



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**ESTUDIO DE LA APLICACIÓN
DE VSAT, CDMA450 Y MAR AL
TRANSPORTE Y
DISTRIBUCIÓN DE SERVICIOS
DE TELECOMUNICACIONES
RURALES EN EL ENTORNO
NACIONAL**

Tesis para Optar el Título de
INGENIERO DE LAS TELECOMUNICACIONES

Presentado por:

Guillermo Daniel Romaní Martínez

LIMA – PERÚ

2007

Esta tesis se la dedico a mis padres,
hermana, abuelas, tíos, profesores y
amigos



Agradezco a todas las personas que de una u otra manera me apoyaron en la realización de esta tesis, en especial a mi asesor de tesis, ingeniero Percy Fernández Pilco por el apoyo brindado.



Índice

Lista de figuras	v
Lista de tablas	viii
Introducción	1
Capítulo I	2
Aspectos técnicos y operacionales de las comunicaciones vía satélite con VSAT....	2
1.1 Definición de VSAT.....	2
1.2 Configuración de una Red VSAT.....	3
1.3 Elementos de una red VSAT	5
1.4 Configuraciones y topología de una Red VSAT	7
1.5 Bandas de frecuencias	8
1.6 Acceso al medio	9
1.7 Acceso múltiple con asignación por demanda (DAMA).....	14
1.8 Tipos de comunicación que se puede brindar con VSAT.....	15
1.9 Mantenimiento	16
1.10 Frecuencias asignadas por la PNAF	18
Capítulo II	21
Aspectos técnicos y operacionales del sistema CDMA 450.....	21
2.1 Evolución de CDMA.....	21
2.2 Enlaces en el sistema CDMA	25
2.3 Canales de datos en el sistema CDMA	27
2.4 Propiedades de CDMA	28
2.5 Operación en 450 MHz.....	30
2.6 Beneficios y Aplicaciones de CDMA450.....	31
2.7 Banda de 450 MHz para servicios en áreas rurales.....	32
Capítulo III	34
Aspectos técnicos y operacionales del Multiacceso Acceso Radial Digital.....	34
3.1 Redes de Acceso Múltiple	34
3.2 Configuraciones de la Red de Acceso Múltiple	35
3.3 Partes de un Sistema de Acceso Múltiple	35
3.4 Aplicaciones de MAR.....	38
3.5 Banda no licenciada	39

Capítulo IV.....	41
Aspectos económicos de VSAT, CDMA 450 y MAR.....	41
4.1 Conceptos básicos de Telecomunicaciones Rurales y su concepción en el Perú	41
4.2 Sistemas a utilizar.....	43
4.3 Aspectos económicos para VSAT	45
4.4 Aspectos económicos para CDMA 450	46
4.5 Aspectos económicos para MAR.....	47
 Capítulo V.....	 52
Evaluación de la aplicación de estas tecnologías en las diferentes regiones del País	52
5.1 Regiones del Perú	52
5.2 Elección de las ciudades a estudiar	54
5.3 Coordenadas de los distritos elegidos.....	59
5.4 Creación de redes con los diferentes sistemas	60
5.5 Resultados.....	80
 Conclusiones.....	 89
 Bibliografía	 91

Lista de figuras

Capítulo I	2
figura 1.1. <i>Uplink y Downlink</i>	3
figura 1.2 Arquitectura Payload	4
figura 1.3 Equipos de la estación VSAT	6
figura 1.4 Esquema de una estación VSAT	6
figura 1.5 Red estrella de una dirección	7
figura 1.6 Red estrella bidireccional	7
figura 1.7 Red en malla	7
figura 1.8 FDMA-SCPC <i>inbound</i> /FDMA-SCPC <i>outbound</i>	10
figura 1.9 FDMA-SCPC <i>inbound</i> /FDMA-MCPC <i>outbound</i>	11
figura 1.10 FDMA-SCPC <i>inbound</i> /TDM-MCPC <i>outbound</i>	11
figura 1.11 FDMA-MCPC <i>inbound</i> /TDM-MCPC <i>outbound</i>	12
figura 1.12 TDMA <i>inbound</i> /TDM-MCPC <i>outbound</i>	13
figura 1.13 FDMA-TDMA <i>inbound</i> /FDMA-MCPC <i>outbound</i>	13
figura 1.14 CDMA	14
figura 1.15 Procedimiento de DAMA	15
Capítulo II	21
figura 2.1 Evolución de CDMA	22
figura 2.2 Ensanchamiento espectral en el CDMA	23
figura 2.3 Arquitectura Básica de un sistema celular CDMA (IS-95)	23
figura 2.4 Arquitectura de un sistema celular CDMA 2000 1X	25
figura 2.5 Esquema del canal directo	26
figura 2.6 Esquema del canal inverso	27
figura 2.7 Forward link del CDMA 2000 1X	28
figura 2.8 Reverse link del CDMA 2000 1X	28
figura 2.9 Receptores Rake	30
Capítulo III	34
figura 3.1 Configuración del Multiacceso Radial	36
figura 3.2 Enlace Omnidireccional de 2.4 GHz	37
figura 3.3 Enlace direccional de 5.7 GHz	37
Capítulo IV	41
figura 4.1 Configuración de interconexión entre la red rural y la red nacional	42
figura 4.2 Estructura más general de una red rural	42

figura 4.3 Esquema de la concepción de las telecomunicaciones en el Perú.....	43
figura 4.4 Diagrama de bloques de la estación VSAT.....	45
figura 4.5 Diagrama de bloques de la estación VSAT (Equipos)	45
figura 4.6 Arquitectura de un sistema celular CDMA 2000 1X	46
figura 4.7 Configuración del Multiacceso Radial	47
figura 4.8 Elementos de una estación repetidora.....	48
Capítulo V.....	52
figura 5.1 Grafico de las ochos regiones del Perú.....	53
figura 5.2 Población en la provincia Contralmirante Villa por distritos.....	55
figura 5.3 Población en la provincia Mariscal Nieto Villa por distritos	56
figura 5.4 Población en la provincia Abancay por distritos	56
figura 5.5 Población en la provincia Castrovirreyna por distritos.....	57
figura 5.6 Población en la provincia Junín por distritos	57
figura 5.7 Población en la provincia Huallaga por distritos.....	58
figura 5.8 Población en la provincia Maynas por distritos	58
figura 5.9 Vista desde el Satélite de Casitas.....	61
figura 5.10 Cobertura utilizando la frecuencia de 2.4GHz en Casitas.....	61
figura 5.11 Cobertura utilizando la frecuencia de 450 MHz en Casitas.....	62
figura 5.12 Simulación de un enlace satelital en Casitas	63
figura 5.13 Vista desde el Satélite de Cuchumbaya y la Central URA de Torata.....	64
figura 5.14 Cobertura utilizando la frecuencia de 2,4GHz en Cuchumbaya.....	64
figura 5.15 Cobertura utilizando la frecuencia de 450 MHz en Cuchumbaya	65
figura 5.16 Simulación de un enlace satelital en Cuchumbaya	66
figura 5.17 Vista desde el Satélite de Chacochi y la Central URA de Abancay	67
figura 5.18 Cobertura utilizando la frecuencia de 2,4GHz en Chacochi.....	67
figura 5.19 Cobertura utilizando la frecuencia de 450 MHz en Chacochi.....	68
figura 5.20 Simulación de un enlace satelital en Chacochi	69
figura 5.21 Vista desde el Satélite de Chupamarca y la Central URA de Lunahuana	70
figura 5.22 Cobertura utilizando la frecuencia de 2,4GHz en Chupamarca	70
figura 5.23 Cobertura utilizando la frecuencia de 450 MHz en Chupamarca.....	71
figura 5.24 Simulación de un enlace satelital en Chupamarca.....	72
figura 5.25 Vista desde el Satélite de Ondores y la Central URA de Carhuamayo..	73
figura 5.26 Cobertura utilizando la frecuencia de 2,4GHz en Ondores	73
figura 5.27 Cobertura utilizando la frecuencia de 450 MHz en Ondores.....	74
figura 5.28 Simulación de un enlace satelital en Ondores	75

figura 5.29 Vista desde el Satélite de El Eslabón y la Central URA de Saposoa..... 76

figura 5.30 Cobertura utilizando la frecuencia de 2,4GHz en El Eslabón..... 76

figura 5.31 Cobertura utilizando la frecuencia de 450 MHz en El Eslabón 77

figura 5.32 Simulación de un enlace satelital en El Eslabón 78

figura 5.33 Vista desde el Satélite de Teniente Manuel Clavero y la Central URA de Punchana 78

figura 5.34 Cobertura utilizando la frecuencia de 2,4GHz en Teniente Manuel Clavero 79

figura 5.35 Cobertura utilizando la frecuencia de 450 MHz en Teniente Manuel Clavero 79

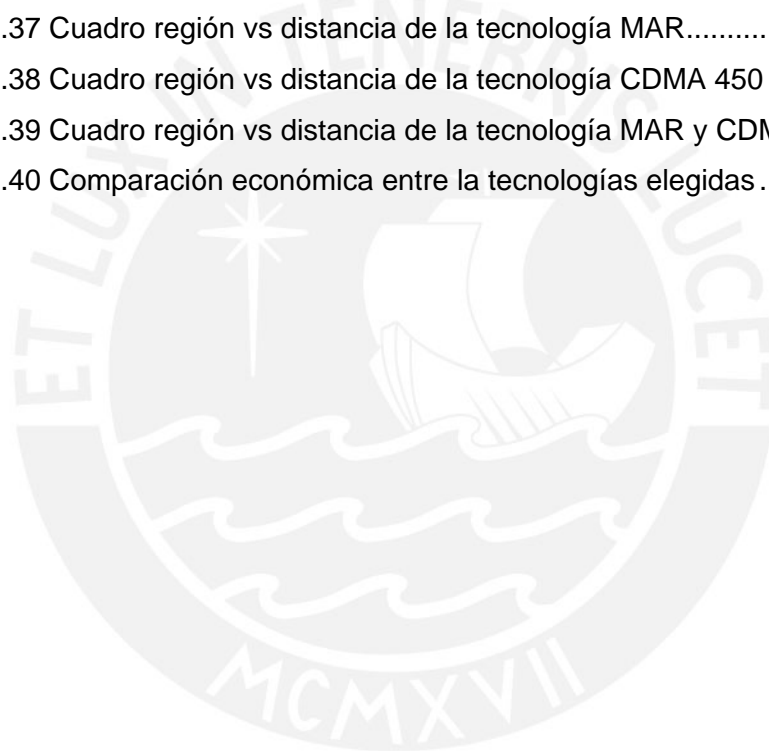
figura 5.36 Simulación de un enlace satelital en Teniente Manuel Clavero 80

figura 5.37 Cuadro región vs distancia de la tecnología MAR..... 81

figura 5.38 Cuadro región vs distancia de la tecnología CDMA 450 MHZ 81

figura 5.39 Cuadro región vs distancia de la tecnología MAR y CDMA 450 MHZ ... 82

figura 5.40 Comparación económica entre la tecnologías elegidas 87



Lista de tablas

Capítulo I	2
Tabla 1.1 Valores Típicos de EIRP para satélites geoestacionarios.....	5
Tabla 1.2 Ventajas y desventajas de las mas comunes bandas de frecuencias	9
Tabla 1.3 <i>Availability</i> versus tiempo fuera de servicio anual	17
Tabla 1.4 Diagramas de estados para modelos de <i>availability</i>	18
Capítulo II	21
Tabla 2.1 Tipos de códigos utilizados en CDMA.....	22
Tabla 2.2 Modelo de propagación de Hata	31
Tabla 2.3 Comparación cobertura vs frecuencia.....	31
Tabla 2.4 Banda de 450 MHz en el Perú	32
Capítulo III	34
Capítulo IV.....	41
Tabla 4.1 Sistema elegido para el VSAT.....	44
Tabla 4.2 Sistema elegido para CDMA 450 MHz.....	44
Tabla 4.3 Sistema elegido para MAR.....	44
Tabla 4.4 Información económica para VSAT	46
Tabla 4.5 Información económica de CDMA 450 MHz	47
Tabla 4.6 Información económica de MAR	48
Capítulo V.....	52
Tabla 5.1 Distritos elegidos para la implementación de las redes	59
Tabla 5.2 Latitud y longitud de los distritos elegidos para la implementación de las redes	59
Tabla 5.3 Número de repetidoras y costo de la tecnología CDMA 450MHz y MAR en los distritos elegidos.	83

Introducción

En el Perú gran parte de la población tiene limitado acceso a la telecomunicación y es en gran medida el problema de acceso a información actualizada confiable completa la que conlleva a que el desarrollo económico y social del Perú no sea rápido, confiable y transparente. Los pequeños productores tienen la voluntad y capacidad para hacer negocios pero necesitan contar con servicios públicos de buena calidad, información comercial y de mercado, capacitación exportadora y formación de redes para integrarse con los mercados y solamente con un soporte eficiente de servicios de comunicación será posible este desarrollo económico y social del Perú.

El auge que ha experimentado el desarrollo de las tecnologías de la información de las comunicaciones ha producido un cambio sustancial en la forma de producir, gestionar y acceder a la información y es el momento de reflexionar sobre cual ha sido nuestro aporte para fortalecer la deficiente infraestructura de información y tecnología de comunicación, para frenar la información inexacta, poco confiable y fuera de tiempo que lleva a no adoptar las medidas precautorias a tiempo además de dar lugar a pésimas tomas de decisiones.

