
Teléfono	40
Terminal VSAT	3000
Sistema de Energía Solar	1560
TOTAL	6400

Tabla 19. Costo de los equipos de cada emplazamiento.

En los casos en los que se utilice el terminal para dar servicio a varios usuarios, el costo del terminal VSAT se divide entre ellos. En el caso de que se prestase servicio telefónico a 12 usuarios y acceso a Internet a 4 ordenadores, el costo sería el mostrado en la Tabla 20. El sistema de energía solar está dimensionado para proporcionar energía a los 4 ordenadores, al terminal VSAT y a dos luminarias.

Equipo	Costo (USD)
4 Computadoras Portátiles	7200
12 Teléfonos	440
Terminal VSAT	4800

Sistema de Energía Solar	2640
TOTAL	15080

Tabla 20. Costo en el caso de que un terminal preste servicio a 12 líneas telefónicas y a 4 ordenadores.

Suponiendo que los usuarios que utilizan un computador también tienen una línea telefónica (12 usuarios en total), el costo por usuario sería de 1257 USD (este precio sería de 657 USD en el caso de que ningún usuario necesitase una conexión para computador). Como se puede observar, estos costos no incluyen los cables de enlace del terminal VSAT con las instalaciones de los usuarios. El coste de estos dependerá de la longitud de los cables, de la disposición de los usuarios y del modo en que se realice el tendido (normalmente, en estos casos, los cables se distribuyen elevados entre las edificaciones, o mediante el empleo de postes).

Para las situaciones en las que se pretenda dar servicio de voz y datos a distancias de hasta algunos kilómetros (entre 10 y 25 km), se puede utilizar una estación VSAT conectada a un nodo Wi-Fi. En este caso, se va a suponer que se presta servicio a 20 usuarios mediante un nodo Wi-Fi equipado con una antena omnidireccional, sin necesidad de repetidores intermedios. El costo se muestra en la Tabla 13.

En este caso, el costo por cada usuario es de 4750 USD. Este costo, en principio, es menor del que se obtendría para el caso de que se prestase un servicio equivalente con un terminal VSAT para cada usuario (6400 USD). De todas formas esta circunstancia puede cambiar si se necesitan repetidores (los cuales tienen un coste de 2076 USD) o mástiles y torres para las antenas, puesto que las transmisiones de Wi-Fi requieren línea de vista. Si bien los terminales VSAT también necesitan visión directa del satélite, la altura a la que éste se encuentra sobre la superficie terrestre hace que únicamente se necesiten torres en raras ocasiones. De esta forma, buscar la solución idónea requiere de un análisis previo.

Equipo		Costo (USD)
Terminal VSAT		4800
	Computadora Portátil	1800
	Access Point	240
	Pigtail	24
	Cable para conexión de antena con conectores	54
Nodo Wi-Fi	Protector contra rayos	30
	Antena omnidireccional	78
	Sistema de Energía Solar	2400
	Teléfono IP	420
	TOTAL Nodo Wi-Fi	5046

Equipos de usuario	Computadora Portátil	1800
	Dispositivo cliente Wi-Fi	144
	Pigtail	24
	Cable para conexión de antena con conectores	54
	Protector contra rayos	30
	Antena directiva	204
	Sistema de Energía Solar	1320
	Teléfono IP	420
	Total equipos de usuario	3996
	Total 12 equipos de usuario	47952
TOTAL		56998

Tabla 21. Costo en el caso de empleo de un sistema Wi-Fi para brindar servicio de voz y datos a 12 usuarios.

- Costo durante la vida útil

De la misma manera que la inversión inicial, el costo durante la vida útil de un sistema VSAT dependerá de si el proyecto se enfoca desde el punto de vista de despliegue de toda la infraestructura o se contrata el servicio, que es lo más habitual.

En este caso, el costo de funcionamiento se corresponde, en su mayor parte, al asociado al contrato con el proveedor. El coste del servicio contratado dependerá de la velocidad de transmisión y de la región en la que se vaya a prestar. Como valor orientativo para el cálculo de los costos se puede tomar el valor promedio a países situados en Latinoamérica. En la Tabla 22, se muestra el precio para distintas velocidades de transmisión, estas conexiones permiten hasta 100 usuarios con una calidad de servicio adecuada.

Velocidad de transmisión en kbps (inbound/outbound)	Coste mensual (USD)
128/256	4080
128/512	5760
64/128	2040
64/256	2880

Tabla 22. Costo del servicio VSAT en función de la velocidad de transmisión.

- Modularidad y posibilidad de mejora gradual

Las redes VSAT son muy flexibles debido a que permiten la ampliación mediante la instalación de nuevos terminales remotos sin necesidad de llevar a cabo ninguna tarea de configuración de la red.

Por otra parte, el sistema podrá ser mejorado mediante el aumento de las prestaciones del sistema. Para ello, únicamente será necesario ampliar la velocidad de transmisión contratada con el proveedor de servicios. En este caso, será necesario comprobar si los terminales instalados imponen alguna limitación en cuanto a la velocidad máxima de transmisión.

- Conformidad con normas y estándares reconocidos

Todos los elementos de las redes VSAT están estandarizados por el ETSI. Los códigos identificativos de los distintos documentos se adjuntan en el anexo 2.2.8, al final del capítulo actual.

2.2.7.2 Resumen de las variables de análisis.

En la siguiente tabla se resumen los resultados de las variables correspondientes a la tecnología de acceso VSAT, organizadas por grupos.

CARÁCTERÍSTICAS TÉCNICAS	
VARIABLE	RESULTADO
CAPACIDAD	Depende de la técnica de multiacceso utilizada: - SCPC: baja, 1 terminal por portadora. - TDMA y DAMA: alta, hasta 100 terminales por portadora. La capacidad del terminal depende del modelo. Hasta 20 líneas por terminal.
VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN	 Velocidades mínimas típicas de 64 o 128 kbps para el inbound y de 256 y 512 kbps para el outbound. Clasificación: velocidad media- elevada.
BANDA DE FRECUENCIA	 Banda C: enlace ascendente a 6 GHz y descendente a 4 GHz. Esta banda se usa extensivamente en Asia, África y Latinoamérica.

	- Banda Ku: enlace ascendente a 14
	GHz y descendente a 11/12 GHz. Se
	utiliza, principalmente en Europa y
	Norteamérica.
	– Banda Ka: enlace ascendente a 30
	GHz y descendente a 20 GHz. Se
	utiliza, principalmente en Europa y
	Norteamérica.
	– Seguridad baja: el sistema VSAT no
SEGURIDAD	aporta mecanismos de protección.
SEGUIDIE	- El usuario puede cifrar los datos
	transmitidos, como en cualquier
	sistema digital.
INTERCONEXIÓN	RTPC, 10-BaseT/100-BaseT, Internet, LAN, WAN.
GESTIÓN A DISTANCIA	Es posible gestionar la red a distancia
GESTION A DISTANCIA	desde el hub.
MOVILIDAD	No soportada.
	– Muy sencillos de utilizar.
	- Comunicaciones telefónicas
	(mediante teléfonos convencionales o
TERMINALES	DECT): usuario básico. - Comunicaciones de datos: usuario
TERMINALES	medio.
	– VSAT + Wi-Fi: usuario avanzado.
	- Incorporan la mayoría de interfaces
	de datos existentes.
INFRAEST	RUCTURA
VARIABLE	RESULTADO
	La instalación de los terminales es
	sencilla y rápida.
	– Nivel de formación del personal que
	debe realizar las instalaciones: técnico
	medio en instalaciones
FACILIDAD DE INSTALACIÓN	electrotécnicas.
	La construcción del hub es costosa y
	requiere personal calificado. Perfiles
	requeridos:
	– Técnico medio y superior
	informático.

	- Técnico superior de sistemas de
	telecomunicación.
	- Técnico medio y superior en
	instalaciones electrotécnicas.
	El funcionamiento de los terminales
	es sencillo y apenas requieren
	mantenimiento. Personal:
	- Técnico medio en instalaciones
	electrotécnicas.
	– Técnico medio en informática (para
	los ordenadores de los usuarios).
FACILIDAD DE OPERACIÓN Y	El funcionamiento y mantenimiento
MANTENIMIENTO	del hub requiere personal
WIANTENIMENTO	especializado.
	– Técnico superior en sistemas de
	telecomunicación.
	 Técnico superior informático.
	- Técnico superior en instalaciones
	electrotécnicas.
	En función de la magnitud del
	sistema, puede ser necesaria la
	presencia de un ingeniero técnico.
ENE	RGIA
VARIABLE	RESULTADO
	- Muy bajo, normalmente menor de
CONCLIMO DE	35 W por línea.
CONSUMO DE ENERGÍA	- Computador: entre 20 y 40 W para
ENERGIA	computadoras portátiles y entre 350 y
	500 W para computadoras de
	sobremesa.
	ST-O
COSTO DESULTADO	
VARIABLE	RESULTADO
	RESULTADO Depende de si se utiliza únicamente
	RESULTADO Depende de si se utiliza únicamente tecnología VSAT o se combina con
	RESULTADO Depende de si se utiliza únicamente tecnología VSAT o se combina con Wi-Fi. En los casos que se han
VARIABLE	RESULTADO Depende de si se utiliza únicamente tecnología VSAT o se combina con Wi-Fi. En los casos que se han planteado, el coste por usuario es de:
VARIABLE COSTO DE	RESULTADO Depende de si se utiliza únicamente tecnología VSAT o se combina con Wi-Fi. En los casos que se han planteado, el coste por usuario es de: — 1 terminal VSAT por usuario: 6396
VARIABLE COSTO DE	RESULTADO Depende de si se utiliza únicamente tecnología VSAT o se combina con Wi-Fi. En los casos que se han planteado, el coste por usuario es de: — 1 terminal VSAT por usuario: 6396 USD.
VARIABLE COSTO DE	RESULTADO Depende de si se utiliza únicamente tecnología VSAT o se combina con Wi-Fi. En los casos que se han planteado, el coste por usuario es de: — 1 terminal VSAT por usuario: 6396

COSTO DURANTE LA VIDA ÚTIL	Incluye el mantenimiento de las licencias y el servicio contratado. Los precios aproximados para distintas velocidades de transmisión (inbound/outbound) serían de: - 128/256 kbps: 4080 USD - 128/512 kbps: 5760 USD - 64/128 kbps: 2040 USD - 64/256 kbps: 2880 USD Además, habría que incluir el costo de mantenimiento de los equipos.
MODULARIDAD Y POSIBILIDAD DE MEJORA	La ampliación de la red únicamente requiere de la instalación de los nuevos terminales. El sistema puede ser mejorado mediante el aumento de la velocidad de transmisión contratada con el proveedor de servicios.
CONFORMIDAD CON NORMAS Y ESTÁNDARES RECONOCIDOS	Estandarizado por el ETSI.

Tabla 23. Resumen de las variables de análisis de la tecnología VSAT.

2.2.7.3 Conclusiones del análisis.

2.2.7.3.1 Ventajas e inconvenientes de la aplicación de VSAT en zonas rurales aisladas.

Teniendo en cuenta las características de la tecnología VSAT y las variables de estudio del análisis, se puede concluir que las principales ventajas que ofrece para su aplicación en zonas rurales son las siguientes:

- Cobertura

La utilización de una red de comunicaciones vía satélite posibilita la prestación de servicios independientemente de la distancia que exista entre los emplazamientos, y entre estos y otras redes de telecomunicaciones. Además, el empleo del satélite permite salvar cualquier obstáculo orográfico y llegar a lugares totalmente aislados, sin necesidad de repetidores ni de torres para las antenas.

- Servicios y aplicaciones

Uno de los servicios más comunes, como son los enlaces, permiten las comunicaciones telefónicas y la transmisión de datos a velocidades como 512 kbps desde el satélite al terminal y 128 kbps desde el terminal al satélite, ofrecen unas prestaciones adecuadas para su aplicación en zonas rurales, ya que posibilitan las comunicaciones de voz, la aplicación de correo electrónico y la navegación por Internet a alta velocidad.

- Rápido despliegue

La instalación de una red VSAT se puede llevar a cabo en cualquier zona de cualquier país en cuestión de días. Esto se debe a que únicamente es imprescindible instalar los terminales, si la red no requiere la instalación de un hub. El proceso de instalación de los terminales es rápido y sencillo.

- Costo independiente de la distancia

Los costes de transmisión de una red VSAT siempre son fijos e independientes de la distancia a cubrir por los enlaces o el número de estaciones terrenas de la red.

- Modularidad

Las redes VSAT permiten añadir nuevos emplazamientos o modificar la posición de las estaciones terminales sin que sea necesario llevar a cabo ninguna tarea adicional a las de instalación del nuevo terminal o cambio de posición de uno ya existente.

- Terminales

Los propios terminales VSAT son una de las ventajas que esta tecnología presenta para su aplicación en zonas rurales. Esto se debe, por una parte, a que ofrecen una gran variedad de interfaces que permiten la conexión de equipos diversos. Además, en función de la complejidad del equipo, ofrecerá un número mayor de cada tipo de conector; su utilización es sencilla y el consumo de energía es bajo.

- Servicio fiable

Las redes VSAT ofrecen una alta disponibilidad y una excelente calidad de transmisión. La fiabilidad de los enlaces vía satélite de estas redes es muy elevada: 99,9% para el tráfico de datos y 99,5% para las comunicaciones de voz.

Asimismo, la tecnología VSAT presenta las siguientes desventajas para su aplicación en zonas rurales de países en vías de desarrollo:

- Costos

El costo de despliegue de un sistema propio VSAT es muy elevado, debido, en gran parte a la construcción del hub. Además, el mantenimiento del mismo también resulta costoso debido a la complejidad del mismo. Esto hará que en la mayoría de los casos se contrate el servicio a un proveedor que disponga de toda la infraestructura, lo cual resulta mucho más económico.

- Mantenimiento

Si bien los terminales VSAT se pueden considerar equipos fiables, las grandes distancias que normalmente existen entre ellos dificultan las tareas de mantenimiento y reparación. Además, el hecho de que se puedan utilizar los VSAT para comunicar puntos aislados complica aún más el acceso a los equipos para su reparación. Por ello, pueden darse elevados tiempos de indisponibilidad de los equipos ante una avería.

2.2.7.3.2 Conclusiones Finales.

La tecnología VSAT, estandarizada por el ETSI, presenta muchas características que hacen que pueda resultar apropiada para su aplicación en zonas rurales.

Esta tecnología permite un rápido despliegue de la red ya que la instalación de los terminales es muy rápida, y proporcionar servicio en cualquier punto del país, aunque sea inaccesible. Además, mediante los enlaces vía satélite, se puede dar servicio a puntos muy distantes con un precio fijo, independiente de la distancia, sin que sea necesaria la construcción de torres para situar las antenas.

A su vez VSAT ofrece algunas características que satisfacen los requisitos impuestos en este estudio. Soporta comunicaciones de voz y datos simultáneamente. La velocidad de transmisión dependerá de la que se contrate con el proveedor, pero generalmente, permitirá la navegación por Internet y la aplicación de correo electrónico.

Además, se puede utilizar un terminal VSAT para dar servicio a varios usuarios o utilizar esta tecnología en combinación con otras, como Wi-Fi, para lograr soluciones más eficientes en costos. En el caso de esta última, se utilizaría VSAT para llevar a cabo los enlaces de larga distancia que pudieran existir entre los nodos.

Al desplegar una red VSAT habrá que tener en cuenta que las amplias distancias entre los emplazamientos complicarán en gran medida el mantenimiento de los terminales en las ocasiones que requieran reparaciones. Esta tecnología posee costos altos comparando con otras tecnologías, sin embargo siempre será una opción, ya que sus soluciones no poseen restricciones físicas y es posible desplegarla en cualquier punto del planeta.

2.2.8 ANEXO: Estándares VSAT del ETSI.

En el cuadro siguiente, se indican los códigos de todos los documentos del ETSI que contienen todas las especificaciones del sistema VSAT. No se ha traducido la descripción de cada estándar por motivos de exactitud.

Satellite Earth Stations and Systems (SES)	
Código estándar	Descripción
ETS 300 157	Receive-only Very Small Aperture Terminals (VSATs) operating in the 11/12 GHz frequency bands
ETS 300 158	Television Receive Only (TVRO-FSS) Satellite Earth Stations operating in the 11/12 GHz FSS bands
ETS 301 159	Transmit-only or transmit-and-receive Very Small Aperture Terminals (VSATs) used for communications operating in the Fixed Satellite Service (FSS) 11/12/14 GHz frequency bands.
ETS 301 160	Control and monitoring functions at a Very Small Aperture Terminal (VSAT)
ETS 301 161	Centralized control and monitoring functions for Very Small Aperture Terminal (VSAT) networks.
ETS 300 194	The interconnection of Very Small Aperture Terminal (VSAT) systems to Packet Switched Public Data Networks (PSPDNs)
ETS 300 249	Television Receive-Only (TVRO) equipment used in the Broadcasting Satellite Service (BSS)
ETS 300 327	Satellite News Gathering (SNG) Transportable Earth Stations (TES) (13- 14/11-12 GHz)
ETS 300 332	Transmit-only or transmit-and-receive Very Small Aperture Terminals (VSATs) used for communications operating in the Fixed Satellite Service (FSS) 6 GHz and 4 GHz frequency bands.
ETS 300 333	Receive-only Very Small Aperture Terminals (VSATs) operating in the 4 GHz frequency band.

ETS 300 456	Test methods for Very Small Aperture Terminals (VSATs) operating in the 11/12/14 GHz frequency bands
EN 301 358	Satellite User Terminals (SUT) using satellites in geostationary orbit operating in the 19,7 GHz to 20,2 GHz (space-to-earth) and 29,5 GHz to 30 GHz (earth-to-space) frequency bands.
EN 301 359	Satellite Interactive Terminals (SIT) using satellites in geostationary orbit operating in the 11 GHz to 12 GHz (spaceto-earth) and 29,5 GHz to 30,0 GHz (earth-to-space) frequency bands.
EN 301 360	Harmonized EN for Satellite Interactive Terminals (SIT) and Satellite User Terminals (SUT) transmitting towards geostationary satellites in the 27,5 GHz to 29,5 GHz frequency bands covering essential requirements under article 3.2 of the R&TTE Directive.
EN 301 428	Harmonized EN for Very Small Aperture Terminal (VSAT); Transmit-only, transmit/receive or receive-only satellite earth stations operating in the 11/12/14 GHz frequency bands covering essential requirements under article 3.2 of the R&TTE directive.
EN 301 443	Harmonized EN for Very Small Aperture Terminal (VSAT); Transmit-only, transmit-and-receive, receive-only satellite earth stations operating in the 4 GHz and 6 GHz frequency bands covering essential requirements under article 3.2 of the R&TTE Directive.
TBR 028	Very Small Aperture Terminal (VSAT); Transmit-only, transmit/receive or receive- only satellite earth stations operating in the 11/12/14 GHz frequency bands.
TBR 043	Very Small Aperture Terminal (VSAT) transmit-only, transmit and receive, receive-only satellite earth stations operating in the 4 GHz and 6 GHz frequency bands.

ETR 077	Spurious radiation limits to and from satellite earth stations, Very Small Aperture Terminals (VSATs) and Television Receive Only (TVRO)
ETR 163	The interconnection of Very Small Aperture Terminal (VSAT) systems to Integrated Service Digital Networks (ISDNs)

Tabla 24. Códigos de estándares ETSI de VSAT.

2.2.9 ANEXO: Información comercial de algunos equipos VSAT.

En este anexo, se adjunta información comercial de la empresa Gilat, relativa a equipos terminales VSAT que se pueden encontrar en el mercado. En este caso se adjunta una hoja técnica del equipo terminal VSAT SkyEdge II de Gilat.

Outbound Carrier			
Standart	DVB-S2		
Framing and	MPEG normal/short frames		
encapsulation			
Carrier data rate	UP TO 130 mbps		
Carrier rate	256ksps – 45Msps		
Modulation	QPSK-8PSK-16APSK-32ASPK		
Coding	LDPC-BCH(DVB-S2)		
BER	quasi error free as per EN302307		
FEC rate (DVB-S)	1/2 2/3 3/4 5/6 7/8		
FEC rate (DVB-S2)	1/4 1/3 2/5 1/2 2/3 3/4 4/5 5/6 8/9 9/10		
Inbound Carrier			
Access scheme	MF-TDMA DVB-RCS based: RBDC VBDC RBGC		
	FCA		
channelrate	128ksps 2,56msps		
modulation	QSPK-8PSK		
coding	RCS bases tubo coding FEC 1/2 2/3 3/4 4/5 6/7		
	Remote Out Door Unit		
Antenna size	Ka band, ku band 0.55m to 1.2m c-Band 1.8m		
Operating temperature	-40 to 60 C		
humidity	Up to 100%		
Transmmiter odu	Linear 2w 4w ku band		
LNB	Estándar TVRO type		
	Remote indoor unit		
RF input/ output	Two F conectors 75 ohm female		
data interfece	1 to 4ethernet conections 10/100 Base T		

operatingvoltage	100 to 240 VAC. 0 to 59 VDC		
security	AES 256 encryption		
	IP features		
Enhanced ip features	RIP DHCP NAT/PAT IGMP IP		
Other features	Bandwidth on demand multiple satellite support,		
	multiple outband,		
	Hub Interfaces		
RFT	L Band or IF (optional)		
LAN	100BT/GbE		
NMS			
plataform	Windows server 2003 witch SQL DB, server client		
	system		
standart	SNMP v2c, XML		
GIS	visualization of a network on a geographic map		
	hub mechanical		
dimensions	Starting from one 19 rack for basic redudant hub		
Power compumtion	AC 110/220 50/60Hz typical 2KVA		
Operation conditions	O to 33 C, up to 90% relative humidity		
Standart compliance	EMC –ETSI EN 300 386, FCC CFR 47, COMPANY		
	ISO 9001		

Tabla 25. Especificaciones del terminal VSAT ofrecido por Gilat.

2.3 ESTANDAR IEEE 802.11 (WI-FI).

2.3.1 Introducción.

Las redes inalámbricas, utilizan las ondas electromagnéticas para enlazar los ordenadores conectados a una red, en lugar de los cables que habitualmente se utilizan en las redes físicas. Al igual que las redes tradicionales cableadas, las redes inalámbricas se clasifican en tres categorías: WLAN (Wireless Local Area Network, redes generalmente privadas), WAN/MAN (Wide Area Network/Metropolitan Area Network, versiones de LAN con mayor cobertura) y WPAN (Wireless Personal Area Network, de funcionamiento personal, aproximadamente 10m).

Las redes inalámbricas cumplen los estándares genéricos aplicables a las redes cableadas (por ejemplo IEEE 802.3 o equivalentes) pero necesitan una normativa específica adicional que defina el uso de los recursos radioeléctricos. Estas normativas específican de forma detallada los protocolos de la capa física y de control de acceso al medio. En este sentido, el IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) definió la norma IEEE 802.11 en 1997 para la transmisión de datos en redes inalámbricas.

El objetivo fundamental de las redes WLAN es el de proporcionar las facilidades no disponibles en los sistemas cableados y formar una red total donde coexistan los dos tipos de sistemas, enlazando los diferentes equipos o terminales móviles asociados a la red, proporcionando al usuario una gran movilidad sin perder conectividad.

Originalmente, los estándares del IEEE para redes inalámbricas, fueron concebidos para implementar redes locales inalámbricas en interiores. Actualmente se ha probado su idoneidad para aplicaciones en exteriores, sobre todo en redes punto a punto, debido a esto, Wi-Fi resulta apropiada para su aplicación en zonas rurales.

2.3.1.1 Orígenes de las redes inalámbricas.

El origen de las LAN inalámbricas (WLAN) se remonta a la publicación en 1979 de los resultados de un experimento realizado por ingenieros de IBM en Suiza, consistente en utilizar enlaces infrarrojos para crear una red local en una fábrica. Estos resultados, pueden considerarse como el punto de partida en la línea evolutiva de esta tecnología.

Las investigaciones siguieron adelante tanto con infrarrojos como con microondas. En mayo de 1985 la agencia federal del gobierno de Estados Unidos para la regulación en materia de telecomunicaciones, la FCC (Federal Communications Comission), asignó las bandas ISM (Industrial, Scientific and Medical), que están destinadas al uso comercial sin licencia, 902-928 MHz, 2,400-2,4835 GHz, 5,725-5,850 GHz a las redes inalámbricas basadas en espectro expandido. De esta manera las WLAN inalámbricas pasaron del laboratorio al mercado.

Sin embargo en los últimos 10 años, estas redes obtienen una gran demanda gracias al extenso mercado de los computadores portátiles y de los teléfonos inteligentes, además de concluirse por completo la norma 802.11.

2.3.1.2 Estándares IEEE para Wi-Fi.

Actualmente, se está produciendo un incremento en la demanda de aplicaciones inalámbricas, lo que hace que la infraestructura deba evolucionar para proporcionar un soporte adecuado. El IEEE ha respondido estableciendo varios comités para definir estándares que mejoren la tecnología 802.11. Como es posible observar en la Tabla 26.

El estándar 802.11 original, es la base de todos los siguientes, puesto que provee los medios para autenticar y autorizar conexiones de dispositivos a puertos de LAN cableadas e inalámbricas. En el estándar, se definen tanto el protocolo de autenticación extensible, EAP (Extensible Authentication Protocol) para realizar las autenticaciones de usuarios en la red, como la capa física por la que se producirá la conexión. Los

estándares posteriores, 802.11a, 802.11b y 802.11g cambian la definición de la capa física para adaptarla a las frecuencias que emplean y las velocidades que consiguen.

Estándar	Banda de Frecuencia Velocidad de transmisión		
IEEE 802.11	2,4 GHz	2 Mbps	
IEEE 802.11a	5,8 GHz	54 Mbps	
IEEE 802.11b	2,4 GHz	11 Mbps	
IEEE 802.11g	2,4 GHz	20 Mbps (DSSS)/56 Mbps (OFDM)	
Estándar	Descripción		
IEEE 802.11e	Desarrollo de nuevos mecanismos de seguridad como WEP2		
IEEE 802.11f	Simplificación de las comunicaciones entre puntos de acceso		
IEEE 802.15	Transmisión de datos en la banda de 2,4 GHz utilizando Bluetooth		
IEEE 802.15.2	Compatibilidad entre Bluetooth y Wireless LAN		
IEEE 802.15.3	Estánda	r para redes WPAN (en realización)	

Tabla 26. Diferentes estándares del IEEE para WLAN.

2.3.1.3 Áreas de aplicación de WLAN.

Originalmente las redes WLAN fueron diseñadas para su empleo en redes empresariales. En este tipo de aplicaciones una red WLAN, se conecta a una red cableada que nos permite acceder a todos los servicios disponibles en la empresa. Actualmente las redes WLAN han encontrado una gran variedad de nuevos escenarios de aplicación tanto en el ámbito residencial como en entornos públicos:

- Escenario Residencial: Una línea telefónica terminada en un router ADSL al cual se conecta un punto de acceso (Wi-Fi) para formar una red WLAN que ofrece cobertura a varios ordenadores en el hogar.
- Redes Corporativas: Una serie de puntos de acceso distribuidos en varias áreas de la empresa conforman una red WLAN autónoma o complementan a una LAN cableada. Son aplicaciones de alta densidad de tráfico con elevadas exigencias de seguridad. También se emplean las redes WLAN para la generación de grupos de trabajo eventuales y reuniones ad-hoc. En estos casos no valdría la pena instalar una red cableada. Con la solución inalámbrica es viable implementar una red de área local aunque sea para un plazo corto de tiempo. Asimismo, se utilizan en ambientes industriales con severas condiciones ambientales, para interconectar diferentes dispositivos y máquinas.

- Acceso a Internet desde lugares públicos con baja y alta densidad de tráfico (cafeterías, centros comerciales; aeropuertos, centros de congresos etc.). En estos establecimientos los clientes pueden tener acceso a Internet desde sus computadoras o móviles. Se trata de un escenario de acceso que podía involucrar tanto un alto como un bajo número de puntos de acceso.
- Acceso público de banda ancha en pequeños pueblos, hoteles, campus universitarios, inclusive en vehículos como trenes o aviones.

Las primeras aplicaciones públicas de WLAN se instalaron en campus universitarios y son del tipo "redes libres" sin ánimo de lucro. Este concepto se ha extendido a la oferta de servicios en pueblos o pequeñas ciudades gestionados directamente desde sus ayuntamientos.

2.3.2 Características Técnicas.

Las características técnicas más importantes de las redes Wi-Fi son las siguientes:

- Velocidad de transmisión: debido a que la transmisión por radio requiere de la utilización de cabeceras y codificación adicional, parte de la información transmitida no forma parte de la capacidad útil para el usuario. Por ello, se especifica tanto la velocidad alcanzada como la capacidad útil para los datos del usuario, como se entiende en las redes cableadas.
 - Banda de 2,4 GHz: hasta 11 Mbps (5,5 Mbps de capacidad útil) con dispositivos que se adecuen al estándar IEEE 802.11b y 54 Mbps (36 Mbps de capacidad útil) si el estándar utilizado es el 802.11g.
 - Banda de 5,8 GHz: hasta 54 Mbps (36 Mbps de capacidad útil) utilizando el estándar 802.11a.
- Diferentes métodos de transmisión en frecuencias radio, utilizando técnicas de espectro expandido y DSP, y en la banda de los infrarrojos.
- Dos tipos de protocolos para el control de acceso al medio:
 - Protocolos con arbitraje: FDMA, el cual es ineficiente para utilizarse en sistemas informáticos los cuales presentan un comportamiento típico de transmisión en ráfagas, y TDMA, el cual requiere mecanismos precisos de sincronización entre los nodos.
 - Protocolos de contienda: CSMA/CA (Carrier-Sense, Múltiple Access, Collision Avoidance) es el más utilizado pues evita las colisiones en vez de

detectarlas, CDMA (Code Division, Multiple Access), que funciona asignando un código a cada nodo y el CSMA/CD (detección de colisión).

- Distintas configuraciones: desde configuraciones ad hoc que permiten la conexión de cualesquiera terminales equipados con dispositivos Wi-Fi en un área limitada, a redes multicelda realizadas con puntos de acceso.
- Movilidad de los terminales en el entorno de los puntos de acceso. Por ello, ofrece la posibilidad de crear redes IP móviles.
- Facilidad de instalación, en comparación con las redes cableadas, pues no es necesario instalar una estructura de cable que soporte la red.
- Eficiencia en costos: debida al bajo precio de los diferentes dispositivos Wi-Fi y la flexibilidad que proporcionan ante ampliaciones de la red.
- Función de ahorro de energía: el estándar 802.11 define un mecanismo para que las estaciones pasen al modo ahorro de energía durante largos periodos sin pérdida de información.

2.3.2.1 Bandas de frecuencia.

Los estándares 802.11x funcionan en las bandas ISM o ICM (Industrial, Scientific and Medical) de 2,400-2,4835 GHz y 5,725-5,850 GHz, las cuales están asignadas a las redes inalámbricas basadas en espectro ensanchado.

En la mayoría de los países, los organismos reguladores permiten el uso libre de las bandas ISM. En nuestro país no se necesita una concesión pero si una autorización para el uso de esas bandas (ICM), cuyos requisitos analizaremos en la sección 8.6 en el presente capítulo.

2.3.2.2 Seguridad.

La seguridad de los datos transmitidos se realiza utilizando una compleja técnica de codificación, conocida como WEP (Wired Equivalent Privacy Algorithm). WEP se basa en proteger los datos transmitidos en el enlace radio, usando una clave de 64 bits o 128 bits y el algoritmo de encriptado RC4 (desarrollado por RSA Security Inc.). La clave se configura en el punto de acceso y en sus estaciones (clientes wireless), de forma que sólo aquellos dispositivos con una clave válida puedan estar asociados a un determinado punto de acceso.

Cuando se habilita WEP, sólo protege la información del paquete de datos y no protege el encabezamiento de la capa física para que otras estaciones en la red puedan

escuchar el control de datos necesario para manejar la red. Sin embargo, las otras estaciones no pueden distinguir las partes de datos del paquete. Se utiliza la misma clave de autenticación para cifrar y descifrar los datos, de forma que solo las estaciones autorizadas puedan traducir correctamente los datos.

2.3.2.3 Métodos de transmisión.

El estándar IEEE 802.11 define cuatro posibles métodos de transmisión, tres de ellos en radiofrecuencia y el restante en las frecuencias de los infrarrojos:

- Espectro expandido por secuencia directa, DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum).
- Espectro expandido por salto de frecuencias, FHSS (Frecuency Hopping Spread Spectrum).
- Multiplexación por división en la frecuencia, usando portadoras ortogonales, OFDM (Orthogonal Frecuency Division Multiplexing).
- Tecnología de infrarrojos en banda base.

Las tecnologías de espectro ensanchado, utilizan todo el ancho de banda disponible, en lugar de utilizar una portadora para concentrar la energía a su alrededor. Tienen muchas características que las hacen sobresalir sobre otras tecnologías de radiofrecuencias (como la de banda estrecha, que utiliza microondas), ya que, por ejemplo, poseen excelentes propiedades en cuanto a inmunidad a interferencias y a sus posibilidades de encriptado. Como muchas otras tecnologías, provienen del sector militar.

Por otro lado, el desarrollo que están experimentando los sistemas dedicados al procesado de la señal, hace que se puedan plantear métodos de transmisión de datos cada vez más sofisticados, para las redes de área local inalámbricas, como la OFDM. Finalmente, la transmisión por infrarrojos, es un método muy poco utilizado y apenas definido por el estándar, debido a sus características físicas.

2.3.2.3.1 Espectro Ensanchado por Secuencia Directa (DSSS).

El método DSSS expande la señal útil sobre todo el rango de frecuencias disponible en un canal. Esto se consigue mediante el cifrado, en el transmisor, de cada uno de los bits que componen la señal mediante una secuencia pseudoaleatoria de 8 u 11 bits (señal de chip), diseñada para que aproximadamente aparezca la misma cantidad de 1

que de 0. Cuanto mayor sea esta señal, mayor será la resistencia a las interferencias. El estándar IEEE 802.11 recomienda un tamaño de 11 bits, pero el óptimo es de 100. En recepción es necesario realizar el proceso inverso para obtener la información original. Solo los receptores a los que el emisor haya enviado previamente la secuencia podrán recomponer la señal original.

Una vez aplicada la señal de chip, el estándar IEEE 802.11 ha definido dos tipos de modulación para la técnica de espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS), la modulación *DBPSK* (Differential Binary Phase Shift Keying) y la modulación *DQPSK* (Differential Quadrature Phase Shift Keying), que proporcionan una velocidad de transferencia de 1 y 2 Mbps respectivamente.

El IEEE incorporó una revisión de este método en el estándar 802.11b, que además de mejoras en seguridad, lograba un aumento de la velocidad de transmisión hasta los 11Mbps, lo que incrementa notablemente el rendimiento de este tipo de redes.

2.3.2.3.2 Espectro Ensanchado por Salto de Frecuencia (FHSS).

La tecnología de espectro ensanchado por salto en frecuencia (FHSS) consiste en transmitir una parte de la información en una determinada frecuencia durante un intervalo de tiempo llamada *dwell time* inferior a 400 ms. Pasado este tiempo se cambia la frecuencia de emisión y se sigue transmitiendo a otra frecuencia. De esta manera cada tramo de información se va transmitiendo en una frecuencia distinta durante un intervalo muy corto de tiempo, como se puede observar en la Figura 25.

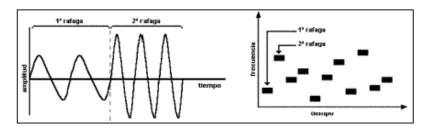


Figura 25. Codificación por salto de frecuencia. [6].

Los constantes cambios de frecuencia hacen que sea muy complicada la interceptación de la señal. El orden en los saltos en frecuencia se determina según una secuencia pseudoaleatoria almacenada en unas tablas, y que tanto el emisor y el receptor deben conocer. Si se mantiene la sincronización en los saltos de frecuencias se consigue que, aunque en el tiempo se cambie de canal físico, en el ámbito lógico se mantiene un solo canal por el que se realiza la comunicación.