El desarrollo de las comunicaciones requiere la utilización de tecnologías de punta que se adecuen a la especial topografía de nuestro País y que permitan ejecutar los enlaces de larga distancia en corto tiempo. El uso de tecnologías como VSAT, basada en accesos satelitales de pequeña apertura; MAR, basada en enlaces de microondas con línea de vista y CDMA 450, basada en celdas de telefonía móvil sobre portadoras en banda UHF (450 MHz), permitirá una solución de la problemática de los servicios de telecomunicación del ámbito rural peruano.

El presente trabajo tiene como principal objetivo el de mostrar cual de las tres tecnología sería recomendable usar en una determinada región (las 7 regiones habitables: Costa, Yunga, Quechua, Suni, Puna, Rupa Rupa y Omagua) del Perú basándose para ello en aspectos económicos y técnicos. Al término de este se mostrara cuadros comparativos que mostrara los resultados obtenidos.

Capítulo I

Aspectos técnicos y operacionales de las comunicaciones vía satélite con VSAT

En este primer capítulo se identificara las características, alcances y limitaciones de la tecnología VSAT, además de especificar las condiciones técnicas optimas para su aplicación exitosa en diferentes escenarios geográficos.

1.1 Definición de VSAT

VSAT es el acrónimo de *Very Small Aperture Terminal* y en sus inicios fue la marca comercial de una pequeña estación terrena de *Telcom General* en los Estados Unidos (1980). Estas estaciones terrenas son equipos montados que permiten la recepción de datos del satélite así como transmisión de este hacia el satélite. Además, se puede definir como *terminal* al equipo de usuario final como teléfono, fax, televisión, computadora, etc, que genera o acepta el tráfico que es llevado con las redes VSAT.

VSAT es uno de los productos que ofrece servicios de comunicación con poca capacidad pero con la ventaja de que es fácil de instalar en cualquier lugar y su instalación esta por debajo de \$ 2,000.

Las redes VSAT no siempre es bien aceptado por los operadores nacionales de telecomunicaciones ya que resulta en una pérdida en sus ingresos como resultado de que el tráfico es directamente desviado de la red pública y enviado hacia el satélite estableciendo una red privada entre diferentes sitios.

1.2 Configuración de una Red VSAT

VSATs esta conectado por enlaces de radio frecuencia (RF) vía satélite y se puede nombrar dichos enlaces de dos maneras: *uplink* para enlace de la estación terrena al satélite y *downlink* para el enlace del satélite a la estación terrena. Cada ciclo de estación terrena a estación terrena se le llama saltos.

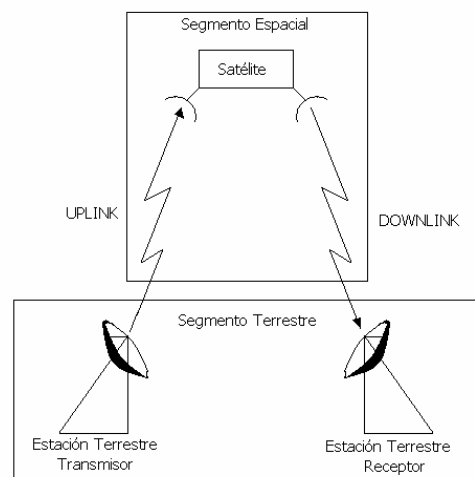


figura 1.1. *Uplink y Downlink*

Satélites Geoestacionarios son usados por las redes VSAT, estos son satélites que se encuentran orbitando en el plano ecuatorial de la tierra a una distancia de 35786 km. En esta altitud el periodo de órbita es igual a la rotación de la tierra como también el movimiento del satélite es en la misma dirección del movimiento de la tierra, esto provoca que el satélite se observe en un punto fijo en el cielo y actúe como un repetidor. Esta distancia también induce una atenuación de la señal en 200 dB tanto en *uplink* como *downlink* y un delay de 0,25s.

Estos satélites están constituidos de una plataforma y un *payload*. La plataforma consiste de subsistemas que tienen la función de proveer

potencia eléctrica al satélite a través de paneles solares y baterías, así como también subsistemas de propulsión y control de órbita. El *payload* esta comprendido por antenas del satélite con equipos electrónicos que amplifican las portadoras del enlace *uplink*. En la figura 1.1 podemos observar dicha arquitectura. El receptor (Rx) en el satélite esta compuesto de un mezclador y un oscilador local que convierte la frecuencia portadora en un frecuencia diferente usada en el *downlink* y esto es para permitir que no haya interferencia entre *uplink* y *downlink*. Posteriormente entran a un *input multiplexer* (IMUX) que agrupa cada portadora en diferentes sub bandas, cada uno de estos es amplificado (no se hace distinción entre portadora *uplink* y portadora de ruido). Luego cada grupo de portadoras es combinado en el *output multiplexer* y enviado para ser transmitido por la antena.

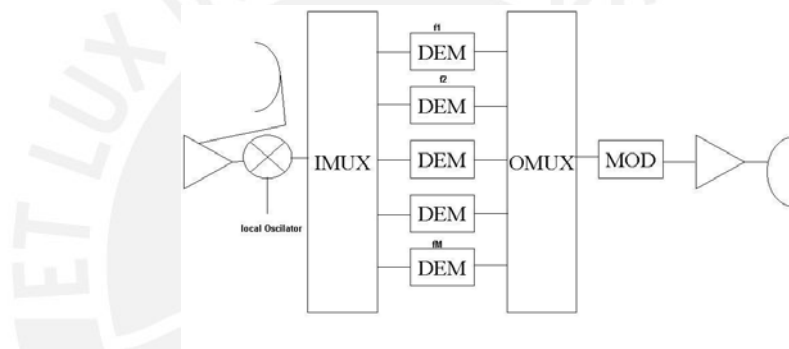


figura 1.2 Arquitectura Payload

En lo referente a la cobertura de un satélite se puede mencionar cuatro tipos:

Cobertura Global: El patrón de la antena ilumina una gran porción de la superficie de la tierra y tiene un ancho de haz de $17,4^\circ$.

Cobertura de zona: Un área pequeña que la cobertura global es iluminado. El ancho de haz es de 5° .

Cobertura mancha de haz: Un área más pequeña que la cobertura de zona es iluminada. Tiene un ancho de haz de $1,7^\circ$.

Cobertura multihaz: Esta compuesto de varias coberturas mancha de haz.

En la elección adecuada de un satélite para un servicio VSAT debe verse en primer lugar el posicionamiento del satélite en la longitud de la estación terrestre (esta pueda ser obtenida de la ITU), en segundo lugar la cobertura del satélite así como valores de EIRP y finalmente, debe chequearse el azimut y elevación de todas las estaciones para evitar que haya obstáculo que presente problema para acceder al satélite.

La tabla 1.1 muestra valores de EIRP para satélites geoestacionarios, dependiendo del tipo de cobertura y banda de frecuencia.

Tabla 1.1 Valores Típicos de EIRP para satélites geoestacionarios

	Tipo de Cobertura	EIRP
Banda C	Global	24 a 30 dBW
	Zona	30 a 36 dBW
	Mancha	36 a 42 dBW
Banda Ku	Zona	36 a 42 dBW
	Mancha	42 a 52 dBW

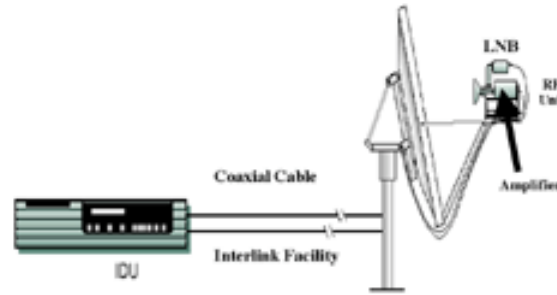
1.3 Elementos de una red VSAT

Una red VSAT esta conformado por estaciones terrestres VSAT y por estaciones HUBS.

Las estaciones VSAT se puede separar en dos grandes bloques de equipos: el *outdoor unit* (ODU) y *indoor unit* (IDU). El *outdoor unit* es la interfase del VSAT que va al satélite, mientras que *indoor unit* es el terminal hacia una red LAN. En la figura 1.3 y figura 1.4 se puede observar ambas unidades.

ODU esta conformado por la antena y paquetes electrónicos que contiene el amplificador de transmisión y de recepción, el *up-down converter* y el sintetizador de frecuencia.

IDU esta conformado por moduladores y demoduladores así como puertos para instalar sus terminales al VSAT.



Fuente: www.tcomschool.ohiou.edu/its/imgs/vsat1.gif

figura 1.3 Equipos de la estación VSAT

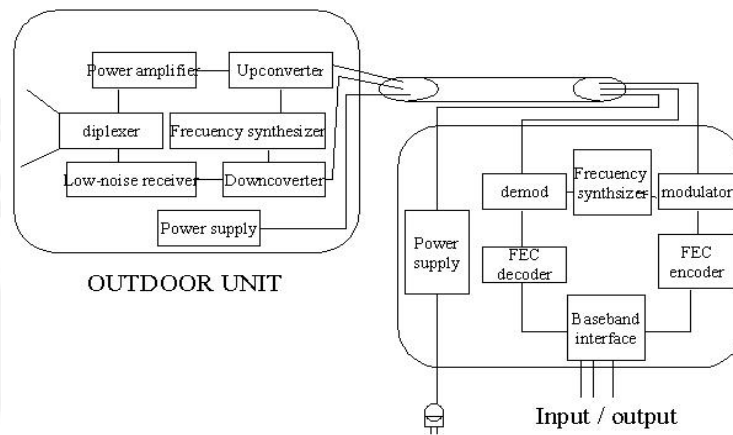


figura 1.4 Esquema de una estación VSAT

Las estaciones HUBs tienen el *indoor unit* conectado a una computadora o a una central pública o líneas privadas dependiendo de la funcionalidad que se le quiera dar al HUB.

Las estaciones HUB están equipados con NMS (*network management system*) que es una mini computadora que cumple funciones operacionales (proporcionar una re-configuración de la red dinámicamente por adición o borrado de portadoras o interfaces de red, además incluye un monitoreo y control del rendimiento y estado del hub y estaciones VSAT) y administrativas (se encarga de la seguridad y facturación).

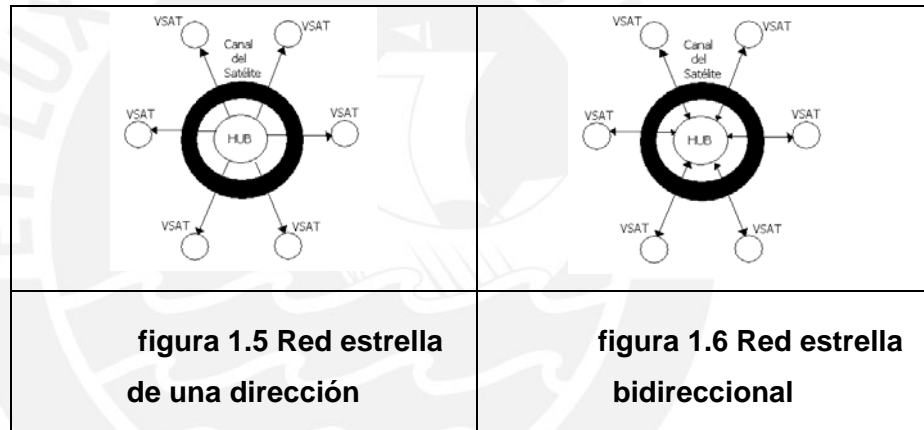
Entre las opciones de HUB que encontramos en el mercado se puede mencionar: HUB grande, tiene una antena en el rango de 8 –10 m y soporta

una gran cantidad de redes simples con la posibilidad de cientos de VSATs conectados a el; HUB compartido, muchas redes separadas comparten un mismo HUB; HUB pequeño, con una antena de 2 – 5 m puede soportar hasta 300 a 400 VSATs remotos.

1.4 Configuraciones y topología de una Red VSAT

Existen actualmente dos configuraciones típicas:

Redes en estrella (“*Star-shaped networks*”).- Es el enlace entre dos o más VSAT’s que requieren de una estación terrena, que actuara como retransmisor, para lograr alcanzar los mínimos requisitos de calidad. Presenta problema de retardo, 0,5 s debido al doble salto, pero en cambio necesita antenas de dimensiones reducidas y receptores con una sensibilidad limitada ¹³.



Redes en malla (“*Meshed networks*”).- Es en el enlace directo entre dos o mas VSAT’s sin la presencia de una estación retransmisora. Tiene un retardo de 0,25 s, menor a la red estrella, pero requiere de una antena de gran diámetro así como de una alta sensibilidad en los receptores ¹³.

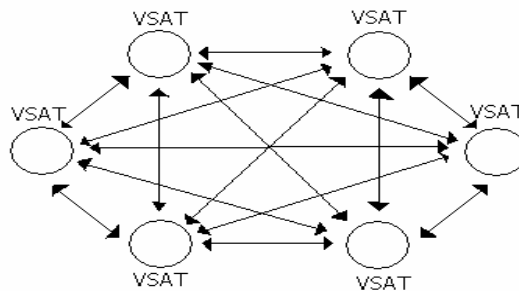


figura 1.7 Red en malla

Con respecto a la topología, las redes VSAT pueden ser clasificados en tres categorías:

Redes Broadcast: Es también llamada punto-multipunto. “Esta fue una de las primeras en explotar la tecnología VSAT comercialmente. En una red Broadcast, una estación hub broadcasts centralizada, paquetiza datos, programas de audio, video, o una combinación de estas para enviarlas a todas o un grupo de receptores remotas VSAT’s, las técnicas empleadas para esas redes incluye *single channel per carrier* (SCPC) y espectro ensanchado”⁴

Redes Punto-Punto.- “Esta redes proporcionan voz, datos y transmisión de imágenes entre dos locaciones sin el requerimiento de una estación hub. Una variación es una configuración estrella, en donde el circuito punto a punto es proporcionado de una locación centralizada hacia múltiples locaciones remotas. Esas redes usualmente usan SCPC”⁴

Redes interactivas de dos caminos.- Estas son las más populares. “Estas redes ofrece un ancho rango de voz, video y servicio de dato de un hub central a un largo número de remotas VSAT en una red estrella. La comunicación entre dos VSAT es posible a través de la estación Hub pero requiere de dos saltos”⁴.

1.5 Bandas de frecuencias

Redes VSAT operan dentro del llamado “*fixed satellite service*” (FSS) definido dentro del “*International Telecommunication Union (ITU)*” con una única excepción: “cuando los datos es broadcast asociados con televisión o programas de audio, se encuentran dentro del llamado *broadcasting satellite service* (BSS)”¹.

Para las aplicaciones comerciales son usadas las frecuencias dentro de FSS, estas son la banda C y la banda Ku. Además existe la banda ka que es usada a nivel de investigación y “la banda X que es usada por sistemas militares”¹.

En el caso de BSS, las posibles bandas que se utiliza es la de 11,7 – 12,5 GHz en la región 1 que tiene como unos de sus integrantes a Perú.

Con respecto a la elección adecuada entre la banda C y la banda Ku, este depende mayormente del costo de la tecnología en dicha banda, además, del aspecto geográfico en donde se colocara la estación. En la tabla 1.4 se detalla las ventajas y desventajas de cada una de las bandas mencionadas.

Tabla 1.2 Ventajas y desventajas de las mas comunes bandas de frecuencias

	Ventajas	Desventajas
Banda C	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliza tecnología de menor precio que la utilizada en la banda Ku • Es robusto en presencia de lluvia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Antenas de gran tamaño (1 a 3 m de diámetro). • Comparte la misma banda de frecuencia que las microondas (se debe usar CDMA)
Banda Ku	<ul style="list-style-type: none"> • Antena de pequeño tamaño (0.6 a 1.8 m de diámetro) • Uso eficiente de acceso utilizando FDMA o TDMA. 	<ul style="list-style-type: none"> • Problema de atenuación debido a la lluvia.

1.6 Acceso al medio

En una red de malla se propone dos tipos de implementaciones para acceder al medio. El primero es utilizar una implementación basada en FDMA por el cual se debe requerir N-1 transmisores y N-1 receptores en cada VSAT (considerando N como el número de VSAT en una determinada red). Esto conlleva a que sea muy costosa la red ya que se necesitaría N(N-1) portadoras y conforme aumente N la red se hará más compleja. La segunda propuesta es implementar TDMA en donde la conectividad entre todos los VSAT's se lograra utilizando una sola portadora tanto para la transmisión como para la recepción. Cabe decir que esto también tiene un alto costo y que una comunicación total permanente no es tan necesaria.

En una red estrella se puede colocar siete implementaciones. Antes de mencionar cada una de ellas, se definirá *inbound*, *outbound*, SCPC (*Single Channel Per Carrier*) y MCPC (*Multiple Channels Per Carrier*) que serán muy utilizadas en las posteriores descripciones. El primero indica la “transferencia de información desde un VSAT al HUB” [WW1], el segundo indica la “transferencia de información desde el HUB a un VSAT” [WW1], el tercero es “el tráfico de una conexión *one-way*”¹ en donde dicha conexión se refiere en la no competencia de portadoras para acceder al satélite y por lo tanto no hay necesidad de usar ningún protocolo de acceso, finalmente, el cuarto significa que “muchas conexiones *one-way* son multiplexadas en el tiempo”¹.

FDMA-SCPC *inbound*/FDMA-SCPC *outbound*

En el caso de *inbound*, cada VSAT tiene asignado bandas de frecuencias y empleara una portadora por canal, es decir multiplexara en frecuencia. Esto provocara que la banda *inbound* ocupe NK portadoras.

En el caso de *outbound* el hub utilizara NK portadoras, K para cada estación hub.

Entonces se puede concluir que se necesita k moduladores y K demoduladores en cada VSAT, y de NK moduladores y NK demoduladores en el hub.

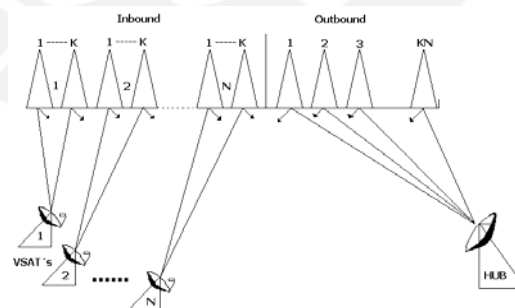


figura 1.8 FDMA-SCPC *inbound*/FDMA-SCPC *outbound*

FDMA-SCPC *inbound*/FDMA-MCPC *outbound*

En *inbound* es semejante al anterior; en *outbound* existe una reducción de portadoras mediante la multiplexación en el tiempo de los canales de cada VSAT en una portadora (MCPC).

Entonces, ahora se requiere K moduladores y 1 demodulador en cada VSAT; N moduladores y NK demoduladores en el hub.

Una característica de esta configuración es que al tener las portadoras salientes del hub multiplexadas en el tiempo, los moduladores y demoduladores de los VSAT's deben poder adaptarse a diferentes velocidades; además se tiene que al incrementar la velocidad de transmisión del hub se aumenta la potencia de transmisión de este.

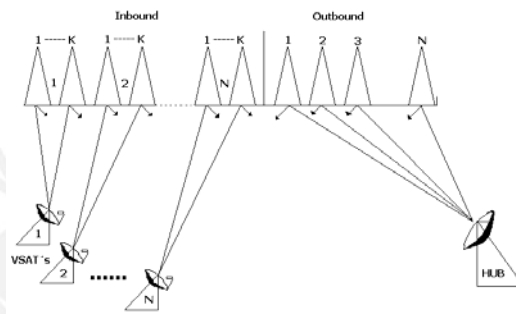


figura 1.9 FDMA-SCPC *inbound*/FDMA-MCPC *outbound*

FDMA-SCPC *inbound*/TDM-MCPC *outbound*

En el inbound sigue la misma configuración que en los casos anteriores pero ahora en el outbound se multiplexa por división en el tiempo los NK canales que transmite el hub.

En esta oportunidad se requiere K moduladores y 1 demodulador en cada VSAT; 1 modulador y NK demoduladores en el hub. Una característica es que el modulador del hub y los demoduladores de las VSAT's pueden operar a una velocidad constante igual a la capacidad máxima de la red.

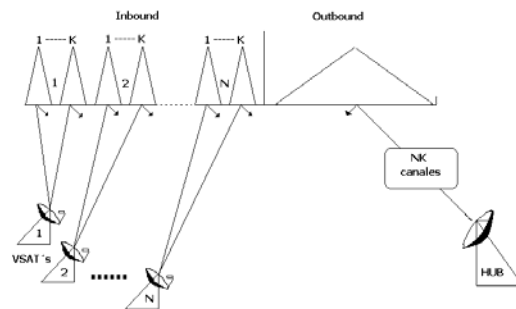


figura 1.10 FDMA-SCPC *inbound*/TDM-MCPC *outbound*

FDMA-MCPC *inbound*/TDM-MCPC *outbound*

En esta configuración, en el inbound se multiplexa por división de tiempo el tráfico de los K canales de una VSAT en una portadora MCPC, entonces se tiene N portadoras. En el outbound presenta el mismo esquema que la configuración anterior.

Ahora se requiere de 1 modulador y 1 demodulador en cada VSAT; 1 demodulador y N demoduladores en el hub.

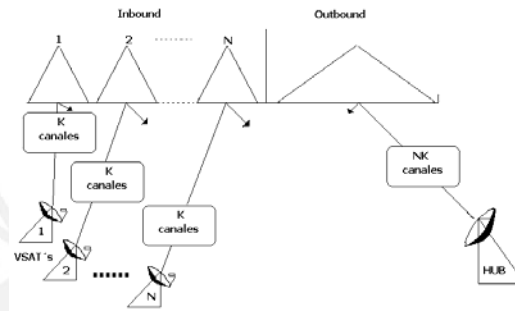


figura 1.11 FDMA-MCPC *inbound*/TDM-MCPC *outbound*

TDMA *inbound*/TDM-MCPC *outbound*

En el inbound todos los VSAT comparten esta banda accediendo al satélite en modo TDMA. En el outbound es semejante al caso anterior.

En esta oportunidad se requiere de 1 modulador y 1 demodulador en cada VSAT y en el hub.

Una observación que se debe tener es: “La capacidad de un enlace de radio frecuencia de una VSAT es igual al número de bits transmitidos por unidad de tiempo. Si una VSAT emplea un enlace de radio frecuencia con la misma capacidad que con FDMA, debe transmitir a mayor velocidad de bit ($R_{\text{TDMA}} = R_{\text{FDMA}} T_F / T_B$), donde T_F es la duración de la trama, y T_B es la duración de ráfaga. Por tanto, TDMA requiere más potencia para los transmisores de las VSAT que FDMA. A veces el incremento de potencia necesario sobrepasa las prestaciones de los VSAT, por lo que será necesario reducir la capacidad del enlace”¹⁴.

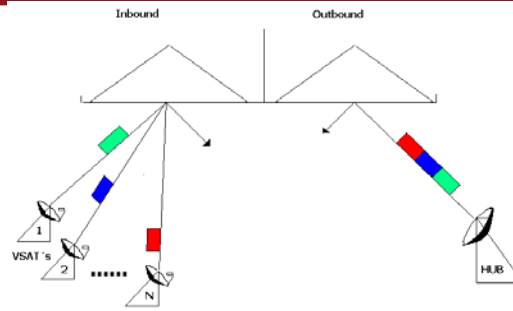


figura 1.12 TDMA *inbound*/TDM-MCPC *outbound*

FDMA-TDMA *inbound*/FDMA-MCPC *outbound*

Para buscar una reducción de la velocidad de transmisión de bit y por lo tanto también la potencia de los transmisores de VSAT, se debe de agrupar los VSAT's. En el caso de inbound cada grupo (G grupos) comparte la misma banda de frecuencia (FDMA) y accede al satélite mediante TDMA. En el outbound toda la información del hub a un mismo grupo se multiplexa por división de tiempo en una portadora MCPC. Estas portadoras acceden al satélite en modo FDMA. La banda outbound tiene también G portadoras.

Con esto se logra que la potencia de portadora necesaria por cada VSAT se divida por un factor G.

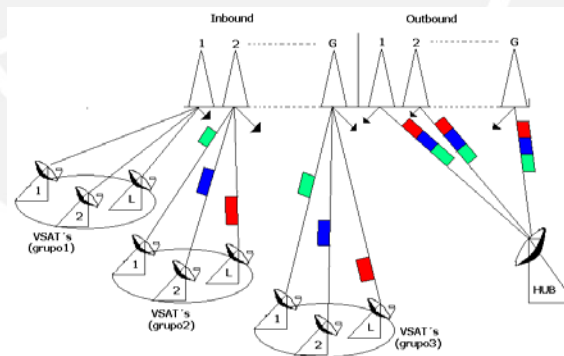


figura 1.13 FDMA-TDMA *inbound*/FDMA-MCPC *outbound*

CDMA

“Existen diferentes configuraciones al poder emplear acceso CDMA total o una combinación de CDMA y FDMA en los enlaces inbound y outbound. CDMA también se puede combinar con SCPC o MCPC al agrupar los canales.

Con CDMA, a cada portadora se le asigna un código ensanchador pseudo-aleatorio, en lugar de una frecuencia, ya que todas las portadoras usan la misma frecuencia central”¹⁵.

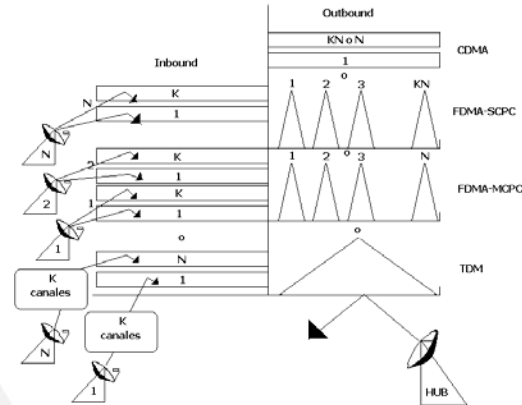


figura 1.14 CDMA

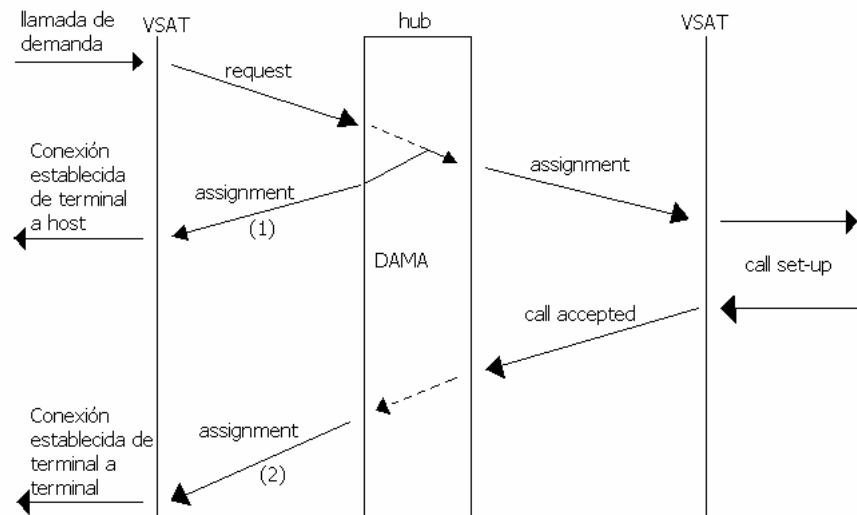
1.7 Acceso múltiple con asignación por demanda (DAMA)

Este consiste de que “un VSAT recibe una llamada de demanda procedente de uno de los terminales de usuarios asignados a él, que se puede referir a una aplicación en el ordenador anfitrión correspondiente al hub; y un terminal de usuario de otro VSAT de la red.