El estándar IEEE 802.11 define la modulación aplicable en este caso. Se utiliza la modulación en frecuencia *FSK* (Frequency Shift Keying), con una velocidad de

1Mbps ampliable a 2Mbps. Sin embargo, en la revisión del estándar 802.11 efectuada con el 802.11b, esta velocidad también ha aumentado a 11Mbps.

2.3.2.3.3 OFDM.

El método de multiplexación por división en la frecuencia, usando portadoras ortogonales, OFDM (Orthogonal Frecuency Division Multiplexing), está siendo cada vez más aceptado gracias a los avances en los campos de la microelectrónica y el DSP. Este método fue introducido en el estándar 802.11a para lograr una tasa de transmisión de 54 Mbps utilizando la banda de los 5,8 GHz. Posteriormente, se incorporó en el estándar 802.11g, el cual consigue transmitir a 56 Mbps en la banda de 2,4 GHz, por lo cual ofrece mayor alcance.

Este método consiste en la división del flujo de datos en varios flujos paralelos, cada uno de los cuales se transmite en su propia frecuencia portadora. Estas portadoras se eligen de tal manera que son ortogonales entre sí, por lo que no se afectan entre ellas.

El OFDM es muy resistente a la propagación multitrayecto y las señales parásitas de banda estrecha, gracias a la división de la transmisión de datos en varios canales y el empleo de procedimientos para la corrección de errores.

2.3.2.3.4 Tecnología de infrarrojos.

La tecnología de transmisión en la banda del infrarrojo cuenta con muchas características sumamente atractivas para utilizarse en redes locales inalámbricas, como son:

- Longitud de onda cercana a la de la luz, por lo que muestra un comportamiento similar y no puede atravesar objetos sólidos como paredes, pero es inherentemente seguro contra receptores no deseados. Además, debido a su elevada frecuencia, presenta una fuerte resistencia a las interferencias electromagnéticas artificiales radiadas por dispositivos hechos por el hombre tales como motores, luces ambientales, etc.
- Protocolo simple, que requiere componentes sumamente económicos y de bajo consumo de potencia, característica importante en dispositivos móviles portátiles.
- La transmisión infrarroja con láser o con diodos no requiere autorización especial en ningún país (excepto por los organismos de salud que limitan la potencia de la señal transmitida).

Por otra parte, entre las limitaciones principales que se encuentran en esta tecnología se pueden señalar las siguientes:

- Sensible a objetos móviles que interfieren y perturban la comunicación entre emisor y receptor, y las restricciones en la potencia por materia de salud.
- La luz solar directa, las lámparas incandescentes y otras fuentes de luz brillante pueden interferir seriamente la señal.

2.3.3 Configuración Funcional.

La versatilidad y flexibilidad de las redes inalámbricas, es el motivo por el cual la complejidad de una LAN implementada con esta tecnología es tremendamente variable. Esta gran variedad de configuraciones, ayuda a que este tipo de redes se adapte casi a cualquier necesidad.

Estas configuraciones se pueden dividir en dos grandes grupos, las redes "peer to peer" y las que utilizan puntos de acceso, también conocida como configuración en modo infraestructura.

2.3.3.1 Redes Peer to Peer.

También conocida como red *ad-hoc*, es la configuración más sencilla, ya que los únicos elementos necesarios son terminales móviles equipados con sus correspondientes tarjetas de interfaz de red, NIC (Network Interface Card), las cuales incluyen un transceptor radio y la antena.

Por tanto, una red "Ad Hoc" consiste en un grupo de computadoras que se comunican cada uno directamente con los otros a través de las señales de radio sin usar un punto de acceso. Los ordenadores de la red inalámbrica que quieren comunicarse entre ellos necesitan usar el mismo canal radio y configurar un identificador específico de Wi-Fi (denominado ESSID) en "Modo Ad Hoc".

2.3.3.2 Redes con puntos de acceso.

Estas configuraciones utilizan el concepto de celda, como la telefonía móvil. Una celda podría entenderse como el área en el que una señal radioeléctrica es efectiva. A pesar de que en el caso de las redes inalámbricas esta celda suele tener un tamaño reducido, mediante el uso de varias fuentes de emisión es posible combinar las celdas de estas señales para cubrir de forma casi total un área más extensa.

La estrategia empleada para implementar las celdas, es la utilización de los llamados "puntos de acceso" (Figura 26), que funcionan como estaciones base de cara a los terminales inalámbricos. Un único punto de acceso puede soportar un pequeño grupo de usuarios y puede funcionar en un rango de al menos treinta metros y hasta varios

cientos de metros. Si se requiere dar servicio a más usuarios o ampliar el área de cobertura, deberán añadirse nuevos puntos de acceso.

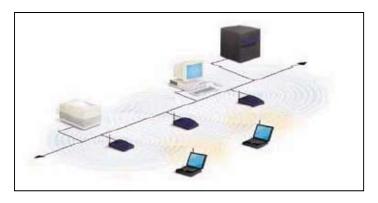


Figura 26. Utilización de puntos de acceso. Terminales con capacidad de Itinerancia en algunas zonas. [6]

La norma IEEE 802.11 indica que se debe dejar una separación entre las frecuencias centrales de los canales, mayor a 22 MHz. Esta condición significa que, en la banda de 2.4 GHz, hasta tres puntos de acceso pueden coexistir en una misma celda. La banda de 5,8 GHz (IEEE 802.11a) permite la utilización de hasta ocho puntos de acceso coexistiendo en la misma celda. La utilización de dispositivos de banda dual 802.11a + 802.11b permitiría la instalación de hasta once puntos de acceso en la misma celda sin solape de frecuencia.

Esta configuración de punto de acceso permite la itinerancia o roaming entre celdas, que consiste en que los terminales puedan moverse sin perder la cobertura y sin sufrir cortes en la comunicación, como se muestra en la Figura 27, lo cual representa una de las características más interesantes de las redes inalámbricas.

2.3.3.3 Interconexión de redes.

Las posibilidades de las redes inalámbricas pueden verse ampliadas gracias a la interconexión con otras redes, sobre todo con redes no inalámbricas.

Mediante el uso de antenas direccionales, es posible conectar dos redes separadas por varios cientos de metros, como por ejemplo dos redes locales situadas en dos edificios distintos. De esta forma, una LAN no inalámbrica, se beneficia de la tecnología inalámbrica, para realizar interconexiones con otras redes, que de otra forma serían más costosas, o simplemente imposibles.

2.3.4. Aplicaciones en exteriores, bucle de abonado inalámbrico, WLL.

Pese a que el estándar IEEE 802.11b fue diseñado para aplicaciones de interiores, pronto se extendió la aplicación de los dispositivos Wi-Fi a aplicaciones para exteriores, en redes punto a punto y punto a multipunto. El gran atractivo de este estándar para ser utilizado en aplicaciones de bucle de abonado inalámbrico reside en el bajo costo de los dispositivos necesarios, las prestaciones razonablemente buenas y sobre todo, en el uso de las bandas ISM, que no requieren una concesión sino solamente una autorización por parte de la SENATEL.

Todo ello, hace que la tecnología Wi-Fi pueda ser apropiada para su aplicación en zonas rurales. Por una parte, la aplicación de WLL se adapta muy bien a la distribución de usuarios que se puede encontrar en estas regiones, ya que se encuentran muy dispersos en amplias extensiones de terreno. Por otra parte, el despliegue es sencillo y económico, debido a que, no se requiere el pago de licencias de ningún tipo y el bajo costo de los equipos.

En aplicaciones punto a punto, la utilización del estándar 802.11b no presenta problemas especiales. Únicamente hay que tener en cuenta que se requiere línea de vista entre las antenas al diseñar los enlaces. Una topología de este tipo de aplicaciones se presenta en la siguiente figura:

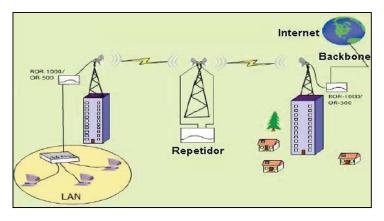


Figura 27. Topología de enlace punto a punto usando Wi-Fi. [6]

Sin embargo, el estándar IEEE 802.11b presenta algunos problemas relacionados con su sistema para prevenir colisiones, en su utilización en exteriores para aplicaciones punto-multipunto. Estos problemas hacen que las prestaciones puedan empeorar pasando rápidamente a transmitir a velocidades menores de 2 Mbps.

2.3.5. Descripción de los equipos.

Básicamente, existen dos tipos de dispositivos que se utilizan para formar las redes Wi-Fi: los dispositivos cliente y los puntos de acceso, que funcionan como estaciones base. Asimismo, para modelar el área de cobertura y para aplicaciones en exteriores, también serán necesarias antenas y amplificadores adicionales a las que incluyen los dispositivos anteriores.

2.3.5.1. Dispositivos cliente.

Llamaremos dispositivos cliente, a cualquier aparato portátil, como una computadora, Smartphone, PDA, etc., que incluya cualquiera de los tipos de tarjetas de interfaz de red, NIC (Network Interface Card), que existen para la transmisión de datos siguiendo el protocolo 802.11.

Antes era opcional adquirir una de estas tarjetas para un computador, sin embargo ahora todos los dispositivos compatibles con Wi-Fi contienen esta tarjeta, por lo que un computador o un Smartphone ya son terminales para Wi-Fi.

No obstante, existen computadoras antiguas, o computadoras de escritorio, que no tienen una interfaz Wi-Fi incorporado, de esta manera pueden interactuar con un adaptador Wi-Fi USB, como el que se publica en la figura 28, o con tarjetas Wi-Fi para los puertos PCMCIA, PCI o Flash, cuyos precios se enuncian en el siguiente inciso.



Figura 28. Adaptador USB fabricada por SENAO. [6]

2.3.5.1.1. Precios de tarjetas Wi-Fi para equipos cliente.

Los precios de las tarjetas de interfaz Wi-Fi oscilan aproximadamente entre los 72 y los 180 USD, en función del fabricante, el modelo, la antena, que puede estar integrada o no, el alcance, la frecuencia de funcionamiento, el estándar con el que es compatible, etc. En la Tabla 27, se muestran los precios y las características de algunas de las tarjetas disponibles en el mercado.

Modelo	Estándar	Alcance	Banda	Conector	Precio (USD)
Orinoco PC Card Silver	802.11b	160m en exteriores, 90m en interiores	2,4 Ghz	PCMCIA	96
SENAO SL- 2511-CD	802.11b	n/d	2,4 Ghz	PCMCIA	84
SENAO SL- 3054-CB-Aries	802.11g	n/d	2,4 Ghz	PCMCIA	120
SENAO SL- 5254-CB-Aries	802.11a/b	n/d	2,4 /5,8Ghz	PCMCIA	172
Buffalo AirStation 54Mbps	802.11b/g	Interiores: 125m 802.11b 20m 802.11g Exteriores: 180m 802.11b 50m 802.11g	2,4 Ghz	PCMCIA	108
Zoom Air 4105	802.11b	300m (ext) 90m (int)	2,4 Ghz	PCI	144
U.S. Robotics 012415	802.11b	100m (int)	2,4 Ghz	PCI	120
SENAO NL- 2511-MP Plus	802.11b	n/d	2,4 Ghz	Mini PCI	96
SENAO SL- 5054-MP Aries	802.11ª	n/d	5,8 Ghz	Mini PCI	172
SENAO NL- 2511	802.11b	n/d	2,4 Ghz	Flash	84
Adaptador a PCI Hyperlink	Soporte tarjetas tipo I,II,II	-	-	PCMCIA	60
Adaptador a ISA Hyperlink	Soporte tarjetas tipo I,II,II	-	-	PCMCIA	84

Tabla 27. Características y precios de tarjetas NIC disponibles en el mercado.

Sin embargo, los precios de las tarjetas Wi-Fi para puertos USB oscilan entre los 120 y los 180 USD, en función del fabricante, el modelo, que puede tener la antena

integrada o no, el alcance, la frecuencia de funcionamiento, el estándar con el que es compatible, etc. En la Tabla 28, se muestran los precios y las características de algunas tarjetas para USB disponibles en el mercado actualmente.

Modelo	Estándar	Permite antena externa	Precio (USD)
Orinoco USB Client	802.11b	No	192
Buffalo BWLI-USB- L11G	802.11b	No	120
Buffalo BWLI- USBL11G- Connectorized	802.11b	Si	156

Tabla 28. Características y precios de tarjetas para USB disponibles en el mercado.

2.3.5.2. Puntos de acceso y Gateways.

Pese a que los dispositivos cliente se pueden conectar directamente entre ellos, una red Wi-Fi funciona de manera más efectiva utilizando una estación central que coordine las comunicaciones.

Hay dos tipos de estaciones base Wi-Fi: las puertas de enlace (gateways) y los puntos de acceso. Debido a que las funciones que ambos tipos de estación desempeñan pueden solaparse, no siempre existe una diferencia clara entre estos dispositivos.

Un gateway inalámbrico, como el mostrado en la Figura 29, está enfocado a un entorno totalmente inalámbrico (funciones NAT, DHCP), mientras que un punto de acceso está dirigido a entornos en los que se combina la red inalámbrica con una red Ethernet convencional. También se diferencian en su capacidad para desarrollar funciones de seguridad, protección por medio de cortafuegos (firewalls) y la gestión del tráfico de la red.



Figura 29. Gateway IG-4150 fabricado por ZoomAir. [6]

Por su parte, los puntos de acceso, como el mostrado en la siguiente figura, habitualmente no disponen de NAT ni DHCP ya que los routers de la red de cable desarrollan estas funciones.



Figura 30. Punto de acceso AP11 fabricado por ZoomAir. [6]

Los puntos de acceso, funcionan como puente entre la red de cable y las diversas redes inalámbricas, como se puede observar en la Figura 31. Sin embargo, los puntos de acceso suelen ofrecer funciones de itinerancia y traspaso con otro punto de acceso, altos niveles de seguridad y un alto nivel de control de la red. Estas funciones también se pueden encontrar en algunos gateways.

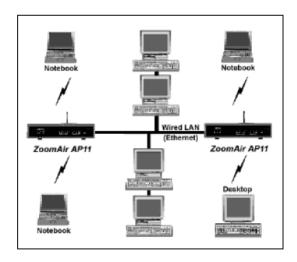


Figura 31. Extensión inalámbrica de la red usando dos o más AP. [6]

2.3.5.2.1. Precios de puntos de acceso y Gateways.

Los precios de los puntos de acceso y las pasarelas (gateways) oscilan entre los 120 y los 660 USD, en función del fabricante, el modelo, el alcance, el estándar con el que es compatible, la capacidad en cuanto a número de usuarios que puede atender, las funcionalidades que pueda tener añadidas, la incorporación de la tecnología TurboCell para exteriores, etc. Como es posible observar en la siguiente tabla:

Modelo	Estándar	Alcance	Capacidad (usuarios)	Precio (USD)
Zoom Air 4165-72-00 Gateway	802.11b	300m (ext), 90m (int)	n/d	240
U.S. Robotics 012450 Punto acceso	802.11b	243m	20	210
Netgear ME 102 Punto acceso	802.11b	n/d	32	144
3Com 8500 Punto acceso	802.11b/a 11/54Mbps	50m (802.11a) 100m(802.11b)	250	540

Buffalo AirStation G54 Router / punto de acceso	802.11b/g 11/54Mbps	Interiores: 125m 802.11b 20m 802.11g Exteriores: 180m 802.11b 50m 802.11g	253	240
Hyperlink Mini-ROR (Punto acceso-router- bridge)	802.11b / Turbocell	11km, 40km con antena amplificada	Ilimitado (menos usuarios mayor QoS)	660

Tabla 29. Características y precios de algunos AP y gateways disponibles en el mercado.

Estos equipos pueden situarse también en exteriores, incluso en lo alto de las torres de las antenas. Para ello, serán necesarias carcasas, que protejan a los equipos de las condiciones climáticas cuyo costo dependerá del tamaño, el material del que estén realizadas, si dispone de calefacción, etc. En general, el costo se situará entre los 85 USD y los 240 USD.

2.3.5.3. Antenas y Amplificadores.

Con el fin de extender la cobertura de los puntos de acceso y los gateways, y de ampliar la distancia para que de esta manera, dos tarjetas pueden comunicarse en redes ad-hoc; o en los casos en los que se preste servicio en exteriores, se pueden utilizar antenas adicionales a las que incorporan los dispositivos de fábrica, como la mostrada en la siguiente figura.



Figura 32. Antena SAP-2418 fabricada por SENAO. [6]

También se pueden utilizar amplificadores, como el que se muestra en la Figura 33, para compensar las pérdidas introducidas por el cable que une la antena con el dispositivo (las pérdidas de un cable coaxial a 2,4 GHz son de aproximadamente 0,23 dB/m).



Figura 33. Amplificador para la banda de 2,4GHz fabricado por Hyperlink. [6]

En estos casos hay que tener en cuenta la banda en la que funciona el amplificador y la potencia de salida, que tendrá distintos límites según la zona de implantación de la red. En caso de que se requiera conectar varias antenas a una misma radio Wi-Fi, será necesario el empleo de divisores de señal (*splitters*), que se fabrican de dos, tres y cuatro salidas, cuyo precio es de aproximadamente 40 USD.

2.3.5.3.1. Precios de Antenas y Amplificadores.

Los precios de las antenas fabricadas para Wi-Fi oscilan entre los 60 y los 600 USD, en función del fabricante, la ganancia, si es directiva u omnidireccional, si integra el amplificador, etc. En la Tabla 30, se muestran los precios y las características de algunas antenas disponibles en el mercado.

Modelo	Ganancia	Incluye amplificador	Directividad	Precio (USD)
Zoom Air 98110-04	4 dBi	No	Omnidireccional	90
Demarc SPDG13O	5,5 dBi	No	Omnidireccional	60
Demarc SPDG16O	8 dBi	No	Omnidireccional	78

HyperGain Range Extender	14 dBi	No	Directiva	78
SENAO SAP-2428 (panel plano)	18 dBi	No	Directiva	54
SENAO SAY-2420 (Yagi)	20 dBi	No	Directiva	198
SENAO SAY-2421 (parabólica)	21 dBi	No	Directiva	350
Hyperlink WL16P- 100 (plana)	16 dBi	Sí (100 mW)	Directiva	480
Hyperlink WL12Y- 250 (Yagi)	24 dBi	Sí (250 mW)	Directiva	540

Tabla 30. Características y precios de algunas antenas disponibles en el mercado.

Por su parte, los precios de los amplificadores para Wi-Fi oscilan entre los 350 y los 1000 USD, en función del fabricante, la potencia de salida, si se ha diseñado para su uso en interiores o exteriores, etc. En la Tabla 31, se muestran los precios y las características de amplificadores disponibles en el mercado.

Modelo	Potencia salida	Uso en exteriores o interiores	Precio (USD)
Hyperlink HA2401TA-AGC	100 mW	Exteriores	480
Hyperlink HA2401TA- AGC500	500 mW	Exteriores	600
Hyperlink HA2401XL 2000	2 W	Exteriores	960
Hyperlink HA2401DX- AGC100	100 mW	Interiores	390
Hyperlink HA2404	4 W	Exteriores	2160
Hyperlink HA2410	10 W	Exteriores	4800
SENAO SB-24-100	1 W	Exteriores	720
SENAO SB-2400-5W	5 W	Exteriores	3480

 Tabla 31. Características y precios de algunos amplificadores disponibles en el mercado.

2.3.5.4. Precios de cables y conectores.

Existen diversos tipos de conectores y cables que se utilizan en los dispositivos Wi-Fi, cuyo precio variará en función del tipo de equipo del que se trate, e incluso, de la marca oscilando entre los 5 y 10 USD.

Para proteger los equipos de los efectos provocados por los rayos de las tormentas, es conveniente colocar un protector contra rayos, como el que se muestra en la Figura 34, entre el pigtail y el cable de antena. Las pérdidas de inserción que producen estos dispositivos son muy bajas: normalmente, menores de 0,1 dB.



Figura 34. Protector contra rayos fabricado por SENAO. [6]

El precio de los pigtails puede estimarse entre 10 y 70 USD, en función de la longitud, el tipo de cable y conectores; mientras que el cable para exterior puede costar entre 3 y 5 USD por metro; mientras el costo de los protectores contra rayos es de aproximadamente 30 USD.

2.3.6. Regulación.

Se mencionó anteriormente que los estándares 802.11x funcionan en las bandas ISM o ICM (Industrial, Scientific and Medical) de 2,400-2,4835 GHz y 5,725-5,850 GHz, las cuales están asignadas a las redes inalámbricas basadas en espectro ensanchado.

En la mayoría de los países, los organismos reguladores permiten el uso libre de las bandas ISM. En nuestro país no se necesita una concesión pero si una autorización para el uso de esas bandas (ICM), cuyos requisitos son:

"Los interesados en instalar y operar sistemas de espectro ensanchado de gran alcance, sean estos privados o de explotación, en cualquier parte del territorio nacional, deberán presentar los siguientes requisitos:"

- Solicitud dirigida al Secretario Nacional de Telecomunicaciones detallando datos personales y el tipo de servicio que requiere.
- Copias de documentación personal, documentación de la compañía (para persona natural o jurídica respectivamente).
- Certificado de obligaciones económicas de la SENATEL y de no adeudar a la SUPERTEL.
- Estudio técnico del sistema elaborado en los formularios de la SENATEL, incluyendo las características del sistema radiante, coordenadas geográficas de las estaciones base, área de cobertura, localidades a cubrir, etc.

2.3.7. Análisis del estándar 802.11.

2.3.7.1 Estudio de las variables de análisis.

2.3.7.1.1 Características técnicas del sistema.

- Capacidad

La capacidad en cuanto al número de usuarios a los que pueden dar servicio es muy variable: desde los 20 usuarios hasta los 250 de los puntos de acceso que utilizan los estándares 802.11, al número de usuarios ilimitado que soporta el punto de acceso de tecnología 802.11b con TurboCell. Hay que tener en cuenta que los usuarios que acceden a un punto de acceso se reparten la capacidad del mismo, por lo que a medida que aumenta el número de dispositivos cliente que atiende un punto de acceso, empeoran las prestaciones que éste ofrece. Un número óptimo de usuarios por punto de acceso o gateway (en general, nodo) sería entre 15 y 20 usuarios.

A 2,4 GHz, el estándar sólo permite tres puntos de acceso en la misma celda como máximo, por lo tanto se puede considerar que la capacidad que ofrece la tecnología Wi-Fi es moderada (45 usuarios por célula aproximadamente), a pesar de que en zonas rurales no hay gran demanda de usuarios.

- Velocidad de bit

La velocidad de transmisión de Wi-Fi, depende del estándar concreto que se utilice, de la distancia desde el equipo cliente al punto de acceso o gateway y del número de usuarios que atienda este último. En cualquier caso, como ya se ha comentado, las velocidades de transmisión son las siguientes:

Estándar	Banda de Frecuencia	Velocidad de transmisión
IEEE 802.11	2,4 GHz	2 Mbps

IEEE 802.11a	5,8 GHz	Hasta 54 Mbps
IEEE 802.11b	2,4 GHz	Hasta 11 Mbps
IEEE 802.11g	2,4 GHz	20 Mbps (DSSS)/56 Mbps (OFDM)

Tabla 32. Tasa de bits de tecnología WiFi.

Desde el punto de vista de la aplicación en zonas rurales, el 802.11b es el más interesante puesto que es el más adecuado para WLL, debido a que opera en la banda más baja de las disponibles. Con una tasa efectiva de aproximadamente 2Mbps, es decir una velocidad elevada.

- Banda de frecuencia

Las bandas de frecuencia en las que opera la tecnología Wi-Fi son las ISM de 2,4 GHz y la de 5,8 GHz.

La banda más interesante para las comunicaciones en zonas rurales, es la de 2,4 GHz debido a que es la más baja de las utilizadas por Wi-Fi. Este factor, permite realizar enlaces de mayor cobertura respecto a 5,8 GHz. Aun así, será necesario contar con línea de vista para la comunicación entre antenas.

- Seguridad de las comunicaciones

Para asegurar la seguridad en las comunicaciones, los estándares IEEE 802.11 utilizan el método de encriptado conocido como WEP (Wired Equivalent Privacy). Este método, de utilización opcional, usa claves de 64, 128 o 256 bits. Para que entre en funcionamiento debe ser activado tanto en el punto de acceso como en los dispositivos cliente.

En la práctica, se puede considerar que este método de seguridad no es muy efectivo, pues sea cual sea la longitud de la clave, existen formas de descifrar los mensajes. Por ello, es conveniente cambiar las claves frecuentemente.

- Posibilidades de interconexión con otras redes

Las posibilidades de interconexión de una red Wi-Fi son las propias de una LAN o MAN. Esto significa que es posible la interconexión con otras redes Wi-Fi, otras LAN o MAN, redes públicas de datos e Internet, dado al entorno totalmente IP.

- Movilidad

La movilidad en las redes Wi-Fi está condicionada por el diseño de la red que se realice. Si el diseño cubre cierta área mediante un número de celdas las cuales se solapan en los extremos, los terminales podrán mantener comunicaciones móviles en dicha zona gracias a las facilidades que incluyen los protocolos 802.11 para la itinerancia entre celdas.

Sin embargo, los diseños que se realizan en la mayoría de los casos para zonas rurales, son punto a punto o punto a multipunto, por lo la movilidad sería solo en la celda del punto de acceso.

- Posibilidad de gestionar la red a distancia

Una vez instalados los nodos de la red, es posible gestionarlos a distancia mediante alguno de los sistemas que existen para acceso remoto (vía web, snmp, telnet, etc.). En cualquier caso, las tareas de gestión se limitan al cambio de modos y parámetros y a la autorización de direcciones físicas. También es posible cambiar la versión del software de los nodos de manera remota.

- Terminales

Los terminales que se conectan a las redes Wi-Fi, son computadoras portátiles, de escritorio, teléfonos inteligentes, PDA's, e incluso dispositivos como impresoras. Por ello, la dificultad de uso de los terminales de esta tecnología es la propia de este tipo de sistemas, es decir será el correspondiente al de la categoría de usuario medio (preferiblemente avanzado), de la clasificación expuesta en la explicación de esta variable, en la Tabla 1. Su instalación es muy fácil y amigable, la cual puede ser realizada por un técnico medio informático. En los casos en los que se necesite instalar una antena en una torre, también será necesario un técnico medio en instalaciones electrotécnicas.

En los casos en los que se vaya a utilizar la red Wi-Fi para mantener comunicaciones de voz mediante el protocolo VoIP, se tendrá que usar un teléfono IP, como el de la siguiente figura, para de esta manera prescindir del computador al momento de realizar o recibir llamadas, el precio de estos teléfonos está entre los 250 y 300.



Figura 35. Teléfono IP Cisco. [6]

2.3.7.1.2 Infraestructura.

- Facilidad de instalación

Como ya se ha comentado en la variable dedicada a los terminales, la instalación de los equipos remotos es muy sencilla y puede ser llevada a cabo por técnicos medios de informática.

Sin embargo, la instalación del resto de elementos que forman la red, sin llegar a ser excesivamente compleja, requiere personal con conocimientos de informática y redes de computadoras, en general, y experiencia en el montaje de redes de radio. Por ello, pueden ser necesarios técnicos superiores en informática, además de los técnicos medios.

El transporte de los equipos no es complicado, sin embargo, las antenas de la red tendrán que estar en torres debido a la necesidad de LOS en la tecnología Wi-Fi.

- Facilidad de operación y mantenimiento

La operación y el mantenimiento de los equipos informáticos que incorporan los dispositivos cliente Wi-Fi, es el propio de este tipo de sistemas, por lo que requerirá profesionales con un nivel de conocimientos equivalentes a los de un técnico medio en informática. El mantenimiento puede ser por parte de los usuarios, si tienen un conocimiento avanzado según la clasificación de la Tabla 1.

Por su parte, la operación y el mantenimiento de los repetidores y nodos de la red, han de ser llevados a cabo por técnicos medios y superiores en informática. En cualquier caso, no serán necesarias muchas personas dedicadas al mantenimiento, salvo que la red sea muy grande.

2.3.7.1.3 Energía.

- Nivel de consumo de energía

El nivel de consumo de energía de los distintos dispositivos que forman una red Wi-Fi se puede considerar como bajo. El consumo por tipo de dispositivo se comenta a continuación:

- Dispositivos cliente: Solo el consumo de energía de las computadoras que es entre 20 y 40 W para computadoras portátiles y entre 350 y 500 W para computadoras de escritorio.

- Puntos de acceso y gateways: necesitan una fuente de alimentación. Su consumo es muy bajo, menor en la mayoría de los casos de 20 W, debido a la baja potencia de emisión que está permitida.
- Antenas y amplificadores: no necesitan fuente de alimentación. Los amplificadores reciben la alimentación a través del propio cable que llega a la antena, haciendo de puente entre ambos.

2.3.7.1.4 Costo.

- Costo de infraestructura

El costo inicial de instalación de una red Wi-Fi se puede considerar bajo, teniendo en cuenta las prestaciones que proporcionan este tipo de redes y el costo de sistemas que ofrecen servicios similares. Para tener una referencia de la magnitud del costo, se pueden considerar los siguientes costos suponiendo que la red que se monta es de WLL:

- Equipo terminal: se supone que en cada emplazamiento únicamente se conecta un computador portátil a la red (menos consumo que la PC de escritorio). El costo del terminal en este caso sería el mostrado en la Tabla 33. El sistema de energía esta dimensionado a las necesidades.

Equipo	Costo (USD)
Ordenador personal portátil	1800
Dispositivo cliente Wi-Fi	144
Pigtail	24
Cable para conexión de antena (10 m) con conectores incorporados	54
Protector contra rayos	30
Antena directiva	204
Sistema de energía solar	1320
TOTAL	3576

 Tabla 33. Costo de equipos terminales por emplazamiento.

Si se usa un teléfono IP, al total de la tabla anterior hay que agregarle unos 300 dólares, por el teléfono y por la instalación de una red local.

- Nodos intermedios: se supone que en los emplazamientos en los que se ubican los nodos intermedios (sin conexión a Internet), también se conecta un computador a la red. El costo de los nodos intermedios se muestra en la Tabla 34.

Equipo	Costo (USD)
Computadora Portátil	1800
Punto de acceso	240
Pigtail	24
Cable para conexión de antena (10 m) con conectores incorporados	54
Protector contra rayos	30
Amplificador bidireccional a 2,4 GHz con control automático de la ganancia (1 W)	720
Cable con conectores (del amplificador a la antena)	12
Antena omnidireccional	78
Sistema de energía solar	1920
TOTAL	4878

 Tabla 34. Costo de equipos ubicados en nodos intermedios.

- Nodo de conexión: estos nodos disponen de conexión a Internet, por lo que incorporan un router con este fin. Estos emplazamientos también dispondrán de un computador. El costo de los nodos de conexión se muestra en la Tabla 35.

Equipo	Costo (USD)
Computadora Portátil	1800
Punto de acceso	240
Pigtail	24
Router para conexión a Internet	144
Cable para conexión de antena (10 m) con conectores incorporados	54
Protector contra rayos	30

Amplificador bidireccional a 2,4 GHz con control automático de la ganancia (1 W)	720
Cable con conectores (del amplificador a la antena)	12
Antena omnidireccional	78
Sistema de energía solar	2400
TOTAL	5502

Tabla 35. Costo de equipos ubicados cada nodo de conexión.

- Repetidor: En caso de ser necesario, el costo se muestra en la Tabla 36.

Equipo	Costo (USD)
Punto de acceso/gateway funcionando como repetidor	240
Pigtail	24
Cable para conexión de antena (10 m) con conectores incorporados	54
Protector contra rayos	30
Combinador de dos salidas	72
2 cables con conectores (del combinador a las antenas)	48
2 Antenas directivas	408
Sistema de energía solar	1200
TOTAL	2076

Tabla 36. Costo de equipos ubicados en cada repetidor.

Normalmente, los repetidores han de situarse en torres para conseguir enlazar distancias mayores. En estos casos, resulta recomendable situar el equipo Wi-Fi en lo alto de la torre, dentro de una carcasa de protección, la cual cuesta aproximadamente 30 USD.

Con estos datos, se puede calcular el costo de los equipos necesarios para desplegar una red Wi-Fi.

- Costo durante la vida útil

El coste durante la vida útil de la red incluirá los siguientes conceptos:

- Costos debido a la conexión a Internet en los nodos con conexión.
- Costo del personal dedicado a la operación de la red y su mantenimiento.
- Costo del mantenimiento de los emplazamientos (alquileres, energía eléctrica si tiene acceso a la red, etc.)

El coste de operación de una red Wi-Fi se puede considerar muy bajo, debido a que las tareas de gestión y mantenimiento de la red son mínimas y se pueden efectuar de manera remota.

- Modularidad y posibilidad de mejora gradual

La tecnología Wi-Fi posibilita ampliaciones de la red posteriores a la instalación de la misma, fáciles y rápidas. En los casos en los que el nuevo dispositivo cliente esté en el área de cobertura de un punto de acceso, y éste disponga de capacidad suficiente para darle servicio, únicamente es necesario instalar el nuevo dispositivo. En caso contrario, puede ser necesaria la instalación de otro punto de acceso.

- Conformidad con normas y estándares reconocidos

La tecnología Wi-Fi, como ya se ha comentado, está estandarizada por el IEEE. Sin embargo, las soluciones para mejorar el comportamiento del estándar en espacios abiertos para aplicaciones punto a multipunto, como SpeedLan y TurboCell son propietarias.

2.3.7.2 Resumen de las variables de análisis.

En la siguiente tabla se resumen los resultados de las variables correspondientes a la tecnología de acceso 802.11, organizadas por grupos.

CARÁCTERÍSTICAS TÉCNICAS			
VARIABLE RESULTADO			
CAPACIDAD	 Capacidad media, limitada por el número de usuarios que puede atender un punto de acceso (entre 15 y 20). A 2,4 GHz, únicamente se permiten hasta tres puntos de acceso por celda. (45 usuarios) 		

VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN	 IEEE 802.11b: hasta 11 Mbps (5,5 Mbps de capacidad efectiva). IEEE 802.11g: hasta 56 Mbps (36 Mbps de capacidad efectiva). IEEE 802.11a: hasta 54 Mbps. Clasificación: velocidad muy elevada (todos los estándares). 	
BANDA DE FRECUENCIA	 Bandas ISM de uso libre, sin licencia. 2,4 GHz (disponible en todo el mundo) y 5,8 GHz (no disponible en Europa). Recomendable el uso de la banda de 2,4 GHz para zonas rurales, debido a su mayor cobertura. 	
SEGURIDAD	 Mecanismo de cifrado WEP, con claves de 64 o 128 bits. Seguridad media: en la práctica, el WEP, no es un mecanismo de seguridad efectivo. 	
INTERCONEXIÓN	Interconexión con otras redes Wi-Fi, otras LAN o MAN, redes públicas de datos e Internet.	
GESTIÓN A DISTANCIA	Posible mediante el acceso remoto a los nodos.	
MOVILIDAD	Movilidad de los terminales dentro de las celdas con mecanismos de itinerancia para el paso de celdas siempre que se solapen en parte.	
TERMINALES	 La instalación de los dispositivos cliente requerirá un técnico medio en informática. En algunos casos, además será necesario un técnico medio en instalaciones electrotécnicas, para instalar antenas y torres. Diversidad de terminales: PC's, Smartphones, PDA, y otros aparatos digitales. En general, el usuario tendrá un nivel de conocimientos medio o avanzado. 	

INFRAESTRUCTURA			
VARIABLE RESULTADO			
FACILIDAD DE INSTALACIÓN	Terminales: técnico medio en informática. Elementos de la red: - Técnico medio en informática Técnico superior en informática Técnico medio en instalaciones electrotécnicas.		
FACILIDAD DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	Equipos de usuario: técnico medio en informática (las tareas más sencillas de mantenimiento las podría realizar un usuario avanzado). Infraestructura de red: requiere pocas tareas, llevadas a cabo por técnicos medios y superiores en informática.		
ENERGIA			
VARIABLE	RESULTADO		
CONSUMO DE ENERGÍA	 Equipamiento de usuario: muy bajo, poco significativo en comparación con el del computador que se necesita en cada emplazamiento (20 y 40 W para portátiles y entre 350 y 500 W para PC de escritorio). Infraestructura de red: muy bajo, normalmente menor de 20 W. 		
CO	OSTO		
VARIABLE	RESULTADO		
COSTO DE INFRAESTRUCTURA	La inversión inicial es baja. Los costos son de aproximadamente 3500 USD por los equipos de cada emplazamiento terminal y de 4800 a 5500 USD (si se utiliza TurboCell) por cada nodo. El coste de los repetidores es de aproximadamente 2000 USD.		