El VSAT envía una petición al hub a través de un canal de señalización específico *inbound*, y el hub asigna la capacidad requerida, si es posible, a través de un canal de señalización específico *outbound* comunicando la asignación de capacidad (frecuencia de portadora, tiempo de slot o código).

El retardo de la respuesta al VSAT llamante será: el tiempo de dos saltos mas el tiempo de procesamiento en el hub, si la conexión es entre un terminal de usuario y el ordenador anfitrión; y el tiempo de cuatro saltos mas el tiempo de procesamiento del hub, si la conexión es entre dos terminales de usuario, ya que el hub transmite un mensaje de asignación al terminal destino y espera el mensaje de aceptación de llamada.

La asignación por demanda requiera que parte de la capacidad de la red se dedique a señalización de peticiones y respuestas. Para una fácil incorporación de VSATs a la red, se emplea un esquema de asignación del canal de señalización aleatorio”¹.


figura 1.15 Procedimiento de DAMA

DAMA con FDMA: Se tiene una red de “N” VSAT’s con la posibilidad de transmitir K portadoras. El ancho de banda del transpondedor se divide en L subbandas, donde $L < NK$.

Se produce llamadas bloqueadas debido a que el terminal del usuario no accede a los K canales del VSAT y también porque el VSAT no puede acceder a una de las L subbandas.

DAMA con TDMA: Se tiene L slots, compartidos por N VSAT’s, entonces cada una de ellas acceden a cualquier slot desocupado.

1.8 Tipos de comunicación que se puede brindar con VSAT

Los principales servicios que se puede brindar son datos, voz y video; los dos primeros se transmiten en formato digital mientras que el último puede ser análogo o digital.

Datos.- El *rate* promedio que ofrece esta en “el rango de 50 bps a 64Kbps utilizando interfaces como RS-232, para *rates* por debajo de 20bps se utiliza RS-242, V35 y X21 para altos *bit rates*. Para redes LAN es común utilizar RJ-45”¹.

Voz.- El *rate* promedio esta entre 4,8 Kbps a 9,6 Kbps. “A menudo puede ser combinado con datos. Un bajo *rate* se puede lograr usando *vocoders* pero este provoca un delay aproximado de 50 ms”¹.

Video.- En los enlaces *outbound* se utiliza NTSC, PAL o SECAM en combinación con modulación FM o también puede ser implementado utilizando DVB-S (*Digital Video Broadcasting by Satellite*). En los enlaces *inbound* se obtienes poca potencia ya que la transmisión es a un bajo *rate*.

1.9 Mantenimiento

El mantenimiento se da en equipos que se encuentra a nivel del suelo: hubs y estaciones VSAT's. En los Hub el mantenimiento es normalmente responsabilidad de los proveedores del servicio de HUB. En los VSAT's se requiere el menor mantenimiento como fuera posible buscando mantener un costo bajo.

El principal objetivo de un programa de mantenimiento es proveer un *availability* aceptable en los equipos a un bajo costo. “*Availability* es la porción de tiempo por el cual los equipos da un aceptable rendimiento o están operacionales”².

El mantenimiento se da mayormente por fallas en los equipos y es necesario hacer una reparación de esta. Generalmente, los Hubs emplean equipos redundantes que permite que se provea servicios las 24 horas del día; esto no es muy económico para las estaciones VSAT's por lo que se busca en estas tener el menor tiempo de fuera de servicio y esto se logra con un *availability* de 99,99%.

El tiempo promedio de fuera de servicio es calculado con:

$$\textit{Tiempo fuera de servicio} = (1 - A)8,760 \textit{ horas}$$

En donde *A* es *availabilty* o disponibilidad y el valor de 8,760 es por las 24 horas del día operando los 365 días al año.

Algunos valores de fuera de servicio son mostrados en la tabla 1.5 para diferentes valores de A tanto para todas las horas del año como también para las horas de trabajo (10 horas diarias, 22 días al mes y por los 12 meses al año – 2 640 horas).

Tabla 1.3 Availability versus tiempo fuera de servicio anual

Availability	Tiempo fuera de servicio al año	Tiempo fuera de servicio considerando solo las horas de trabajo
99,99 %	0,88	0,26
99,9 %	8,76	2,64
99,50 %	43,80	13,20


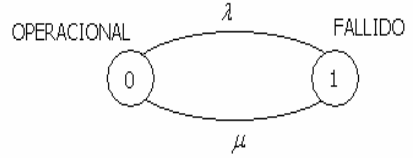
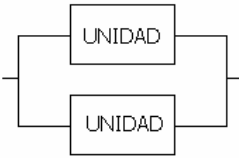
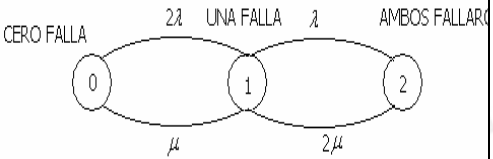
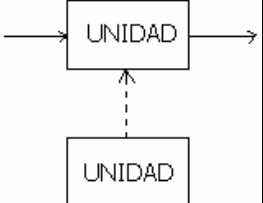
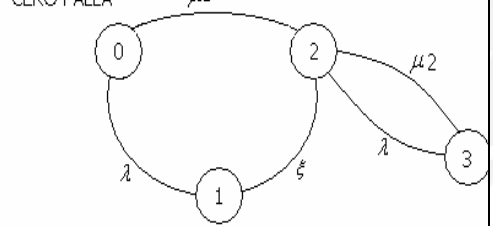
Para calcular *availability* de diferentes equipos utilizar:

$$A = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)}$$

En donde MTBF es el tiempo promedio entre fallas y MTTR es el tiempo promedio entre reparaciones, ambos en horas.

“La teoría fundamental para investigar las fallas y *availability* son las ecuaciones diferenciales estocásticas con los clásicos procesos nacimiento – muerte. Kleinrock reduce esas ecuaciones a transiciones de estados para que las soluciones sean obtenidas sin dificultad” [MA]. La tabla 1.6 muestra diagramas de tres tipos: sin respuesta, redundancia, y con respuesta. Las fallas promedio se denota con λ mientras que las reparaciones se define con μ . El MTBF es $1/\lambda$ y el MTTR es $1/\mu$

Tabla 1.4 Diagramas de estados para modelos de *availability*

Configuración del equipo	Diagramas de transición de estados	Ecuación $T\lambda=1/\lambda, T\mu=1/\mu, T\xi=1/\xi$
<p>Sin respuesta</p> 	 <p>$A_s = P_0$</p>	$A_s = \frac{\mu}{\mu + \lambda}$ $A_s = \frac{T\lambda}{T\mu + T\lambda}$
<p>Redundancia</p> 	 <p>$A_s = P_0 + P_1 = 1 - P_2$</p>	$A_s = 1 - \left[1 - \frac{\mu}{\lambda + \mu} \right]^2$ $A_s = \frac{T\lambda + 2T\mu}{T\lambda + 2T\mu + T\mu^2 T\lambda^{-1}}$
<p>Con respuesta</p> 	 <p>$A_s = P_0 + P_2$</p>	$A_s = \frac{1 + \frac{\lambda}{\mu_1}}{1 + \frac{\lambda}{\xi} + \frac{\lambda}{\mu_1} + \frac{\lambda^2}{\mu_1 \mu_2}}$ $A_s = \frac{T\lambda + T\mu_1}{T\lambda + T\xi + T\mu_1 T\mu_2 T\lambda^{-1}}$

Fuente: ²

1.10 Frecuencias asignadas por la PNAF

Para el *Uplink*:

Se puede utilizar 14 – 14,5 GHz (Banda Ku) y 5,925 – 6,425 GHz (Banda C). PNAF lo atribuye a servicio Fijo y Móvil por satélite desde la Tierra hacia el espacio. Hace además algunas recomendaciones:

“Las bandas comprendidas entre 10,70 - 11,95 GHz, 12,75 - 13,25 GHz y 13,75 - 14,5 GHz, podrán ser utilizadas para el Servicio Público de Distribución de Radiodifusión por Cable, en la modalidad de Difusión Directa por Satélite. En la banda 11,7 - 12,2 GHz, los transpondedores de estaciones espaciales del servicio fijo por satélite pueden ser utilizados

adicionalmente para transmisiones del servicio de radiodifusión por satélite, a condición de que dichas transmisiones no tengan una p.i.r.e. máxima superior a 53 dBW por canal de televisión y no causen una mayor interferencia ni requieran mayor protección contra la interferencia que las asignaciones de frecuencia coordinadas del servicio fijo por satélite. Con respecto a los servicios espaciales, esta banda será utilizada principalmente por el servicio fijo por satélite” ¹¹.

“Las bandas de 4 400 - 5 000 MHz, 5 925 - 6 425 MHz, 6 430 - 7 11 MHz, 7 125 - 8 275 MHz, 10 700 - 11 700 MHz, 12 750 - 13 250 MHz, 14 400 - 15 350 MHz, 17 700 - 19 700 MHz, 21,2 - 23,6 GHz y 37 - 38,6 GHz, pueden ser utilizadas para radio enlaces digitales para la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones, según los planes de canalización correspondientes” ¹¹.

Para el *Down-link*:

Las frecuencias asignadas son 10.7 – 12.75 GHz (banda Ku) y 3.625 – 4.2 GHz (banda C). PNAF atribuye la banda Ku y la banda C a fijo por satélite (espacio – tierra). Algunas recomendaciones:

“La utilización de las bandas 4 500 - 4 800 MHz, 6 725 - 7 025 MHz, 10,7 - 10,95 GHz, 11,22 - 11,45 GHz y 12,75 - 13,25 GHz por el servicio fijo por satélite se ajustará a las disposiciones del apéndice 30B del Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT ¹¹.

“Las bandas de frecuencias de 7 100 - 7 250 MHz, 7 300 - 7 425 MHz, 10 550 - 10 700 MHz y 12 700 - 13 250 MHz, también estarán destinadas a los enlaces fijos y móviles auxiliares a la radiodifusión por televisión. La Administración tomará las previsiones necesarias a fin de garantizar la no interferencia con enlaces que no corresponden a enlaces de radiodifusión” ¹¹.

“La utilización de las bandas 11,7 - 12,2 GHz, por el servicio fijo por satélite y 12,2 - 12,7 GHz por el servicio de radiodifusión por satélite esta limitada a los sistemas nacionales y subregionales. La utilización de la banda 11,7 - 12,2 GHz por el servicio fijo por satélite está sujeta a previo acuerdo entre las administraciones interesadas y aquellas cuyos servicios, explotados o

que se explotarán de conformidad con el presente cuadro, puedan resultar afectados”¹¹.

“La banda 12,2 - 12,7 GHz, los servicios de radiocomunicación terrenal existentes y futuros no causaran interferencia perjudicial a los servicios de Radiocomunicación espacial que funcionen de conformidad con el plan de radiodifusión por satélite para la Región 2 que figura en el apéndice 30”¹¹.

“En la banda 12,2 - 12,7 GHz, las asignaciones a las estaciones del servicio de radiodifusión por satélite en el plan para la Región 2 que figura en el apéndice 30 podrán ser utilizadas también para las transmisiones del servicio fijo por satélite (espacio-Tierra), a condición de que dichas transmisiones no causen mayor interferencia ni requiera mayor protección contra la interferencia que las transmisiones del servicio de radiodifusión por satélite que funcionen de conformidad con el plan de la Región 2. Con respecto a los servicios de Radiocomunicación espacial, esta banda será utilizada principalmente por el servicio de radiodifusión por satélite”¹¹.



Capítulo II

Aspectos técnicos y operacionales del sistema CDMA 450

En este capítulo se detallará en una forma concisa las principales características y ventajas de CDMA 450 MHz. En primer lugar se tendrá la evolución de CDMA, luego la funcionalidad de esta para finalmente terminar en sus beneficios.

2.1 Evolución de CDMA

En la figura 2.1 se detalla la línea de evolución de CDMA iniciado en la segunda generación con la aparición de CDMA IS-95-A que da comienzo a la utilización de sistemas digitales en los celulares, luego se tiene en la generación 2,5 el CDMA 2000 1X que es el sistema celular que ofrece servicios de datos por paquetes sin necesidad del establecimiento de una conexión; finalmente se tiene la tercera generación con los sistemas CDMA 1xEV-DO y CDMA 1xEV-DV que son sistemas celulares que ofrecen servicios de datos por paquetes con alta velocidad.

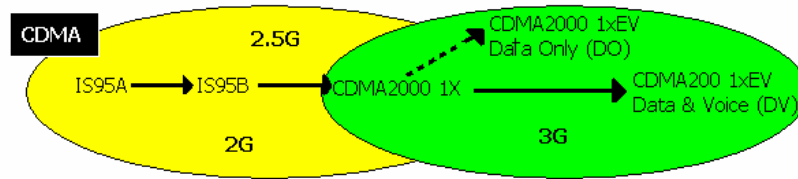


figura 2.1 Evolución de CDMA

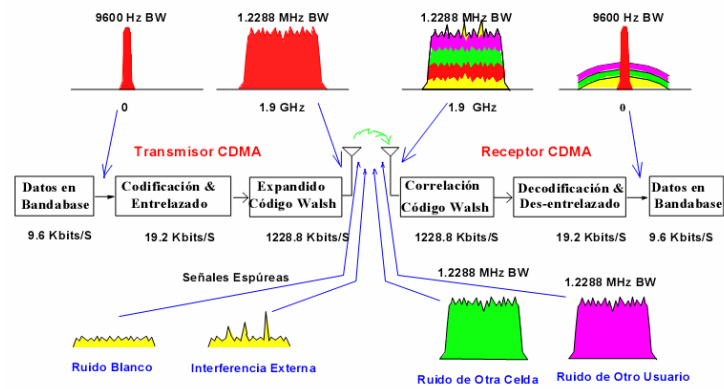
El CDMA es una tecnología que utiliza ensanchado espectral (*Spread Spectrum*) como medio de acceso que permite que varios usuarios compartan una misma banda de frecuencias. “La familia de normas TIA IS-95 de la *Telecommunications Industry Association* de los Estados Unidos estandarizó esta tecnología, a la vez que esta fue en gran parte desarrollada por la empresa estadounidense *Qualcomm*”¹⁷.

Mediante la técnica de *Spread Spectrum* la señal de información es codificada utilizando una llave de código que provoca su ensanchado espectral en una banda transformándolo en ruido; para ello puede utilizar tres tipos de código que se encuentra detallada en la tabla 2.1. Si utilizamos código de 64 bits el ancho de banda pasa a ser de 1,2 MHz (considerando como ancho de banda de la señal de información de 9,6 kHz – observar figura 2.2).

Tabla 2.1 Tipos de códigos utilizados en CDMA

<i>Walsh</i>	Conjunto de 64 códigos ortogonales
PN largo	Conjunto de $4,398 \times 10^{12}$ (2^{42}) códigos diferentes, generados por un registrador de desplazamiento de 42 bits.
PN corto	Conjunto de 32,768 (2^{15}) códigos diferentes, generados por un registrador de desplazamiento de 15 bits.

Fuente: www.teleco.com.br/es/tutoriais/es_tutorialcdma/pagina_2.asp



Fuente: Primer Boletín Tecnológico, <http://www.osiptel.gob>.

figura 2.2 Ensanchamiento espectral en el CDMA

Una arquitectura básica de un sistemas celular CDMA es presentada en la figura 2.3 en donde el MS (*Mobile Station*) es el terminal utilizado por el suscriptor, ERB (*Estación Radio Base*) es el encargado de la comunicación con las estaciones móviles en una determinada celda, BSC (*Base Station Controller*) es el que controla un grupo de ERBs, CCC (*Central de Conmutación y Control*) es la central responsable de conmutación y señalización para las estaciones móviles en una determinada área, HLR (*Home Location Register*) es la base de datos que contiene información sobre los suscriptores, y el VLR (*Visitor Location Register*) es la base de datos que contiene informaciones sobre los suscriptores en visita aun sistema móvil celular.

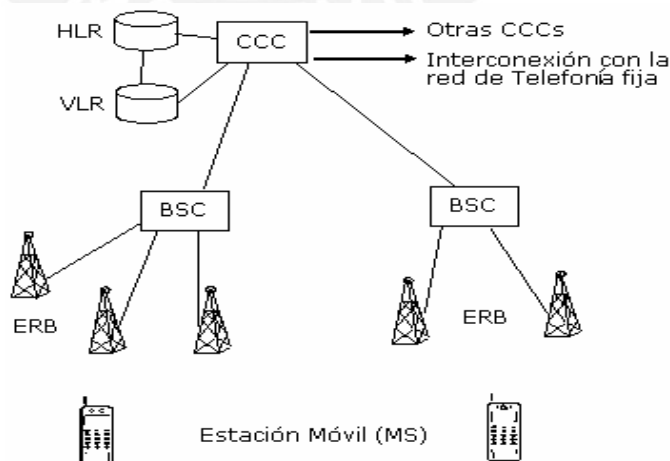


figura 2.3 Arquitectura Básica de un sistema celular CDMA (IS-95)

“En la comunicación entre la estación móvil y ERB se utiliza la modulación OQPSK, caso contrario, en la comunicación entre ERB y la estación móvil se utiliza modulación QPSK”¹⁷.

Con respecto a IS-95B, este muestra una evolución en “el aumento de la velocidad de datos de 14,4 kbps (IS-95A) a una velocidad de 64 kbps” [AZ]. Su funcionamiento consiste en concatenar 4 canales de 14,4 kbps para conseguir llegar a 64 kbps; entonces, este nuevo canal es compartido por varios usuarios y dependiendo de la carga de red podemos llegar hasta 64 kbps (“se asigna temporalmente los canales a los usuarios mientras están transmitiendo o recibiendo paquetes de información; inmediatamente después los canales quedan a disposición de otro usuario que demande transmitir”⁸).

Ahora, “cuando se habla de 3G se habla de CDMA 2000 cuya primera versión es la 1X o 1XRTT que alcanza una velocidad de hasta 144 Kbps. Más allá de 1X lo que existe es lo que se conoce como dos tendencias. La primera es el HDR o 1XEVD0, *Evolution Data Only*, el cual sería asignar un recurso espectro para sólo datos que facilita llegar hasta alrededor de 2 Mbps. El otro se conoce como 1XEVDV que es 1X evolucionado, voz ya datos, que permite llegar hasta los 5 Mbps”⁷.

CDMA 2000 1X presenta la arquitectura mostrada en la figura 2.4 en donde BTS (*Base Transiver Station*) es el equipo encargado de emitir y recibir las señales desde y hacia los móviles; BSC (*Base Station Controler*) es el encargado de agrupar y controlar los BTS y sirve de interfaz entre la BTS y la central de conmutación; MSC (*Mobile Switching Center*) es la encargada de establecer las llamadas e interconectar con otras redes de telecomunicaciones; VLR es una base de datos para saber la situación de los usuarios; HLR (*Home Location Register*) es la base de datos de todos los abonados de una red; PDSN (*Packet Data Switched Network*) es el conmutador de paquetes de datos y se utiliza para interconectar las BSC con Internet; AAA (*Authentication, Authorization and Accounting*) es la base de datos de los abonados que tienen acceso a Internet.

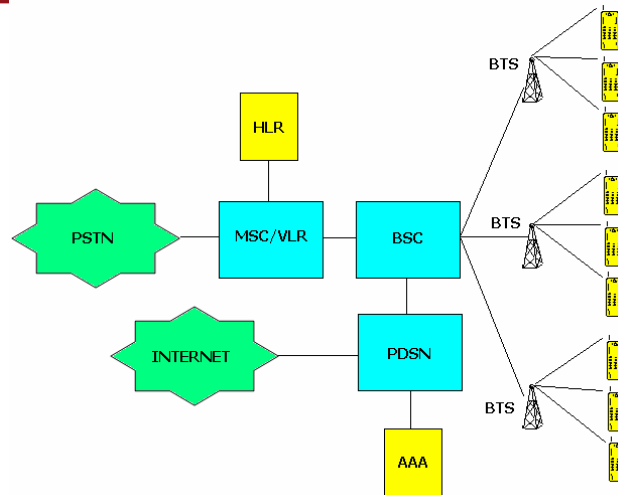


figura 2.4 Arquitectura de un sistema celular CDMA 2000 1X

CDMA 2000 puede operar en las bandas de “450 MHz, 700 MHz, 800 MHz, 900MHz, 1 700MHz, 1 800 MHz, 1 900 MHz y 2 100 MHz”⁹.

Cabe señalar que CDMA IS-95A, CDMA IS-95B, CDMA 2000 1X utiliza como portadora estándar a 1,25 MHz.

2.2 Enlaces en el sistema CDMA

El enlace directo en CDMA es el que va desde la BS hacia el MS, se divide en 64 canales lógicos para CDMA IS-95 y 128 canales lógicos para CDMA 2000 1x.

La estación base transmite simultáneamente los datos de todos los usuarios en la celda usando una secuencia de ensanchamiento diferente para cada usuario. Los datos de usuario son codificados, interlizados y ensanchados para cada una de las secuencias de *Walsh*. Para evitar interferencias, las señales entran a un proceso de *scrambling* (ver figura 2.5).

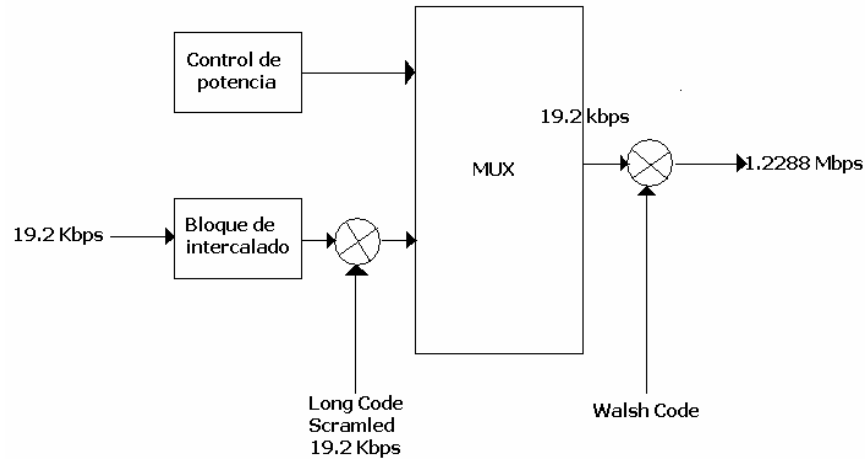


figura 2.5 Esquema del canal directo

El enlace inverso es el que va desde el MS hacia la BS. Tiene 2^{42-1} canales lógicos asociados a un código Long PN. Cada MS se encuentra permanentemente asociado con un código Long PN.

EL canal de tráfico (explicado posteriormente) está relacionado con un código largo de enmascaramiento Long PN:

1100011000 (9bits)	ESN permutado (32 bits)
--------------------	-------------------------

En donde el valor de ESN (*Electronic Serial Number*) es un número único asignado a un dispositivo.

Entonces, en el enlace inverso todos los terminales responden de modo asíncrono. Se usa uno de los códigos de *Walsh* mapeados a 6 bits para multiplicarlo por la señal y conseguir una velocidad de 307.2 Kbps. La estación base recibe la señal y la correlaciona con los 64 códigos de *Walsh* posibles y determina el que más se parece para saber cuál fue el código usado. Luego de pasar por los 6 bits del código de *Walsh*, la señal es expandida por un largo código (enmascaramiento).

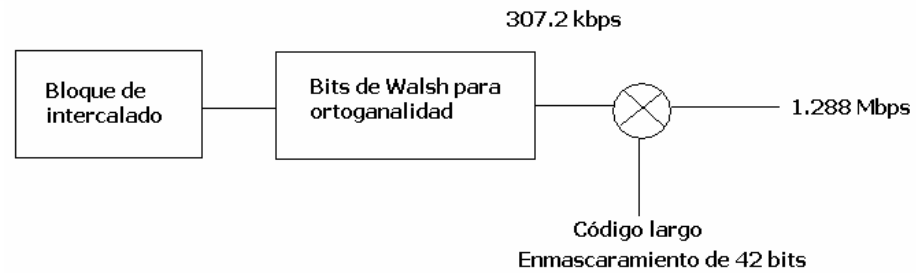


figura 2.6 Esquema del canal inverso

2.3 Canales de datos en el sistema CDMA

La transmisión de información desde una fuente hacia un destino implica muchos procesos. En el lado de la fuente: selección de usuario, sincronización con el usuario y localización del usuario. En el lado del usuario: llamar la atención de la red para obtener recursos del sistema he iniciar una transmisión. Es por tal motivo que se establece canales de datos que realizan funciones de establecimiento, servicio y término de las comunicaciones.

Para el caso del *forward link* (desde la BS hacia el MS):

Canal piloto: En este canal, la estación base no transmite nada. De todos los canales este es el que transmite con mayor potencia, y define el tamaño de la celda. El canal piloto provee una buena referencia para sincronizar con el sistema. Además, proporciona una información que corresponde al *Offset*, teniendo 512 posibles *Offset* para transmitir, usando para ello 9 bits.

Canal de sincronización: Transmite la información adicional necesaria para entrar en sincronía con el sistema.

Canal de *paging*: Es el que se utiliza para transmitir información a los móviles antes de empezar la comunicación. Tienen asignado 7 canales lógicos y supervisa si los dispositivos están en modo escucha o dormidos.

Canales de tráfico: Es donde viaja la información real, de voz o de datos. En el caso de CDMA IS-95 se tiene 55 canales de tráfico y en el CDMA 2000 1X se tiene 119 canales de tráfico.

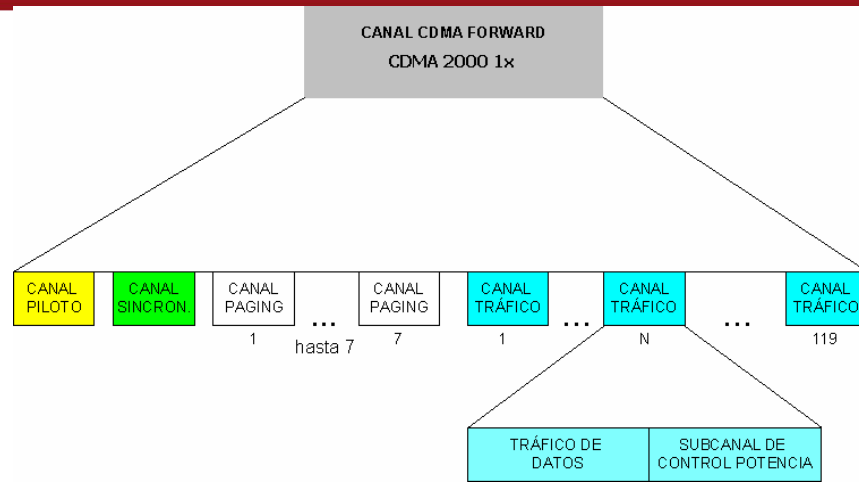


figura 2.7 Forward link del CDMA 2000 1X

Para el caso de *reverse link* (desde la MS hacia el BS):

Canales de acceso: Utilizado por los móviles para ganar la atención del sistema celular: transmitir una solicitud de registro, para iniciar llamadas y otras señales de información.