COSTO DURANTE LA VIDA ÚTIL	Costo de operación bajo: - Se requiere poco personal dedicado al mantenimiento pues se puede llevar a cabo a distancia, de manera centralizada.
MODULARIDAD Y POSIBILIDAD DE MEJORA	La tecnología Wi-Fi posibilita ampliaciones de la red fácil y rápida. Agregándose puntos de acceso si aumenta la demanda de usuarios.
CONFORMIDAD CON NORMAS Y ESTÁNDARES RECONOCIDOS	Estandarizado por el IEEE.

Tabla 37. Resumen de las variables de análisis de la tecnología 802.11 (Wi-Fi).

2.3.7.3 Conclusiones del análisis.

2.3.7.3.1 Ventajas e inconvenientes de la aplicación de Wi-Fi en zonas rurales aisladas.

Teniendo en cuenta las características de la tecnología Wi-Fi y las variables de estudio del análisis, se puede concluir que las principales ventajas que ofrece para su aplicación en zonas rurales, para la creación de redes WLL (que sería el tipo de aplicación que interesaría en estas regiones), son las siguientes:

- Facilidad de instalación de los equipos

Los dispositivos terminales que interactúan con Wi-Fi llegan con el equipamiento listo, de esta manera se prescinde de adquisición de tarjetas de interfaz Wi-Fi requiriéndose personal con conocimientos básicos de informática

- Rápido despliegue

La facilidad de instalación de los equipos terminales y de los nodos de la red, unido al reducido tamaño de todos los dispositivos, lo que simplifica en gran medida el traslado de los mismos, hace que el despliegue de la red pueda llevarse a cabo en poco tiempo, en comparación con redes similares.

- Bajo costo

En vista de las variables dedicadas al estudio de los costos, se puede concluir que el costo tanto de los terminales completos como de los nodos es bajo. Este costo es alto

por la indumentaria informática, necesaria en cualquier tipo de red usada. Además no se requieren costos por mantenimiento, ya que es mínimo.

- Velocidad de transmisión

La velocidad de transmisión que ofrece la tecnología Wi-Fi se puede considerar baja frente a la ofrecida por una red Ethernet de cable. Sin embargo, en comparación con otras redes inalámbricas, la velocidad de transmisión de Wi-Fi es muy elevada y permite holgadamente la navegación por Internet, el correo electrónico, la transmisión de datos y las comunicaciones de voz utilizando el protocolo VoIP.

- Movilidad

La movilidad de los terminales que incorporan una conexión Wi-Fi en la celda en la que tiene cobertura y los mecanismos de itinerancia para mantener una comunicación cuando el móvil cambia de celda, siempre que éstas se solapen en parte, es otra bondad de esta tecnología.

- Flexibilidad

Las redes Wi-Fi se pueden considerar muy flexibles en cuanto a la facilidad que ofrecen para llevar a cabo cambios en la red y ampliaciones, tanto del número de equipos terminales como del número de nodos de la red.

Por otra parte, la aplicación de Wi-Fi para la realización de redes WLL, presenta los siguientes inconvenientes:

- Línea de vista

La tecnología Wi-Fi requiere visión directa entre las antenas que se comunican. Este hecho, limita la distancia que puede cubrirse en un enlace ya sea por la presencia de obstáculos o por el límite que impone la propia curvatura terrestre. Por ello, este factor hace que en muchas ocasiones sea necesario construir torres para las antenas y situar repetidores intermedios. Incrementando el costo de la red como consecuencia.

- Empeoramiento de la calidad ofrecida por el estándar 802.11 en aplicaciones punto a multipunto en exteriores

Ya se han comentado los problemas que se plantean al utilizar el estándar IEEE 802.11 en aplicaciones punto a multipunto en exteriores, que provocan una disminución de la velocidad de transmisión, la cual puede caer rápidamente a 1 Mbps. Hay soluciones como TurboCell, pero aumenta el costo de la red.

- Disminución de las prestaciones que ofrece un nodo a medida que aumentan suscriptores al servicio

La velocidad de transmisión de los dispositivos cliente disminuye a medida que aumenta el número de los mismos a los que da servicio un punto de acceso. Sin embargo, este inconveniente se solucionaría fácilmente estableciendo un número máximo de clientes por nodo como criterio de diseño de la red (15-20 usuarios por nodo).

2.3.7.3.2 Conclusiones Finales.

La tecnología Wi-Fi, basada en el conjunto de estándares 802.11 del IEEE, presenta muchas características que hacen que pudiera resultar apropiada para su aplicación en zonas rurales.

Por una parte, ofrece unas prestaciones elevadas, que posibilitarían la prestación de muchos servicios como la navegación por Internet a alta velocidad, la aplicación de correo electrónico y la transmisión de datos. Además, permite llevar a cabo comunicaciones de voz mediante el protocolo VoIP, todo esto usando WLL, siendo la tecnología de acceso que mejor se adapta a las necesidades y circunstancias que se presentan en las zonas rurales.

Asimismo, la inversión necesaria para la implantación de la red es muy baja, sobre todo en comparación con otras redes que ofrecen prestaciones similares. Además, la flexibilidad de esta tecnología, permite llevar a cabo fácilmente ampliaciones de la red, una vez desplegado el diseño inicial.

La disponibilidad de estas bandas en zonas rurales es un aspecto fundamental para el despliegue de estas redes; además, una vez planificada, dicho despliegue es muy rápido. Por una parte, los equipos tienen unas dimensiones reducidas, lo que facilita el transporte

Un gran inconveniente es la necesidad de línea de vista para la comunicación entre antenas, lo que hace necesaria la construcción de torres, lo cual encarece notablemente el costo de la red, y restringe la flexibilidad, teniendo en cuenta la orografía del país.

Sin embargo, antes de decidir si Wi-Fi es una tecnología apropiada para la aplicación en un proyecto concreto en zonas rurales, es necesario analizar las distancias a cubrir por los enlaces y la orografía del terreno, así como la disponibilidad de frecuencias en la zona.

2.3.8 ANEXO: Estándares IEEE 802.11 del IEEE.

En el detalle siguiente, se indican los códigos de todos los documentos del IEEE que contienen todas las especificaciones del estándar 802.11 para redes de área local inalámbricas.

	Estándares			
IEEE 802.11	Transmisión de datos en la banda de 2,4 GHz. Velocidad de transmisión hasta 2 Mbps			
IEEE 802.11 a	Transmisión de datos en la banda de 5,8 GHz. Velocidad de transmisión hasta 54 Mbps			
IEEE 802.11 b	Transmisión de datos en la banda de 2,4 GHz. Velocidad de transmisión hasta 11 Mbps			
IEEE 802.11 g	Transmisión de datos en la banda de 2,4 GHz. Velocidad de transmisión hasta 56 Mbps			
	Estándares adicionales			
IEEE 802.11 e	802.11 e Desarrollo de nuevos mecanismos de seguridad como WEP2			
IEEE 802.11 f	Simplificación de las comunicaciones entre puntos de acceso			
IEEE 802.15				
IEEE 802.15.2	Compatibilidad entre Bluetooth y Wireless LAN			
IEEE 802.15.3	Estándar para redes WPAN			

Tabla 38. Estándares IEEE.

2.3.9 ANEXO: Frecuencias de los métodos de transmisión de espectro ensanchado.

Frecuencias DSSS:

Canal	Frecuencias EE-UU y Grupo 1*	Frecuencias Europa	Frecuencias Japón
1	2412 MHz	N/A	N/A
2	2417 MHz	N/A	N/A

3	2422 MHz	2422 MHz	N/A
4	2427 MHz	2427 MHz	N/A
5	2432 MHz	2432 MHz	N/A
6	2437 MHz	2437 MHz	N/A
7	2442 MHz	2442 MHz	N/A
8	2447 MHz	2447 MHz	N/A
9	2452 MHz	2452 MHz	N/A
10	2457 MHz	2457 MHz	N/A
11	2462 MHz	2462 MHz	N/A
12	N/A	N/A	2484 MHz

Tabla 39. Frecuencias DSSS.

*Grupo 1: Canadá, Argentina, Brasil, Chile, Colombia, República Dominicana, Ecuador, Panamá, Paraguay, Perú, Uruguay, Venezuela, Hong Kong, Indonesia, México, Malasia, Filipinas, Singapur, Sudáfrica, Taiwán, Tailandia, Vietnam

Límite Superior	Límite Inferior	Rango regulatorio	Área Geográfica
2.402 GHz	2.480 GHz	2.400-2.4835 GHz	América del Norte y Grupo 1*
2.402 GHz	2.480 GHz	2.400-2.4835 GHz	Europa
2.473 GHz	2.495 GHz	2.471-2.497 GHz	Japón

Tabla 40. Rango de frecuencias empleadas en DSSS.

Canal	Valor	Canal	Valor	Canal	Valor
2	2,402	28	2,428	54	2,454
3	2,403	29	2,429	55	2,455
4	2,404	30	2,43	56	2,456
5	2,405	31	2,431	57	2,457
6	2,406	32	2,432	58	2,458
7	2,407	33	2,433	59	2,459
8	2,408	34	2,434	60	2,46
9	2,409	35	2,435	61	2,461
10	2,41	36	2,436	62	2,462
11	2,411	37	2,437	63	2,463
12	2,412	38	2,438	64	2,464
13	2,413	39	2,439	65	2,465

14	2,414	40	2,44	66	2,466
15	2,415	41	2,441	67	2,467
16	2,416	42	2,442	68	2,468
17	2,417	43	2,443	69	2,469
18	2,418	44	2,444	70	2,47
19	2,419	45	2,445	71	2,471
20	2,42	46	2,446	72	2,472
21	2,421	47	2,447	73	2,473
22	2,422	48	2,448	74	2,474
23	2,423	49	2,449	75	2,475
24	2,424	50	2,45	76	2,476
25	2,425	51	2,451	77	2,477
26	2,426	52	2,452	78	2,478
27	2,427	53	2,453	79	2,479
				80	2,48

Tabla 41. Canales FHSS en Europa, Norteamérica, Latinoamérica, Asia (Grupo 1). Valores en GHz.

2.3.10 ANEXO: Fabricantes de equipos Wi-Fi.

A continuación, se adjunta un listado de fabricantes de equipos Wi-Fi con sus direcciones para localizar sus correspondientes páginas web:

- 3Com, consultar: http://www.3com.com/>
- Belkin, consultar: http://belkin.com
- Bosslan (teléfonos IP), consultar: http://www.bosslan.com/BOSSTELIP.htm
- Cisco Wireless, consultar: http://www.cisco.com/warp/public/44/jump/wireless.shtml
- Corega, consultar: http://corega-international.com
- Demarc Technologies Group, consultar: http://www.demarctech.com
- D-Link, consultar: http://www.dlink.com
- Edimax, consultar: http://www.edimax.com
- Enterasys, consultar: http://www.enterasys.com
- Hyperlink, consultar: http://www.hyperlinktech.com
- Intel, consultar:
 - http://www.intel.com/network/connectivity/products/wlan_family.htm
- Linksys, consultar: http://www.linksys.com
- Lucent, consultar: http://www.lucent.com

- Netgear, consultar: http://www.netgear.com
- Orinoco, consultar: http://www.proxim.com
- Senao International CO. Consultar: http://www.senao.com
- SMC, consultar: http://www.smc-europe.com/es
- U.S. Robotics, consultar: http://www.usr-emea.com
- Xircom, consultar: http://www.xircom.com>
- Zoom Air, consultar: http://www.zoom.com>

2.3.11 ANEXO: Información comercial de algunos equipos Wi-Fi.

En las páginas web citadas anteriormente podemos encontrar las especificaciones de cualquier equipo Wi-Fi, a continuación se muestran las especificaciones de un Enrutador/Punto de acceso de la marca Zoom:

ADSL Compliance	Complian with ADSL standards: -full-rate ANSI T1.413 issue 2, ITU G,dmt (G992.1) -ITU G992.2 (glite) standards Compliant with ADSL standards: -G.dtm.bis(itug992.3) Compliant with ADSL2+standards -G992.5 -ADSL 2 Anex L -Annex M DMT modulation and demodulation Full rate adaptive mode
ATM Protocols	WAN mode support PPP over ATM and PPP over ethernet LAN mode support bridged routed ip over ATM ATM fórum UNI 3.1/4.0 PVC Up to 4 virtual circuits ATM segmentation and reassembly ATM AAL5 OAM F4/F5
Bridge Mode	ethernet to ADSL self-learning – Transparent bridging support up to 128 MAC learning addresses RFC2684/1483 bridged PDU encapsulation
Router Mode	Static routing DNS server DHCP server client and relay QOS guarantees upstream bandwidth for high priority devices NAT Dynamic DNS

	T
	Second IP address on LAN interface
	RIP V1 and V2
	PPPoE pass through
	Support 4 SSIDs
	WDS
Wireless 802.11	WME
	2.4Ghz frequency range
	Up to 54 Mbps wireless data rate
	64/128 bit WEP
	802.1x authentication

Tabla 42. Especificaciones del AP/Router X6 5690 de la marca Zoom. [6]

2.4 ESTANDAR IEEE 802.16 (WiMAX).

2.4.1 Introducción.

WiMAX 'Worldwide Interoperability for Microwave Access' Interoperabilidad Mundial de Acceso por Microondas, describe una tecnología de conexión a banda ancha a través de ondas de radio con mayor alcance y confiabilidad.

Es una tecnología inalámbrica que ofrece conectividad de banda ancha de alta velocidad de última milla para hogares, empresas y para redes inalámbricas móviles. Esta tecnología está diseñada para redes de banda ancha WMAN (redes metropolitanas inalámbricas), y es promovida por todos los proveedores que forman parte de la industria inalámbrica WiMAX.

Esta tecnología contiene o está basada en un conjunto de estándares los cuales son identificados con el estándar general 802.16x, esta tecnología comienza desde los estándares de sistemas de banda ancha de acceso inalámbrico fijo, hasta los estándares móviles.

Uno de los propósitos de WiMAX, es competir directamente con el ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line), especialmente en el mercado del Internet por cable, a través de una sola torre de distribución ubicada a kilómetros del usuario final (hasta 50 kilómetros).

WiMAX, pretende introducir servicios de acceso inalámbrico de banda ancha, de manera eficiente y a bajo costo. Proporcionará acceso a miles de usuarios en áreas rurales o metropolitanas con alta densidad demográfica. No requiere línea de vista directa, maneja tasas de transmisión de hasta 75 Mbps, cuenta con calidad de servicio, ofrece seguridad y opera en bandas con y sin licencia.

2.4.1.1 Estándares IEEE para WiMAX.

Este conjunto de estándares IEEE, empezaron a evolucionar a partir de la versión 802.16, implementada en abril del 2002, la cual se caracterizaba por sus enlaces fijos, con visión directa (LoS), lo que significa que las antenas tanto del transmisor como del receptor se tenían que ver, para que exista comunicación.

Al hacer mejoras a esta versión, dio como origen a la versión 802.16a, pero con mayor ancho de banda y cobertura de hasta 50 kilómetros entre el emisor y el receptor, utilizando la banda de 2 a 11 GHz, se implementó en esta versión la arquitectura punto a multipunto, en redes de malla y lo que la caracterizó principalmente fue que no requiere de visión directa (NLoS) y desarrolla una velocidad hasta 75 Mbps.

El IEEE 802.16a fue prácticamente olvidado, ya que el foco de atención fue posteriormente el IEEE 802.16-2004, que también es conocido como 802.16REVd o 802.16 - 2004. El cual es una mejora del estándar IEEE 802.16a que fue certificado en octubre de 2004.

Por otra parte, también está el IEEE 802.16e, otra variación de WiMAX que le sigue al estándar 802.16 - 2004, lo único que estos dos estándares propuestos tienen en común es que emplean el mismo rango de frecuencia (sub-bandas de frecuencia de 11GHz). En la Figura 36, se muestra las diferentes versiones del estándar WiMAX.

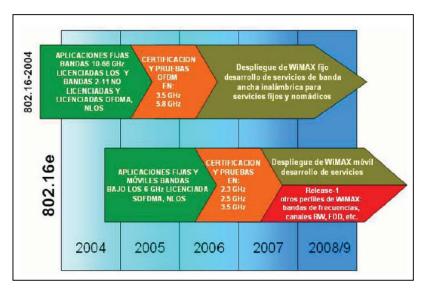


Figura 36. Evolución del estándar 802.16-2004 y 802.16e. [6]

- IEEE 802.16-2004

Conocido también como IEEE 802.16d o 802.16REVd, se diferencia, de las versiones anteriores, porque va más orientado a la implementación y colocación por parte de los suscriptores, ya que le permite al abonado, colocar su equipo en el exterior de su inmueble, al mismo tiempo este pueda acceder de forma inalámbrica en el interior de su casa, esta versión utiliza comúnmente las bandas de 2.5GHz, 3.5GHz y 5.8 GHz. Ésta tecnología mejora los servicios de última milla en los diferentes aspectos:

- Disminuye la interferencia.
- Disminuye el retraso difundido.
- Mayor robustez.

Es una tecnología de acceso inalámbrico fijo, lo que significa que está diseñada para servir como una tecnología de reemplazo del DSL inalámbrico, para proveer un acceso básico de voz y banda ancha en áreas donde no existe ninguna otra tecnología de acceso.

WiMAX Fijo usa OFDM-MIMO de esta manera puede usarse para proveer mayores velocidades de datos y, por lo tanto, puede usarse como una opción de reemplazo para abonados corporativos. En general, este estándar utiliza el CPE (Constomer Premise Equipment – Equipo de Usuario) que consiste de una unidad exterior (antena) y un módem interior. En ciertos casos, puede usarse una unidad interior autoinstalable, en particular cuando el abonado está relativamente cerca de la estación base transmisora.

Mientras lo hace, la tecnología inalámbrica fija introduciría un grado de capacidad nómada ya que el abonado podría viajar con el CPE y usarlo en otras ubicaciones fijas: oficina, hotel y cafetería, etc.

- IEEE 802.16e

Es una mejora del estándar 802.16-2004 y lo que lo caracteriza es que está orientado al mercado móvil y con la utilización del acceso múltiple por división ortogonal de frecuencia (OFDMA), pretende dar mejores servicios y beneficios, y sobre todo mejor señal, ya que ésta utiliza y agrupa subportadoras múltiples en subcanales, lo que crea mayores ventajas.

Utiliza S-OFDMA (scalable-OFDMA) tanto en el enlace ascendente como en el descendente. S-OFDMA significa que el número de tonos OFDM aumenta, o escala (de 128 tonos hasta 2.048 tonos), basándose en la calidad de la señal de RF para un usuario en particular, los requerimientos del usuario y el ancho de canal de radio que se usa. S-OFDMA permite a múltiples usuarios transmitir al mismo tiempo dando como resultado una eficiencia mejorada de red.

A lo largo de la evolución de estos estándares se ve que pueden ser implementados en diferentes segmentos de mercado, dependiendo de los limitantes de cada operadora, pero lo principal es que cada vez que surge una nueva versión, ésta posee las mismas características que la anterior, pero con valores agregados, en este caso la versión 802.16e.

A continuación se presentará una tabla con una pequeña descripción de los estándares IEEE 802.16:

Estándar	Descripción	Estado	Rango
IEEE std 802.16	Delimita redes de área metropolitana inalámbricas (WMAN) en bandas de frecuencia superiores a 10 GHz.	L ICHINTE DE	Obsoleto
IEEE std 802.16a	Delimita redes de área metropolitana inalámbricas en bandas de frecuencia desde 2 a 11 GHz inclusive.		Obsoleto
IEEE 802.16b	Delimita redes de área metropolitana inalámbricas en bandas de frecuencia desde 10 a 60 GHz inclusive.		Anexado a 802.16a (obsoleto)
IEEE std 802.16c	Delimita opciones (perfiles) para redes de área metropolitana inalámbricas en bandas de frecuencia sin licencia.		Julio de 2003
IEEE 802.16d (IEEE std 802.16- 2004)	Revisión que incorporó los estándares 802,16, 802,16a y 802.16c.	1 de octubre de 2004	Activo
IEEE std 802.16e	Permite que los clientes de tecnología móvil utilicen redes de área metropolitana inalámbricas.		Sin ratificar
IEEE std 802.16f	Permite que se usen las redes en malla.	-	Sin ratificar

Tabla 43. Estándares IEEE 802.16.

2.4.1.2 Áreas de aplicación de WLAN.

Como se mencionó anteriormente las redes WLAN fueron diseñadas para su empleo en redes empresariales. Pero en la actualidad existe una gran variedad de entornos en donde pueden ser aplicadas; debido al gran alcance que presenta la tecnología

WiMAX las redes WLAN serán prácticamente la elección de facto para redes WiMAX.

- Escenario Residencial: Una línea telefónica terminada en un router WiMAX al cual se conecta un punto de acceso (Wi-Fi) para formar una red WLAN que ofrece cobertura a varios ordenadores en el hogar.
- Redes Corporativas: Una serie de puntos de acceso (AP) colocados en varios puntos de la empresa conforman una red WLAN autónoma o complementan a una LAN cableada. Siendo posible enviar tráfico de VoIP y de datos a gran velocidad.
- Acceso a Internet desde lugares públicos con baja densidad de tráfico; este aspecto se comentó en Wi-Fi, pero se mejora en WiMAX debido a que presenta un mayor alcance de esta manera pudiendo servir a centros comerciales enteros, campus universitarios, hoteles, residencias o incluso a cabeceras cantonales, usando solamente un punto de acceso y a una velocidad de transmisión muy alta.
- Seguridad, videocontrol, control del tráfico en ciudades: Gracias al alcance y a la alta velocidad es posible realizar una gestión autónoma de lo referente a los aspectos de seguridad y control ciudadano, de esta manera formando una red propia y auto gestionada de todos estos servicios.
- Telemetría: debido a las características de WiMAX, es posible realizar control telemétrico de varios aspectos referentes a la industria como minería, pesca, aviación o inclusive escenarios donde se tenga que manejar audio y video a tiempo real (video vigilancia) como empresas de seguridad y control.

Con una red WLAN es posible brindar telefonía, TV y datos a un pueblo o a una ciudad entera sin inconvenientes usando uno o pocos puntos de acceso WiMAX, lo que con otras tecnologías, esto sería posible desplegando una red WMAN.

En la actualidad WiMAX pretende ser uno de los estándares priostes de la tecnología 4G.

2.4.2 Características Técnicas.

Las características técnicas más importantes de las redes WiMAX son las siguientes:

Velocidad de transmisión: La tecnología WiMAX alcanza velocidades de hasta 75Mbps usando el estándar 802.16-2004 y de hasta 30Mbps usando el estándar 802.16e gracias a sus técnicas de modulación como OFDM la cual se describió en el apartado 2.3.2.3.3.

- Gran alcance, soportando áreas de hasta 50km a la redonda usando antenas directivas y de alta ganancia.
- No requiere línea de vista entre las antenas transmisoras y receptoras.
- Soporta dos topologías de red: Punto-multipunto y en malla. Ambas se han descrito en capítulos anteriores, y la más usada en WiMAX es la topología Punto-multipunto, para la topología en malla aún están en desarrollo los estándares.
- Incorpora soporte para la tecnología "smart antenna", la cual mejoran la eficiencia espectral y la cobertura.
- Soporta calidad de servicio (QoS): WiMAX posee un control de QoS en todo el recorrido del enlace dependiendo del tipo de servicio; soporta el uso de etiquetas MPLS (Multiprotocol Label Switching), sistema que le permite priorizar paquetes. Este estándar soporta variados servicios y aplicaciones con distintos requerimientos de QoS.
- Seguridad: Incluye medidas de privacidad y criptografía inherentes en el protocolo.
 El estándar 802.16 agrega autenticación de instrumentos con certificados x.509 usando
 DES en modo CBC (CipherBlock Chaining).
- Movilidad de los terminales en el entorno de los puntos de acceso, y para el estándar 802.16e permite movilidad completa en el área de cobertura.
- Facilidad de instalación de los equipos.
- Eficiencia en costos: debida a la masificación de servicios WiMAX y la flexibilidad que proporcionan ante ampliaciones de la red.

2.4.2.1 Bandas de frecuencia.

El WiMAX Forum está trabajando con los reguladores, operadores y fabricantes de equipos de todo el mundo para ampliar la frecuencia de asignación y así cubrir todas las bandas del espectro claves que las empresas miembros del foro identifican como interesante potencial de servicios WiMAX.

Los primeros productos móviles certificados funcionan a 2,3GHz y 2,5 GHz, esta última, es una banda de frecuencia que se utiliza ampliamente en el mercado mundial. Actualmente, hay gran demanda de la banda 3,5 GHz para su utilización en servicios WiMAX.

No obstante, las versiones más recientes de ambos estándares de WiMAX 802.16 cubren rangos espectrales desde 2GHz hasta 66GHz, usando bandas licenciadas y no

licenciadas, de esta manera el proveedor de servicios WiMAX puede brindar dichos servicios en un amplio rango; haciendo un equilibrio entre el área de cobertura y las velocidades de transferencia (parámetros inversamente proporcionales), así como de los costos por la concesión correspondiente al uso de frecuencias.

Sin embargo, las frecuencias más usadas por los estándares WiMAX son las siguientes:

Estándar	Rango de frecuencias	
WiMAX 802.16-	2-11GHz (bandas comúnmente usadas: 2.3GHz, 2.5GHz,	
2004	3.5GHz, 5.8GHz)	
WiMAX 802.16e	2-6GHz (bandas comúnmente usadas: 2.3GHz, 2.5GHz,	
	3.5GHz)	

Tabla 44. Rango de frecuencias usadas en IEEE 802.16.

2.4.2.2 Seguridad.

La seguridad es vital para la comunicación, más aun si es inalámbrica, en donde la información está expuesta en el espectro radioeléctrico. Por ello WiMAX no ha escatimado recursos en lo referente a la seguridad.

Las funciones de la subcapa de seguridad en la capa de enlace de datos están definidas por el estándar IEEE 802.16e-2005 para la interfaz WiMAX, mientras los aspectos referentes a la seguridad en la red están en concordancia con el modelo de referencia de red (RNM) del foro WiMAX; el documento RFC2903 contiene el entramado que especifica el protocolo y el procedimiento para realizar autenticación, autorización y "accounting" con el usuario.

El estándar de la tecnología WiMAX especifica:

- Manejo privado de claves (PKMv2), Protocolo de autenticación extensible (EAP) entre el usuario y la Base Station. Así como también el uso de certificados x.509.
- Estándar de cifrado avanzado "over the air" AES, cifrado para tráfico del suscriptor.
- Protocolos AAA (autenticación, autorización y "accounting"), para autenticación en la red y cuando no exista inteligencia (tecnología avanzada, recursos humanos) por parte de la BS.
- Se usan técnicas de cifrado 3DES, AES y RSA.

Como se puede observar, WiMAX usa todas estas seguridades en todos los puntos de la red, tanto en la interacción Usuario-BS, como en el tráfico que se va a exponer en la red.

2.4.2.3 Métodos de transmisión.

El estándar IEEE 802.16 define como esquemas de modulación para capa física (PHY) a los siguientes:

- OFDM con 256 subportadoras.
- OFDMA con 2048 subportadoras.

La descripción de la tecnología OFDM se realizó en el apartado 2.3.2.3.3, sin embargo en WiMAX los símbolos de OFDM están formados por 256 subportadoras, WiMAX usa solo 200 subportadoras, de estas subportadoras se asignan 192 para datos y 8 como pilotos, las portadoras piloto utilizan modulación BPSK y los de datos utilizan modulaciones BPSK, QPSK, 16 QAM o 64 QAM.

- OFDMA:

La capa física OFDMA PHY está igualmente adaptada a entornos de propagación sin línea de visión directa en la banda entre 2 y 22 GHz. Este tipo de modulación es bastante robusta a las interferencias producidas por la dispersión de retardos debidos a las reflexiones generadas en ambientes de no línea de vista. Simultáneamente se emplea una modulación adaptativa, aplicada a cada suscriptor de manera individual, de acuerdo con la capacidad de su canal específico.

OFDMA permite a múltiples usuarios transmitir en diferentes subportadoras por cada símbolo OFDM. Así, se asegura que las subportadoras se asignan a los usuarios que ven en ellas buenas ganancias de canal.

2.4.2.3.1 Duplicación.

Se refiere al proceso de crear canales bi-direccionales para transmisión de datos uplink (enlace de subida) y downlink (enlace de bajada). Los dos métodos comúnmente utilizados en varios sistemas inalámbricos son la Duplexación por División de Frecuencia (Frequency División Duplexing, FDD) y la Duplexación por División de Tiempo (Time- Division Duplexing, TDD).

Un sistema basado en Duplexación por División de Frecuencia (FDD) requiere dos canales que son separados para minimizar la interferencia, uno para transmisión y otro para recepción. La mayoría de las bandas FDD son asignadas a voz porque la

arquitectura bi-direccional de FDD permite manejar la voz con demoras mínimas, FDD está diseñada para tráfico simétrico y no requiere de tiempo de guarda.

Un sistema basado en Duplexación por División de Tiempo (TDD), ofrece un único canal que soporta el tráfico de los enlaces directo e inverso, con un breve intervalo de tiempo usado para separar las transmisiones en cada dirección, esto significa que no puede transmitir y recibir al mismo tiempo. Un sistema TDD puede asignar dinámicamente ancho de banda al uplink y downlink, según su tráfico. La transferencia asimétrica es apropiada para el tráfico de Internet en el que hay grandes volúmenes de datos en downlink.

Las siguientes son algunas características de la Capa Física:

- 256 subportadoras OFDM: Soporta direccionamiento multicamino en ambientes con y sin línea de vista (LOS y NLOS).
- Soporta TDD, FDD duplex y también half duplex FDD esto es, H FDD: Se adapta a los diferentes entes regulatorios a nivel mundial.
- Tamaño flexible de canales (3.5 MHz, 5 MHz, 10 MHz): Provee la flexibilidad necesaria para operar en diferentes bandas de frecuencias, tanto licenciadas como no licenciadas, con diferentes variantes y requerimientos del canal alrededor del mundo.

Características	OFDM	OFDMA
Rango de Frecuencia	2- 11 GHz	2 – 11 GHz
Modulación	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM
Número de subcarriers	256	2048
Duplexación	TDD, FDD	TDD, FDD
Canal	1.25 – 20 MHz	1.25 – 20 MHz

Tabla 45. Características de OFDM y OFDMA.

2.4.3 Configuración funcional.

Como se mencionó anteriormente, la versatilidad y flexibilidad de las redes inalámbricas, es el motivo por el cual la complejidad de una LAN implementada con esta tecnología es tremendamente variable. Esta gran variedad de configuraciones, ayuda a que este tipo de redes se adapte casi a cualquier necesidad; WiMAX no podía

ser la excepción, y permite configuraciones de conexiones similares a Wi-Fi, como las configuraciones punto a punto y punto a multipunto, pero también soporta comunicaciones en malla, como se enunciarán a continuación:

2.4.3.1 Configuración Punto a Multipunto (PTMP).

En la Figura 37, se muestra una arquitectura PTMP (Punto a Multipunto), en la que cada una de las estaciones base establece conexiones con varias estaciones remotas (para redes que trabajan en la banda inferior de las frecuencias de microondas, y que están ubicadas en zonas rurales).

PTMP permite al operador de red alcanzar el mayor número de usuarios al menor costo y limita el número de routers y switches necesarios para operar la red. Asimismo PTMP ha sido recomendado también para su uso en bandas milimétricas. El problema radica en la topografía de la mayor parte de las ciudades, que podrían ser los principales mercados para este tipo de servicios.

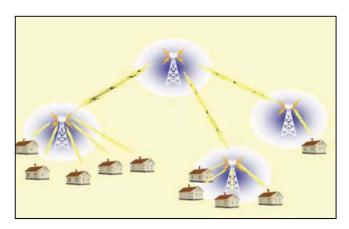


Figura 37. Configuración Punto a Multipunto (PTMP). [6]

El enlace inalámbrico del estándar WiMAX 802.16 opera con antenas sectoriales, que consisten en un conjunto de antenas direccionales distribuidas alrededor de un mástil central, la cual es capaz de manejar múltiples sectores independientes simultáneamente. Cada antena define un sector, un área donde la frecuencia puede ser rehusada.

2.4.3.2 Configuración Punto a Punto.

Esta configuración generalmente requiere de línea de vista (LOS) por el gran ancho de banda que se requiere para la comunicación hacia el ISP o también es posible conectar

diferentes edificios o estaciones base mediante circuitos radioeléctricos dedicados a cada una de las conexiones, se puede observar esta configuración en la siguiente figura:

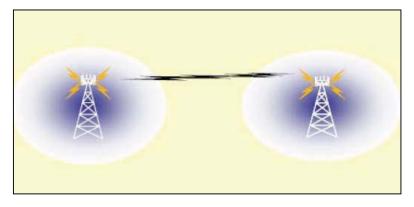


Figura 38. Configuración Punto a Punto. [6]

2.4.3.3 Configuración en Malla (Mesh).

La Figura 39 representa una arquitectura de red mallada (red mesh). En una red mesh cada terminal de usuario es capaz de establecer varios enlaces con usuarios adyacentes. De esta forma, existen una serie de alternativas antes de llegar al punto de origen de la red. Análogo a las redes "ad hoc" del estándar 802.11.

Se usan algoritmos especiales de encaminamiento para direccionar las comunicaciones por el camino más adecuado en cada momento; si un equipo de cliente deja de funcionar, la red sigue funcionando por caminos alternativos.

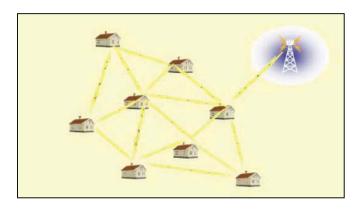


Figura 39. Configuración en Malla o "Mesh". [6]

2.4.4 Aplicaciones en exteriores, bucle de abonado inalámbrico, WLL (Wireless Local Loop).

El estándar IEEE 802.16 fue diseñado para aplicaciones tanto en interiores como en exteriores, gracias a su modulación es posible interactuar en ambos entornos, y según su aplicación, brindarle una cierta frecuencia de transmisión/recepción, por ende que exista línea de vista o no entre transmisores/receptores.

Al momento de aplicarlo en entornos de bucle de abonado inalámbrico (WLL) resulta muy interesante debido a la gran escalabilidad y variedad de topologías disponibles, así como costos asequibles de los equipos terminales, y gran variedad de frecuencias de operación, tanto en bandas licenciadas, como en bandas no licenciadas de uso libre. Todas estas bondades hacen que la tecnología WiMAX sea apropiada para su aplicación en zonas rurales.

La aplicación de WLL se adapta muy bien a la distribución de usuarios que se puede encontrar en zonas alejadas o rurales gracias a su gran cobertura, debido a que se encuentran muy dispersos en amplias extensiones de terreno.

Como se mencionó anteriormente, la aplicación típica de WiMAX usaría la configuración PTMP para la interacción entre la BS y las SS (o MS en caso de ser móviles), y para la comunicación entre BS se usaría la configuración punto a punto, como se puede observar en la siguiente figura:

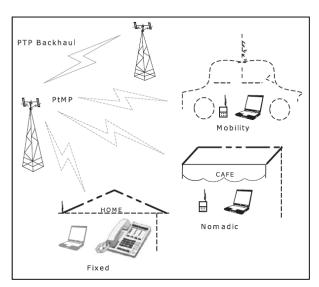


Figura 40. Ejemplo de WLL usando WiMAX con las configuraciones PMTP y PTP. [6]

No es necesaria LOS entre los equipos SS y la BS, pero entre BS's si se requeriría LOS, más que nada por las frecuencias que se usan en las diferentes configuraciones.

Cabe recalcar que se puede usar como WLL con terminales fijos o nómadas (movilidad dentro de una pequeña área), o también es posible tener terminales totalmente móviles (MS) como se puede observar en la Figura 41. Los servicios de voz, TV o datos completamente móviles los brinda el estándar IEEE802.16e, mientras los servicios de terminales fijos o nómadas se rigen al estándar 802.16-2004.

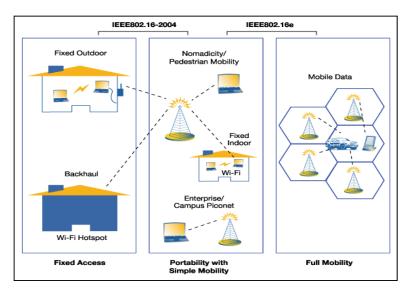


Figura 41. Servicios de acceso soportados por WiMAX (fijo, nómada, móvil) y sus respectivos estándares. [6]

2.4.5 Descripción de los equipos.

A continuación se describirán los equipos necesarios para el despliegue de una típica red WiMAX, por ende se citarán solo los equipos necesarios e indispensables, como son los CPE (Customer Premises Equipment, Equipo local del cliente) por usuario con su correspondiente antena receptora, la antena sectorial que sirve para la comunicación de la BS con los SS; en la BS debe haber un equipo para la conexión de las antenas e interacción con el gateway llamado equipo de estación base y por supuesto el ASN-Gateway o pasarela ASN que ofrece la funcionalidad de red necesaria para proveer el acceso a los suscriptores. El ISP cuenta con los equipos necesarios restantes para la interacción con la Internet como son switches, routers, servidores, firewalls, etc.

2.4.5.1 Equipos ubicados en la zona del cliente.

- CPE IDU WiMAX

En la Figura 42, se puede observar un CPE Indoor Unit (IDU) WiMAX de la marca Alvarion, algunos CPE de WiMAX, como el de la figura, cuentan con puertos de salida Ethernet RJ-45 y un Punto de acceso (AP) Wi-Fi para la interacción con los ordenadores. Además cuenta con soporte para las frecuencias mencionadas en la tabla 34, del estándar 802.16-2004.



Figura 42. CPE IDU de marca Alvarion para WiMAX. [6]

Si el CPE IDU de WiMAX no incluiría una interfaz Wi-Fi, habría que comprar un Access point (AP) para que los ordenadores puedan tener acceso Wi-Fi, u otra solución sería conectar al ordenador con cable Ethernet, pero ahí solo habría aproximadamente 4 ordenadores, debido a que generalmente estos CPE's contienen 4 puertos de salida, algunos menos inclusive.

- CPE ODU WiMAX (Antena)

Como Outdoor unit (ODU) se entiende en WiMAX a la antena (direccional) y al amplificador que van en las afueras del abonado como los de la Figura 43, la antena funciona con varias bandas de frecuencia licenciadas y no licenciadas, como las mencionadas en la tabla 33, del estándar 802.16-2004. La antena tiene una ganancia de 14 a 16 dBi y los amplificadores generalmente son de 5W.



Figura 43. CPE ODU (Antena y amplificador) de marca Alvarion para WiMAX. [6]

2.4.5.1.1 Precios de equipos ubicados en la zona del cliente.

Algunos fabricantes no comercializan por separado los equipos IDU y ODU del cliente, por lo tanto al momento de la adquisición, se venderían los equipos citados anteriormente como una unidad. Cabe mencionar que hay equipos IDU que no soportan interfaz Wi-Fi para la interacción con el ordenador, por lo que el costo ascendería a unos 100 dólares más aproximadamente, o es posible optar por un módulo USB WiMAX. A continuación se enuncia el precio de los equipos IDU/ODU del cliente para WiMAX de distintos fabricantes, y también de un módulo USB WiMAX fabricado por Huawei.

Equipo cliente WiMAX	Precio (USD)
Alvarion BreezeMAX CPE (IDU,ODU)	710
Airspan CPE MiMAX (IDU,ODU)	660
Huawei CPE BM632 (IDU, ODU)	350
USB Huawei WiMAX	88

Tabla 46. Precio de equipos cliente para WiMAX.

2.4.5.2 Equipos ubicados en la BS.

- Equipos IDU/ODU BS:

Se consideran como el chasis principal de la red debido a que son los responsables de la conectividad y el manejo de ancho de banda según los estándares WiMAX, estos equipos guardan la lógica de la red debido a que hacen procesamiento de señales,

comando de utilización de recursos e inclusive seguridad, además contiene un rack de gateway ASN-GW (opcional), para clasificación de tráfico, control de operaciones, etc. La IDU y la ODU para la Base Station se pueden observar en la siguiente figura:

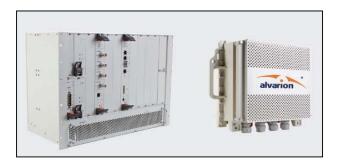


Figura 44. Infraestructura BS para la red WiMAX, izquierda: IDU, derecha: ODU. [6]

También proveen el interfaz para las antenas sectoriales que irán ubicadas en diferentes infraestructuras según el perfil del terreno a servir. Para la interconexión de ambos equipos se necesita un cable coaxial de 50 o 75 ohm. Estos equipos se encargan del tratamiento de la señal o señales y prácticamente (junto con el gateway), son la Red de Acceso al Servicio o ASN de la red WiMAX.

- Antena sectorial:

La antena que se presenta en la Figura 45, es una antena idónea para ofrecer el servicio WiMAX desde una BS hacia una zona rural, está construida en base a cubiertas protectoras de plástico resistente a las radiaciones UV (Ultravioletas) y soportes de acero inoxidable galvanizado para una larga vida útil en las más exigentes condiciones. La operatividad ultra wideband permite a una sola antena cubrir un amplio rango de frecuencias, de esta forma le brinda al operador una máxima flexibilidad a su propia red. Las antenas cuentan con protección a prueba de rayos.



Figura 45. Antena sectorial de 90° de ancho de haz de la marca Netkrom. [6]

2.4.5.2.1 Precios de equipos ubicados en la BS.

Existen variedad de costos de BS WiMAX según la capacidad de abonados a servir, así como las bandas de frecuencia de operación, la sensibilidad de los equipos, etc. Los precios para estaciones base oscilan entre unos 10,000 USD hasta los 60,000 USD aproximadamente.

Hay varias soluciones, desde conectar redes privadas empresariales, hasta BS's cuyo propósito es brindar la máxima capacidad de velocidad a abonados en una red metropolitana o rural, a continuación se enuncian los precios de tres BS de distintos fabricantes.

BS WiMAX	Precio (USD)
Alvarion BreezeMAX 3650 BS	9.000
Huawei DBS3900	29.000
Alcatel 9710 C-WBS	57.300

Tabla 47. Precio de estaciones base para WiMAX.

Al momento de tener varias BS en una red WiMAX, es necesaria la adquisición de un controlador de estaciones base cuyo precio oscila entre los 40,000 USD hasta los 300,000 USD. Además es necesario en esos casos un software de planeación de red cuyo costo es de 50,000 USD aproximadamente.

A continuación se enuncian las características y el costo de la antena sectorial anteriormente mencionada, los costos de las antenas sectoriales oscilan entre los 200 y los 500 dólares aproximadamente, difieren en la ganancia, polarización, los tipos de protecciones usadas, en el material de construcción y protección, y en la frecuencia de operación, entre otras características.

CARACTERÍSTICAS	ANTENA SECTORIAL NETKROM
Ganancia	17 dBi
Frecuencia:	5725 – 5850 MHz
Ancho del Haz horizontal	90 grados
Ancho del Haz vertical	6 grados
Polarización	Vertical y horizontal.
Precio (USD)	280

Tabla 48. Características y precio antena sectorial Netkrom para WiMAX.

2.4.6 Regulación.

Se mencionó anteriormente que el estándar 802.16 funciona en bandas de 2 a 11GHz, sin embargo, el Estado Ecuatoriano ha asignado las siguientes bandas a las redes inalámbricas para implementación y operación de sistemas de modulación digital de banda ancha:

BANDA (MHz)	ASIGNACION
902 - 928	ICM
2400 - 2483.5	ICM
5150 - 5250	INI
5250 - 5350	INI
5470 - 5725	INI
5725 - 5850	ICM, INI

Tabla 49. Bandas de frecuencia aprobadas por la SENATEL para la operación de sistemas de modulación digital.

Solo dichas bandas están permitidas para operar sistemas WiMAX y sistemas FWA en general, es decir solo las bandas de 2,4 y 5,8 GHz de acuerdo al estándar 802.16. Además, en la mayoría de los países, los organismos reguladores permiten el uso libre de las bandas ICM (aplicaciones industriales, científicas y médicas). En nuestro país no se necesita una concesión pero si una autorización para el uso de esas bandas (ICM), cuyos requisitos son:

"Los interesados en instalar y operar sistemas de espectro ensanchado de gran alcance, sean estos privados o de explotación, en cualquier parte del territorio nacional, deberán presentar los siguientes requisitos:"

- Solicitud dirigida al Secretario Nacional de Telecomunicaciones detallando datos personales y el tipo de servicio que requiere.
- Copias de documentación personal, documentación de la compañía (para persona natural o jurídica respectivamente).
- Certificado de obligaciones económicas de la SENATEL y de no adeudar a la SUPERTEL.
- Estudio técnico del sistema elaborado en los formularios de la SENATEL, incluyendo las características del sistema radiante, coordenadas geográficas de las estaciones base, área de cobertura, localidades a cubrir, etc.

2.4.7 Análisis del estándar 802.16.

2.4.7.1 Estudio de las variables de análisis.

2.4.7.1.1 Características técnicas del sistema.

- Capacidad

La señal OFDM está formada por varias portadoras ortogonales; y dependiendo de la ubicación del usuario y su necesidad de tasa de bits (velocidad) el modo de modulación será BPSK (mayor inmunidad al ruido, menor tasa de transmisión), QPSK, 16QAM hasta 64QAM que resulta ser más eficiente en términos de velocidad. Si se usa modulación OFDM, es posible obtener hasta 256 portadoras (192 útiles debido a portadoras de guarda y DC).

Si se usa OFDMA es posible contar con 2048 subportadoras (aproximadamente 1536 útiles), o si se desea se puede usar la modalidad de subcanales, que es "entregar" una cantidad de subportadoras a cada subcanal, por ejemplo tener 32 subcanales con 48 subportadoras cada uno (32*48=1536 subportadoras útiles). Es posible obtener hasta aproximadamente 60-70 subcanales. Son ejemplos si se usaría una portadora de 20MHz

Si se usa una portadora de 10MHz (comúnmente usada) con OFDMA posible contar con 1024 subportadoras (aproximadamente 840 útiles) y hasta 30 subcanales.

- Velocidad de bit

La tasa de transmisión de la tecnología WiMAX alcanza velocidades de hasta 75Mbps usando el estándar 802.16-2004 y de hasta 30-40Mbps usando el estándar 802.16e.

El estándar más adecuado para su implementación en zonas rurales es el 802.16-2004 o WiMAX Fijo debido a su gran alcance, escalabilidad y menor coste respecto al estándar 802-16e.

– Banda de frecuencia

Las bandas de frecuencia de 2,3GHz, 2,5GHz, 3,5GHz y 5,8GHz son las más usadas por WiMAX alrededor del mundo, sin embargo las versiones más recientes de ambos estándares de WiMAX 802.16 cubren rangos espectrales desde 2GHz hasta 66GHz, usando bandas licenciadas y no licenciadas, de esta manera debe hacerse una relación entre el área de cobertura y las velocidades de transferencia (parámetros inversamente proporcionales), así como de los costos por la concesión correspondiente al uso de frecuencias.

En la tabla 33, es posible observar con más detalle las frecuencias comúnmente usadas según el estándar.

- Seguridad de las comunicaciones

Las funciones de la subcapa de seguridad en la capa de enlace de datos están definidas por el estándar IEEE 802.16e-2005 para la interfaz WiMAX, mientras los aspectos referentes a la seguridad en la red están en concordancia con el modelo de referencia de red (RNM) del foro WiMAX; el documento RFC2903 contiene el entramado que especifica el protocolo y el procedimiento para realizar autenticación, autorización y "accounting" con el usuario.

El estándar de la tecnología WiMAX especifica:

- Manejo privado de claves (PKMv2), Protocolo de autenticación extensible (EAP) entre el usuario y la Base Station. Así como también el uso de certificados x.509.
- Estándar de cifrado avanzado "over the air" AES, cifrado para tráfico del suscriptor.
- Protocolos AAA (autenticación, autorización y "accounting"), para autenticación en la red y cuando no exista inteligencia (tecnología avanzada, recursos humanos) por parte de la BS.
- Se usan técnicas de cifrado 3DES, AES y RSA.

Como se puede observar, WiMAX usa todas estas seguridades en todos los puntos de la red, tanto en la interacción Usuario-BS, como en el tráfico que se va a exponer en la red.

- Posibilidades de interconexión con otras redes

Las posibilidades de interconexión de una red WiMAX, así como una red Wi-Fi, son las propias de una LAN o MAN. Esto significa que es posible la interconexión con otras redes Wi-MAX, Wi-Fi, LAN o MAN, redes públicas de datos e Internet.

En zonas rurales el mayor atractivo es la interconexión con Internet debido a que permite el soporte de los servicios necesarios de correo electrónico, navegación web y telefonía sobre el protocolo IP. En este último caso, hay que tener en cuenta que únicamente se podrán llevar a cabo comunicaciones telefónicas entre direcciones IP.

- Movilidad

La movilidad es una de las fortalezas de las redes WiMAX, más que nada del estándar móvil IEEE802.16e, el cual permite una movilidad completa en el rango de algunos kilómetros, además la tecnología WiMAX móvil soporta handovers optimizados con latencias menores a 50 ms que ayudan y garantizan aplicaciones en tiempo real como voz sobre IP (VoIP), que se transmite de forma robusta y eficiente sin degradación del servicio. Administración y gestión flexible y rápida de tramas de llaves que garantizan la seguridad durante los handovers. Teóricamente, gracias a su modulación OFDM las SS o MS permiten una velocidad de movilidad de unos 120 km/h.

El estándar 802.16-2004 no se queda atrás, su tecnología permite también movilidad, llamada nómada cómo es posible visualizar en la figura 8.6, este término se refiere a movilidad en el entorno de toda una propiedad o edificio, si bien el CPE ODU es fijo, la interfaz del CPE IDU puede ser Wi-Fi con el ordenador.

- Posibilidad de gestionar la red a distancia

Una vez instaladas las BS, es posible gestionarlos a distancia mediante alguno de los sistemas que existen para acceso remoto (vía web, snmp, telnet, software propietarios, etc.). En cualquier caso, las tareas de gestión se limitan al cambio de modos y parámetros básicos de la red.

- Terminales

Ya analizamos los terminales disponibles para la tecnología WiMAX en el apartado 8.5. Los terminales CPE IDU proporcionan una interfaz Wi-Fi para crear una red interna o también puertos LAN para conectar otros dispositivos como teléfonos IP, de esta manera teniendo una compatibilidad completa con cualquier terminal que permita el acceso a Internet.

Según la mayoría de los fabricantes, los CPE's WiMAX son "plug and play" es decir de fácil interacción y conexión, con software de uso bastante amigable, de esta manera la dificultad de uso de los terminales de esta tecnología es la propia de este tipo de sistemas, es decir será el correspondiente al de la categoría de usuario medio (preferiblemente avanzado), de la clasificación expuesta en la explicación de esta variable.

Existen también los terminales WiMAX USB, cuyo manejo e instalación es aún más sencillo, también poseen la modalidad "plug and play", por lo que no existen complicaciones por parte del usuario.

2.4.7.1.2 Infraestructura.

- Facilidad de instalación

Como ya se ha comentado en el anterior inciso, la instalación de los equipos terminales (SS) es muy sencilla y puede ser llevada a cabo por técnicos medios eléctricos o informáticos.

Sin embargo, la instalación del resto de elementos que forman la red, sin llegar a ser excesivamente compleja, requiere personal con conocimientos de informática y redes de ordenadores, en general, y experiencia en el montaje de redes de radio. Por ello, pueden ser necesarios técnicos superiores en informática, además de los técnicos medios eléctricos.

El transporte de los equipos no es un aspecto complicado; por otra parte, en redes desplegadas en zonas rurales, no es necesario colocar antenas con LOS respecto a los terminales, por ende es posible utilizar infraestructuras diferentes a torres o torres de pequeña o mediana altura, abaratando costos respecto a otras tecnologías.

- Facilidad de operación y mantenimiento

La operación y el mantenimiento de los equipos que incorporan los dispositivos cliente WiMAX, es el propio de este tipo de sistemas, por lo que requerirá profesionales con un nivel de conocimientos equivalentes a los de un técnico medio en informática. El mantenimiento puede ser por parte de los usuarios, si tienen un conocimiento avanzado según la clasificación de la Tabla 1.

Por su parte, la operación y el mantenimiento de las BS de la red, han de ser llevados a cabo por técnicos medios y superiores en informática. En cualquier caso, no serán necesarias muchas personas dedicadas al mantenimiento, salvo que la red sea muy grande.

2.4.7.1.3 Energía.

- Nivel de consumo de energía

El nivel de consumo de energía de los distintos dispositivos que forman una red WiMAX se puede considerar como bajo. El consumo por tipo de dispositivo se comenta a continuación:

- Dispositivos cliente: los CPE's IDU y ODU presentan un consumo de energía de aproximadamente 50W o menos entre ambos, por su parte la interfaz USB presenta un consumo en el orden de los mW. - Antenas y amplificadores: Su consumo depende de la potencia que se brinde, o del sector que se desee servir, aproximadamente unos 30W, pero el consumo de las antenas, así como de la BS están controlados por el banco de baterías.

El consumo de los terminales, es decir de los ordenadores es de aproximadamente 20 y 40 W para ordenadores portátiles y entre 350 y 500 W para ordenadores de escritorio.

2.4.7.1.4 Costo.

- Costo de infraestructura

El costo inicial de instalación de una red WiMAX se puede considerar como bajo, teniendo en cuenta las prestaciones que proporcionan este tipo de redes y el costo de otros sistemas que ofrecen servicios similares. Para tener una referencia de la magnitud del costo, se pueden considerar los siguientes costos suponiendo que la red que se monta es de WLL (no se consideran costos de las torres, ni de repetidores o amplificadores de señal). El estándar que se ha analizado en su mayoría, y el cual es idóneo para este servicio es el IEEE 802.16-2004 (fijo).

- Equipo terminal: se supone que en cada emplazamiento únicamente se conecta un computador a la red. El costo del terminal en este caso sería el mostrado en la Tabla 50. Se utilizan computadoras portátiles debido a que presentan un consumo de energía mucho menor que los de escritorio. El sistema de energía solar incluido en el equipamiento, está dimensionado para proporcionar energía al computador, equipado con el dispositivo cliente, y a dos luminarias.

Equipo	Costo (USD)
Computador portátil	1800
Dispositivos CPE (IDU, ODU) WiMAX	350
Cable para conexión de antena (5 m) con conectores incorporados	27
Protector contra rayos	30
Sistema de energía solar	1320
TOTAL	3527

Tabla 50. Costo de equipos terminales por suscriptor.

Si se usa un teléfono IP, al total de la tabla anterior hay que agregarle unos 300 dólares, por el teléfono y por la instalación de una red local.

– Nodo Conexión (Base Station): El costo de los dispositivos en la estación base se muestran en la Tabla 51. Se considerará el servicio a un sector. Debido a que los dispositivos CPE no funcionan con LOS, y que la tecnología WiMAX brinda un gran alance, no se necesitaran repetidores ni amplificadores de señal. Además se incluye un sistema de energía solar, dimensionado para los equipos necesarios.

Equipo	Costo (USD)
Estación base (IDU, ODU)	9000
Cable para conexión de antena (10 m) con conectores incorporados	54
Protector contra rayos	30
Cable con conectores (del amplificador a la antena)	12
Antena directiva	250
Sistema de energía solar	1500
TOTAL	10846

Tabla 51. Costo de equipos ubicados en la estación base.

Con estos datos, se puede calcular el costo de los equipos necesarios para desplegar una red WiMAX.

- Costo durante la vida útil

El costo durante la vida útil de la red incluirá los siguientes conceptos:

- Costos debido a la conexión a Internet en los nodos con conexión.
- Costo del personal dedicado a la operación de la red y su mantenimiento.
- Costo del mantenimiento de los emplazamientos (alquileres, energía eléctrica si tiene acceso a la red, etc.)

El costo de operación de una red WiMAX se puede considerar como bajo, debido a que las tareas de gestión y mantenimiento de la red son mínimos.

- Modularidad y posibilidad de mejora gradual

La tecnología WiMAX posibilita ampliaciones de la red posteriores a la instalación de la misma, fáciles y rápidas. Inclusive, dado el costo de los equipos, los fabricantes y

proveedores (Alvarion y otros) de los equipos dan la posibilidad "pay as you grow" realizando una inversión inicial y posteriormente pagando costos mínimos por expansión. Gracias al gran alance y capacidad que tiene la tecnología WiMAX, es posible instalar varios equipos CPE cliente en una extensa área de cobertura.

- Conformidad con normas y estándares reconocidos

La tecnología WiMAX, como ya se ha comentado, está estandarizada por el IEEE. Sin embargo, las soluciones para mejorar el comportamiento del estándar en espacios abiertos para aplicaciones punto a multipunto, como TurboCell son propietarias. Pero soporta amplia convergencia con cualquier clase de servicios de telecomunicaciones.

2.4.7.2 Resumen de las variables de análisis.

En la siguiente tabla se resumen los resultados de las variables correspondientes a la tecnología de acceso WiMAX 802.16 organizadas por grupos.

CARÁCTERÍSTICAS TÉCNICAS			
VARIABLE	RESULTADO		
	- Alta capacidad, Si se usa modulación OFDM, es posible obtener hasta 256 portadoras (192 útiles debido a portadoras de guarda y DC). Si se usa OFDMA es posible contar con 2048		
CAPACIDAD	subportadoras (aproximadamente 1536 útiles), o si se desea se puede usar la modalidad de subcanales, y obtener hasta aproximadamente 60-70 subcanales con una portadora de 20MHz o hasta 30 subcanales con una portadora de 10MHz.		
VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN	La tasa de transmisión de la tecnología WiMAX alcanza velocidades de hasta 75Mbps usando el estándar 802.16-2004 y de hasta 30-40Mbps usando el estándar 802.16e. Clasificación: velocidad muy elevada (ambos estándares).		
BANDA DE FRECUENCIA	Las bandas de frecuencia más usadas en la tecnología WiMAX son de 2,3GHz, 2,5GHz, 3,5GHz y 5,8GHz. Actualmente se desarrollan equipos WiMAX que cubren rangos espectrales desde 2GHz hasta		

	66GHz, usando bandas licenciadas y no licenciadas. - Recomendable el uso de la banda de 2,3GHz para zonas rurales, debido a su mayor cobertura.	
SEGURIDAD	 Seguridad alta: Seguridad tanto en la capa de enlace de datos como en capa de red definida por los estándares IEEE y por RNM del foro WiMAX. 	
	Cada equipo tiene su solución de seguridad, WiMAX usa todas estas seguridades en todos los puntos de la red, tanto en la interacción Usuario-BS, como en el tráfico que se va a exponer en la red.	
INTERCONEXIÓN	Interconexión con otras redes WiMAX, otras LAN o MAN, redes públicas de datos e Internet.	
GESTIÓN A DISTANCIA	Posible mediante el acceso remoto a los nodos.	
MOVILIDAD	WiMAX presenta una alta movilidad, el estándar móvil presenta movilidad completa, soportando handover y velocidades de movilidad de 120km/h, por su parte 802.16-2004 presenta movilidad nómada, es decir movilidad en una área considerable.	
TERMINALES	La instalación de los dispositivos cliente requerirá un técnico medio en informática. En algunos casos, además será necesario un técnico medio en instalaciones electrotécnicas, para instalar antenas y torres. Diversidad de terminales: PC de escritorio y portátiles, PDA, y otros aparatos digitales. En general, el usuario tendrá un nivel de conocimientos medio o avanzado.	
	INFRAESTRUCTURA	
VARIABLE	RESULTADO	
FACILIDAD DE INSTALACIÓN	Terminales: técnico medio en informática. En la estación base se requerirá: - Técnico superior en informática. - Técnico medio en instalaciones electrotécnicas.	

FACILIDAD DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	Equipos de usuario: técnico medio en informática o incluso un usuario avanzado. Infraestructura de red: requiere pocas tareas de gestión y mantenimiento, que han de ser llevadas a cabo por técnicos medios y superiores en informática.	
	ENERGIA	
VARIABLE	RESULTADO	
CONSUMO DE ENERGÍA	 Equipamiento de usuario: muy bajo, poco significativo en comparación con el del computador que se necesita en cada emplazamiento (20 y 40 W para PC portátiles y entre 350 y 500 W para PC de escritorio). Infraestructura de red: bajo, normalmente 30W aproximadamente. 	
	COSTO	
VARIABLE	RESULTADO	
COSTO DE INFRAESTRUCTURA	A La inversión inicial es moderada. Los costes son de aproximadamente 3500 USD por los equipos de cada emplazamiento terminal y de 10000 aprox. por cada estación base, teniendo en cuenta que sirve a una área extensa y a una gran cantidad de usuarios.	
COSTO DURANTE LA VIDA ÚTIL	Costo de operación bajo: — Se requiere poco personal dedicado al mantenimiento pues las tareas son mínimas, y se pueden efectuar de manera remota.	
MODULARIDAD Y POSIBILIDAD DE MEJORA	La tecnología WiMAX posibilita ampliaciones de la red de manera fácil y rápida, gracias a su gran alcance y capacidad, presenta una gran escalabilidad.	
CONFORMIDAD CON NORMAS Y ESTÁNDARES RECONOCIDOS	Estandarizado por el IEEE.	

Tabla 52. Resumen de las variables de análisis de la tecnología 802.11 (Wi-Fi).

2.4.7.3 Conclusiones del análisis.

2.4.7.3.1 Ventajas e inconvenientes de la aplicación de WiMAX en zonas rurales aisladas.

Teniendo en cuenta las características de la tecnología WiMAX y las variables de estudio del análisis, se puede concluir que las principales ventajas que ofrece para su aplicación en zonas rurales, para la creación de redes WLL (que sería el tipo de aplicación que interesaría en estas regiones), son las siguientes:

- Facilidad de instalación de los equipos

Como ya se ha comentado, la instalación de los equipos a nivel del cliente es muy simple, incluso la mayoría de fabricantes adaptan sus equipos con el sistema "plug and play" de manera que es posible realizarlo a nivel del usuario; además las instalaciones en la estación base no son complejas, y pueden ser realizadas por técnicos superiores en informática y por técnicos medios eléctricos de forma correcta.

- Rápido despliegue y escalabilidad

La facilidad de instalación de los equipos terminales y de los nodos de la red, unido al reducido tamaño de todos los dispositivos, lo que simplifica en gran medida el traslado de los mismos, hace que el despliegue de la red pueda llevarse a cabo en poco tiempo, además de presentar gran escalabilidad en caso de aumentar nuevos equipos terminales.

- Alta movilidad, cobertura y capacidad

WiMAX presenta gran movilidad en ambos estándares, sin embargo el estándar más interesante para brindar servicios de Internet y telefonía a zonas rurales es el estándar 802.16-2004, que aunque, no es en su totalidad móvil, presenta movilidad tipo nómada, es decir es posible usar un dispositivo de manera móvil en las inmediaciones de un sitio o un edificio. Además gracias al uso de la modulación OFDM y OFDMA, es posible tener varios canales de comunicación, cientos de subportadoras, por ende gran capacidad de usuarios; esta capacidad dependerá de la velocidad que se otorgue a cada terminal, sin embargo es posible brindar servicio de Internet y telefonía a una gran cantidad de usuarios dentro de una extensa área geográfica.

- Velocidad de transmisión

Las velocidades de transmisión que ofrece la tecnología WiMAX son muy altas en ambos estándares, de hasta 75Mbps usando el estándar 802.16-2004 y de hasta 30-40

Mbps usando el estándar 802.16e. Son tasas de datos muy altas teniendo en cuenta que se serviría a poblaciones que posiblemente nunca han sido provistas de un servicio de Internet o telefónico.

- Línea de vista

El estándar WiMAX 802.16-2004 no requiere de visión directa entre las antenas que se comunican gracias a la modulación robusta OFDM. De esta manera existe mayor área de cobertura y es posible evitar el uso de torres para la colocación de las antenas; gracias a nuestra orografía, simplemente será necesario instalar la estación base en un cerro o montaña con una altura considerable para brindar un servicio eficiente.

Por otra parte, la aplicación de WiMAX para la realización de redes WLL, presenta los siguientes inconvenientes:

- Costos

Los costos por terminal no son altos debido a que son similares a los de otras tecnologías, sin embargo los costos de los equipos ubicados en la estación base son altos respecto a otras tecnologías, y si bien abarcan más usuarios y cubren un área geográfica más extensa, el incremento de usuarios en una red y la masificación del servicio implicaría la adquisición de otros equipos de gestión de red que son de mayor costo.

- Bandas de frecuencia

Si bien, la tecnología WiMAX presenta una gran variedad de bandas de frecuencia para su funcionamiento, la mayoría de ellas son licenciadas, lo que representa un costo adicional por concesión de frecuencias, y en el caso que se opte por el uso de una banda no licenciada, existe interferencia considerable, de manera que las tasas de datos y el servicio, se reduciría en calidad.

2.4.7.3.2 Conclusiones Finales.

La tecnología WiMAX, basada en el conjunto de estándares 802.16 del IEEE, posee varias características que hacen que pudiera ser apropiada para su aplicación en zonas rurales.

Su tecnología que ofrece unas prestaciones elevadas como su gran velocidad de transmisión y su gran alcance que posibilitarían la prestación de muchos servicios como la navegación por Internet a alta velocidad, la aplicación de correo electrónico y la transmisión de datos. Además, permite llevar a cabo comunicaciones de voz

mediante el protocolo VoIP, lo cual implica una dependencia del ordenador si no se instalan teléfonos VoIP adaptados en los terminales.

Al aplicar esta tecnología a WLL resulta un servicio muy interesante, pues las redes WLL suelen ser las que mejor se adaptan a las necesidades y circunstancias que se presentan en las zonas rurales, debido a su flexibilidad.

Asimismo, la inversión necesaria para la implementación de la red es muy baja, en comparación a otras tecnologías que su implementación es más compleja; además podría no ser necesario el uso de torres, reduciéndose el costo por implementación. El transporte de los equipos tampoco presenta grandes complicaciones.

Las bandas de frecuencia en las que funcionan los equipos WiMAX son muy variadas, dependiendo de la necesidad que se tenga, ya sea de mayor alcance o de mayor tasa de bits; sin embargo para lograr una red de servicios optima, lo idea fuera usar una banda de frecuencias licenciada, no obstante los costos de concesión también serían una brecha importante para la prestación de este servicio en zonas rurales.

Por consiguiente, para decidir si WiMAX es una tecnología idónea para la aplicación de este proyecto, es importante analizar específicamente el área a cubrirse o servir, así como el número de usuarios inicial, ya que de esta manera podremos saber que costos iniciales se asumirían y dependiendo del escenario, analizar si es una opción conveniente o no. En definitiva WiMAX es una opción muy interesante para esta aplicación, posee características similares a Wi-Fi pero con mejores prestaciones.

2.4.8 ANEXO: Estándares 802.16 del IEEE.

ESTANDAR	DESCRIPCION			
802.16.2-2004	Prácticas recomendadas para coexistencia (Mantenido y paquete acumulativo de 802.16.2-2001 y P802.16.2a)			
802.16k-2007	Puenteo en redes 802.16 (Una ampliación de IEEE 802.1D)			
802.16-2009	Interfaz aérea para acceso a un punto fijo de banda ancha (paquete acumulativo de 802.16-2004, 802.16-2004/Cor 1, 802.16e, 802.16f, 802.16g y P802.16i)			
802.16j-2009	Retransmisión multisalto			
802.16h-2010	Improved Coexistence Mechanisms for License- Exempt Operation			

	Interfaz aérea avanzada con tasa de transferencia de 100 Mbit/s móvil y 1 Gbit/s sobre punto fijo. También se conoce como Mobile WiMAX Release 2 o WirelessMAN-Advanced. Con el objetivo de cumplir con los requerimientos de ITU-R IMT-Advanced para sistemas 4G.
--	--

Tabla 53. Estándares 802.16 (WiMAX).

2.4.9 ANEXO: Fabricantes de equipos WiMAX.

A continuación, se adjunta un listado de fabricantes de equipos WiMAX con sus direcciones para localizar sus correspondientes páginas web, entre algunos de los fabricantes que forman parte, trabajan y participan tecnológicamente en el WiMAX Forum tenemos:

- Airspan Networks, consultar: http://www.airspan.com
- Alcatel-Lucent: http://www.alcatel.com/
- Alvarion: http://www.alvarion.com/
- Aperto Networks, consultar: http://www.apertonet.com
- BT: http://www.bt.com/
- Cisco, consultar: http://www.cisco.com
- Clearwire, consultar: http://www.clearwire.com
- Fujitsu: http://www.fujitsu.com/
- Huawei: http://www.huawei.com/
- KT: <http://www.kt.com/>
- Motorola, consultar: http://www.motorola.com
- Netkrom, consultar: http://www.netkrom.com
- Nextel, consultar: http://www.nextel.com
- Nokia: http://www.nokia.com/
- Samsung, consultar: http://www.samsung.com
- Sprint: http://www.sprint.com/
- ZTE: http://www.zte.com.cn/>

2.4.10 ANEXO: Información comercial de algunos equipos WiMAX.

En las páginas web citadas anteriormente podemos encontrar las especificaciones de cualquier equipo WiMAX; a continuación se muestran las especificaciones de CPE's IDU y ODU de la marca Alvarion.

SPECIFICATIONS				
Physical interface	Physical interface Networking features			
LAN 1x10/100 Base T-port		Device managen	WEB, TR-0,69	
		WAN	Static IP, DHCP, PPoE, L2TP and PPTP client pass throught VPN	
WIMAX features		Mechanica	al features	
Standart compliance 802.16-2004	IEEE	Dimensions (HxWxD) 210xx210x54		
	IEEE	Weight	1.25kg	
802.16-2005 wave-1		Power source 100-240VAC, 50-60Hz		
Duplex Mode	TDD/FDD	Standards and regulations		
Frequency bands		EMC	ETSI EN 301 489-1/4	
2.xGhz Mhz	2305-2360	RADIO	FCC PART 15 SUBPART 8 ETSI EN 301 021 V1.6.1	
	WCS		ETSI EN 301 753 V1.2.1	
2305-2315	2350-2360		FCC PART 2, FCC PART 15	
Mhz Mhz	2495-2960	FCC PART 90(3.65-3.7 Ghz BAND).		

3.xGhz	3300-3400		
Mhz			
Mhz	3400-3600 3600-3800	Safety 1(CE)	EN60950-
Mhz	3000-3000	1(US)	UL60950-
Channel bandwid	th 5.7(3.5Ghz	3260 Operating ter	AS/NZS
Modulation 16QAM, 64QAM	QPSK,	Humidity	5% to 95% no condensing (weather protected ODU)
Transmit power	19dBm		
	20dBm		
Antenna Type	embedded directional antenna		
Antenna gain 2.5Ghz 16.5dBi@3Ghz EAP-TTLS	14.5dBi@2.3 Authentication		
QOS UGS	BE, eRT,		

Tabla 54. Información característica de los equipos CPE IDU (arriba) / ODU (abajo) WiMAX de la marca Alvarion.

2.5 CDMA.

2.5.1 Introducción.

La tecnología CDMA (Code Division Multiple Access), aparece a mitad de los años 80, muchos investigadores observaron el potencial de una tecnología anteriormente utilizada en aplicaciones militares para también ser usada para comunicaciones celulares y comerciales. Este sistema fue considerado una alternativa a la tecnología existente FDMA y los sistemas TDMA, que se usaron durante esa época; CDMA fue la tecnología que incrementó potencialmente la capacidad en voz, comparado con los sistemas inalámbricos celulares de aquella época.