Canales de tráfico: Transmite la información de voz y datos del móvil a la red.

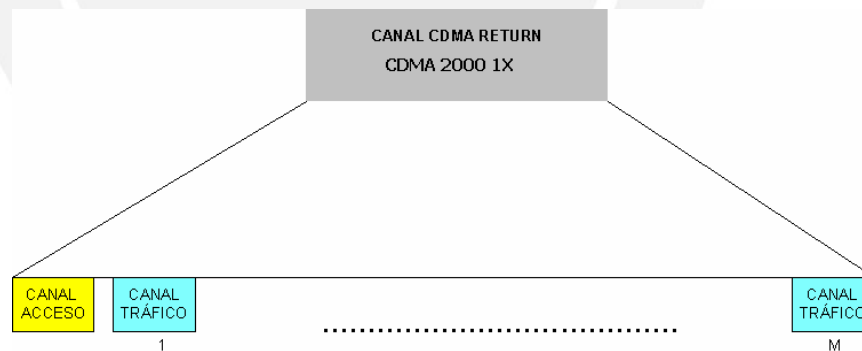


figura 2.8 Reverse link del CDMA 2000 1X

2.4 Propiedades de CDMA

Se detallara las dos principales características de CDMA:

Reuso completo de frecuencias: Las principales características de los sistemas de comunicación móviles es el despliegue mediante una estructura

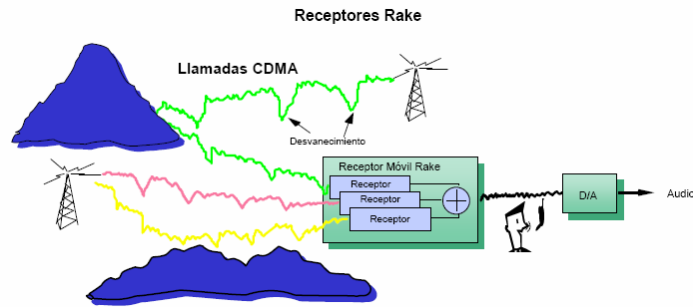
celular, donde las estaciones bases que se ubican dan cobertura a una zona determinada. Para ello los canales que se utilizan, para volver a reutilizarse, deben de estar separadas para que no se produzca interferencias significativas. Este es el caso típico de GSM.

CDMA permite reutilizar todos los canales en todas las células. Obviamente, las células vecinas generarán interferencia, pero en tanto en cuanto las secuencias código que utilicen los usuarios sean diferentes, se mantendrá la expansión de la energía interferente en un gran ancho de banda, resultando tolerable.

Aprovechamiento de la propagación multicamino: “El hecho de que CDMA utilice un ancho de banda mucho mayor que el estrictamente necesario es ventajoso en cuanto a las características del canal de transmisión. Este resultará selectivo en frecuencias y presentará propagación multicamino, de manera que se recibirán distintas versiones de la señal transmitida con distintos retardos y atenuaciones cada una de ellas. En banda estrecha, la propagación multicamino resulta problemática porque origina interferencia intersimbólicas, que debe mitigarse con la incorporación de ecualizadores de canal.

El sistema CDMA tiene una resolución temporal muy buena por ser precisamente de banda ancha con lo que una estructura de receptor que incorpore diferentes ramas (receptor RAKE) si es capaz de captar separadamente la energía que llega por los distintos caminos de propagación y combinarlos constructivamente para dar lugar a una señal más reforzada.

Además, el hecho de que el receptor RAKE esta compuesto por varias ramas receptoras permite soportar procedimientos de traspaso suaves (soft handover) de manera que el móvil puede estar conectado al mismo tiempo a dos estaciones bases, repartiendo las ramas del receptor entre ambas, con la consiguiente ganancia por diversidad que ello supone”.



Fuente: CDMA: Teoría e Implementación, Antonio D. Shappley- Motorola 1999

figura 2.9 Receptores Rake

2.5 Operación en 450 MHz

CDMA 450 es la tecnología que utiliza el sistema CDMA 2000 1X en la frecuencia de 450 MHz. Aporta grandes ventajas porque la frecuencia utilizada tiene un gran rendimiento frente a los obstáculos logrando abarcar grandes distancias con una sola celda y una gran inmunidad frente a interferencias.

En la tabla 2.2 se observa que utilizando la frecuencia de 450 MHz obtenemos una menor pérdida que para los casos donde se utiliza las frecuencias de 800 MHz y 900 MHz. Para llegar a esta afirmación se empleara la fórmula de Hata en donde:

(f) se puede sustituir por 450 MHz, 800 MHz y 900 MHz.

(d) es la distancia emisor-receptor de 20 Km.

(h₁) es la altura efectiva de la antena de estación base de 30 mts.

(h₂) es la altura de la antena de estación móvil de 1.7 mts.

Fórmula de Hata para un área abierta:

$$L_o = L_u - 4,78 \times (\log(f))^2 + 18,33 \times \log(f) - 40,94$$

Fórmula de Hata para un área urbana:

$$L_u = 69,55 + 26,16 \times \log(f) - 13,82 \times \log(h_1) - a(h_2) + (44,9 - 6,55 \times \log(h_1)) \times \log(d)$$

Factor de corrección para h₂ para ciudades mediano-pequeñas:

$$a(h_2) = (1,1 \times \log(f) - 0,7) \times h_2 - (1,56 \times \log(f) - 0,8)$$

Reemplazando los valores obtenemos:

Tabla 2.2 Modelo de propagación de Hata

Frecuencia (MHz)	450	800	900
Lu (dB)	163,94	17,40	171,72
a(h2) (dB)	0,43	0,51	0,53
Lo (dB)	137,98	142,39	143,22

CDMA 450 presenta una mayor cobertura por celda y esto se debe a que como presenta una menor frecuencia se tiene una mayor longitud de onda y esto hace que el tenga un menor desvanecimiento en la distancia y se aproveche más el fenómeno de reflexión.

Tabla 2.3 Comparación cobertura vs frecuencia

Frecuencia (MHz)	Radio de celda (Km)	Área de celda (Km ²)	Celdas necesarias para cobertura equivalente
450	48,9	7521	1
850	29,4	2712	2,8
1900	13,3	553	13,6
2500	10	312	24,1

Fuente: www.450world.org

2.6 Beneficios y Aplicaciones de CDMA450

Entre los posibles beneficios que provee esta tecnología se encuentran:

- La banda de 450 MHz puede ser utilizada para proveer acceso de banda ancha a los usuarios de datos fijos o móviles como por ejemplo el acceso a Internet a hospitales, empresas y otros usuarios. Una red CDMA 450 hace que tales ofertas sean más costo efectivo en áreas rurales debido a las características de propagación favorables de las redes que operan en la banda 400 – 500 MHz.
- Con una mayor propagación, se requiere una menor infraestructura para desplegar y mantener redes que resultan en ahorros substanciales de costo de capital y de gastos operativos para los operadores.

Con respecto a las aplicaciones, actualmente disponibles para los sistemas CDMA450, se menciona:

- Servicios de localización de posición
- Voz
- Mensajería instantánea móvil
- Aplicaciones de seguridad pública
- Tele-medicina
- Comercio Móvil
- Telemática
- Descarga, etc

2.7 Banda de 450 MHz para servicios en áreas rurales

Actualmente, en el Registro Nacional de Frecuencias, se tiene asignada a una sola empresa VALTRON E.I.R.L.

Tabla 2.4 Banda de 450 MHz en el Perú

Canal	Frecuencia (MHz) BW: 1,25 MHz		Empresa	Área de Asignación
	Ida	Retorno		
1	453,975	463,975	VALTRON E.I.R.L	Provincia Huarochiri (Departamento Lima)
2	455,225	465,225	Disponible	
3	456,475	466,475	Disponible	

Fuente: www.mtc.gob.pe

Algunas recomendaciones de PNAF:

“Las bandas comprendidas entre 152,35 - 154,35 MHz, 454,8375 - 456,0125 MHz y 459,2375 - 459,4875 MHz están atribuidas a título primario para servicios públicos de telecomunicaciones. El otorgamiento de la concesión y la asignación de espectro para la prestación de servicios públicos en la provincia de lima y la Provincia Constitucional del Callao utilizando estas bandas, será mediante concurso público de ofertas. Las frecuencias asignadas a los teleservicios privados dentro de estas bandas podrán ser

utilizadas sólo hasta el término de su autorización, excepto las asignaciones realizadas a entidades del Gobierno.

Los concesionarios del servicio público de buscapersonas que vienen operando en la banda 454,8375 – 456,0125 MHz deberán migrar a la banda 459,2375 – 459,4875 MHz en un plazo que no deberá de exceder el 30 de septiembre de 2007”¹².

“Las bandas comprendidas entre 452,5 – 457,5 MHz y 462,5 – 467,5 MHz están atribuidas a título primario para la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones utilizando sistemas de acceso fijo inalámbrico. El otorgamiento de la concesión y la asignación de espectro para la explotación de servicios públicos en estas bandas serán mediante concurso público en ofertas para la provincia de Lima y la Provincia Constitucional del Callao.

Los titulares de asignaciones para servicios privados en estas bandas deberán migrar a otras bandas de frecuencias en un plazo que no deberá de exceder el 30 de septiembre de 2007, de acuerdo a las condiciones que se establecerá el Ministerio con la finalidad de garantizar la continuidad de los servicios autorizados”¹².

Capítulo III

Aspectos técnicos y operacionales del Multiacceso Acceso Radial Digital

3.1 Redes de Acceso Múltiple

El sistema de Acceso Múltiple se utiliza cuando el número de usuarios en una zona determinada es relativamente elevado o cuando sólo se dispone de un número limitado de canales. En estos sistemas se asigna un grupo de canales radioeléctricos a una determinada zona de servicio; todos los abonados de esa constituyen un grupo radioeléctrico de acceso múltiple, y cada uno de ellos puede utilizar, a petición, cualquier canal libre de grupo.

Estas redes permiten el uso común de canales, es decir, varias frecuencias o intervalos de tiempo, por muchos abonados. Se puede clasificar en:

Redes de Acceso Múltiple por División en Frecuencia (FDMA).- Tiene la ventaja de que se puede aumentar o disminuir los canales radioeléctricos según las necesidades, aunque en la estación central se requieran tantos transmisores y receptores como números de canales radioeléctricos proporcionados. Asimismo, necesitan antenas comunes que son compartidos por varios transceptores radioeléctricos.

Redes de Acceso Múltiple por División en el Tiempo (TDMA).- En este sistema, cada transceptor puede servir simultáneamente a varios abonados. El número de troncales se fija en el diseño básico del sistema por el número de intervalos de tiempo proporcionados en cada trama. Por consiguiente, toda red comprende de manera inherente el número de troncales prevista en el diseño del equipo, añadiéndose el equipo de línea de acuerdo con el número de abonados a las que se ha de dar el servicio.

3.2 Configuraciones de la Red de Acceso Múltiple

Se puede dividir en tres configuraciones:

Radial.- Este es el tipo de cobertura de una sola zona en donde se tendrá una sola estación central para prestar servicios a su zona circundante. Es el tipo más sencillo y no necesita repetidores entre la central de conmutación y la estación central. Si se necesita un sistema de mínimo costo se puede utilizar esta configuración.

Derivación.- Esta configuración se usa para proporcionar un servicio rural a zonas distantes de la red. “Es una forma de prestar servicios a zonas rurales vecinas utilizando las facilidades de transmisión del radio enlace múltiples existente”²⁴.

Lineal.- “Puede usarse para dar servicio rural a zonas distantes si no existe enlace múltiples por microondas. Este tipo de aplicación puede realizarse fácilmente proporcionando la función repetidora al propio sistema de comunicación rural”²⁴.

3.3 Partes de un Sistema de Acceso Múltiple

La principal función de estas redes es de distribuir líneas telefónicas y circuitos de datos desde una estación central hasta estaciones distantes situadas en regiones distantes. Para ellos utilizan:

Estación Central.-Funciona como interfaz terminal conectada a la central telefónica existente (central de conmutación) o en el caso de redes de datos, a una computadora principal. Usualmente la encontramos instaladas en

interiores, en un edificio en donde se encuentra la central de conmutación y su equipamiento consta de un transceptor(es) saliente(s) con duplexor integrado, una PC, panel de supervisión del sistema, anaqueles de línea y/o datos, fuente de alimentación y un sistema de antenas.

Estación Repetidora.- Permite extender la zona de cobertura del Sistema de acceso múltiple cuando el trayecto radioeléctrico entre la estación central y las estaciones periféricas no tienen visibilidad directa (LOS) debido ya sea a obstáculos o a distancias muy grandes. Para su alimentación se usa fuentes de energía no convencionales (paneles solares). En esta estación se realiza la translación de frecuencias radioeléctricas de acuerdo a un plan de frecuencias fijo previamente impuesta al sistema.

Las repetidoras se utilizan en exteriores y estas incluyen: Transceptores entrantes y salientes con duplexores integrados, Unidad de Control, fuente de alimentación, sistema de antenas y módulos de línea (voz y/o datos) en caso hubiesen abonados cerca de la estación repetidora.