CDMA es una tecnología de espectro ensanchado (spread spectrum), que habilita a múltiples usuarios a ocupar el mismo canal o espectro de frecuencia al mismo tiempo. El espectro ensanchado consiste en distribuir la potencia de una señal en un ancho de banda mayor, esto se logra al agregarle una señal pseudo-aleatoria (PN, ortogonales entre sí) con velocidad de transmisión mayor, y se obtiene una señal con una densidad de potencia parecida al ruido; de esta manera todos los usuarios transmiten en el mismo ancho de banda simultáneamente, ocupando las mismas ubicaciones de tiempo y frecuencia. Las señales son separadas por el receptor usando la correlación (comparación de las señales pseudo-aleatorias) que acepta solo la energía de señales desde el canal deseado. Las señales no deseadas contribuyen solo al ruido, cualquier interferencia que una estación base de CDMA genere sobre otra, puede ser suprimida en el receptor; los códigos usados para el ensanchamiento son únicos para cada usuario, esta es la razón por la que un receptor, el cual conoce el código del transmisor, es capaz de seleccionar la señal deseada.

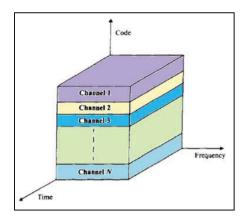


Figura 46. Acceso Múltiple por división de código (CDMA), a cada canal se asigna una secuencia PN. [9].

La correlación que sucede en la zona del receptor, no solo que recupera la señal, sino gracias a este sistema, la señal se recupera y con mayor amplitud, a este efecto se le conoce como ganancia de procesamiento, y es el parámetro clave que le da a CDMA la robustez característica, ya que gracias a este efecto, la relación energía de la señal/densidad de potencia de ruido (Eb/No) alcanza umbrales muy bajos.

La tecnología CDMA originalmente fue concebida para las comunicaciones móviles, sin embargo últimamente ha sido tomada en cuenta para tecnologías FWA (Fixed Wireless Access), dicha aproximación se profundizará en los siguientes apartados.

2.5.1.1 Estándares del CDMA.

A continuación se presentan los diferentes tipos de CDMA, en su orden de aparición:

- IS-95

IS-95 (Interium Standard 95 - "estándar interno 95") fue el primer sistema de telefonía celular en usar la tecnología CDMA con una velocidad de transmisión de datos de 14.4 Kbps. Sin embargo ante la creciente necesidad de envío de datos el sistema evolucionó surgiendo la versión IS-95B permitiendo una transmisión mediante paquetes a 64Kbps. Los operadores del sistema de IS-95B o también llamado CDMAOne han tratado de mejorar los servicios de voz y aplicaciones para poder migrar a la tecnología de tercera generación 3G.

- CDMA2000

CDMA2000 es un estándar de telecomunicaciones móviles de tercera generación (3G) que utiliza CDMA, un esquema de acceso múltiple para redes digitales, para enviar voz, datos, y señalización, que cubre las especificaciones establecidas por la IMT - 2000 (International Mobile Telecommunication, una categorización de red de la UIT).

El estándar CDMA2000 ha sido desarrollado de tal forma que sea compatible con los sistemas de banda angosta IS-95 y poder entonces mejorar los servicios de voz y proveer mayor capacidad al sistema, además de ofrecer servicios de transferencia de información con una velocidad de transmisión de 2Mbps.

- CDMA2000 1x

CDMA2000 1X utiliza una simple portadora de 1.25 MHz como IS-95. Sin embargo, usa un diferente vocoder (codificador de voz), permitiendo velocidades de datos más altas y más conversaciones de voz en comparación con CDMAOne.

CDMA2000 1X (IS-2000) fue reconocida por la Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU como un estándar IMT-2000 en noviembre de 1999.

El estándar CDMA2000 1X ofrece un incremento en la capacidad de voz, provee compatibilidad con todas las redes IP (Internet Protocol- Protocolo de Internet), opera en diferentes bandas, ofrece administración de Calidad de Servicio (QoS-Quality of Service), es compatible con versiones anteriores de CDMA.

Entre algunas mejoras que implementa CDMA2000 1X están la corrección rápida de errores, control de potencia del enlace ascendente y diversidad de transmisión.

- Capacidad de voz: Soporta hasta 120 llamadas de voz por 3 sectores de la BTS (Base Transceiver Station- Estación Base Transceptora) por un solo canal de 1.25MHz.
- Alta velocidad de datos: CDMA2000 1X versión 0 soporta velocidades de datos bidireccionales de hasta 153 Kbps. La versión 1 puede permitir velocidades de datos hasta 307 Kbps, en ambientes móviles usando canales simples de 1.25 MHz, permitiendo aplicaciones como mensajes multimedia, juegos y servicios de localización.

- CDMA 1xEV-D0

CDMA2000 1xEV-DO (1x Evolution-Data Optimized, originalmente 1x Evolution-Data Only), también llamado como 1xEV-DO, EV-DO, EVDO, o sólo DO, es una evolución de CDMA2000 1x con una alta velocidad de datos, donde el enlace de bajada (forward-link 4) es multiplexado mediante división de tiempo. Este estándar de interfaz 3G ha sido denominada IS-856.

CDMA2000 1xEV-DO en su posterior revisión (Rev. A), soporta una velocidad de datos en el enlace de bajada (forward link) de hasta 3,1 Mbps y una velocidad de datos en el enlace de subida (reverse link) de hasta 1,8 Mbps. Incorpora OFDM y convergencia "All IP".

En 2010 salió 1xEV-DO Rev B. el cual se basa en la Rev. A, sino combinando las tres portadoras de 1,25MHz para usar un ancho de banda de 5MHz denominado multicarrier, o multiportadora; logrando tasas de bajada de hasta 14,7Mbps.

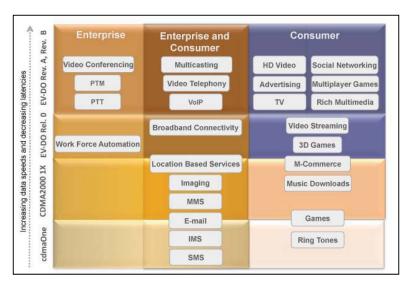


Figura 47. Servicios soportados por CDMA para empresas y suscriptores según evolución. [9].

- CDMA 1xEV-DV

CDMA2000 1xEV-DV (1x Evolution-Data and Voice), se centra en las funciones de datos y de voz en tiempo real, soporta una velocidad de datos en el enlace de bajada de hasta 3,1 Mbps y una velocidad de datos en el enlace de subida de hasta 1,8 Mbps. También puede soportar una operación concurrente con los usuarios de voz 1x, usuarios de datos 1x y usuarios de datos de alta velocidad 1xEV-DV en el mismo canal de radio. Usar este estándar, no implica un cambio de infraestructura en la red.

Todas estas evoluciones guardan compatibilidad con sus antecesores, cabe resaltar que EV-DO y EV-DV son estándares existentes simultáneos, no antecesor el uno respecto al otro, como se puede observar en la siguiente figura:

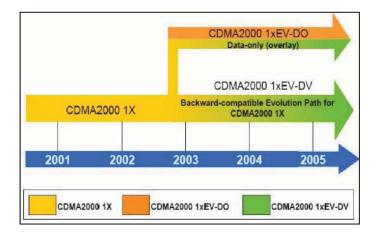


Figura 48. Evoluciones de CDMA 2000 1x. [9].

Los estándares los maneja la empresa 3GGP (Third Generation Paternship Project) cuyo objetivo es la estandarización y desarrollo de los sistemas de tercera generación móviles y de telecomunicaciones en general, 3GPP2 maneja los estándares directamente de CDMA 2000.

2.5.1.2 Áreas de aplicación de WLAN.

Las redes WLAN fueron diseñadas inicialmente para entornos empresariales. Pero en la actualidad existen una gran variedad de aplicaciones gracias a las mejoras tecnológicas en las redes de acceso; CDMA puede adaptarse a estos escenarios, brindando las siguientes aplicaciones tanto en tecnología móvil, como (últimamente) en tecnología fija:

- Internet: Es posible brindar internet en una red CDMA LAN o simplemente transmisión o recepción de datos.
- Telefonía: Los servicios de telefonía fija y móvil pueden ser brindados por CDMA y podría hacerse el acoplamiento con una red WLAN. Inclusive con las nuevas evoluciones de CDMA, es posible brindar VoIP.
- Es posible también usar la tecnología CDMA para la comunicación entre impresoras, faxes, pagers y cualquier dispositivo inalámbrico que cuente con el soporte de la tecnología CDMA.

La tecnología CDMA usada como un entorno de red local, aun esta en investigaciones, ya sea para encontrarle un mayor provecho (gracias a que últimamente, sus evoluciones cuentan con total convergencia IP), o simplemente para descartar esta tecnología para esta aplicación. Las investigaciones están siendo

realizadas por 3GPP2, UIT, CDG, ANSI, o por la empresa Qualcomm que es propietaria de algunas patentes en las que se basa CDMA.

Sin embargo, actualmente CDMA no ha sido explotada en un entorno WLAN, sino mayoritariamente en un entorno MAN, sin embargo las características de CDMA hacen que la aplicación más interesante sea en sistemas WLL o como tecnología de acceso (última milla) inalámbrica, lo cual se describirá en los siguientes apartados.

2.5.2 Características técnicas.

En el apartado 9.1 referente a la introducción, se hablo acerca del funcionamiento de la tecnología de CDMA haciendo referencia a la forma de transmisión de datos, usando una señal pseudo-aleatoria de mayor velocidad para así obtener el ensanchamiento en frecuencia de los datos; por este hecho se tiene una tecnología casi-inmune a la interferencia y por este hecho se mencionó que el reúso de frecuencia es de 1, es decir en todas las celdas CDMA se puede usar una misma frecuencia.

Además, en la sección 9.1, se mencionó el concepto de ganancia de procesamiento, uno de los parámetros más importantes de la tecnología CDMA.

Se han mencionado las características más importantes; a continuación, la Tabla 44. (Dejada en inglés a propósito para mantener el argot usado en inglés) describe otras características importantes, como variedad de ancho de banda de portadora, modulación, tasa de secuencia pseudo-aleatoria (chips), handover, tiempo de trama, entre otros.

Channel bandwidth	1.25, 5,10 and 20Mhz		
Download link channel RF	Direct spread o multicarrier		
structure			
Chip rate	1.2288/3.68647/7.3728/11.0593/14,7456		
	Mcps for direct spread nx 1.2288 Mcps		
	(n=1,3,6,9,12) for multicarrier		
Roll-off factor	Similar to IS-95		
Frame lenght	20ms for data and control/5ms for control		
	information on the fundamental and		
	dedicated control channel		
Spreading modulation	Balanced QPSK (downlink)		
	Dual channel QPSK (downlink)		
	Complex spreading circuit		
Data modulation	QPSK(downlink)		
	BPSK(uplink)		
Coherent detection	Pilot time-multiplexing with PC and		
	EIB(uplink)		

	Common continuous pilot channel and auxiliary pilot (downlink)
Channel multiplexing in uplink	Control, pilot, fundamental and supplemental code-multiplexed
	I&Q multiplexing for data and control channel
3.6.14	
Multirate	Variable spreading and multicode
Spreading factors	4-256
Power control	Open loop and fast closed loop (800Mhz higher rates under study)
Spreading (downlink)	Variable length Walsh sequences for channel sequence separation ,M-sequence 2 ¹⁵ (same sequence with time shift utilized in different cells, different sequences in I&Q channels)
Spreading (uplink)	Variable length orthogonal sequences for channel separation, M-sequence 2 ¹⁵ (same for all users, different sequences in I&Q channels)
Handover	Soft handover, Interfrequency handover

Tabla 55. Descripción de las características técnicas de CDMA. [9].

Hay parámetros como el alcance, o la banda de frecuencia utilizada, los cuales son muy importantes, y se describen, a continuación, en el siguiente apartado.

2.5.2.1 Bandas de frecuencia.

La tecnología CDMA opera en varias bandas de frecuencia, designadas por la UIT para los sistemas IMT-2000 (CDMA2000), las cuales son: 450 MHz, 700 MHz, 800 MHz, 1700 MHz, 1900 MHz, y la banda de 2100 MHz.

En la siguiente figura se pueden observar las bandas de frecuencia designadas por la UIT para la operación de sistemas IMT-2000 e IMT Avanzado:

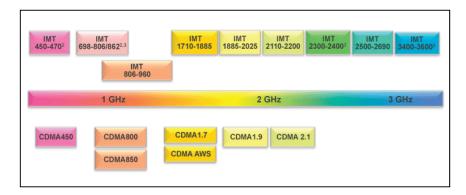


Figura 49. Bandas designadas por UIT para operación de sistemas IMT-2000 e IMT Avanzado. [9].

Debido a la amplia gama de diferencias entre bandas de frecuencia, el proveedor de servicio de telecomunicaciones, debe elegir la banda según el tipo de servicio a brindarse, a menor frecuencia, se tiene mayor cobertura geográfica pero una menor tasa de bits y viceversa.

Cabe recalcar que todas las frecuencias de operación para la tecnología CDMA son licenciadas, por ende se deben seguir los pasos que determine la SENATEL para el otorgamiento de dichas frecuencias.

En la siguiente figura podemos observar las bandas y subbandas de frecuencia otorgadas para CDMA2000, las subbandas de arriba son para uplink, y las subbandas de abajo son para downlink.

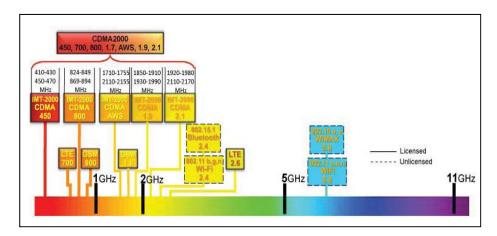


Figura 50. Bandas y subbandas para CDMA2000 y bandas para otras tecnologías. [9].

Para la brindar el servicio en zonas rurales, la banda de frecuencia más interesante es la de los 450MHz, debido a su gran cobertura y propagación (sin obstáculos de hasta 80km teóricamente), si bien el ancho de banda se disminuye, pero para estos casos, sería posible usar una técnica multiportadora CDMA y realizar una compensación al respecto.

Además en lugares donde no existe infraestructura alguna, es conveniente montar la menor cantidad posible de equipos, y con CDMA 450 las celdas son extensas y de esta manera se podrán colocar muy pocas BTS brindando servicios a varios usuarios.

En la Tabla 56, es posible observar la cobertura de una celda CDMA variando la frecuencia de operación.

Frecuencia [MHz]	Radio de la celda [Km]	Área de la celda [Km2]	Celdas necesarias para Área equivalente	
450	48.9	7521	1	
850	29.4	2712	2.8	
1900	13.3	553	13.6	
2500	10	312	24.1	

Tabla 56. Área de cobertura por celda CDMA y celdas necesarias para distintas frecuencias. [Ordoñez, Parra, 2011].

De esta manera puede observarse que el ahorro de infraestructura sería grande para la tecnología CDMA 450 que si se utilizarían otras frecuencias de operación CDMA.

2.5.2.2 Seguridad.

En los enlaces directo y reverso se utilizan las técnicas de esparcimiento y códigos pseudo-aleatorios, los cuales usan métodos de cifrado y algoritmos muy poderosos. La técnica de esparcimiento se usa para formar canales de códigos únicos para cada usuario en ambos enlaces guardando así una privacidad casi inalterable.

La seguridad de CDMA también se maneja a nivel de capa física en base a las tecnologías espectro ensanchado y el uso de códigos Walsh. La implementación de protocolos como TLS/SSL, WTLS e IPSec y la utilización de hardware hace posible cumplir con estos objetivos en una red, de esta manera la información tiene la respectiva seguridad del caso.

2.5.2.3 Métodos de transmisión.

A continuación se describirán dos técnicas de modulación de para poder transmitir la información usadas por la tecnología CDMA como son DS-CDMA (Direct Sequence-CDMA o también conocido como DSSS) y MC-CDMA (Multi-Carrier CDMA):

2.5.2.3.1 DS-CDMA.

En este tipo de modulación los símbolos son esparcidos dependiendo de la velocidad de transmisión, ocupando solo una portadora con un ancho de banda de N x 1.25 MHz.

El método DSSS expande la señal útil sobre todo el rango de frecuencias disponible en un canal. Esto se consigue mediante el cifrado, en el transmisor, de cada uno de los bits que componen la señal mediante una secuencia pseudoaleatoria (señal de chip), en el apartado 7.2.3.1, se profundiza la técnica DSSS.

2.5.2.3.2 MC-CDMA.

En esta modulación los símbolos son demultiplexados y transmitidos en señales separadas durante el enlace directo, utilizando N portadoras y cada una con un ancho de banda de 1.25 MHz.

MC-CDMA propaga cada símbolo de usuario en el dominio de la frecuencia. Es decir, cada símbolo de usuario es transportado a través de múltiples subportadoras paralelas, pero es desplazada de fase (típicamente 0 grados o 180) de acuerdo con el valor de código. Los valores de los códigos difieren por subportadora y por usuario. El receptor combina todas las señales de las subportadoras, pesando éstos para compensar diferentes intensidades de señal y anulando el cambio de código. El receptor puede separar las señales de diferentes usuarios, ya que estos tienen valores de código diferente

Puesto que cada símbolo de datos ocupa un ancho de banda mucho más ancha (en hertzios) que la velocidad de datos (en bits/s), una relación señal a ruido más interferencia menor a 0 es factible (si se define como potencia de la señal dividida por el ruido total más la potencia de interferencia en la banda entera de transmisión).

Una manera de interpretar MC-CDMA es considerarla como una CDMA de secuencia directa (DS-CDMA), la cual es transmitida después de que ha sido alimentada a través de una IFFT. MC-CDMA incorpora OFDM y OFDMA.

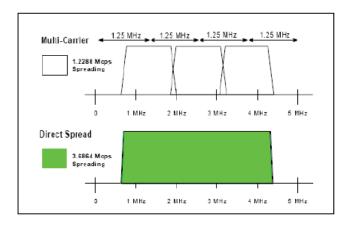


Figura 51. MC-CDMA y DS-CDMA. [9].

Un sistema Cdma2000 con N=1 es totalmente compatible con los sistemas IS-95, pudiendo utilizar ambos sistemas con los mismos canales para el enlace directo al ser requerido el mismo ancho de banda.

2.5.3 Configuración funcional.

CDMA interactúa con los terminales móviles mediante una configuración punto a multipunto (PTMP), de esta manera, cada una de las estaciones base establece conexiones con varios terminales que pueden estar ubicados a varios kilómetros de dicha estación base, cabe recalcar que los terminales no necesitan tener línea de vista LOS, por lo que las estaciones base, podrían ser ubicadas en un cerro o en torres de pequeña altura según la orografía de la zona a servir.

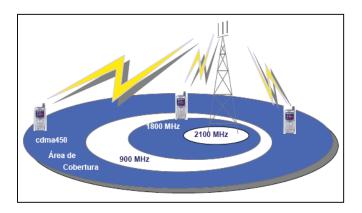


Figura 52. Configuración CDMA PTMP, y su correspondiente área de cobertura según la frecuencia de operación. [9].

Al igual que en otras tecnologías de acceso inalámbricas, en CDMA es posible utilizar una configuración punto a punto (PTP) para la interconexión entre las estaciones base y los controladores BSC (Base Station Controller), o simplemente como red de transporte para la interconexión entre el nodo ubicado en la zona rural y el nodo central. Aunque estos enlaces se realizan en bandas no licenciadas y son enlaces microonda punto a punto (generalmente en la banda de 5.8GHz).

CDMA permite también una configuración terrenal-satelital, pero es más usado en tecnología totalmente móvil, saliendo de contexto con los servicios a zonas rurales.

- Arquitectura de CDMA

El modelo básico de la arquitectura de una red CDMA está compuesto de:

- Mobile Station (MS): es el terminal final o de usuario, consta de un número de serie electrónico (ESN) y un número de identificación móvil (MIN).
- Base Station (BS): es la parte de la red que determina el área de cobertura y proporciona el enlace hacia las MSs.
- Base Station Controller(BSC): controla a un grupo de BSs.
- Switchting Center and Control (SCC): es el punto de la red CDMA que permite operaciones de interfaz con la red pública (PSTN, RDSI) y otras SCCs. El SCC consta de dos subbloques:
 - Home Location Register(HLR): es una base de datos que posee la información de los usuarios propios de la red CDMA.
 - Visitor Location Register (VLR): es una base de datos que posee la información de los usuarios externos a la red CDMA.

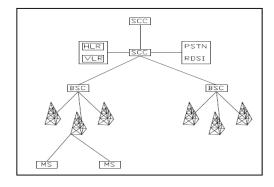


Figura 53. Arquitectura básica CDMA. [9].

2.5.4 Aplicaciones en exteriores, bucle de abonado inalámbrico, WLL.

Las tecnologías IMT-2000 están pensadas para suministrar servicios de telecomunicaciones móviles, aunque también aportan alternativas eficaces y rentables a las tecnologías por cable y de banda ancha fijas.

La utilización de los sistemas WLL basados en IMT-2000 (CDMA2000) permite a los operadores reducir sustancialmente las inversiones iniciales necesarias para instalar una red WLL utilizando la mayoría de los componentes de red normalizados que constituyen una red móvil. Esto viene a sumarse a la elevada eficacia y compatibilidad espectral de las tecnologías IMT-2000. El operador tiene la opción de complementar su red móvil actual para suministrar servicios WLL o construir un sistema WLL totalmente nuevo.

A continuación se mencionan las características de usar WLL basado en CDMA:

- Permite una sólida evolución hacia un sistema de red totalmente IP utilizando las arquitecturas de dominio de multimedios (MMD) y/o subsistemas multimedios IP (IMS).
- Aporta servicios simultáneos de voz y de datos de alta velocidad. 3 M/bits en DL y 1,8 Mbit/s en UL, utilizando CDMA2000-1X EV-DO.
- Arquitectura centralizada: Aporta importantes beneficios con agrupamiento de codificadores vocales, selección de trama y algoritmos de control de potencia.
- Permite combinar redes de CDMA-1X y portadora 1X-EV.
- Proporciona características de llamada de cliente y tasas de facturación especiales para ciertos grupos de usuarios o usuarios individuales en ubicaciones geográficas predefinidas: Facturación común y atención al cliente.
- La funcionalidad durante la comunicación (OTAF) y las características de soporte lógico permiten una reconfiguración de las redes de forma sencilla y flexible.
- Servicios basados en la ubicación: Planes múltiples de tasas de abonados, servicios estructurados en niveles, más ingresos por abonado.
- Proporciona servicios IP basados en la posición y cifrado de flujo de paquetes.
- Responde a los requisitos más estrictos en materia de reglamentación debido a la proliferación de servicios.

El sistema WLL basado en CDMA2000 admite muchos tipos de aplicaciones. Los operadores pueden asociarse con los actuales proveedores de servicios radioeléctricos, como proveedores de televisión por cable, compañías eléctricas y/o con proveedores de servicios inalámbricos y ofrecer variadas aplicaciones, como telefonía fija, servicios de valor agregado inalámbricos, VoIP, integración de dispositivos de comunicación móvil, PTT, TV móvil, etc. Y en el futuro se tiene previsto implementar identificadores de red (diferenciar un terminal fijo de un móvil, por motivos de facturación, identificación, etc.), atención al cliente, etc.

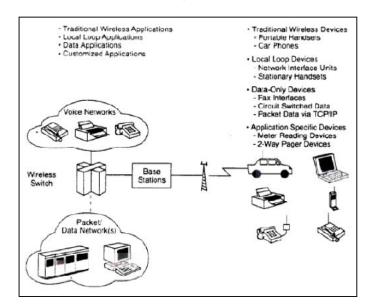


Figura 54. Sistema WLL basado en CDMA. [9].

Si bien estas aplicaciones pueden ser admitidas en la misma plataforma de red e informática, será necesaria la utilización de dispositivos de bolsillo especiales. Estos servicios WLL pueden funcionar en todas las bandas en las que opera el sistema CDMA2000, por ejemplo, de 450MHz, de 800 MHz, de 1900 MHz, etc.

2.5.5 Descripción de los equipos.

A continuación se describirán los equipos necesarios para el despliegue de una típica red de acceso CDMA 450, por ende se citarán solo los equipos indispensables, es decir los terminales (que incluyen antena receptora en la tecnología CDMA), y el equipamiento necesario para las estaciones base.

2.5.5.1 Terminales CDMA

Dado que CDMA 450 es una tecnología que no ha llegado a su punto de madurez y se encuentra creciente, entonces no hay una variedad importante de terminales, además la mayoría están enfocados únicamente en servicios de voz.

El terminal ya tiene su antena receptora incorporada y dado que no necesita LOS ofrece una movilidad importante. También existen terminales CDMA USB, los cuales resultan prácticos ofreciendo servicios completos con la asistencia de un ordenador, a un costo de 100 dólares aproximadamente.

En la Figura 55, podemos observar el CPE CDMA de la marca Ewing Technology Co. El cual es bastante novedoso, debido a que ofrece servicio de voz y fax (RJ-11), posee un indicador LCD usado en llamadas de voz, además ofrece servicio de datos mediante la tecnología 1x-EVDO.



Figura 55. Terminal CDMA 450 fabricado por Ewing Technology Co. [7].

2.5.1.1 Precio y características de terminales CDMA

En la siguiente tabla se enuncian características breves de tres terminales CDMA con su respectivo precio:

Marca/Modelo	Servicios	Bandas de operación	Soporta EV-DO	Velocidad pico	Precio (USD)
Ewing T-2	Voz e Internet	A,C	Si	3,1 Mbps	190
Huawei ETS1000	Voz e Internet	A,C, F	Si	153 kbps	140
ZTE WP560	Voz	A, B, C, F	No	n/d	175

Tabla 57. Características y precio de los terminales fijos CDMA 450.

2.5.5.2 Equipos ubicados en la BS.

Los equipos ubicados en esta zona son la estación base como tal, las antenas para las celdas (sectoriales u omnidireccionales), y las antenas para enlaces microonda (conexión a BSC, núcleo de red, etc.)

- Estación base

La estación base es utilizada para transmitir y recibir señales de radio e implementar la comunicación entre la red y la estación móvil. Se encuentra bajo el control de la BSC, puede cubrir una celda o varios sectores lógicos.

La estación base Huawei BTS3606, que se muestra en la figura 56, cuenta con gran capacidad, tamaño compacto, fácil instalación, soporta EV-DO y variedad de codecs, opera en todas las bandas de frecuencia CDMA (no solo en 450MHz) y proporciona gran cobertura.



Figura 56. Estación base CDMA Huawei BTS3606. [7].

Para controlar y gestionar la información que transmiten y reciben las estaciones base, es necesario un equipo controlador de estaciones base (BSC. No se pone énfasis, debido a que los proveedores de telefonía e/o Internet los poseen, además son equipos muy costosos que cuestan entre 100.000 USD y 3'000.000 USD, el costo de estos equipos varía según la capacidad siendo entre 12.000 hasta 60.000 Erlangs. Estos datos han sido extraídos de los fabricantes Huawei y ZTE.

- Antenas 450MHz

A continuación, en la figura 57, se presentan dos antenas que funcionan en la banda de 450 MHz, tipo omnidireccional y sectorial, el uso de una u otra antena depende del diseño de red.



Figura 57. Antenas CDMA 450 marca Andrew (izq: sectorial, der: omnidireccional). [7].

Estas antenas son de mayor tamaño respecto a cualquier otra antena de diferente tecnología CDMA debido a que operan en una frecuencia baja respecto a la de otras tecnologías, además los precios son ligeramente más altos.

- Antenas Microonda

Como se mencionó anteriormente, se utilizan antenas y enlaces microonda (Generalmente 5,8GHz o cualquier otra banda no licenciada) para la comunicación entre nodos, o para el backhaul de una estación base. Si bien hay equipos para procesar la señal antes de la transmisión/recepción, las estaciones base de gran capacidad también incorporan esos servicios, por lo cual no se analizarán el resto de equipos.

Dado que se separan grandes distancias y que se usan en enlaces punto a punto, es necesario que manejen altas ganancias, en la siguiente figura se muestran dos antenas de microonda usadas comúnmente.



Figura 58. Antenas microonda Andrew (izq: parabólica, der: parabólica/rejilla). [6].

2.5.5.2.1 Precios y características de equipos ubicados en la BS.

- Estación base

En la siguiente tabla, podemos apreciar algunas características de tres estaciones base con su respectivo costo:

	Marca/Modelo Estaciones Base		
Características	HUAWEI 3606	HUAWEI 3606A	ZTE ZXC10- BTSb
Ptx [dBm]	47,8	47,8	42,5
Sensibilidad [dBm]	-127	-127	-125
Capacidad/BTS [Erlang]	2268	2268	3024
Sector / Portadora	3	3	12
Bandas de Operación [MHz]	450-800- 1900	450-800-1900	450
Precio (USD)	60.000	65.000	64.000

Tabla 58. Características y precio de las estaciones base CDMA 450.

- Antenas 450MHz

En la siguiente tabla se han presentado las características y el precio de dos antenas marca Andrew, de diferentes tipos, según el diseño de la red:

	Marca/Modelo de la antena		
Características	Andrew DB640NS- C	Andrew DB654DG65A-C	
Tipo de Antena	Omnidireccional	Panel, Dual polariz.	
Frecuencia de Operación [MHz]	450–482	410 – 512	
Ganancia [dBi]	12.1	15	
Polarización	Vertical	±45°	
Impedancia [Ω]	50	50	
Peso	27.2Kg / 60.0 lb	19.1Kg / 42 lb	
Largo [m]	7.26	1.98	
Precio (USD)	990	1600	

Tabla 59. Características y precio de antenas CDMA 450.

- Antenas Microonda

Las características y el precio de las antenas microonda usadas para los enlaces se presentan en la siguiente tabla:

	Marca/Modelo de la antena		
Características	ANDREW PL6-57W- D7A	Global Connectivity HG5827G	
Tipo de Antena	Parabólica	Rejilla	
Frecuencia de Operación	5.725 – 6.425 GHz	5.725 – 6.425 GHz	
Diámetro [m]	3	3,7	
Ganancia [dBi]	38,5	27	
Polarización	Simple	Vertical y Horizontal	
Impedancia [Ω]	50	50	
Peso	356 kg 785 lb	245 kg 540 lb	
Precio (USD)	750	140	

Tabla 60. Características y precio de antenas de microonda.

2.5.6 Regulación.

En el Ecuador, la banda de 450-470 MHz, estaba siendo utilizada por sistemas de radios de dos vías, tanto de uso privado como de explotación (Sistemas Comunales),

con separación entre Tx y Rx de 5 MHz en los subrangos 450-460 MHz y de 460-470 MHz.

Sin embargo, el desarrollo tecnológico en esta banda de frecuencia, con tecnologías como la de CDMA 450 permite brindar servicios de telecomunicaciones en áreas extensas y con menor densidad poblacional con menor inversión de infraestructura Radiobases (BTS). Motivo por el cual luego de un análisis de ocupación de los sistemas existentes a nivel nacional se escogieron las bandas de 452.500 – 457.475 MHz y 462.500 – 467.475 MHz (parte de la banda A-A' de CDMA 450, para todo el territorio nacional y 479.000 – 483.480 MHz y 489.000 – 492.975 MHz (parte de la banda F-F' de CDMA 450) para el cantón Cuenca, para que operen sistemas FWA (Fixed Wireless Access). Como es posible observar en la tabla 61.

Esto fue posible debido a las resoluciones emitidas por el Consejo Nacional de Telecomunicaciones durante los años 2008, 2010 y 2011, mediante las cuales el CONATEL realizó la modificación de la Nota EQA 60 del Plan Nacional de Frecuencias, a fin de que se pueda operar sistemas FWA en todo el rango de las frecuencias 452.500 – 457.475 MHz y 462.500 – 467.475 MHz, es decir la totalidad de la banda A-A' de CDMA 450, con el objeto de comercializar líneas telefónicas y puertos de Internet, con acceso inalámbrico con énfasis en zonas rurales.

En el Ecuador existen dos empresas que poseen autorización para la operación de la tecnología CDMA 450 y así brindar servicios de telefonía fija e Internet con acceso inalámbrico, las cuales son CNT E.P. (ex Andinatel y Pacifictel S.A.) y ETAPA E.P.

Cabe recalcar que todas las bandas de frecuencia en las que opera la tecnología CDMA son licenciadas y por lo tanto se tiene que hacer una concesión por parte de la SENATEL.

2.5.7 Análisis del sistema CDMA.

2.5.7.1 Estudio de las variables de análisis.

2.5.7.1.1 Características técnicas del sistema.

- Capacidad

Teóricamente CDMA admite una capacidad de voz por encima de los 100 Erlangs, además posee una gran capacidad de canales, cada celda soporta alrededor de 64 canales por portadora, posteriormente con las evoluciones 1xEV-DO, ha aumentado la capacidad alrededor de 20 canales más.

Sin embargo con las técnicas multiportadora (aumento de la portadora a 5, 10, 20MHz), la capacidad aumenta aún más, según el ancho de banda de la portadora utilizado.

- Velocidad de bit

Existen variadas tasas de transmisión de la tecnología CDMA, las ultimas evoluciones teóricamente soportan velocidades de hasta 14.7Mbps, no obstante, las bandas licitadas para utilizar la tecnología CDMA 450 no permiten usar técnicas multiportadora, entonces para portadora simple, las tasas de transmisión son de 3.1 Mbps de bajada y de 1.8Mbps de subida, con el estándar 1xEV-DO Rev. A, el más adecuado para la utilización en zonas rurales, en la banda de 450MHz.

- Banda de frecuencia

La tecnología CDMA opera en varias bandas de frecuencia, designadas por la UIT para los sistemas IMT-2000, las cuales son: 450 MHz, 700 MHz, 800 MHz, 1700 MHz, 1900 MHz, y la banda de 2100 MHz; cuyas sub-bandas se pueden apreciar con detalle en el apartado **2.5**.2.1.

Sin embargo, en la República del Ecuador se escogieron las siguientes bandas para la ocupación de esta tecnología:

BANDAS FRECUENCIA CDMA 450 USADAS EN ECUADOR		
	RANGO USADO	
	479.000 – 483.480 MHz y 489.000 – 492.975 MHz (cantón	
BANDA F-F'	Cuenca)	
	452.500 – 454.400 MHz y 462.500 – 464.400 MHz (Todo el	
BANDA A-A'	territorio nacional)	

Tabla 61. Bandas de Frecuencia CDMA 450 usadas en Ecuador.

- Seguridad de las comunicaciones

En los enlaces directo y reverso se utilizan las técnicas de esparcimiento y códigos pseudo-aleatorios, los cuales usan métodos de cifrado y algoritmos muy poderosos. La técnica de ensanchamiento se usa para formar canales de códigos únicos para cada usuario en ambos enlaces guardando así una privacidad casi inalterable.

La seguridad de CDMA también se maneja a nivel de capa física en base a las tecnologías espectro ensanchado y el uso de códigos Walsh. La implementación de protocolos como TLS/SSL, WTLS e IPSec y la utilización de hardware hace posible cumplir con estos objetivos en una red, de esta manera la información tiene la

respectiva seguridad del caso. Los estándares de seguridad están especificados con detalle en la página web de 3GPP.

- Posibilidades de interconexión con otras redes

CDMA presenta total interacción con cualquier tipo de red, como es una tecnología de acceso (FWA), es posible la interacción con redes LAN o MAN, redes públicas de datos e Internet.

En zonas rurales el mayor atractivo es la interconexión con Internet debido a que permite el soporte de los servicios necesarios de correo electrónico, navegación web y telefonía sobre el protocolo IP.

Cabe recalcar que las ultimas evoluciones de CDMA presentan un entorno "All IP", es decir total convergencia y flexibilidad con el protocolo IP.

- Movilidad

Dado que CDMA fue concebida inicialmente como una tecnología móvil, sus terminales presentan total movilidad, sin embargo al ser utilizada como una tecnología de acceso fija, sus terminales presentan movilidad alrededor de la cobertura de sus celdas, siempre y cuando el ISP gestione dicha limitación. De esta manera la posibilidad de "handoff" (interacción del terminal entre celdas) desaparecería, pudiendo el usuario usar sus terminales solo dentro del área de cobertura de las celdas, es decir, una especie de movilidad "nómada".

- Posibilidad de gestionar la red a distancia

Las estaciones base avanzadas permiten, entre sus múltiples características, la gestión de ciertos parámetros a distancia, mediante alguno de los sistemas que existen para acceso remoto (vía web, snmp, telnet, software propietarios, etc.). En cualquier caso, las tareas de gestión se limitan al cambio de modos y parámetros básicos de la red, etc. Según las posibilidades que brinde el software de la estación base.

- Terminales

Se analizaron los terminales en el apartado 2.5.5, teniendo en cuenta que aún no hay una gran variedad de equipos (tecnología CDMA450), los terminales que se requieren para este estudio, son los que cuentan con capacidades para servicios de voz y datos, los cuales cuentan con una antena receptora incorporada y con baterías, brindando así la posibilidad de estar en un ambiente móvil. Existen también terminales que son módems USB.

Dado a las características citadas anteriormente, su conexión y uso es de fácil interacción y predicción, por lo tanto la dificultad de uso de los terminales de esta tecnología es la propia de este tipo de sistemas, es decir será el correspondiente al de la categoría de usuario medio (preferiblemente avanzado), de la clasificación expuesta en la explicación de esta variable, en la Tabla 2.

2.5.7.1.2 Infraestructura.

- Facilidad de instalación

Como ya se ha comentado en el anterior inciso, la instalación de los equipos terminales es muy sencilla (e incluso intuitiva) y puede ser llevada a cabo por técnicos medios eléctricos o informáticos.

Sin embargo, la instalación del resto de elementos que forman la red requiere personal con conocimientos de informática y redes de ordenadores, en general, y experiencia en el montaje de redes de radio. Por ello, pueden ser necesarios técnicos superiores en informática, además de los técnicos medios eléctricos.

El transporte de los equipos, al igual que WiMAX, no es un aspecto complicado; por otra parte, en redes desplegadas en zonas rurales, las antenas usadas serán NLOS (sin línea de vista) respecto a los terminales, por ende es posible utilizar infraestructuras diferentes a torres o torres de pequeña o mediana altura, abaratando costos respecto a otras tecnologías.

- Facilidad de operación y mantenimiento

La operación y el mantenimiento de los equipos que incorporan los dispositivos cliente CDMA 450, es el propio de este tipo de sistemas, de esta manera requerirá profesionales con un nivel de conocimientos equivalentes a los de un técnico medio en informática. El mantenimiento puede ser por parte de los usuarios, si tienen un conocimiento avanzado según la clasificación de la Tabla 1.

Por su parte, la operación y el mantenimiento de las BS de la red, han de ser llevados a cabo por técnicos medios y superiores en informática. En cualquier caso, no serán necesarias muchas personas dedicadas al mantenimiento, salvo que la red sea muy grande, además hay tareas que es posible realizarlas de manera remota.

2.5.7.1.3 Energía.

- Nivel de consumo de energía

El nivel de consumo de energía de los distintos dispositivos que forman una red CDMA 450 se puede considerar como bajo. El consumo por tipo de dispositivo se comenta a continuación:

- Dispositivos cliente: La mayoría de dispositivos consumen en el orden de los 10-20W, además de contar con baterías recargables, por su parte la interfaz USB presenta un consumo en el orden de los mW.
- Antenas: Su consumo depende de la potencia que se brinde, o del sector que se desee servir, aproximadamente de 20-60 W, según el diseño de la red, pero el consumo de las antenas, así como de la BS (3000W aproximadamente) cuentan con un banco de baterías para su consumo.

El consumo de los terminales, es decir de las computadoras es de aproximadamente 20 y 40 W para PC portátiles y entre 350 y 500 W para PC de escritorio.

2.5.7.1.4 Costo.

- Costo de infraestructura

El costo inicial de instalación de una red de acceso CDMA 450 se puede considerar como medio, teniendo en cuenta las prestaciones que proporcionan este tipo de redes y el costo de otros sistemas que ofrecen servicios similares. Para obtener un valor referencial, se pueden considerar los siguientes costos suponiendo que la red que se monta es de WLL (no se consideran costos de las torres, ni de repetidores o amplificadores de señal), recalcando que para zonas rurales, se usa la tecnología CDMA 450.

- Equipo terminal: Suponiendo que en cada emplazamiento únicamente se conecta un ordenador a la red; el costo de los equipos terminales en este caso sería el mostrado en la Tabla 62. Se utilizan ordenadores portátiles debido a que presentan un consumo de energía mucho menor que los de escritorio. El sistema de energía solar incluido en el equipamiento, está dimensionado para proporcionar energía al ordenador, equipado con el dispositivo cliente, y a dos luminarias.

Equipo	Costo (USD)
Computadora portátil	1800
Terminal CDMA 450	180
Sistema de energía solar	1000
TOTAL	2980

Tabla 62. Costo de equipos terminales por suscriptor.

- Nodo Conexión (Base Station): El costo de los dispositivos en la estación base se muestran en la Tabla 63. Se considerará el servicio a un sector, y una antena omnidireccional. Debido a que los dispositivos terminales no funcionan con LOS, y que la tecnología CDMA 450 brinda un gran alance, posiblemente no se necesiten repetidores ni amplificadores de señal. Además se incluye un sistema de energía solar, dimensionado para los equipos necesarios.

Equipo	Costo (USD)
Estación base CDMA	60.000
Cable para conexión de antena (10 m) con conectores incorporados	54
Protector contra rayos	30
Cable con conectores (del amplificador a la antena)	12
Antena directiva	990
Antena microonda	140
Sistema de energía solar	1600
TOTAL	62.826

Tabla 63. Costo de equipos ubicados en la estación base.

Con estos datos, se puede calcular el costo aproximado para el despliegue de una red de acceso CDMA 450.

- Costo durante la vida útil

El costo durante la vida útil de la red incluirá los siguientes conceptos:

- Costos debido a la conexión a Internet en los nodos con conexión.
- Costo del personal dedicado a la operación de la red y su mantenimiento.

• Costo del mantenimiento de los emplazamientos (alquileres, energía eléctrica si tiene acceso a la red, etc.)

El costo de operación de una red de acceso CDMA 450 se puede considerar como bajo, debido a que las tareas de gestión y mantenimiento de la red son mínimas (cambio de parámetros en los nodos, autorización de direcciones, etc.), además tampoco se necesita alquilar una gran cantidad de terreno para los emplazamientos puesto que las instalaciones de los nodos ocupan un espacio pequeño, pudiendo incluso situarse en los emplazamientos de alguno de los terminales; aunque las antenas, debido a su frecuencia de operación, son grandes.

- Modularidad y posibilidad de mejora gradual

La tecnología CDMA 450 posibilita ampliaciones de la red posteriores a la instalación de la misma, fáciles y rápidas. Aunque no se necesita mucho equipamiento para cubrir una zona rural gracias al alcance que ofrece esta tecnología.

Si la cantidad de usuarios aumenta, es sencillo el despliegue de otra estación base, sin embargo, por motivos de costos, habría que analizar otras soluciones para aumentar la capacidad.

- Conformidad con normas y estándares reconocidos

La tecnología CDMA cuenta con varias entidades que certifican, e incluso que norman su operación, por una parte está la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), así como la 3GPP la cual se encarga de la estandarización de esta tecnología junto con ANSI, y también Qualcomm, quién es la propietaria de varias patentes sobre las cuales se basa CDMA.

2.5.7.2 Resumen de las variables de análisis.

En la siguiente tabla se resumen los resultados de las variables correspondientes a la tecnología CDMA organizadas por grupos.

CARÁCTERÍSTICAS TÉCNICAS			
VARIABLE	RESULTADO		
CAPACIDAD	Alta capacidad: soporta alrededor de 64 canales por portadora, posteriormente con las evoluciones 1xEV-DO, ha aumentado la capacidad alrededor de 20 canales más. La capacidad puede ser aún más alta si se usan técnicas multiportadora.		

VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN	La tasa de transmisión de la tecnología CDMA es de 3.1Mbps UL y 1.8Mbps DL usando la tecnología 1xEV-DO Rev. A con portadora simple. Clasificación: velocidad muy elevada.
	La tecnología CDMA opera en las bandas de 450 MHz, 700 MHz, 800 MHz, 1700 MHz, 1900 MHz, y la banda de 2100 MHz. Sin embargo, en la República del Ecuador
BANDA DE	se escogieron las siguientes bandas para la ocupación de esta tecnología:
FRECUENCIA	- Parte de la banda F-F' de CDMA 450 comprendida en los rangos 479.000 – 483.480 MHz y 489.000 – 492.975 MHz (cantón Cuenca) Parte de la banda A-A' de CDMA 450 comprendida en los rangos 452.500 – 454.400 MHz y 462.500 – 464.400 MHz (Todo el territorio nacional).
SEGURIDAD	 Seguridad alta: En UL y DL se utilizan las técnicas de esparcimiento y códigos pseudo-aleatorios, los cuales usan métodos de cifrado y algoritmos muy poderosos.
	En capa física se usan los códigos Walsh, además se pueden implementar protocolos como TLS/SSL, WTLS e IPSec.
INTERCONEXIÓN	Interconexión con otras redes CDMA, otras LAN o MAN, redes públicas de datos e Internet. Entorno "All IP".
GESTIÓN A DISTANCIA	Posible mediante el acceso remoto a los nodos.

MOVILIDAD	CDMA es una tecnología móvil, sin embargo cuando se usa como FWA (CDMA 450), es posible obtener movilidad sólo dentro de la celda de cobertura.
TERMINALES	 La instalación de los dispositivos cliente requerirá un técnico medio en informática. Para CDMA 450 los terminales interactúan con un ordenador (datos) o un teléfono (voz).
INFR	AESTRUCTURA
VARIABLE	RESULTADO
FACILIDAD DE INSTALACIÓN	Terminales: técnico medio en informática. En la estación base se requerirá: - Técnico superior en informática. - Técnico medio en instalaciones electrotécnicas.
FACILIDAD DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	Equipos de usuario: técnico medio en informática o incluso un usuario avanzado. Infraestructura de red: requiere pocas tareas de gestión y mantenimiento, que han de ser llevadas a cabo por técnicos medios y superiores en informática.
	ENERGIA
VARIABLE	RESULTADO
CONSUMO DE ENERGÍA	 Equipamiento de usuario: muy bajo, poco significativo en comparación con el de la computadora que se necesita en cada emplazamiento (20 y 40 W para PC portátiles y entre 350 y 500 W para PC de escritorio). Infraestructura de red: soportada por bancos de baterías o por sistema de energía solar.

	COSTO
VARIABLE	RESULTADO
COSTO DE INFRAESTRUCTURA	La inversión inicial es moderada/alta. Los costes son de aproximadamente 2900 USD por los equipos de cada emplazamiento terminal y de 60.000 USD aprox. por cada estación base, teniendo en cuenta que sirve a una área extensa y a una gran cantidad de usuarios.
COSTO DURANTE LA VIDA ÚTIL	Coste de operación bajo: — Se requiere poco personal dedicado al mantenimiento pues las tareas son mínimas, y algunas se pueden efectuar de manera remota.
MODULARIDAD Y POSIBILIDAD DE MEJORA	La tecnología CDMA 450 posibilita ampliaciones de la red de manera fácil y rápida, gracias a su gran alcance y capacidad, presenta una gran escalabilidad.
CONFORMIDAD CON NORMAS Y ESTÁNDARES RECONOCIDOS	Estandarizado por el 3GPP2.

Tabla 64. Resumen de las variables de análisis de la tecnología CDMA.

2.5.7.3 Conclusiones del análisis.

2.5.7.3.1 Ventajas e inconvenientes de la aplicación de CDMA 450 en zonas rurales aisladas.

Analizando las variables expuestas en el anterior inciso, las ventajas de aplicación de la tecnología CDMA 450 en zonas rurales, para la creación de redes WLL (que sería el tipo de aplicación que interesaría en estas regiones), son las siguientes:

- Rápido despliegue y escalabilidad

Al igual que WiMAX, CDMA posee una alta escalabilidad, además posibilidad y facilidad para ampliación de la redes; gracias a su elevado alcance, es posible cubrir una determinada zona rural y brindar servicios a toda la población. En caso de crecimiento de la misma, habría que analizar si resulta más conveniente agregar una

nueva estación base para servicio, o adoptar otro estándar como la técnica multiportadora de CDMA.

- Facilidad de instalación de los equipos

La instalación de los equipos a nivel del cliente es muy simple, incluso puede realizarse de manera intuitiva, por lo que el mismo usuario podría instalarlos; además las instalaciones en la estación base no son complejas, y pueden ser realizadas por técnicos superiores en informática y por técnicos medios eléctricos de forma correcta.

- Alta movilidad, cobertura y capacidad

CDMA presenta gran movilidad teniendo en cuenta que fue concebida como una tecnología móvil, si bien CDMA 450 está pensada para brindar servicios fijos de acceso (FWA), es posible movilizar los terminales en sus celdas de gran alcance, gracias a que maneja una frecuencia baja respecto a otras tecnologías, incluso su área de cobertura es un 40% mayor a la que brinda WiMAX.

Su capacidad también es alta, pudiendo manejar hasta 80 canales de voz y datos con una sola portadora; si se adoptan las técnicas multiportadora, esta capacidad aumentaría en proporción al ancho de banda de portadora usado.

- Velocidad de transmisión

Las velocidades de transmisión que ofrece la tecnología CDMA con portadora simple (EV-DO) son de 3.1Mbps DL y de 1.8Mbps UL, las cuales son altas teniendo en cuenta que se va a brindar a zonas donde nunca han sido provistas de este servicio, incluso esta velocidad puede ser aumentada, si se adopta la tecnología a estándares más nuevos.

– Línea de vista

La tecnología CDMA 450, al igual que WiMAX 802.16-2004, no requiere de visión directa entre las antenas de la estación base y la de los terminales gracias a la tecnología CDMA que es muy robusta y sus umbrales de relación energía/ruido son muy bajos, casi inmunes a la interferencia, además 1XEV-DO incluye modulación OFDM, de esta manera, siendo la tecnología de acceso más robusta y eficiente. Logrando así una mayor área de cobertura y es posible evitar el uso de torres para la colocación de las antenas; gracias a nuestra orografía, simplemente será necesario instalar la estación base en un cerro o montaña con una torre pequeña para brindar un servicio eficaz.

Por otra parte, la aplicación de WiMAX para la realización de redes WLL, presenta los siguientes inconvenientes:

- Inversión inicial alta

Los costos por terminal son muy bajos debido a que los terminales y módems poseen una antena integrada (debido al gran alcance de la tecnología), sin embargo los costos de los equipos ubicados en la estación base son altos respecto a otras tecnologías, y si bien brindan más capacidad, eficiencia y un mayor área de cobertura, el incremento de usuarios en una red y la masificación del servicio implicaría la adquisición de otros equipos de gestión de red (BSC) que implican un mayor costo.

- Bandas de frecuencia licitadas en Ecuador

Aunque la tecnología CDMA 450 posee varias subbandas de operación, en el Ecuador solo se han licitado cierta parte de las sub-bandas A y F (sólo cantón Cuenca) para su operación. Afortunadamente hay la posibilidad de que se cambie esta regulación, conforme se masifique esta tecnología.

2.5.7.3.2 Conclusiones Finales.

La tecnología CDMA, operando en la banda de frecuencias de 450MHz presenta características sobresalientes que hacen que pudiera ser apropiada para su aplicación en zonas rurales.

CDMA es una tecnología muy eficiente gracias al ensanchamiento de frecuencia, ganancia de procesamiento, gran alcance y eficiencia espectral (relación entre tasa de bits y ancho de banda de portadora). Ofrece unas prestaciones elevadas como su alta velocidad de transmisión, suficiente para la interacción con los nuevos servicios que brinda Internet (Web 2.0). Además, permite llevar a cabo comunicaciones de voz, incluso por el protocolo VoIP.

Aplicándola a WLL resulta un servicio muy interesante, dado que las redes WLL suelen ser las que mejor se adaptan a las necesidades y circunstancias que se presentan en las zonas rurales, debido a su flexibilidad y alta escalabilidad. Además la implementación de los equipos (BS, SS) es relativamente sencilla y no requiere de mayor mantenimiento por personal técnico.

Si bien los costos de iniciales de inversión en la zona de la estación base son altos respecto a otras tecnologías, los costos de los terminales son accesibles; y si esta tecnología se masifica, posiblemente el precio de los equipos se reduzca, dado que es una tecnología que está en crecimiento.

Lamentablemente en el Ecuador solo han sido licitadas parte de las sub-bandas A y F (sólo Cuenca) de 450MHz, no obstante, según el crecimiento de esta tecnología,

dichas regulaciones cambiaran, debido a que esta tecnología se prevé que alcance gran penetración mundial, sobre todo en las zonas rurales o desatendidas. No existen bandas de frecuencia no licenciadas que puedan usarse en CDMA.

En conclusión, CDMA parece ser una tecnología ideal para su uso en zonas rurales, hay parámetros que indudablemente la hacen que sea la tecnología apropiada, sin embargo hay que tomar en cuenta las necesidades específicas de la zona a servirse, como área, número de abonados/usuarios tasa de bits necesitada, movilidad, etc. Inclusive hay que hacer un análisis de la orografía de la zona y por supuesto un análisis financiero. Sin embargo es una tecnología, que se adapta en su totalidad al acceso en zonas rurales, es una opción muy interesante.

2.5.8 ANEXO: Estándares CDMA del 3GPP.

A continuación se presentarán algunos de los estándares más importantes de 3GPP que definen a CDMA, existen entidades como ANSI o TIA, mencionadas anteriormente, que se encargan también de estandarización y la convergencia de Spread Spectrum, por lo tanto, también describen el funcionamiento de CDMA.

Código estándar	Descripción
3GPP2 C.S0007-0	cdma2000 Wireless IP Network Standard
TIA/EIA/IS-2000-A	cdma2000 Standards for Spread Spectrum Systems Release A
3GPP2 CR1001-A	Administration of Parameter Value Assignments for TIA/EIA Spread Spectrum Standards
3GPP TS 25.413 V3.3.0	Technical Specification Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), UTRAN Iu Interface RANAP Signaling
3GPP2 A.S0004	3GPP2 Tandem Free Operation Specification
3GPP2 CR1001-A	Administration of Parameter Value Assignments for cdma2000 Spread Spectrum Standards
3GPP2 C.S0002-A	Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems
3GPP2 C.S0007-0	Direct Spread Specification for Spread Spectrum Systems on ANSI41 (DS-41) Upper Layers Air Interface
3GPP2 C.S0017-0-2	Data Service Options for Spread Spectrum Systems
3GPP2 S.R0005-A	Wireless Network Reference Model
ANSI/TIA/EIA/-95-B	Mobile Station – Base Station Compatibility Standard for Dual-Mode Wideband Spread Spectrum Cellular Systems
TIA/EIA/IS-637-A	Short Message Service for Spread Spectrum Systems

ANSI/TIA/EIA/IS- 683-A	Over the Air Service Provisioning of Mobile Stations in Spread Spectrum
TIA/EIA/IS-707-A-1	Data Services Option Standard for Spread Spectrum Systems
TIA/EIA/IS-707-A-2	Data Services Option Standard for Spread Spectrum Systems
TIA/EIA/IS-801	Position Determination Service Standard for Dual Mode Spread Spectrum Systems
ANSI/TIA/EIA-829	Interoperability Specification for Tandem Free Operation
TIA/EIA/IS-834	CDMA-DS to ANSI/TIA/EIA-41

Tabla 65. Lista de estándares 3GPP, ANSI, TIA de la tecnología CDMA.

2.5.9 ANEXO: Fabricantes de equipos CDMA.

A continuación, se adjunta un listado de fabricantes de equipos CDMA con sus respectivas direcciones para localizar sus correspondientes páginas web, y poder tener acceso a sus hojas de especificaciones:

- Alcatel-Lucent: http://www.alcatel.com/
- Cisco, consultar: http://www.cisco.com
- Ewing Technology: http://www.ewingtechnology.com/
- Huawei: http://www.huawei.com/
- Indosat, consultar: http://www.indosat.com/
- LEAP, consultar: http://www.leapwireless.com
- Motorola, consultar: http://www.motorola.com
- Netkrom, consultar: http://www.netkrom.com
- Nextel, consultar: http://www.nextel.com
- Nokia: http://www.nokia.com/
- PTCL:
- Qualcomm: http://www.qualcomm.com/>
- Samsung, consultar: http://www.samsung.com>
- Sprint: http://www.sprint.com/
- ZTE: http://www.zte.com.cn/

2.5.10 ANEXO: Información comercial de algunos equipos CDMA.

En las páginas web citadas anteriormente podemos encontrar las especificaciones de cualquier equipo de tecnología CDMA; a continuación se presentan funciones y características técnicas de los equipos 3606AC y ETS1000 de Huawei (CDMA 450).

PRINCIPALES SERVICIOS Y FUNCIONES DE LA BS HUAWEI BTS3606

- Soporta los estándares CDMA2000 1X y CDMA2000 1xEV-DO.
- Soporta migración a CDMA2000 1xEV-DV (voz y datos).
- Soporta networking avanzado híbrido CDMA2000 1X/1xEV-DO.
- Permite la coexistencia de módulos transceiver de más de un solo canal y varios canales en el mismo armario.
- Proporciona gran cobertura utilizando carriers a diferentes frecuencias para un solo sector.
- Puede operar con FDD.
- Adopción de tecnología de frecuencia intermedia digital (IF) para optimizar la utilización del sistema.
- Soporta las codificaciones: EVRS a 8 Kbps QCELP a 8 Kbps QCELP a 13Kbps
- Oscilador local sintetizado para ajuste de frecuencia.
- Operación en las bandas de 450 MHz, 470 MHz, 800 MHz, 1900 MHz, y 2100 MHz.
- Operación en cascada con el ODU3601C para ampliar la cobertura de la red.
- Soporta algoritmos para optimizar la capacidad del enlace Abis en transmisión de voz.
- Soporta transmisión IP en la interface Abis.
- Soporta transmisión de microondas.
- Sistema de hardware de respaldo.
- La BTS3606 puede proporcionar hasta 12 puertos ópticos.

Tabla 66. Funciones de la BS Huawei BTS3606 [6]

CARATERÍSTICAS TECNICAS ETS1000

- Soporta el estándar CDMA2000 1XRTT.
- Sub-banda A, enlace reverso: 452.5 457.5 MHz; enlace directo: 462.5 467.5 MHz
- Sub-banda C, enlace reverso: 450.0-454.8 MHz; enlace directo: 460.0-464.8 MHz.
- Sub-banda F, enlace reverso: 479.6 482.8 MHz; enlace directo: 489.6 492.8 MHz.
- Interface serial DB9 hembra.
- Interface POTS: interfaces RJ11. Se pueden conectar tres teléfonos en paralelo.

- Interface de antena: TNC macho. Se pueden instalar antenas de interiores y exteriores.
- Potencia máxima de transmisión >=23 dBm.
- Potencia máxima de entrada -25 dBm.
- Sensibilidad de recepción -104 dBm.
- Precisión de frecuencia del transmisor ±300 Hz.
- Fuente de poder: AC: 90V~264V / DC: 18V, 1A.
- Batería recargable: NiMH que dura hasta 22 horas idle, y 4 horas de llamada
- Soporta servicios de voz de alta calidad (8 Kbps codec EVRC).
- Soporta servicios de paquete de datos con tasas de transmisión máximas de 153.6 kbps
- Soporta servicios de datos de circuitos con tasas de transmisión máximas de 14.4 kbps

Tabla 67. Características Técnicas del terminal Huawei ETS1000 [6]

2.6 MSAN (NODO DE ACCESO MULTI-SERVICIOS).

2.6.1 Introducción.

Un Nodo de Acceso de Servicios Múltiples (MSAN) es un dispositivo que por lo general se instala en una central telefónica que conecta las líneas de los clientes de teléfono a la red principal, para ofrecer telefonía RDSI, y banda ancha como DSL todo desde una única plataforma.

En el lado del abonado pueden configurarse para cualquier tipo de red de acceso y servicio, entre los servicios de conmutación de circuitos y los de servicios de conmutación de paquetes, con interfaces de par de cobre, fibra óptica o radio. En el lado de la red soportan diversas técnicas de transporte y generalmente están unidos por fibra óptica con la central telefónica de la que dependen.

Por tanto, los nodos multi-servicios se deben entender como un paso hacia las redes de nueva generación (NGN), puesto que además de la función de concentración, pueden tener simultáneamente acceso GPON de fibra óptica e integrar equipos de conmutación telefónica y DSLAM, que proporcionan el servicio ADSL en las redes de cobre tradicionales. Por tanto, con estos concentradores se consigue que no salgan pares de cobre de las centrales telefónicas, ni se precisen repartidores en las centrales.

Los MSAN's integran capacidades de calidad de servicio, conexiones conmutadas y características de nivel 3 como encaminamiento y filtrado. Soporta conexiones inalámbricas, de fibra óptica y de cobre. Puede ofrecer diferentes interfaces físicas,

anchos de banda, QoS o calidad de servicio y diferentes modos de acceso de banda ancha como POTS (Plain Old Service).

Un gabinete típico MSAN exterior se compone de banda estrecha (POTS), banda ancha (xDSL), baterías de servicios con rectificadores, unidad de transmisión óptica y el cuadro de distribución de cobre.

2.6.1.1 Áreas de aplicación de LAN.

Dado que son redes cableadas (ya sea cobre, fibra o una mezcla de ambas), entonces su entorno se reduce a una red local, sin embargo debemos tener en cuenta que aunque es una red cableada, puede entregar más servicios y ser una red más escalable, debido a que los servicios de telefonía e Internet se iniciaron de manera fija, entonces sus enlaces son más robustos y confiables, por tanto el área de aplicación es más extensa.

- Escenario Residencial: Interconexión de líneas telefónicas, servicios Internet, seguridad privada, redes caseras.
- Redes Corporativas: Una serie de puntos de acceso alámbrico distribuidos en varias áreas de la empresa conforman una red LAN autónoma o se complementan con una WLAN. También es posible arrendar una red cableada para crear una red privada local o incluso una red de redundancia.
- Acceso a Internet desde lugares públicos, como cafeterías, centros comerciales; aeropuertos, centros de congresos, sin la versatilidad de una red inalámbrica, pero con la confiabilidad, velocidad y robustez que brinda una red cableada.
- Acceso público y privado de banda ancha: En zonas rurales, en donde exista red eléctrica, es posible dar acceso de banda ancha con cable, de esta manera solo se necesita un dispositivo de capa 2 (switch, hub) para poder brindar el servicio a varias redes locales o abonados, sin necesidad de un presupuesto adicional.

Para la conexión entre servidores, o entre computadores con tráfico sensible, la red cableada representa un medio seguro para transferencia de datos, es posible proteger el medio físico a diferencia de una red inalámbrica, y brinda la robustez necesaria y suficiente para este tipo de escenarios.

2.6.2 Características Técnicas.

Las características técnicas que brinda MSAN son las siguientes:

- Los MSAN's integran capacidades de calidad de servicio, conexiones conmutadas y características de nivel 3 como encaminamiento y filtrado a diferencia de los DSLAM que son sólo multiplexores/de-multiplexores
- Capaz de servir hasta unos 1200-1500 (hasta 2000, según el fabricante) usuarios de servicios de telefonía fija e internet mediante sus múltiples puertos, que a su vez pueden ser expandibles.
- Soporta conexiones inalámbricas, de fibra óptica y de cobre. Puede ofrecer diferentes interfaces físicas, anchos de banda, gran convergencia y diferentes modos de acceso de banda ancha como POTS (Plain Old Service), ADSL, ADSL2/2+, SHDSL, VDSL/VDSL2, LAN, E1, IMA E1, G/EPON y WiMAX.
- Utiliza la técnica MPLS (Multiprotocol label switching) para simular dentro de la red IP los circuitos virtuales creados por antiguas técnicas digitales como ATM.
- Gran escalabilidad y modularidad, permite aumentar o reducir la cantidad de usuarios de narrowband (banda angosta, telefonía) y broadband (banda ancha, Internet) con el correspondiente incremento o decremento de tarjetas de 48 o 32 usuarios (según el fabricante).
- Los costos pueden llegar a ser menores, en sectores donde haya una red existente de telefonía fija.
- Permite avanzadas técnicas de tunneling, con propósitos de cifrado, acceso remoto e incluso circuitos virtuales.
- Total disponibilidad y confiabilidad respecto a las técnicas de acceso inalámbricas, por lo tanto, existen retardos mínimos.
- Varias topologías de acceso según el escenario y los servicios a brindarse, como en estrella, árbol, anillo y las tradicionales punto a punto a multipunto.

2.6.3 Configuración Funcional.

Una red de acceso MSAN no actúa sola, generalmente existen dos componentes: Indoor y Outdoor, el componente Indoor (a veces citada como COT: Central Office Terminal) se encuentra en la central telefónica, el cual a su vez se comunica con el MSAN Outdoor ubicado en el gabinete de acceso.

Una unidad MSAN Outdoor puede atender o estar enlazada con varias MSAN Indoor; además la topología de la red entre MSAN IDU y ODU es muy variada y flexible, las cuales se comunican generalmente con fibra óptica, y cuyas configuraciones son:

- Punto-a-punto.
- Estrella: La MSAN COT atiende a todas las MSAN ODU, la cantidad de ODU atendidos dependerá del fabricante.
- Multipunto add/drop: ODU's colocados en serie, posterior a la conexión con COT.

- Árbol: Una ODU, conectada previamente con una COT, puede sincronizarse con más ODU, los cuales no tienen una conexión directa con el COT.
- Anillo autorregenerativo: Conexión en anillo de varias ODU, la cual una de ellas tendrá conexión con la MSAN COT. (enlaces con redundancia)
- Mezcla de las configuraciones anteriores, según la cantidad de equipos que soporte el MSAN IDU y COT.

Las configuraciones más usadas en una red de acceso MSAN para brindar servicios de telecomunicaciones a la comunidad son las de punto a punto y las de estrella como se puede observar en la siguiente figura, para una zona rural se usaría una configuración punto a punto o en estrella, según la capacidad de uso de la MSAN COT que se tenga en la central telefónica local.

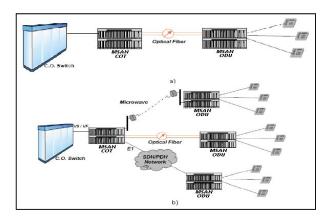


Figura 59. Configuraciones MSAN: a) punto a punto, b) en estrella. [2]

2.6.4 Tecnologías de transmisión alámbricas usadas para zonas rurales.

En la actualidad las tecnologías adecuadas de acceso a las zonas rurales son las xDSL debido a su gran demanda, además brinda velocidades adecuadas para las aplicaciones usadas actualmente, usar una tecnología de menor calibre (banda angosta) para brindar telefonía y datos sería ineficiente, y varias aplicaciones como servicios de TV digitales o aplicaciones en tiempo real no podrían operar; por su parte, si se elige usar tecnologías más avanzadas como GPON sería ineficiente también ya que no se requieren velocidades muy altas, además implica un costo mayor.

DSL (Digital Suscriber Loop/Line) es una tecnología de transmisión por cable que transmite los datos más rápidamente sobre las tradicionales líneas telefónicas de cobre ya instaladas en casas y negocios. Proporciona velocidades de transmisión que van desde varios cientos de kbps hasta varios Mbps. La disponibilidad y la velocidad del servicio DSL pueden depender de la distancia desde el sitio en donde será usado, a la

instalación de la compañía proveedora más cercana, como se puede observar en la siguiente figura.

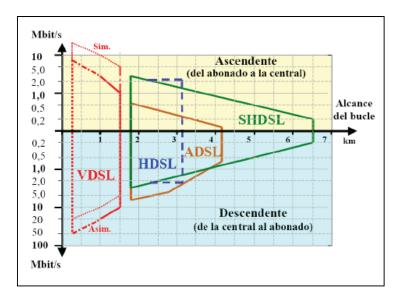


Figura 60. Velocidad vs alcance del bucle de algunos sistemas xDSL. [4]

Las tecnologías que han alcanzado mayor despliegue son ADSL y VDSL, las cuales se describirán a continuación:

2.6.4.1 ADSL (Línea de abonado digital Asimétrica).

ADSL es usada principalmente por los clientes residenciales, como los navegantes de Internet, que reciben una gran cantidad de datos pero no mandan mucho. ADSL típicamente proporciona una mayor velocidad en downstream que en upstream. ADSL permite la transmisión de datos downstream más veloz por la misma línea utilizada para proveer servicio de voz, sin interrumpir las llamadas telefónicas regulares en esa línea.

Las tasas ADSL son de 1,5 a 9 Mbit/s en descendente y de 16 a 640 kbit/s en ascendente, sin embargo existen evoluciones como ADSL2 o ADSL2+ con tasas de 12 Mbps DL y 2Mbps UL, y de 24 Mbps DL y 2Mbps UL respectivamente.

2.6.4.2 VDSL (Línea de abonado digital de Muy Alta velocidad de Datos).

La VDSL ha sido creada para velocidades binarias mucho más elevadas y distancias de bucle de abonado extremadamente cortas. La VDSL se utiliza a menudo con instalaciones de fibra tales como, por ejemplo, instalaciones de fibra hasta la acometida. Con ayuda de divisores se puede cursar simultáneamente tráfico telefónico ordinario. Al igual que ADSL es un sistema asimétrico y es muy usado en redes privadas.

Las tasas VDSL son de 13 a 52 Mbit/s en descendente y de 1,5 a 2,3 Mbit/s en ascendente, existe la evolución VDSL2 la cual es una tendencia ya que es idónea para brindar servicios de HDTV y de datos a altas tasas de velocidad como 200 Mbit/s DL. Sin embargo esta tasa de transmisión depende de la distancia a la central o nodo (MSAN). Así, los 250 Mbit/s que salen de la central se reducen a 100 Mbit/s a 1 Km y a 50 Mbit/s a 2 Km de distancia.

2.6.5 Características de una red de planta externa.

Es un término general para la transmisión electrónica de todas las formas de información, incluyendo datos digitales, voz, fax, sonido y video, desde un sitio a otro a través de cierta forma de enlace de comunicaciones. La telecomunicación puede ser de una dirección (Radio, Televisión) o de dos direcciones (Telefonía, Telegrafía).

La red de planta externa se caracteriza principalmente porque está constituida por el bucle local o bucle de abonado y sus elementos asociados: cables, cajas de empalme, bobinas, tendidos, conductos y otra infraestructura adicional. Parte de esta infraestructura o red está compuesta por: tendidos, postes, armarios, cámaras y canalizaciones subterráneas, equipos y productos que permiten conectar y enlazar la red hasta llegar al punto donde es necesario.

Si la red de planta externa fuera totalmente de fibra óptica (FTTH), la planta externa solo consistiría en el enlace de fibra óptica, en los splitters ópticos que a su vez actúan como regeneradores de señal y en la ONT (terminal). Sin embargo en el país se sigue usando cobre desde el MSAN hasta el abonado y se está migrando a fibra óptica de manera paulatina.

2.6.5.1 Descripción de una red de planta externa con cable de cobre.

Conforma todo el conjunto que parte del par de hilos de cobre conectados a un equipo terminal con la central local, parte desde el domicilio recorriendo la red de dispersión, la red secundaria y la red primaria, instaladas en forma aérea o subterránea en canalización cómo es posible observar en la figura 61.

La Planta Externa incluye todo lo que se encuentra incluido entre el Repartidor Principal (MDF) de la central telefónica o nodo, y la casa del abonado, además constituye un área de las telecomunicaciones que comprende el estudio, administración, gestión y control de todo el tendido de redes externas comprendido entre la central telefónica pública/privada o nodo (MSAN) y la caja terminal del abonado. Incluye las extensiones interiores del abonado.