Estación Periférica.- Permite brindar servicio telefónico o de datos a un pequeño grupo de abonados. Esta es la parte la red troncal más cercana al abonado, y puede estar ubicado en el mismo local que el equipo terminal (teléfono o PC). Esta constituida por un transceptor entrante con duplexor integrado, CPU, fuente de alimentación, módulos de línea (voz o datos) y sistema de antenas.

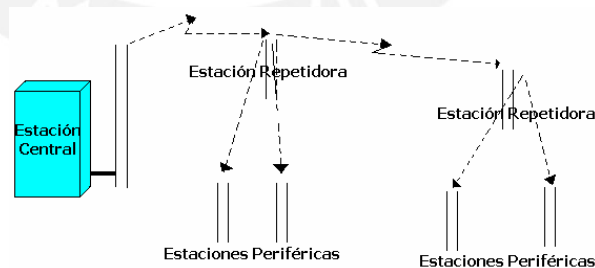


figura 3.1 Configuración del Multiacceso Radial

Las siguientes figuras muestran una estación repetidora y una estación que radia la información a los abonados. Estos poseen equipos como: radio del enlace, PoE, switch, antenas omnidireccionales (para los enlaces punto-multipunto), antenas direccionales (para los enlaces punto a punto), torre,

cables (coaxiales, de energía, STP), distribuidor de corrientes, inversor, controlador de cargas, baterías y paneles.

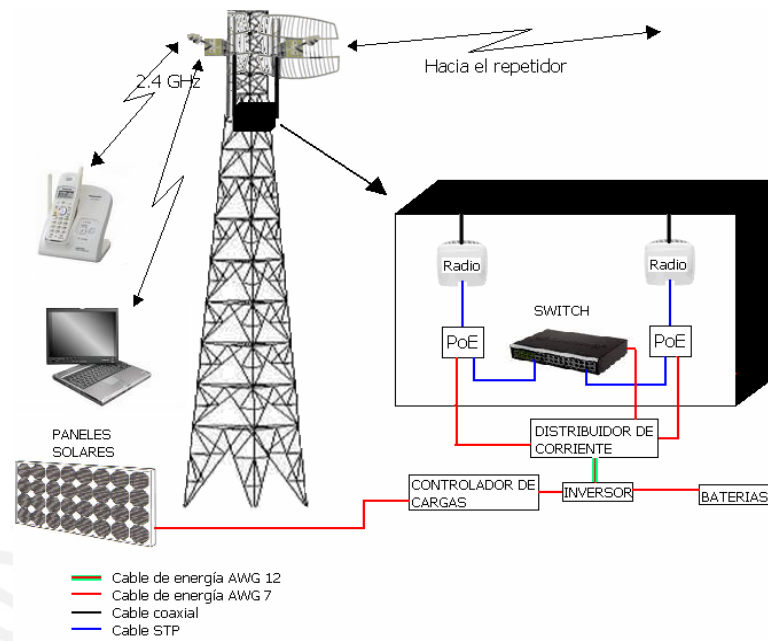


figura 3.2 Enlace Omnidireccional de 2.4 GHz

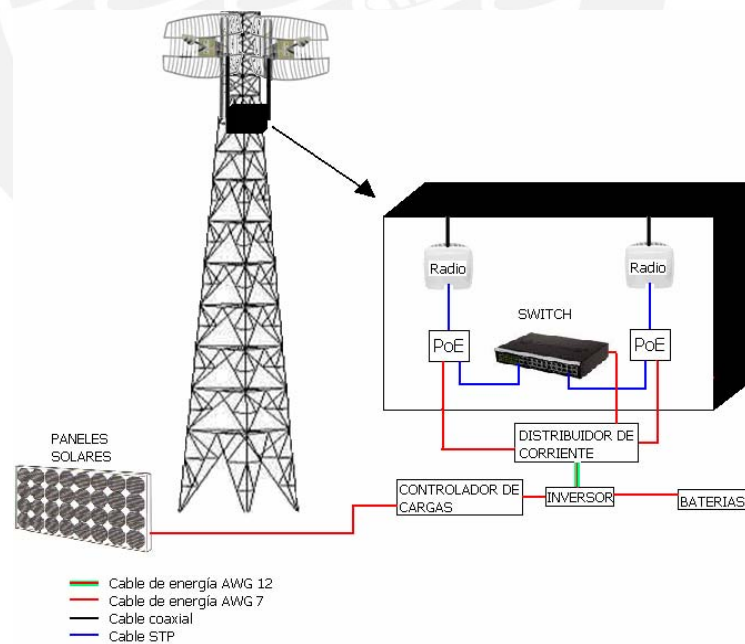


figura 3.3 Enlace direccional de 5.7 GHz

3.4 Aplicaciones de MAR

Se puede mencionar dos aplicaciones:

Aplicaciones para Servicio Telefónico.- Se podría decir que esta es la principal aplicación de MAR- distribuir líneas telefónicas desde una central telefónica a una central automática privada (PABX).

Una red de acceso lo que hace es simular un aparato telefónico en la central de conmutación y emula una central telefónica para el abonado.

Para los abonados conectados a través de la Red de Acceso Múltiple, la conmutación de las llamadas y su gestión de tasación se producen en la central telefónica de forma habitual.

Utilizando los módulos apropiados de interfaz de red (módulos de línea) en las estaciones centrales y periféricos se pueden brindar los siguientes servicios:

- Función de comunicación interna.
- Líneas a cuatros hilos E&M para circuitos entre centrales telefónicas.
- Interfaz de abonado RDSI (2B+D).
- Línea a dos hilos para teléfonos con disco rotativo a DTMF.
- Teléfonos públicos con opciones para teléfonos de pago previo y teléfonos de pago diferido.
- 2.048 Kbits/s (G.703, G.704, G.706, G.823) en la estación central.
- Facsímile usando líneas telefónicas estándar a dos hilos.”[]

Aplicaciones para Datos y SCADA.- La red de acceso múltiple puede conectarse directamente a una computadora digital o a otro equipo terminal de datos, sin necesidad de emplear módems para la conversión analógico-digital.

La selección de módulos apropiados de interfaz de red en la estación central y en la estación distante (repetidoras, periféricos), permiten proporcionar servicios de datos bajo diferentes normas. Por ejemplo:

- RS-232C (EIA) o V24 (CCITT)

- RS-422A (EIA) o V11 (CCITT)
- V.35 (CCITT)
- G.703 (CCITT) interfaz codireccional y contradireccional

3.5 Banda no licenciada

La selección de los equipos a utilizar será entre aquellos que funciona en la Banda ISM (reservada internacionalmente para usos de radiofrecuencia no comerciales, tiene propositos de desarrollo en el área industrial, científica y médica).Las ITU-R define a estas bandas en los siguientes rangos:

- 902 MHz - 928 MHz
- 2.4 GHz – 2.4835GHz
- 5.725 GHz - 5.850 GHz

El uso de equipos en esta banda no requiere licencia de funcionamiento en la mayoría de países.

En 1997 la IEEE aprobó el estándar 802.11 para comunicaciones de redes inalámbricas. Este estándar usa la banda de microondas de 2.4Ghz para baja potencia y establecía velocidades de 1Mbps y 2Mbps. Mejor aún en setiembre de 1999 se aprobó la extensión 802.11b que establecía velocidades de hasta 5.5Mbps y 11Mbps. Actualmente tenemos los estandares 802.11g (2.4GHz) y 802.11a (5.8GHz) con velocidades hasta 54Mbps. Estas nuevas tecnologías que se diseñaron a partir del estándar 802.11b aplicadas a redes de área local inalámbricas pueden ser usadas en exteriores, para ello solo es necesario conectar estos equipos a antenas externas de buena ganacia. Aunque esta banda sea “no licenciada” tiene ciertas restricciones legales de potencia en áreas urbanas, pero estas restricciones son más flexibles en áreas rurales, más adelante se especificara lo que el PNAF menciona sobre esto. La ventaja de los equipos fabricados bajo los estandares 802.11 (también llamado WI-FI) es que ofrecen un gran ancho de banda (de hasta 54Mbps) a un precio reducido. Asimismo la frecuencia en la que trabaja WI-FI (2.4Ghz y 5.8GHz) es muy resistente a la lluvia y niebla, característica que consideramos fundamental

para comunicaciones rurales a grandes distancias. El requisito indispensable para poder lograr enlaces óptimos con estos equipos es tener “línea de vista” entre los puntos a enlazar.

El PNAF menciona que las frecuencias de 902 – 928 MHz, 2 400 – 2 483.5 MHz y 5 725 – 5 850 MHz son utilizadas para servicios fijos y/o móvil, público y/o privados y “los servicios de radiocomunicaciones que funcionan en estas banda deben aceptar la interferencia perjudicial resultantes de estas aplicaciones y en ningún caso podrán causar interferencias a aplicaciones ICM” [PNAF P23].

Existe una disposición complementaria en la Resolución Directoral N° 076-98-MTC/15.19 que manifiesta lo siguiente:

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA

PRIMERA: EN ZONAS RURALES Y LUGARES CONSIDERADOS DE PREFERENTE INTERÉS SOCIAL

“Disponer que sólo en las zonas rurales y en los lugares considerados de preferente interés social que determine el Ministerio, y previa obtención de la concesión, autorización, asignación del espectro radioeléctrico, permiso o licencia para la instalación y/o prestación de servicios de telecomunicaciones, según sea el caso; está permitido operar equipos en las bandas 902 - 928 MHz, 2 400 – 2 483,5 MHz y 5 725 – 5 850 MHz, utilizando antenas direccionales de mayor ganancia que permitan superar el valor de 36 dBm (4 W) de la PIRE”.²¹

Capítulo IV

Aspectos económicos de VSAT, CDMA 450 y MAR

4.1 Conceptos básicos de Telecomunicaciones Rurales y su concepción en el Perú

Un modelo de una red rural esta influidas por factores como el número y ubicación de los abonados en una determinada zona y un pronóstico de crecimiento de la densidad de estos en la zona ya que este ultimo punto implica un cambio casi radical del modelo asociado con la red en una fase de desarrollo-

Una red rural es una parte de la red telefónica nacional pero este implica un extenso uso de medios de transmisión bastante diferente de la que es habitual en la estructura principal de una red telefónica nacional.

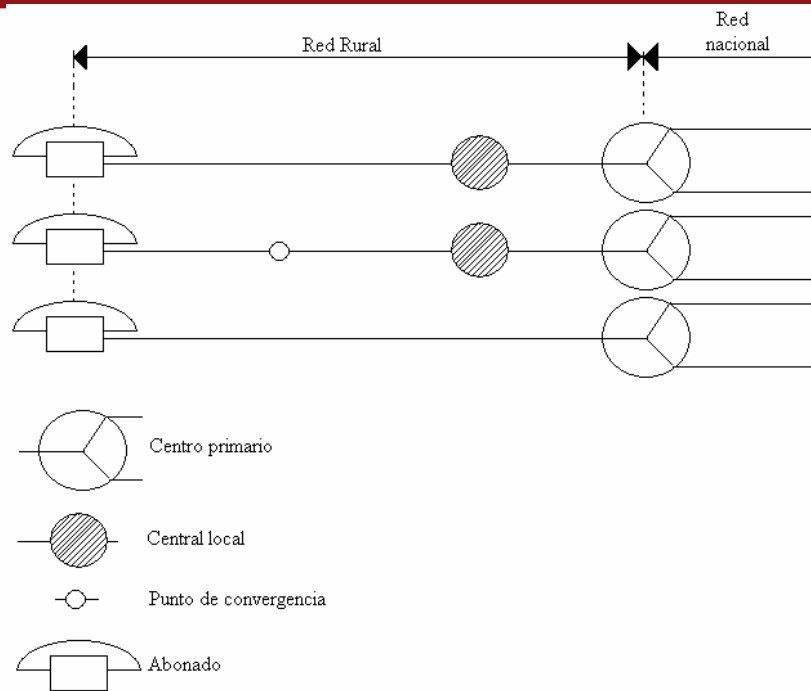


figura 4.1 Configuración de interconexión entre la red rural y la red nacional

La figura central (la que consta de una central local y un punto de convergencia) es la representación más general de la estructura de una red rural.

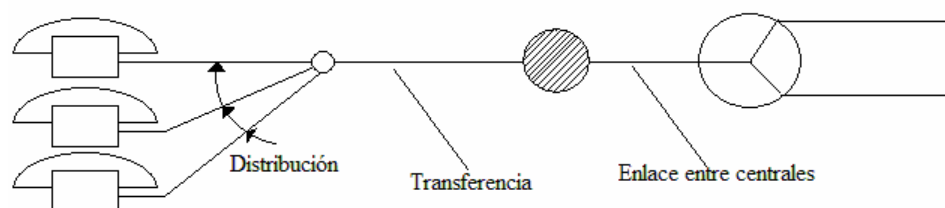


figura 4.2 Estructura más general de una red rural

El punto de convergencia es un punto donde convergen todos los enlaces correspondientes a los abonados de la misma zona.

La función de distribución identifica el establecimiento de los distintos enlaces entre el abonado de un grupo dado y el punto de convergencia asociados a los mismos. La transferencia identifica el establecimiento de un enlace entre un punto de convergencia y la central local. El enlace entre

centrales consiste en el establecimiento de circuitos entre centrales telefónicas (entre centrales locales o centrales satélites).