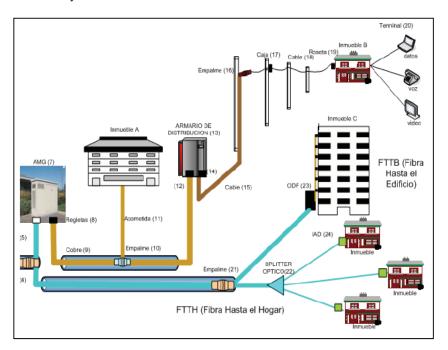


Figura 61. Red de planta externa. [10]

2.6.5.2 Elementos de planta externa con cable de cobre.

Los principales elementos de una red de Planta Externa son los que describiremos a continuación y de los cuales se desprenden otros:

- Repartidor o distribuidor principal (regletas).
- Armarios o sub-repartidores (bloques).
- Cajas de distribución o dispersión.

- Distribuidor o repartidor general

Aquí es el punto donde llegan todas las líneas de abonados o clientes y donde se los conectar hacia los equipos de conmutación.

- Red Primaria

La red primaria une el distribuidor o repartidor con los armarios (sub-repartidores) de zona.

Dicha red está constituida por cables (cables primarios) que parten de la central y se dividen hacia los o armarios de distribución. Todos estos cables por lo general van por un sistema canalizado en ductos de PVC, es la parte más pesada de la red por lo que no se lo puede colocar en forma aérea debido a su peso y a la estética que presentaría.

- Distritos

Los distritos son las zonas que de acuerdo al diseño de la red se divide una ciudad geográficamente. Entonces cada zona posee su armario, la excepción sería la zona directa en donde el repartidor reemplaza el armario.

- Armarios

Los armarios están ubicados en un determinado punto del distrito y es el lugar de conexión entre los cables primarios y los secundarios los cuales se realizan por medio de bloques de conexión de 50 o 100 pares. Estos permiten en forma separada las ampliaciones de red primaria y de red secundaria.

Para realizar la conexión de un abonado esta va desde sus respectivos bloques de conexión y se unen mediante cables de cruzada (puentes). Este es un punto de corte en las líneas de abonados que se usan para localización de averías hacia el lado primario o secundario.

- Red Secundaria

Llamamos red secundaria a la parte que une un armario y los puntos de distribución y está constituida por bloques de conexión, cables aéreos, murales, subterráneos, empalmes y caja de distribución en su orden.

- Caja de dispersión

La caja de distribución o dispersión es un punto de conexión entre la red secundaria y las líneas individuales de cada abonado. Constituyen además puntos de corte para labores de operación y mantenimiento.

- Líneas de conexión

Las líneas de conexión o llamadas también red de abonado son los cables que van desde la caja de distribución hacia el aparato telefónico que pertenece al abonado o cliente. Esta se divide en dos tramos, hasta un punto de conexión y luego continúa con un cable tipo interior en casa del abonado terminando en un conector, placa o roseta.

2.6.6 Descripción de los equipos.

2.6.6.1 Equipos MSAN.

Si bien, el MSAN no es un todo, requiere de un switch capa 2 MPLS, de los switch SFP, tarjetas de línea multiservicio (MLS), tarjetas controladoras, adaptadores, tarjetas POTS y de datos (ADSL/2/+/VDSL), entre otros elementos para que sea posible la implementación. No obstante, el fabricante brinda las soluciones completas, de esta manera incluyendo todos los aditamentos necesarios.

Por lo tanto se considerará al MSAN como un equipo que incluye todos los elementos descritos anteriormente.

- Alcatel-Lucent MSAN Litespan 1540



Figura 62. Alcatel-Lucent MSAN Litespan 1540. [6]

La solución MSAN brindada por Alcatel-Lucent es adecuada para manejar pequeñas, medianas y gran capacidad de usuarios, cuenta con todas las características antes mencionadas y ofrece soluciones desde 400 usuarios hasta 2500 usuarios aproximadamente de voz y datos en un solo rack gracias a la adición de tarjetas según la necesidad, por lo cual presenta una gran modularidad y facilidad de expansión.

Soporta aproximadamente 500 llamadas activas simultáneas y capacidad de hasta 4000 suscriptores usando la tecnología VoIP, brinda gran seguridad y fiabilidad.

- Huawei MSAN UA5000



Figura 63. Huawei MSAN UA5000. [10]

El UA5000 ofrece todos los puertos de servicio requeridos para una red tradicional (incluyendo los POTS, ISDN BRA / PRA, E1, G.SHDSL TDM, V.24/V.35, E & M, FXO / FXS, R2, y dos / cuatro hilos puertos de audio). Como resultado, todos los servicios tradicionales se conservan cuando evoluciona desde una red TDM a una red IP, y los abonados no tienen que cambiar los terminales.

El UA5000 ofrece armarios de interior y al aire libre para satisfacer las necesidades de los operadores para el despliegue flexible y rápida instalación.

Asimismo, ofrece soluciones desde los 400 usuarios hasta los 1200 combinados entre voz y datos según la necesidad, además brinda total convergencia incluso con servicios xPON, así como grandes medidas de seguridad, usando inclusive protocolos propietarios para la comunicación interna de los equipos.

2.6.6.1.1 Precios de equipos MSAN.

Como se especificó en el anterior inciso, se considerará al MSAN como el conjunto de todos los equipos necesarios para el establecimiento de los nodos, a continuación se analizarán los precios de los dos nodos expuestos anteriormente, para una capacidad de 1000 abonados aproximadamente de voz y datos, los precios son brindados por los fabricantes.

Marca	Modelo	Precio	Capacidad
Huawei	MSAN UA5000	32169	1000 usuarios broaband/ narrowband
Alcatel- Lucent	MSAN Litespan 1540	27437	1000 usuarios broaband/ narrowband

Tabla 68. Precios de nodos MSAN para aproximadamente 1000 usuarios (nb/bb) [Huawei, Alcatel].

2.6.6.2 Terminales.

Para cada emplazamiento se necesita tanto un modem ADSL (tecnología adecuada para brindar servicios de telecomunicaciones a zonas rurales), como un computador y/o un teléfono inalámbrico analógico.

- Modem Inalámbrico ADSL

El equipo que se puede observar en la figura 61 modula las señales enviadas desde la red local para que puedan transmitirse por la línea ADSL y demodula las señales recibidas por ésta para que los equipos de la LAN puedan interpretarlos.



Figura 64. Modem ADSL . [4]

- Precios módem ADSL

Dado a su gran demanda, estos equipos están entre los 30 y 70 dólares, incluso es posible adquirir un router ADSL, de esta manera logrando una movilidad nómada, gracias a su combinación con la tecnología Wi-Fi.

2.6.7 Análisis del sistema MSAN.

2.6.7.1 Estudio de las variables de análisis.

2.6.7.1.1 Características técnicas del sistema.

- Capacidad

Si bien la capacidad de usuarios depende de la infraestructura y del fabricante del MSAN, aproximadamente una MSAN tiene una capacidad para atender a 1500 usuarios de servicios de voz y datos la cual es bastante alta teniendo en cuenta las capacidades de las tecnologías de acceso inalámbricas. Además la capacidad antes mencionada es con un radio de cobertura de 1,5km, si se reduce el área de cobertura, se podrá servir a más abonados, y por supuesto, si se aumenta el rango de distancia de servicio, la capacidad se verá reducida drásticamente debido a la atenuación del cable de cobre.

- Velocidad de bit

Existen variadas tasas de transmisión que pueden brindarse usando una MSAN, se mencionó que las tecnologías de transmisión más adecuadas serían las ADSL y VDSL por su simplicidad y sus costos respecto a otras tecnologías xDSL, cuyas tasas oscilan entre los 3Mbps DL, 512 kbps UL y 40 Mbps DL, 2Mbps UL respectivamente; estas tasas se pueden considerar como muy elevadas respecto a la calificación de la tabla 1. Finalmente la tecnología más adecuada de uso sería la tecnología ADSL, debido que es la más económica y brinda tasas de datos bastante elevadas, teniendo en cuenta que se dará servicios a zonas en las cuales posiblemente nunca han sido provistas de servicios como telefonía e Internet.

- Seguridad de las comunicaciones

Este parámetro depende del fabricante, sin embargo ya adoptan técnicas de seguridad a nivel de capa 1 y 2, usando códigos de línea, DES, Trellis, 3DES, etc. Algunos fabricantes incluso encapsulan los datos a nivel de capa 3, usando protocolos propietarios realizando comunicaciones totalmente seguras.

Hay que tener en cuenta que en este caso los medios de transmisión pueden ser canalizados o aéreos de tal manera que el acceso a las señales ya no es tan fácil como cuando se las transmite por el espectro radioeléctrico.

- Posibilidades de interconexión con otras redes

MSAN es una tecnología orientada a la convergencia, por lo que permite total interconexión con cualquier red gracias a su entorno NGN, por ende es posible interconectar con LAN, WAN, MAN, FE/GE/E1/ATM, XDSL, POTS/VoIP, ISDN/V.24/V.35, GPON, entre otras.

- Movilidad

Una vez que el enlace de última milla ha sido realizado, no es posible ampliarlo, de manera que no permite movilidad, sin embargo, a partir de la conexión, es posible conectar un router Wi-Fi de forma que se obtendría una movilidad tipo "nómada".

- Posibilidad de gestionar la red a distancia

MSAN permite gestión de varios parámetros de la red a distancia usando los múltiples sistemas que existen para acceso remoto (vía web, snmp, telnet, software propietario, etc.). En cualquier caso, las tareas de gestión se limitan al cambio de modos y parámetros básicos de la red, etc. Según las posibilidades que brinde el software del fabricante MSAN.

- Terminales

Existen una gran variedad de equipos ADSL debido a la demanda del servicio, los módems ADSL permiten la conexión a internet con una computadora, pero puede incluirse un splitter para así disponer del puerto RJ-11 para la conexión de un teléfono inalámbrico, además es posible utilizar un Router ADSL, de esta manera se dispone de varios puertos Ethernet para la conexión de varios hosts como PC's o incluso teléfonos IP.

Por lo tanto en estos terminales, la conexión y uso es de fácil interacción y predicción, por lo tanto la dificultad de uso de los terminales de esta tecnología es la propia de este tipo de sistemas, es decir será el correspondiente al de la categoría de usuario medio (preferiblemente avanzado), de la clasificación expuesta en la explicación de esta variable, en la Tabla 1.

2.6.7.1.2 Infraestructura.

- Facilidad de instalación

Como ya se ha comentado en el anterior inciso, la instalación de los equipos terminales es muy sencilla (e incluso intuitiva) y puede ser llevada a cabo por técnicos medios eléctricos o informáticos.

La instalación del resto de elementos que forman la red requiere personal con conocimientos de informática y redes de ordenadores, en general, y experiencia en el montaje y funcionamiento de tarjetas MLS, controladoras, de POTS y datos. Por ello, pueden ser necesarios técnicos superiores en informática, además de los técnicos medios eléctricos.

El transporte de los equipos no es un aspecto complicado, y no se necesitan torres sino pequeños terrenos o cuartos para el emplazamiento de los equipos.

- Facilidad de operación y mantenimiento

La operación y el mantenimiento de los equipos que incorporan los dispositivos cliente MSAN, es el propio de este tipo de sistemas, de esta manera requerirá profesionales con un nivel de conocimientos equivalentes a los de un técnico medio en informática. El mantenimiento puede ser por parte de los usuarios, si tienen un conocimiento avanzado según la clasificación de la Tabla 1.

Por su parte, la operación y el mantenimiento de los nodos, han de ser llevados a cabo por técnicos medios y superiores en informática. En cualquier caso, no serán necesarias muchas personas dedicadas al mantenimiento, salvo que la red sea muy grande, además hay tareas que es posible realizarlas de manera remota.

2.6.7.1.3 Energía.

- Nivel de consumo de energía

El nivel de consumo de energía de los distintos dispositivos que forman una red MSAN se puede considerar como bajo. El consumo por tipo de dispositivo se comenta a continuación:

- Dispositivos cliente: La mayoría de dispositivos consumen en el orden de los 10-20W, algunos cuentan con baterías recargables.
- Nodo: Su consumo es de aproximadamente 1-2 kW, sin embargo su fuente son baterías como todo el resto de equipos de estación base de las tecnologías anteriormente analizadas.

El consumo de los terminales, es decir de las computadoras es de aproximadamente 20 y 40 W para PC portátiles y entre 350 y 500 W para PC de escritorio.

2.6.7.1.4 Costo.

- Costo de infraestructura

El costo inicial de instalación de una red de acceso MSAN se puede considerar como bajo, teniendo en cuenta las prestaciones que proporcionan este tipo de redes y la capacidad de usuarios que puede servir. Para obtener un valor referencial, se pueden considerar los siguientes costos:

- Equipo terminal: Suponiendo que en cada emplazamiento únicamente se conecta un computador a la red; el costo de los equipos terminales en este caso sería el mostrado en la Tabla 69. Se utilizan computadoras portátiles debido a que presentan un consumo de energía mucho menor que los de escritorio. El sistema de energía solar incluido en el equipamiento, está dimensionado para proporcionar energía al ordenador, equipado con el dispositivo cliente, y a dos luminarias.

Equipo	Costo (USD)
Computadora portátil	1800
Terminal MSAN (ADSL)	80
TOTAL	1880

Tabla 69. Costo de equipos terminales por suscriptor.

Nodo: El costo de los dispositivos ubicados en el nodo se muestran en la Tabla 58.
 En base a los precios publicados en la Tabla 70. Se considerará el servicio a un sector con aproximadamente 1000 abonados. No se toma en cuenta los costos por planta externa.

Equipo	Costo (USD)
Nodo MSAN equipado	
para servir a 1000	27.000
abonados voz/datos	

Tabla 70. Costo de equipos ubicados en el nodo.

Con estos datos, se puede calcular el costo aproximado para el despliegue de una red de acceso MSAN.

- Costo durante la vida útil

El costo durante la vida útil de la red incluirá los siguientes conceptos:

• Costos debido a la conexión a Internet en los nodos con conexión.

- Costo del personal dedicado a la operación de la red y su mantenimiento.
- Costo del mantenimiento de los emplazamientos (alquileres, energía eléctrica si tiene acceso a la red, etc.)

El costo de operación de una red de acceso MSAN se puede considerar como bajo, además no se necesita alquilar una gran cantidad de terreno para los emplazamientos puesto que las instalaciones de los nodos ocupan un espacio pequeño.

- Modularidad y posibilidad de mejora gradual

La tecnología MSAN posibilita ampliaciones de la red posteriores a la instalación de la misma, fáciles y rápidas. Se basa en el incremento o decremento de tarjetas que amplíen la capacidad de usuarios o incluso interacción con diversas tecnologías gracias al entorno NGN; a diferencia de otras tecnologías las cuales presentan inconvenientes al adicionar usuarios luego de un diseño o dimensionamiento previo.

2.6.7.2 Resumen de las variables de análisis.

En la siguiente tabla se resumen los resultados de las variables correspondientes a la tecnología MSAN organizadas por grupos.

CARÁ	CTERÍSTICAS TÉCNICAS
VARIABLE	RESULTADO
	Alta capacidad: Hasta 1500 usuarios de servicios de voz y datos en un radio de 1,5km aprox.
CAPACIDAD	Se puede reducir o aumentar esta capacidad en la proporción inversa de extender o reducir el área de servicio.
VELOCIDAD DE	ADSL: 3Mbps DL, 512 kbps UL.
TRANSMISIÓN	VDSL: 40 Mbps DL, 2Mbps UL.
	Clasificación: velocidad muy elevada.
SEGURIDAD	 Seguridad alta: Técnicas de seguridad a nivel de capa 1 y 2, usando códigos de línea, DES, Trellis, 3DES, encapsulación de datos a nivel de capa 3. Posibilidad de proteger los medios físicos realizando canalización.

INTERCONEXIÓN	Total convergencia con múltiples redes.
GESTIÓN A	Posible mediante el acceso remoto a los nodos.
DISTANCIA	
MOVILIDAD	No soporta movilidad, es posible una movilidad nómada al conectar con un router Wi-Fi.
TERMINALES	 La instalación de los dispositivos cliente requerirá un técnico medio en informática. Para MSAN los terminales interactúan con un computador (datos) o un teléfono (voz).
	NFRAESTRUCTURA
VARIABLE	RESULTADO
FACILIDAD DE INSTALACIÓN	Terminales: técnico medio en informática. En el nodo se requerirá: - Técnico superior en informática. - Técnico medio en instalaciones electrotécnicas.
FACILIDAD DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	Equipos de usuario: técnico medio en informática o incluso un usuario avanzado. Infraestructura de red: requiere pocas tareas de gestión y mantenimiento, que han de ser llevadas a cabo por técnicos medios y superiores en informática.
	ENERGIA
VARIABLE	RESULTADO
CONSUMO DE ENERGÍA	 Equipamiento de usuario: muy bajo, poco significativo en comparación con el de la computadora que se necesita en cada emplazamiento (20 y 40 W para PC portátiles y entre 350 y 500 W para PC de escritorio). Infraestructura de red: soportada por bancos de baterías o por sistema de energía solar.
	COSTO
VARIABLE	RESULTADO
COSTO DE INFRAESTRUCTURA	La inversión inicial es baja. Los costes son de aproximadamente 1880 USD por los equipos de cada emplazamiento terminal y de 27.000 USD aprox. por cada nodo para servicio a 1000 usuarios.

COSTO DURANTE	Coste de operación bajo:
LA	– Se requiere poco personal dedicado al
VIDA ÚTIL	mantenimiento pues las tareas son mínimas, y
	algunas se pueden efectuar de manera remota.
MODULARIDAD Y	La tecnología MSAN posibilita ampliaciones de
POSIBILIDAD DE	la red posteriores a la instalación de la misma,
MEJORA	fáciles y rápidas.

Tabla 71. Resumen de las variables de análisis de la tecnología MSAN.

2.6.7.3 Conclusiones del análisis.

2.6.7.3.1 Ventajas e inconvenientes de la aplicación de MSAN en zonas rurales aisladas.

Analizando las variables expuestas en el anterior inciso, las ventajas de aplicación de la tecnología CDMA MSAN en zonas rurales, son las siguientes:

- Rápido despliegue, escalabilidad y modularidad

MSAN posee una alta escalabilidad, inicialmente es posible adquirir un equipo para servir a 400 usuarios, posteriormente es posible hacer ampliaciones de manera fácil y a un menor costo gracias a que cada nodo presenta una posibilidad de crecimiento de hasta 2000 o 3000 usuarios según el fabricante.

Si la zona a servirse incluye una red de planta externa el servicio se podría brindar en un menor tiempo y reusando estas instalaciones, que en algunos casos por su falta de uso, se ha optado por abandonarlas.

- Gran capacidad

Las redes MSAN pueden servir a una gran capacidad de usuarios de servicios de telefonía e Internet, aproximadamente hasta 1500 o 2000 abonados, de esta manera un nodo MSAN podría ser suficiente para servir a una zona rural inclusive tomando en cuenta el crecimiento en 5 o 10 años.

El alcance de una red MSAN es de hasta unos 4km a la redonda, sin embargo, para obtener buenas condiciones en cuanto a velocidades y baja atenuación, lo recomendable sería un radio de servicio de aproximadamente 1.5km.

- Velocidad de transmisión

Las velocidades de transmisión que ofrece la tecnología ADSL son de aproximadamente 2Mbps pudiendo ser mayores, o con el transcurso del tiempo migrar a una de sus evoluciones o a una tecnología VDSL. Las velocidades pueden ser aumentadas sin problemas, según la demanda de los usuarios.

- Bajos costos

La tecnología MSAN presenta costos relativamente bajos tanto de infraestructura como de los equipos terminales respecto a las tecnologías inalámbricas antes descritas, además pueden servir a una gran cantidad de usuarios, posiblemente sea la tecnología de acceso que tenga menores costos, por este motivo es usada en su totalidad en zonas urbanas o zonas rurales de fácil acceso.

- No requiere de licencias por uso de espectro radioeléctrico.

Los costos por las licencias son proporcionales a la cantidad de usuarios a los que se sirven y a las velocidades brindadas, por lo tanto a gran escala pueden ser tarifas muy altas. Usando MSAN no se asumen estos costos, lo que representa un menor costo aun por mantenimiento de la red.

Por otra parte, la aplicación de MSAN para el servicio a zonas rurales, presenta los siguientes inconvenientes:

- Alcance y movilidad limitado

El nodo MSAN no se puede ubicar en un sitio remoto, sino en zonas rurales cuyo acceso sea posible (por medio de fibra óptica), además no podría atender por si solo a zonas o usuarios los cuales estén muy dispersos unos de otros. Motivo por el cual debería ser complementado con una tecnología inalámbrica en ciertas zonas; en otras zonas podría no ser ni un complemento, por lo tanto depende su uso del escenario o zona a la que se va a servir.

2.6.7.3.2 Conclusiones Finales.

La tecnología MSAN presenta características sobresalientes que hacen que pudiera ser apropiada para su aplicación en zonas rurales.

MSAN es una tecnología de acceso alámbrica la cual gracias a su gran eficiencia y demanda presenta bajos costos para brindar servicios de telefonía fija e Internet a una gran cantidad de usuarios. El hecho de que sea alámbrica presenta varios beneficios, así como varias limitaciones.

Los beneficios son múltiples, como una gran capacidad, pudiendo soportar velocidades hasta el tope del enlace, ya sea de cobre o de fibra óptica, sin usar el espectro radioeléctrico y tener limitantes de ancho de banda de portadora.

Gracias a la demanda obtenida, los costos son menores y existen una gran cantidad de fabricantes, entonces la modularidad y mejora va en aumento constantemente por el alto flujo en este mercado.

Es posible aumentar la capacidad inicial de los equipos, debido a que el rack del MSAN llega con slots para agregar tarjetas y así incrementar la capacidad de los usuarios, hasta aproximadamente unos 1500-2000 usuarios según el fabricante.

Sin embargo el alcance de servicio de un nodo MSAN es una limitante importante, funciona de manera óptima hasta los 1.5km a la redonda, si la red de planta externa es mayor a dicho radio, las altas atenuaciones pueden afectar el servicio; además, debido a nuestra orografía, existen zonas en la que el acceso será complicado, o también pueden existir zonas en las cuales la población esté muy dispersa, en estas zonas el MSAN puede ser complementado con una tecnología inalámbrica como CDMA, WiMAX o VSAT.

Siendo una opción absoluta o un complemento, MSAN debe ser una opción para brindar servicios de telecomunicaciones (telefonía, banda ancha), debido a que es posible servir a varios usuarios al costo más bajo.

2.6.8 ANEXO: Fabricantes de equipos MSAN.

A continuación, se adjunta un listado de fabricantes de equipos MSAN y equipamiento afín a la tecnología, con sus respectivas direcciones para localizar sus correspondientes páginas web, y poder tener acceso a sus hojas de especificaciones:

- Adtran: http://www.adtran.com/>
- Alcatel-Lucent: http://www.alcatel.com/
- Calix, consultar: http://www.calix.com
- Cisco, consultar: http://www.cisco.com
- Ericcson: http://www.ericcson.com/
- Huawei: http://www.huawei.com/
- NEC, consultar: http://www.nec.com
- Tellabs: http://www.tellabs.com/
- Sprint: http://www.sprint.com/
- Zhone: http://www.zhone.com/
- ZTE: http://www.zte.com.cn/

CAPITULO 3

3. ANÁLISIS SOCIOECONOMICO DE LAS TECNOLOGÍAS

3.1 ANÁLISIS COMPARATIVO SOCIOECONÓMICO DE LAS TECNOLOGÍAS.

A continuación se compararán los parámetros en cuanto a prestaciones, terminales, infraestructura, costos de cada tecnología, para posteriormente citar las ventajas y desventajas de las mismas.

3.1.1 Prestaciones.

En la tabla 72, se comparan ciertos parámetros concernientes a las prestaciones de cada una de las tecnologías de acceso antes mencionadas.

Es posible observar que en términos de velocidades, DECT se queda relegada debido a que sus tasas apenas pueden brindar un servicio de Internet aceptable.

La seguridad no es alta en las tecnologías VSAT y Wi-Fi, de esta manera se tendrá que agregar seguridad a nivel de cliente lo cual puede repercutir en un trabajo adicional, por ende un costo mayor.

La movilidad es importante, las tecnologías MSAN, VSAT y DECT (corDECT) no permiten movilidad, pero pueden ser soluciones importantes analizando el escenario y el área de aplicación, así como costos y número de usuarios. En el resto de parámetros expuestos, todas las tecnologías poseen las capacidades necesarias.

3.1.2 Terminales.

En la tabla 73, se comparan algunos parámetros concernientes a las terminales de cada una de las tecnologías de acceso antes mencionadas como el equipamiento necesario, los perfiles del personal requerido para la instalación de los equipos, las interfaces, el consumo de energía y el costo de cada uno de ellos.

El equipo terminal ADSL usado en MSAN es el más económico gracias a su gran demanda.

3.1.3 Infraestructura.

En la tabla 74, se comparan ciertos parámetros concernientes a la infraestructura de cada una de las tecnologías de acceso antes mencionadas.

Se citan los costos de cada uno de los equipos a nivel de infraestructura y los perfiles necesarios para su instalación, así como para operación y mantenimiento.

3.1.4 Costos.

En la tabla 75, se comparan ciertos parámetros concernientes a los costos de cada una de las tecnologías de acceso antes mencionadas.

En la sección de costo de vida útil se mencionan los posibles gastos de cada tecnología para sostener la vida útil de los equipos, en la sección modularidad se recalca la posibilidad y mejora de ampliación de la red de cada tecnología.

Para la sección de costos de infraestructura y terminales se analizará una proforma de una red ficticia de 100 usuarios con los datos de costos que se han obtenido de cada capítulo anterior.

- Para la tecnología DECT/CorDECT se considerarán 15 usuarios por cada estación base y un repetidor por cada 20 usuarios.
- Para la tecnología VSAT, se debe incrementar los terminales y un contrato por conexión, sin embargo combinado con la tecnología Wi-Fi se asumirán 30 clientes por nodo y un repetidor (Wi-Fi) cada 10 usuarios.
- Para Wi-Fi se asumirán 15 clientes por nodo.
- Para WiMAX, CDMA 450 y MSAN la infraestructura analizada en la tabla 63 será considerada como suficiente para dar servicio a 100 usuarios.

TECNOLOGÍA	TECNOLOGÍA DECT/orDECT	VSAT	Wi-Fi	WiMAX	CDMA 450	MSAN
Velocidad de Transmisión	DECT: Hasta 2 Mbps CorDECT: 70 kbps Clasificación: Baja	Tasas mínimas de 64-128 kbps UL y de 256-512 respectivamente kbps DL Clasificación: Elevada	802.11a/b/g: 54/11/56 Mbps respectivamente Clasificación: Elevada	Velocidades de hasta 70 Mbps Clasificación: Elevada	Velocidades de 3.1 ADSL: 3Mbps Mbps UL DL, stass mayores tassa mayores portadora usando VDSL Clasificación: Elevada Elevada	ADSL: 3Mbps DL, 512 kbps UL. O tasas mayores usando VDSL Clasificación: Elevada
Servicios	Telefonía/Internet	Telefonía/Internet	Telefonía/Internet Telefonía/Internet Telefonía/Internet	Telefonía/Internet	Telefonía/Internet	Telefonía/Internet
¿Voz y datos simultáneos?	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Gestión a distancia	Si	Si	Si	Si	Si	Si
DECT: RDSI, Interconexión DCS18 con otras redes LAN. CorDE e Interr	DECT: RPTC, RDSI, GSM, On otras redes LAN. CorDECT: RPTC, Internet, LAN, WAN corDECT: RPTC e Internet	RPTC, Internet, LAN, WAN	Con otras redes otras redes WiMA Wi-Fi, otras LAN otras LAN otras LAN o MAN, RPTC e redes públicas de Internet Internet	Interconexión con Con otras redes Wi-Fi, otras LAN otras LAN otras LAN o MAN, o MAN, RPTC e redes públicas de datos e Internet Internet	Redes CDMA, otras LAN o MAN, redes públicas de datos e Internet. Entorno "All IP".	Total convergencia (NGN): POTS, ISDN BRA/PRA, E1, H.248, TDM G.SHDSL, V.24/V.35, E&M, FXO/FXS, R2. IP.

Movilidad	DECT: célula, nómada CorDECT: No	No	Célula, nómada	Célula, nómada	Célula, nómada	No
Seguridad	Alta	Baja	Media	Alta	Alta	Alta

 Tabla 72. Tabla comparativa de las prestaciones de las tecnologías de acceso analizadas.

TECNOLOGÍA	TECNOLOGÍA DECT/CorDECT	VSAT	Wi-Fi	WiMAX	CDMA 450	MSAN
Equipo necesario	-Computador Portátil - Unidad de acceso WS - Teléfono	-Computador Portátil - Terminal VSAT - Teléfono	- Computador Portátil - Antena externa	- Computador Portátil - CPE's IDU y ODU	- Computador Portátil - Terminal CDMA 450	- Computador Portátil - Módem ADSL/VDSL
Perfiles necesarios para instalación	Perfiles DECT/corDECT: Técnico medio en instalaciones instalaciones electrotécnicas	Técnico medio en instalaciones electrotécnicas	Técnico medio en informática	Técnicos medios Técnicos medios eléctricos eléctricos o informáticos o informáticos	Técnicos medios eléctricos o informáticos	Técnicos medios eléctricos o informáticos
Facilidad de Usuario uso medio/a	Usuario medio/avanzado	Usuario medio	Usuario medio/avanzado	Usuario medio/avanzado	Usuario medio	Usuario medio

Interfaces	RS-232, RJ11	RPTC, 10- BaseT/100-BaseT, Internet, LAN, WAN	100 BaseT, Internet, LAN, WAN	100 BaseT, Internet, LAN, WAN	100 BaseT, Internet, Internet, LAN, LAN, WAN, RJ11 WAN, RJ11 (separado)	100 BaseT, Internet, LAN, WAN, RJ11 (separado)
Consumo de Energía	WS/MWS: 12V y Terminal: 500mA. Incluyen aproximada baterías recargables. Computador: 20-40 W (portátil).	Terminal: aproximadamente 35W. Computador: 20-40 W	Computador: 20- 40 W	Terminales IDU/ODU: 50W Computador: 20- 40 W	Terminales IDU/ODU: 50W Computador: 20-40 W	Terminal: 10- 20 W Computador: 20-40 W
Costo Total Terminal + Equipo (USD)	2680	6300	1800	2150	1980	1880

Tabla 73. Tabla comparativa de los terminales de las tecnologías de acceso analizadas.

TECNOLOGÍA	Elementos de Infraestructura	Costo (USD)	Perfil para técnicos en Instalación	Perfil para técnicos en Operación y Mantenimiento
	Estación Base CBS	1440	Técnico superior en instalaciones electrotécnicas	Técnico medio en instalaciones
DECT/CorDECT Repetidores RBS	Repetidores RBS	2000	Técnico medio en instalaciones electrotécnicas	electrotécnicas
	Interfaz y manejo de Red (DIU, NMS)	DIU: 2160 (100 usuarios), 21600 (1000 usuarios) NMS: 4000	Técnico superior e	Técnico superior en informática / telecomunicaciones
VSAT	Terminales	Solo VSAT: 4800 VSAT+Wi-Fi: 10000 para un usuario (capacidad hasta 20 usuarios solo adquiriendo computadoras extra)	Usuario básico/avanzado	Técnico medio en instalaciones electrotécnicas
	Nodo de conexión/ Repetidor	3000/1000	Técnico medio y	Técnico medio y superior en informática/ instalador electrotécnico
Wi-Fi	Terminal (PC)	1800	superior en informática	

Estación Base Terminales IDU/ODU Estación Base Terminal Nodo Terminal

Tabla 74. Tabla comparativa referente a la infraestructura de las tecnologías de acceso analizadas.

TECNOLOGÍA	TECNOLOGÍA DECT/CorDECT	VSAT	Wi-Fi	WiMAX	CDMA 450	MSAN
Costo durante la vida útil (conceptos)	- Costo del mantenimiento de las licencias y emplazamientos Costo del personal de dis licencias y mantenimiento de la peracción equipos. y mantenimiento de la linternet (según - Costos de las líneas la velocidad de interconexión a la red telefónica e Internet.	- Costo del mantenimie de los emplazamie de las licencias personal dedicado a equipos Contrato de mantenimie Internet (según de la red. la velocidad costos de requerida) lineas de interconexia a la red telefónica e Internet.	el niento nientos. el a la 1 y niento de las a e	- Costo del mantenimiento de los emplazamientos y licencias Costo del personal dedicado a la operación y mantenimiento de la red Costos de las líneas de interconexión a la red telefónica e Internet.	- Costo del mantenimiento de los emplazamientos y licencias Costo del personal dedicado a la operación y mantenimiento de la red Costos de las líneas de interconexión a la red telefónica e Internet.	- Costo del mantenimiento de los emplazamientos Costo del personal dedicado a la operación y mantenimiento de la red Costos de las líneas de interconexión a la red telefónica e Internet.

		Darmita		Dermite	Dormita	
		ampliaciones:	- Posibilita	nes en		
		únicamente	ampliaciones de	la red de manera la red de manera	la red de manera	
		requiere la	la red facil y	fácil y rápida	fácil y rápida	
	- La posibilidad de	instalación de	rapida. Demite	hasta la	hasta la	
	ampliación ha de	los nuevos	- relillite	capacidad de la	capacidad de la	- Permite ampliaciones
Modulowided	preverse al realizar el	terminales.	amphaciones de 1ag	BS.	BS.	en la red adicionando
Modulariuau	diseño puesto	- Posibilidad de	Ids	- Se pueden	- Se pueden	más tarjetas de puertos
	que en caso contrario,	mejora:	olics si se	adicionar	adicionar	de voz y datos
	puede resultar	mediante el	digaogitimog	usuarios	usuarios	
	costosa.	aumento de la	dispositivos gemnetibles gen	únicamente	únicamente	
	- El sistema no permite	tasa de	companoies con	instalando	instalando	
	ampliaciones de	transmisión	valius	nuevos	nuevos	
	las prestaciones.	contratada.	estalitales.	terminales	terminales	
		solo VSAT:		30000		
		contratada por		Socoo (estacion		20000(planta ext.)
	37240	el usuario	27000	base IDO/ODO	61000	20000(Msan + Switch)
Infraestructura		28000 con Wi-		para aprox. 100		=40000
(100 usuarios)		Fi		usuarios)		
		480000 solo				
Terminales	000896	VSAT	180000	215000	108000	188000
(100 usuarios)	000007	396000 con	100001	000017	170000	000001
		Wi-Fi				

Costo Total (100 usuarios)	305240	solo VSAT 480000 424000 con Wi-Fi	207000	245000	259000	228000
Costo por usuario (red de 100 usuarios)	3052,4	4800 solo VSAT 4240 con Wi-Fi	2070	2450	2590	228
Número mínimo estimado de usuarios	50 (por estación base)	40-50	15	02-09	64 (1x) 85 (1xEvDO- 5MHz)	400 usuarios voz y datos (depende del fabricante)

 Tabla 75. Tabla comparativa referente a los costos de las tecnologías de acceso analizadas.

3.1.5 Ventajas e inconvenientes de cada tecnología, escenarios de aplicación.

A continuación se analizarán los siguientes escenarios de aplicación para seleccionar la tecnología más adecuada para brindar servicios de telecomunicaciones (telefonía fija e Internet).

Las parroquias rurales que se analizarán son Mariano Moreno, parroquia perteneciente al cantón Gualaceo; San Miguel de Cuyes, parroquia perteneciente al cantón Gualaquiza y la parroquia Atahualpa perteneciente al cantón Santa Elena.

El documento de la UIT "Estadísticas de América Latina 2012" cita, entre otros datos, que la densidad de abonados promedio de telefonía fija y banda ancha fija en América Latina son de 18.2% y 7.3% respectivamente, por ello, basándonos en dichas estadísticas, se proporcionará conectividad a las siguientes parroquias con estos datos.

3.1.5.1 Análisis de la parroquia rural Mariano Moreno.

- Población y ubicación

La parroquia Mariano Moreno es una parroquia rural perteneciente al cantón Gualaceo cuya ubicación se muestra en la figura 62, la cual posee 2,616 habitantes según el censo realizado en noviembre de 2010.



Figura 65. Parroquias del cantón Gualaceo.

De esta manera, para estar acorde a las estadísticas publicadas de la UIT, se analizará el escenario para brindar 476 líneas telefónicas y 191 abonados de Internet banda ancha.

Dicha parroquia cuenta con una carretera principal la cuál conecta con Gualaceo (cómo es posible ver en la siguiente figura), dicha carretera posee postes, por lo que sería posible enlazar ambas zonas con fibra óptica (pasando por Daniel Córdova).



Figura 66. Ubicación de la parroquia Mariano Moreno respecto a Gualaceo usando Google Earth.

- Posibles alternativas

Es necesaria la instalación de un MSAN para brindar servicios de telecomunicaciones a velocidades adecuadas para el uso e interacción con las nuevas aplicaciones desarrolladas y en desarrollo, podría desde un inicio instalarse un MSAN + DSLAM con 96 puertos para voz y datos, y servir a las zonas cercanas a la carretera principal, MSAN posee altas prestaciones y amplia posibilidad de expansión.

De esta manera enlazar con un MSAN COT desde Gualaceo hasta un MSAN ODU ubicado en la cabecera parroquial de Mariano Moreno. Usando el software Google Earth, se trazó un radio de cobertura de aproximadamente 1km, y es posible observar en la figura 66, que una gran cantidad de viviendas se beneficiarían del servicio con MSAN; incluso es posible expandir este alcance, si la velocidad a ofrecerse se reduce, como es posible observar en la siguiente tabla:

Tasa de datos vs distancia entre puntos de módems ADSL
25 Mbit/s a 300 m
24 Mbit/s a 600 m
23 Mbit/s a 900 m
22 Mbit/s a 1.2 km
21 Mbit/s a 1.5 km
19 Mbit/s a 1.8 km
16 Mbit/s a 2.1 km
1.5 Mbit/s a 4.5 km
800 kbit/s a 5.2 km

Tabla 76. Atenuación del cobre, afectando la tasa de bits, según se aumenta la distancia de enlace.

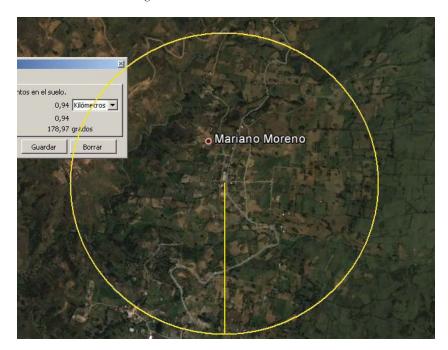
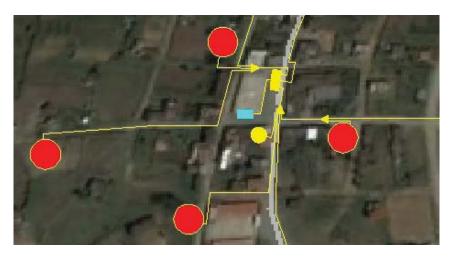


Figura 67. Radio de cobertura de 0.94km en la parroquia Mariano Moreno usando Google Earth.

De esta manera, es posible llegar a escuelas, instituciones públicas con altas velocidades usando MSAN.

Se ha realizado una red de planta externa tentativa, la cual es posible observarla en la siguiente figura; los círculos en rojo denotan las cajas de dispersión, el rectángulo en cian representa al MSAN, el rectángulo amarillo representa el armario y los triángulos en amarillo representan a las mangas de empalme. Los costos tentativos de la misma se presentarán más adelante.





b)

Figura 68. Red de planta externa tentativa en la parroquia Mariano Moreno. a) Vista panorámica de toda la red, b) MSAN, armario y empalmes en cabecera cantonal. (Usando Google Earth).

Sin embargo, para poder llegar a zonas alejadas del centro cantonal, es necesario usar una tecnología inalámbrica complementaria.

La tecnología VSAT no sería una solución, debido a los altos costos por terminal, además la parroquia Mariano Moreno está en un punto geográfico accesible y la dispersión entre viviendas es considerable.

Las tecnologías Wi-Fi y WiMAX también se descartan del análisis, las frecuencias de operación (licitadas en el Ecuador) de estas tecnologías son del orden de los GHz, de esta manera los enlaces sufrirían una atenuación considerable teniendo en cuenta la gran cantidad de vegetación y el perfil orográfico de la zona.

La mejor opción sería el uso de la tecnología CDMA en su banda de operación de 450MHz por su gran propagación en estos terrenos y por su capacidad. Además sería posible utilizar la evolución 1xEV-DO para brindar datos a gran velocidad.

- Análisis con CDMA 450

Por estadísticas realizadas por la empresa ETAPA, en la hora pico se obtiene un tráfico de 70mE por abonado de telefonía. Si se usa una portadora de 1.25MHz, la misma podrá manejar un tráfico de 26 Erlangs aproximadamente (GOS=2%),

sirviendo a aproximadamente 372 usuarios. Si se opera con una BTS de 3 sectores, se podrán servir a aproximadamente 1100 usuarios.

Por lo tanto se debe elegir un punto estratégico para ubicar la BTS, y después de analizar la zona, se ha decidido ubicarla en la cima de un cerro al oeste de la parroquia (Mariano Moreno), cuyas coordenadas geográficas son Latitud 2°50'44.21" Sur y Longitud 78°44'56.88" Oeste a una altura de aproximadamente 3000m, y se muestra en la figura 69.



Figura 69. Posible ubicación de la BTS de CDMA 450 usando Google Earth.

Para calcular el área de cobertura, se utilizará el modelo de propagación de Okumura Hata para entorno rural, se considerará como 250mW la potencia de transmisión del receptor y los siguientes datos:

Parámetro	Valor	Origen del dato
Máxima potencia transmitida (dBm)	23,9794	Entrada
Perdidas en cable, conector (dB)	0	Entrada
Ganancia de la antena de transmisión (dBi)	2	Entrada
PIRE total transmitido	25,9794	Calculado
Ganancia antena recepción (BTS) (dBi)	9	Entrada
Pérdidas en el cable, conectores (dB)	2	Calculado
Densidad ruido térmico (dBm/Hz)	-173.975	Calculado
Información Velocidad (kbps)/(dB/Hz)	9,6/39.82	Calculado
Piso de ruido térmico dB	-134,152	Calculado
Figura de Ruido	5dB	Entrada
Porcentaje y capacidad de carga	75%	Entrada
Rise over termal	6,0205dB	Calculado

Eb/(No+10) requerido	4,1 dB	Entrada
Desviación estándar Eb/(No+10) requerido	0.5 dB	Entrada
Media Eb/(No+10)	4,6 dB	Calculado
Sensitividad del receptor	-118,53 dBm	Calculado
Confidence (Cell Edge)	90%	Entrada
Desviación estándar Log normal Shadow	8 dB	Entrada
Margen Log Normal Shadow	10,252 dB	Calculado
Ganancia del Handoff	4,1 dB	Calculado
Pérdidas Head/Body	3 dB	Entrada
Perdidas por penetración en edificios	10 dB	Entrada
Máxima pérdida en el trayecto permitida	132,35 dB	Calculado

Tabla 77. Cálculo de máxima pérdida permitida usando el modelo de propagación de Okumura Hata para la tecnología CDMA 450.

La fórmula de Okumura Hata es:

$$urban\ path\ loss = Lhu$$

= 69.55 + 26.16 log($f\ MHz$) - 13.82 log(hb) - $a(hm)$
+ (44.9 - 6.55 log(hb)) log $d\ (km)$

Donde f es la frecuencia de operación, hb la altura de la estación base, hm la altura de la estación fija y d la distancia en km. De esta manera:

Considerando
$$f = 450MHz$$
, $hb = 30m$, $hm = 1.5m$
$$a(hm) = (1.1\log(f) - 0.7)hm - (1.56\log(f) - 0.8) = -2.2x10^{-3} dB$$

$$urban\ path\ loss = Lhu = 118.546 + 35.22\log d$$

$$rural\ path\ loss = Lhu - 4.78(\log(f))^2 + 18.33\log(f) - 35.94$$

$$= 118.546 + 35.22\log d - 20.955$$

De la tabla anterior, tenemos:

$$rural\ path\ loss = 132.35dB$$

Despejando la distancia de la anterior formula:

$$d = 10^{0.986} = 9.68 \, km$$

De esta manera tenemos un radio de cobertura aproximado circular equivalente de 9.68km. Teniendo en cuenta los perfiles del terreno, esta distancia puede verse

reducida, en la siguiente figura es posible observar que con un radio circular de aproximadamente 5km y medio, es posible también cubrir zonas como Daniel Córdova Toral, Pagran, El Cabo y Chicán. Ver figura 70.

Sin embargo, la opción adecuada sería utilizar una antena sectorial (120°, como se puede observar en la figura 67) para brindar el servicio de telefonía CDMA2000 1x con una portadora (372 usuarios); y en la misma ubicación, con el mismo equipo de estación base y con dos portadoras (2.5MHz cubriendo el mismo sector) brindar el servicio de Internet usando la tecnología CDMA 2000 1x-EVDO, cubriendo así los 95 usuarios restantes con un throughput de aproximadamente 500 kbps.

MSAN cubriría 96 abonados tanto de voz y de datos, de esta manera se cumpliría con la conectividad promedio existente en América Latina.

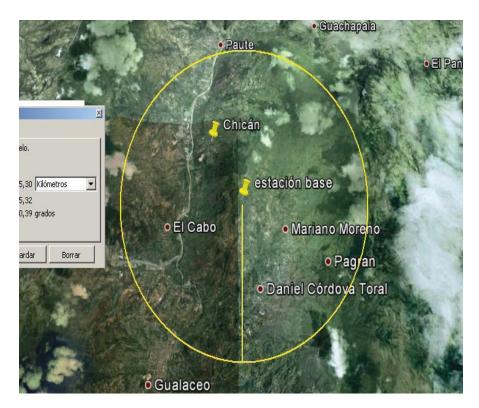


Figura 70. Área de cobertura si el radio de la celda fuera de 5,3km usando Google Earth.



Figura 71. Área de cobertura sectorial 120° aproximada para brindar servicios de voz (CDMA20001x) y datos (CDMA20001x-EVDO) en diferentes portadoras usando Google Earth.

- Costos

Antes de citar los costos totales de la solución a la parroquia Mariano Moreno, a continuación se citarán los costos aproximados de la red de planta externa, los cuales se dividen en costos por concepto de materiales y en costos por instalación (mano de obra).

Los costos de materiales se presentan en la siguiente tabla:

UNIDA	D DE PLA	NTA	U	CANTI		PRE	CIO
CIVIDA	D DE I EX	WIA		DAD	UN	ITAR IO	TOTAL
ARMARIO	1200) PARES	U	1,00	1.1	\$ 100,69	\$ 1.100,69
		10 PARES	m	1135,00	\$	2,10	\$ 2.383,50
CABLE AÉREO	0,4MM	20 PARES	m	551,00	\$	2,65	\$ 1.460,15
		30 PARES	m	329,00	\$	3,18	\$ 1.046,22

			50 PARES	m	203,00	\$ 4,25	\$ 862,75
			70 PARES	m	0,00	\$ 5,49	\$ -
			100 PARES	m	13,00	\$ 6,97	\$ 90,61
			150 PARES	m	25,00	\$ 9,64	\$ 241,00
			200 PARES	m	0,00	\$ 14,72	\$ -
CABLE DE DISPER SIÓN	Ι	EKUA 2 X 2	22 AWG	m	7680,00	\$ 0,24	\$ 1.843,20
CAJA DE DISPER SION	10 I	PARES	EN POSTE	U	11,00	\$ 70,43	\$ 774,73
			10 PARES	U	11,00	\$ 75,83	\$ 834,13
	MPAL 50		20 PARES	U	2,00	\$ 77,88	\$ 155,76
EMDAI			30 PARES	U	2,00	\$ 80,85	\$ 161,70
			50 PARES	U	1,00	\$ 84,03	\$ 84,03
O MURAL	DIRECTO 70 PARES		U	0,00	\$ 88,05	\$ -	
MORAL			100 PARES	U	1,00	\$ 93,23	\$ 93,23
			150 PARES	U	0,00	\$ 109,59	\$ -
			200 PARES	U	0,00	\$ 120,30	\$ -
HERI	RAJE CI	RUCE AME	ERICANO	U	2,00	\$ 93,57	\$ 187,14
HERRAJE	DE DIS	SPERSIÓN	PARA POSTE	U	11,00	\$ 4,17	\$ 45,87
		PASO PAI		U	8,00	\$ 7,06	\$ 56,48
HERRAJ		IINAL PAR A 100 PAR	A POSTE (10 RES)	U	11,00	\$ 10,76	\$ 118,36
PRUE	BAS DE	ETRANSM	ISIÓN 100	U	1,00	\$ 33,05	\$

	PARES					33,05
REGLE TA DE ARMAR IO	SECUNDARIA DE	50 PARES				\$ -
REGLE TA DE ARMAR IO	SECUNDARIA DE	100 PARES	U	1,00	\$ 100,09	\$ 100,09
	RETENIDA A TIEI	RRA	U	11,00	\$ 82,64	\$ 909,04
	ARMARIO		U	1,00	\$ 152,94	\$ 152,94
	CAJA DE AUTOPROT DISPERSIÓN EGIDA		U	0,00	\$ 170,15	\$ -
TIERRA	CAJA DE DISPERSIÓN	EN POSTE	U	11,00	\$ 170,15	\$ 1.871,65
HEKKA	CAJA DE DISPERSIÓN	MURAL	U	0,00	\$ 160,02	\$ -
	EMPALME	AÉREO	U	7,00	\$ 149,93	\$ 1.049,51
	EMPALME SUE	BTERRÁNEO	U	0,00	\$ 123,90	\$ -
		TOTAL	·			\$15.655,8 3

Tabla 78. Costos de materiales de planta externa en la parroquia Mariano Moreno.

Descripción	Cant.	Unidad	Precio Unitario	Precio Total
Conexión-Instalación regleta 100" Repartidor	1	u	\$ 34,59	\$ 34,59
Instalación - Montaje de armario	1	u	\$ 14,44	\$ 14,44
Conexión-Instalación bloque 50" Armario	1	u	\$ 20,04	\$ 20,04
Conexión-Instalación bloque 100" Armario	1	u	\$ 29,19	\$ 29,19
Conexión/puesta a tierra Armarios / Empalmes	1	u	\$ 26,27	\$ 26,27
Impermeabilización de Armarios	1	u	\$ 19,70	\$ 19,70
Conexión-Instalación Caja de Dispersión 10"	11	u	\$ 11,83	\$ 130,13

Conexión/puesta a tierra Caja de Dispersión	11	u	\$ 16,53	\$ 181,83
Levantamiento/Pintado/Etiquetada de Caja de Dispersión	11	u	\$ 14,28	\$ 157,08
Sujeción de Caja de dispersión	11	u	\$ 7,03	\$ 77,33
Identificación y conexión línea de abonado en Caja de distribución	110	u	\$ 0,33	\$ 36,30
Tendido de red aérea 10x2x0 4	1135	m	\$ 0,37	\$ 419,95
Tendido de red aérea 20x2x0 5	551	m	\$ 0,39	\$ 214,89
Tendido de red aérea 30x2x0 6	329	m	\$ 0,41	\$ 134,89
Tendido de red aérea 50x2x0 7	203	m	\$ 0,46	\$ 93,38
Tendido de red aérea 100x2x0 8	13	m	\$ 0,54	\$ 7,02
Tendido de red aérea 150x2x0 8	25	m	\$ 0,62	\$ 15,50
Cruce Americano	1	u	\$ 16,91	\$ 16,91
Empalme red aérea, cable de 10"	11	u	\$ 24,85	\$ 273,35
Empalme red aérea, cable de 20"	2	u	\$ 25,89	\$ 51,78
Empalme red aérea, cable de 30"	2	u	\$ 26,95	\$ 53,90
Empalme red aérea, cable de 50"	1	u	\$ 32,20	\$ 32,20
Empalme red aérea, cable de 100"	1	u	\$ 42,69	\$ 42,69
Pruebas de continuidad/aislamiento/varias c/10"	11	u	\$ 14,71	\$ 161,81
Transporte de materiales y de R	ecursos	Humanos	3	\$ 2.500,00
TOTAL				\$ 4.745,17

 Tabla 79. Costos de instalación de planta externa en la parroquia Mariano Moreno.

Por lo tanto, los costos aproximados de infraestructura y terminales de las tecnologías MSAN y CDMA, dimensionadas para la cantidad de usuarios definidos anteriormente son los siguientes:

Cantidad	Producto	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)	Costo del puerto por usuario (USD) (costos/cap total)	Observaciones
1	MSAN Huawei UA5000 + switch (Capacidad actual 96 usuarios v/d. Capacidad total para 720 usuarios.)	-	19847	El costo inicial sería 203.76 por usuario.	Inicialmente el costo sería de 203.76 por usuario, pero debido a que el Shell (Chasis) soporta hasta 720 usuarios, cada tarjeta para 48 usuarios datos cuesta 800 USD, el costo prorrateado por usuario sería de aproximadamente (18247/720+800/4 8 = 42USD.
-	Costos materiales e instalación Planta Externa.	-	20401	136	Para una red de 150 pares.
96	Terminales ADSL	40	3840	40	
	COSTO MS	SAN POR	PUERTO)	Cap. Actual = 379.76 Capacidad total (prorrateada) = 218
1	Estación Base CDMA Huawei 3606	60000	60000	(60000/3343)= 17.94	Se divide el costo total para la capacidad total de la estación base, teniendo en cuenta que puede servir también a zonas como Chicán, El

					Cabo, etc.
1	Equipo de infraestruct ura (torre, caseta, equipos de energía)	60000	60000	(60000/3343)= 17.94	Se divide el costo total para la capacidad total de la estación base, teniendo en cuenta que puede servir también a zonas como Chicán, El Cabo, etc.
1	Antena Sectorial Andrew CDMA 450	900	900	(900/3343)= 0.27	
277	Terminales CDMA 450 ZTE WP560	70	19390	70	Para usuarios de CDMA sólo de voz.
95	Terminales CDMA 450 EVDO Erwing T-2	190	18050	95	Para usuarios CDMA 1x-EVDO (datos)
	COSTO CD	MA POR	PUERTO	•	VOZ=106.15 DATOS=131.15
COSTO	TOTAL SOL	UCIÓN		20242	28

Tabla 80. Costos de terminales e infraestructura para solución en la parroquia Mariano Moreno.

3.1.5.2 Análisis de la parroquia rural San Miguel de Cuyes.

- Población y ubicación

La parroquia San Miguel de Cuyes es una parroquia rural perteneciente al cantón Gualaquiza cuya ubicación se muestra en la figura 72, la cual posee 184 habitantes según el censo realizado en noviembre de 2010.

De esta manera, para estar acorde a las estadísticas publicadas de la UIT, se analizará el escenario para brindar 33 líneas telefónicas (penetración del 18.2%) y 12 abonados de Internet banda ancha (penetración del 7.3%).

Dicha parroquia recientemente cuenta con energía eléctrica, no cuenta con una carretera principal, la movilización no es posible con vehículos sino se realiza inicialmente a Gualaquiza usando acémilas, un recorrido a pie a cualquiera de estas parroquias toma aproximadamente dos días; no cuentan con la distancia entre ambos puntos se puede observar en la figura 73, la cual en línea recta es de 26km, sin embargo la ruta usada es más extensa.



Figura 72. Parroquias del cantón Gualaquiza

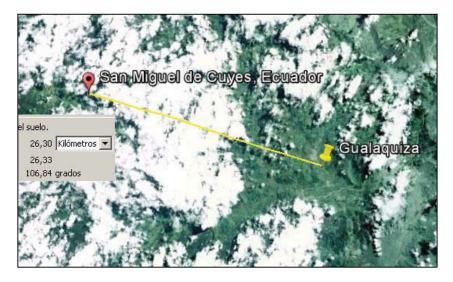


Figura 73. Distancia entre las parroquias San Miguel de Cuyes y Gualaquiza usando Google Earth.

- Posibles alternativas

Dado que la parroquia no presenta una carretera y la movilización resulta complicada, entonces no sería posible servir a la misma usando una tecnología alámbrica de acceso.

Además la orografía de la zona es irregular, teniendo la cordillera del Cóndor muy cerca y el perfil descendente en la transición de Sierra a Oriente, hacen que San Miguel de Cuyes prácticamente permanezca en un territorio aislado; las tecnologías de acceso WiMAX y Wi-Fi no podrían ser desplegadas ya que la orografía es irregular y la vegetación es abundante.

La tecnología CDMA se adaptaría correctamente en la zona, sin embargo no sería una opción viable financieramente hablando, debido a que desplegar una estación base y servir a dicho sector conllevaría un costo mínimo de 66775 USD incluyendo los equipos terminales y de estación base, solamente para servir a 33 abonados en el mejor de los casos.

La opción idónea para este escenario tan complicado sería usar la tecnología VSAT, debido a que se contrataría una velocidad adecuada para una zona rural, y se complementaría con Wi-Fi para servir a zonas aledañas aproximadamente 100 o 200 metros a la redonda.

- Análisis con VSAT

El objetivo principal es servir a los 33 abonados de voz y a los 12 de datos; el equipo terminal Hughes mostrado en la figura 23, así como la mayoría de equipos terminales VSAT vienen con 12 puertos 100 Base-T para puertos Ethernet y 4 puertos RJ-11 para acceso telefónico.

De esta manera, con 3 terminales VSAT se podría suplir a esta cantidad de abonados de telefonía fija e Internet, los tres terminales IDU brindan 12 puertos RJ-11 y 36 puertos Ethernet. 12 puertos Ethernet se usarán para brindar servicios de datos, 12 puertos RJ-11 se usarán para telefonía fija, y los 21 abonados de telefonía restantes contarían con servicios de VoIP como telefonía fija; incluso sobrarían 3 puertos Ethernet.

Se ubicarían los terminales IDU en los tres puntos donde exista una mayor concentración poblacional, pudiendo ser uno en la cabecera cantonal, otro en la escuela y otro en una zona donde convivan varios habitantes. Se tendrá solamente un terminal ODU (es decir una sola antena VSAT) y se usarán repetidores Wi-Fi para suplir a los otros equipos terminales IDU. Los costos se citan en el siguiente inciso.

- Costos

Los costos aproximados de infraestructura y terminales de las tecnologías MSAN y CDMA, dimensionadas para la cantidad de usuarios definidos anteriormente son los siguientes:

Cantidad	Producto	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)	Costo del puerto por usuario (USD)	Observaciones
1	Terminal ODU VSAT	2000	2000	2000/45= 44.44	Consiste en el equipo de la antena, guía de onda, interfaz externa
3	Terminales IDU VSAT	4500	13500	13500/45= 300	Interfaz interna y terminal, se dispersarán 3 equipos en zonas estratégicas.

2	Repetidores VSAT	2076	4152	4152/45= 92.26	
3	Punto de Acceso Wi-Fi	240	720	720/45= 16	Para acceso inalámbrico a las tres zonas.
3	Antena Omnidireccional (LP)	78	234	5.20	
12	Teléfono analógico	40	480	40	
21	Teléfonos VoIP	200	4200	200	
	DATOS = 457.90 Voz=497.9 VoIP=697.9				
COSTO TOTAL SOLUCIÓN			25286		

Tabla 81. Costos de terminales e infraestructura para solución en la parroquia San Miguel de Cuyes.

A este costo habría que sumar, los costos por autorización por parte del CONATEL, así como los costos incurridos a las velocidades requeridas DL y UL.

3.1.5.3 Análisis de la parroquia rural Atahualpa.

- Población y ubicación

La parroquia Atahualpa es una parroquia rural perteneciente al cantón Santa Elena cuya ubicación se muestra en la figura 74, la cual posee 3,532 habitantes según el censo realizado en noviembre de 2010.

De esta manera, para estar acorde a las estadísticas publicadas de la UIT, se analizará el escenario para brindar 642 líneas telefónicas (penetración del 18.2%) y 257 abonados de Internet banda ancha (penetración del 7.3%).

Dicha parroquia cuenta con energía eléctrica, postería y con una carretera principal; la zona es totalmente plana a una altura de 40m.



Figura 74. Parroquias del cantón Santa Elena.

- Posibles alternativas

La parroquia cuenta con postería dentro de la zona y con carreteras que enlazan las distintas parroquias del cantón, por lo que sería posible llegar a la zona con fibra óptica y realizar una red de planta externa; sin embargo podrían existir problemas de sabotaje, de esta manera usar una tecnología alámbrica de acceso no sería una opción principal.

La tecnología VSAT no sería una opción, debido a que su gran población para ser una parroquia rural, además la zona no presenta una dispersión considerable.

Por términos de capacidad, la tecnología Wi-Fi no satisface los requerimientos.

La tecnología WiMAX sería una opción muy importante para brindar el servicio de voz y datos, la infraestructura se puede ubicar en un punto central de la zona (cerca de la junta parroquial), y así se evitarían sabotajes.

La tecnología CDMA es la opción adecuada para brindar telefonía fija en zonas en las cuales no llega otra tecnología, debido a su baja demanda, y en esta zona no es la excepción.

De esta manera se usará la tecnología de acceso WiMAX para brindar servicios de voz y banda ancha (257 usuarios de ambos servicios) para el área de cobertura, y la tecnología CDMA como complemento para brindar telefonía fija o datos a baja velocidad a abonados cuya capacidad de la estación WiMAX no pudo abastecer, así como también servir a abonados alejados respecto a la cabecera cantonal. (385 usuarios en total).

- Análisis con WiMAX

La tecnología WiMAX para brindar servicios de VoIP y datos es una opción adecuada en una zona costanera, debido a que la orografía es regular y además no existe vegetación importante, por lo que habría una buena propagación.

Para hallar el área de cobertura en WiMAX no existen modelos simples debido a que la frecuencia de operación es de 3.5 GHz, no tolerada para los modelos Hata, Okumura, Walfisch-Ikegami, etc. Por lo tanto se usará la fórmula convencional para enlaces con línea de vista, la cual se basa en la suma de pérdidas y ganancias existentes en el enlace, de manera de obtener un margen de enlace de 4-6 dB que sería un margen adecuado.

Por lo tanto, se tomará en cuenta un margen de enlace de 4dB (enlace uplink) y se despejará la distancia, y de esta manera se obtendrá un área de cobertura equivalente.

La fórmula principal es:

```
Margen\ enlace
= PIRE - PerdidasEspacioLibre\ (FSL) + G_{recept.}
- Sensitividad_{recept.}
```

$$PIRE = Ptx + Gtx - Perdidas_{cable\ v\ conect} = 25dBm + 24dbi - 2dB = 47dBm$$

La ganancia y la sensibilidad del receptor, varían según el fabricante, valores promedio serían los siguientes:

$$G_{BS.} = 18dBi$$
 ; $Sensitividad_{BS} = -124dBm$

Para las pérdidas en el espacio libre, se considerará la fórmula de Friis, perdidas por ruido (ancho de banda de portadora), las pérdidas por figura de ruido y las pérdidas por lluvia; se desprecian las pérdidas atmosféricas, perdidas por niebla y nubes, pérdidas por penetración en edificios.

$$L_{FSL} = 92.45 + 20 \log(f \ GHz) + 20 \log(d) + 10 \log(10 \times 10^6) + 4 dB + 4 dB$$

= 181.33 + 20 \log(d)

La fórmula principal quedaría de la siguiente manera:

Margen enlace
$$= PIRE - PerdidasEspacioLibre (FSL) + G_{recept.} \\ - Sensitividad_{recept.}$$

$$4dB = 47dBm - 181.33 - 20\log(d) + 18dBi - (-124dBm)$$

Despejando la distancia:

$$d = 10^{0.183} = 1.524 \, km$$

En la Figura 75 se puede observar que si se ubica una estación base en el centro parroquial, solamente con un radio de cobertura de 1km es posible cubrir a una buena parte de la parroquia y por ende, de la población. Como se observó en el análisis previo, la propagación en WiMAX puede extenderse unos cientos de metros más.

Se podría usar una estación base, con una portadora de 10 o 20 MHz para de esta manera poder brindar el servicio a los 257 abonados de VoIP e Internet y así lograr el índice de penetración de 7.3% de banda ancha fija y ayudar con un porcentaje para el servicio de telefonía fija.

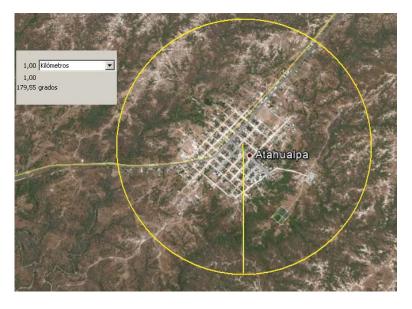


Figura 75. Radio de cobertura de 1km para brindar Internet usando WiMAX usando Google Earth.

- Análisis con CDMA 450

El objetivo principal es servir a 385 abonados de voz y posiblemente algún abonado que desee servicios de datos de baja velocidad (153kbps), para el análisis del tráfico de voz, usaremos el citado en el apartado 3.1.5.3, la capacidad de número de usuarios por estación base CDMA 450 usando un sector y una portadora de 1.25MHz es de 372; para suplir las necesidades de los 385 abonados (teniendo en cuenta que pueden requerir servicios de datos de baja velocidad), se necesitaría usar dos portadoras de 1.25MHz.

La ubicación tentativa de la estación base es en el cerro Salinas cerca de la zona Baños de San Vicente cuyas coordenadas geográficas son: Latitud 2°14'19.33" S, Longitud 80°45'53.01"O, Altitud 52m. Ubicando la estación base en esta zona, es posible usar la misma infraestructura para brindar servicios de Telecomunicaciones a las poblaciones de Punta Blanca, Santa Elena, El Morillo, entre otras.

Para calcular el área de cobertura, se utilizará el modelo de propagación de Okumura Hata para entorno abierto, del apartado 3.1.5.3, tenemos que:

Máxima pérdida en el trayecto permitida = 132,35 dB

La fórmula de Okumura Hata es:

$$urban\ path\ loss = Lhu$$

= 69.55 + 26.16 log($f\ MHz$) - 13.82 log(hb) - $a(hm)$
+ (44.9 - 6.55 log(hb)) log $d\ (km)$

Donde f es la frecuencia de operación, hb la altura de la estación base, hm la altura de la estación fija y d la distancia en km. De esta manera:

Considerando
$$f = 450MHz$$
, $hb = 30m$, $hm = 1.5m$
$$a(hm) = (1.1\log(f) - 0.7)hm - (1.56\log(f) - 0.8) = -2.2x10^{-3} dB$$

$$urban\ path\ loss = Lhu = 118.546 + 35.22\log d$$

$$rural\ path\ loss = 132.35 = Lhu - 4.78(\log(f))^2 + 18.33\log(f) - 40.94$$

$$= 118.546 + 35.22\log d - 25.955$$

Despejando la distancia del resultado anterior:

$$d = 10^{1.128} = 13.427 \, km$$

Usando una antena sectorial de 120° , el área de cobertura sería el que se muestra en la figura 76.

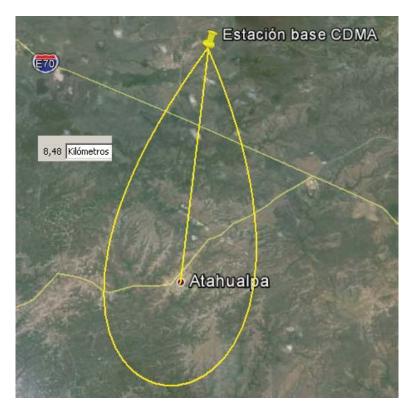


Figura 76. Área de cobertura sectorial 120° aproximada para brindar servicios de voz usando CDMA 450 usando Google Earth

- Costos

Los costos aproximados de infraestructura y terminales de las tecnologías WiMAX y CDMA, dimensionadas para la cantidad de usuarios definidos anteriormente son los siguientes:

Cantidad	Producto	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)	Costo del puerto por usuario (USD)	Observaciones
1	Estación Base Huawei DBS3900	29000	29000	36.25	La capacidad total para un servicio óptimo es de 800 usuarios
1	Antena Omnidireccio nal	100	100	0.125	
1	Equipo de infraestructura (torre, caseta, equipos de energía)	60000	60000	75	La capacidad total para un servicio óptimo es de 800 usuarios
257	Terminales WiMAX IDU/ODU	350	89950	350	Antenas exteriores y terminales interiores
257	Teléfono Analógico	40	10280	40	
	WiMAX datos= 461.37 WiMAX voz= 501.37				
1	Estación Base CDMA Huawei 3606	60000	60000	17.94	La capacidad total para un servicio óptimo es de 3343 usuarios
1	Equipo de infraestructura (torre, caseta, equipos de energía)	60000	60000	17.94	La capacidad total para un servicio óptimo es de 3343 usuarios
1	Antena Sectorial Andrew CDMA 450	900	900	0.27	

642	Terminales CDMA 450 ZTE WP560	70	44940	70	Terminales sólo para voz y datos hasta 153 kbps
COSTO POR PUERTO CDMA					CDMA 450 VOZ (y datos a baja velocidad)= 106.16
COSTO TOTAL SOLUCIÓN 344890)		

 Tabla 82. Costos de terminales e infraestructura para solución en la parroquia Atahualpa.

En dichos costos no incluyen las concesiones por las frecuencias de operación de los equipos.

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

El desarrollo de ésta tesis sirvió como herramienta fundamental para la toma de decisiones en la determinación de la tecnología a aplicar en las zonas de densidad poblacional dispersa (áreas rurales del Cantón Cuenca) en la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable y Saneamiento Ambiental de Cuenca, ETAPA EP y sirvió de piloto para que la Corporación Nacional de Telecomunicaciones, CNT EP se defina por utilizar la misma tecnología a nivel nacional en toda la república del Ecuador.

Una vez que hemos realizado el estudio de todas las variables involucradas y las diferentes tecnologías existentes en el medio para la provisión de servicios de telecomunicaciones en zonas de densidad poblacional dispersa y realizado el análisis completo de tres (3) localidades rurales con diferente situación social y orográfica; y teniendo presente que en el Ecuador se tiene una compleja diversidad de casos sociales y orográficos, nos orientaremos a definir una solución general e integral para la mayor cantidad de casos que se pueden presentar en las diferentes zonas del Cantón Cuenca y en general de la república del Ecuador.

Con los antecedentes ya descritos concluimos que la tecnología CDMA es la más adecuada dentro de los aspectos técnico - socio - económicos del universo de casos que se puedan presentar para realizar un despliegue de redes de acceso para la provisión de servicios de telecomunicaciones en áreas dispersas o rurales del Cantón Cuenca y en general de la república del Ecuador.

4.2 RECOMENDACIONES

Este estudio no debería ser considerado únicamente para ser aplicado en la república del Ecuador, sino que se debería aplicar en todos los países en vías de desarrollo ya que al cubrir todos los aspectos técnico - socio - económicos del universo de casos y teniendo presente que la idiosincrasia de la gente, así como la orografía de los diferentes países es similar, beneficiara tanto a las empresas proveedoras de los servicios de telecomunicaciones como a la población en general.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ERGEN, Mustafa, Mobile Broadband: Including WiMAX and LTE, Springer, 2009.
- [2] HELLBERG, Chris, Broadband Network Architectures, Prentice Hall, 2007.
- [3] RAPPAPORT, Theodore, Wireless Communications: Principles and Practice, Segunda Edición, 2002.
- [4] SENATEL, Plan de Desarrollo de las Telecomunicaciones, Período 2007-2012.
- [5] HOLMA, TOSKALA, LTE for UMTS, OFDMA and SC-FDMA Based2
- [6] ORTIZ, Diego, Análisis comparativo de las tecnologías inalámbricas de Banda Ancha para acceso a internet, HSPA y WiMAX móvil (802.16e-2005), EPN, 2010.
- [7] PEÑAFIEL, ESPINOZA, Implementación de enlaces de Banda Ancha usando tecnología satelital VSAT HughesNet (DirecWay) en Ecuador, USFQ, 2010.
- [8] SKLAR, Bernard, Digital Communications: Fundamentals and Applications, Segunda Edición, 2001.
- [9] WALKE, Bernhard, Mobile Radio Networks, John Wiley & Sons, Segunda Edición, 1999.
- [10] ITU, Examen de las tecnologías de acceso para las telecomunicaciones de Banda Ancha, 2010.