Ahora, referente a la concepción de las telecomunicaciones rurales en el Perú se caracteriza por solo mostrar acceso Universal cuyo principal objetivo es garantizar el acceso colectivo universal. El financiamiento del acceso universal es cubierto por el Fondo de Inversión en Telecomunicaciones (FITEL). La ley de Telecomunicaciones crea el FITEL como un derecho especial del 1% sobre los ingresos brutos de las empresas operadores de servicios públicos de telecomunicaciones.

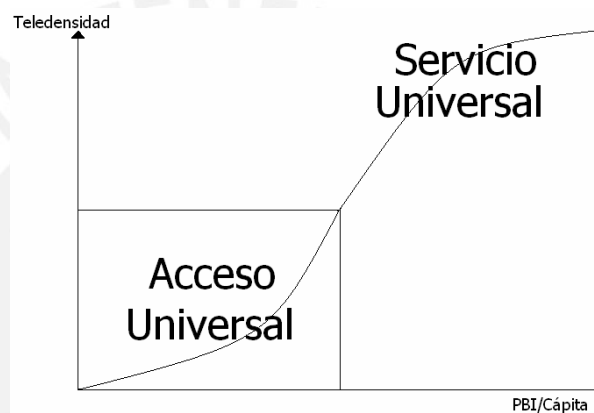


figura 4.3 Esquema de la concepción de las telecomunicaciones en el Perú

La diferencia de este con el servicio universal es que esta última busca que se ofrezca al cliente servicios diferenciados, es decir buscar que los ciudadanos puedan acceder a los servicios a precios razonables.

4.2 Sistemas a utilizar

Para realizar un análisis económico se debe definir previamente cuales son los requerimientos técnicos que se utilizara como base para la instalación de cada red (se usara el mismo sistema en cada región para tener un mismo punto de comparación), por lo que se propone los siguientes sistemas para cada tecnología:

Tabla 4.1 Sistema elegido para el VSAT

Very Small Apertura (VSAT)			
Satélite ANIK F1	HUB	Inbound	Outbound
Longitud: -107,3 E	Altura: 6,30 metros	Date Rate: 128	Data Rate: 128
Transponder: 27	de diámetro	Kbps	Kbps
MHz	PIRE: 51 dBW	Modulation: 2	Modulation: 2
SFD: -84,50	G/T: 1 dB/K	Bit/Sym	Bit/Sym
dBW/m ²	Latitud: -12,11	Ebi/No: 5 dB	Ebi/No: 5 dB
Gain Step: 20 dB	Longitud: -77,03	Carrier Space: 500	Carrier Space: 500
IBO: 6,50 dB	Altitud: 0,11 km	Khz	Khz
OBO: 3,50 dB	Disponibilidad:		
C/I: 16 dB	99,6 %		
Banda: Depende	UPC: 5 dB		
de la región	N° Portadoras: 1		

Tabla 4.2 Sistema elegido para CDMA 450 MHz

CDMA 450 MHz	
BTS	Dispositivo Móvil
Antena sectorial: 5 dBi	Antena Omnidireccional: 0 dBi
Potencia de tx: 144 dBm	Potencia de tx: 23 dBm
Sensitividad: -110 dBm	Sensitividad: -104 dBm
Perdidas totales: 11 dB	Perdidas totales: 3 dB

Tabla 4.3 Sistema elegido para MAR

Multiacceso Radial (MAR)		
Entre Repetidores (pto a pto)	Estación Periférica (tx)	Abonado
Frecuencia: 5,8 GHz	Frecuencia: 2,4 GHz	Frecuencia 2,4 GHz
Antena direccional: 29 dBi	Antena omnidireccional:	Antena omnidireccional: 2
Potencia de tx: 26 dBm	10 dBi	dBi
Sensitividad -94 dBm	Potencia de tx: 26 dBm	Potencia de tx: 15 dBm
Perdidas de cables: 0,355	Sensitividad: -97 dBm	Sensitividad: -68 dBm
dB/metros	Perdidas de cables: 0,222	
Perdidas de conectores:	dB/metros	
0,5 dB	Perdidas de conectores:	
	0,5 dB	

4.3 Aspectos económicos para VSAT

VSAT es una tecnología de bajo costo, usando la transmisión de doble vía a través de un satélite geoestacionario, en comparación con instalar una red troncal ya sea cableada o inalámbrica.

El esquema de los equipos utilizados en una estación terrena están mostrados tanto en la figura 4.4 como en la figura 4.5. Se realizara una cotización de equipos según el sistema mostrado en el punto anterior que cumple con las especificaciones técnicas mínimas para un buen funcionamiento.

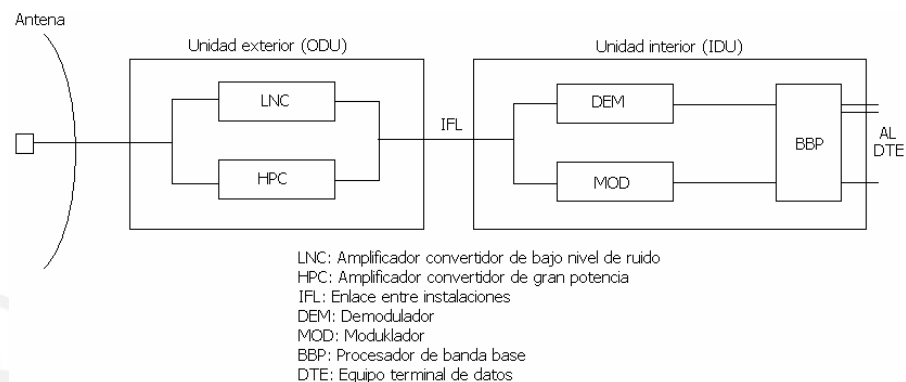


figura 4.4 Diagrama de bloques de la estación VSAT

Observándolo desde el punto de vista físico, tenemos:

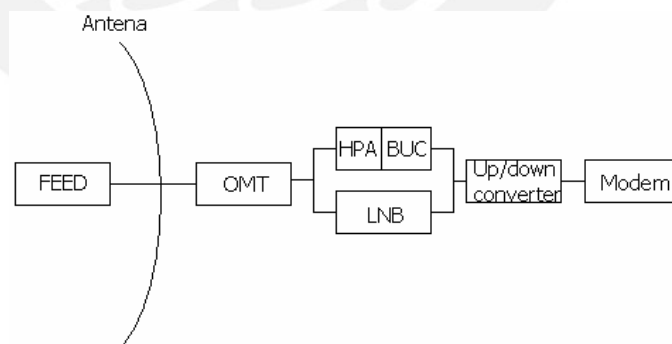


figura 4.5 Diagrama de bloques de la estación VSAT (Equipos)

Para el aspecto económico utilizare la información hallada en la empresa Gilat-Perú²² el cual presenta un paquete de Internet con Telefonía:

Tabla 4.4 Información económica para VSAT

INTERNET	TARIFA MENSUAL	Velocidad Bajada	Velocidad Subida	Overbooking
INET 128/64	US\$ 170.00	128 Kbps	64 Kbps	1:8

	Costo de Instalación (COMODATO)	Observaciones
PACK TELEFONIA + INTERNET	US\$ 2,000.00	El plan anterior mas la oferta de telefonía en calidad de venta

TOTAL (1er año)	US\$ 4,040
TOTAL (a partir del 2 año)	US\$ 2,040

4.4 Aspectos económicos para CDMA 450

En esta tecnología el esquema a seguir es el del CDMA 2000 1x. En la figura 4.3 se muestra la arquitectura básica.

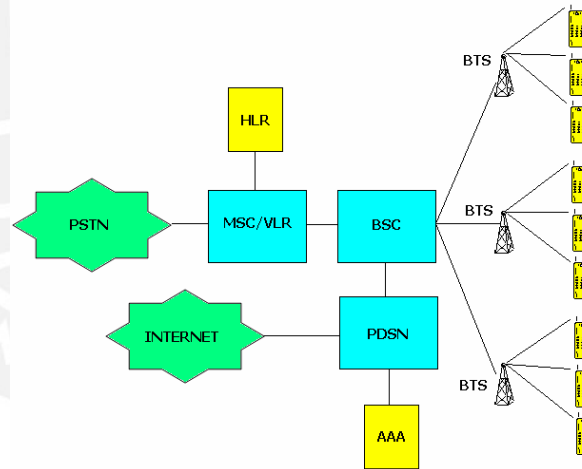


figura 4.6 Arquitectura de un sistema celular CDMA 2000 1X

Se deberá colocar un centro de conmutación, dentro de esta se encontrara la central de conmutación (MSC), el controlador de estación base (BSC) y la red de paquetes de datos (PDSN).

Como referencia para el aspecto económico de esta tecnología utilizare como proveedor de infraestructura a la empresa ZTE (empresa elegida en la infraestructura de VALTRON) que además provee terminales.

Tabla 4.5 Información económica de CDMA 450 MHz

Equipos	Precio Unitario
MSC (ZXC10 MSC/VLR ZXC10-MSC/VLR/SSP, ZX C10-6MSC) + HLR/AUC (ZX C10 HLR/AUC)	US\$ 400,000
BSC (ZXC10 BSC/PCF)	US\$ 250,000
BTS (ZXC10 BTS) – Incluye antena	US\$ 40,000
PDSN (ZTE ZX PDSS Packet Data Switching System) + AAA (ZX PDSS A 100 cdma 2000-1x Packet Data AAA Server)	US\$ 100,000
Plataforma Prepago y Msj Cortos	US\$ 30,000
Bridge Tsunami ® Quick Bridge 11 Model 2454 - R	US\$ 2,250
TOTAL	US\$ 822,250

Con relación a gastos de terminales:

Equipos	Precio Unitario
Terminales fijos	US\$ 100
Terminales móviles	US\$ 55

4.5 Aspectos económicos para MAR

MAR utiliza el esquema mostrada en la figura 4.4 – una estación central con estaciones repetidoras y estaciones periféricas.

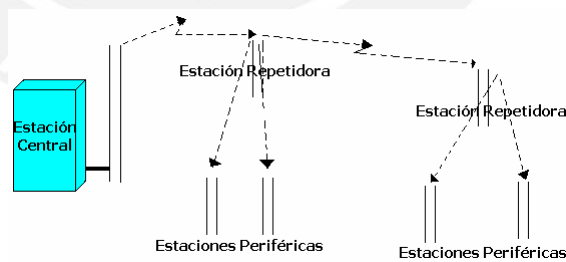


figura 4.7 Configuración del Multiacceso Radial

En las torres, donde se encuentra los repetidores, se tiene el siguiente diagrama que servirá de base para la elección de los equipos:

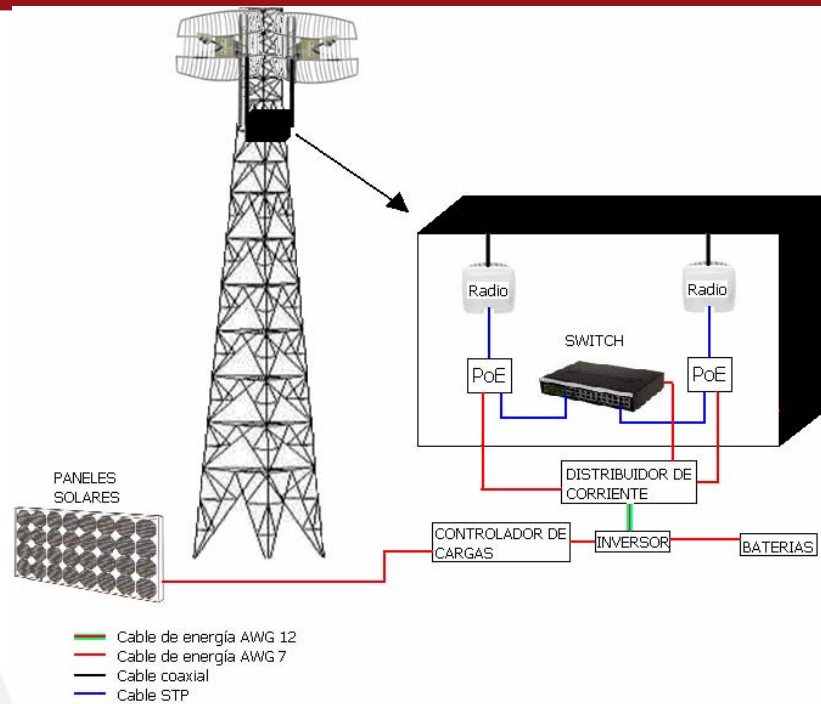


figura 4.8 Elementos de una estación repetidora

Para ver los aspectos económico se debe tener en cuenta estos equipos: radio del enlace, PoE, switch, Antenas omnidireccionales (para los enlaces punto-multipunto), antenas direccionales (para los enlaces punto a punto), torre, cables (coaxiales, de energía, STP), distribuidor de corrientes, inversor, controlador de cargas, baterías y paneles.

Según el sistema especificado se tiene los siguientes dispositivos.

Tabla 4.6 Información económica de MAR

Repetidores (Backbone):

Tipo Marca y Modelo	Precio x unidad	Unid.	Precio Total
Antena direccional 5.8GHz Hyperlink HG5829D + Radome HGR-06	US\$ 202.98	2	US\$ 405.96
Tarjeta Super Range 5 – Ubiquiti Network	US\$ 109.95	2	US\$ 219.9
Cable coaxial LMR-400	US\$ 88	1	US\$ 88
Cable STP	US\$ 1,05/metro	100	US\$ 10.5
Soekris Net 4526 – 20	US\$ 151	1	US\$ 151

Switch Trendnet TEG-S160TXE 16 puertos	US\$ 525	1	US\$ 525
Distribuidor de corrientes	US\$ 10	1	US\$ 10
Cable UTP 5e	US\$ 0.39/metro	100	US\$ 3.90
TOTAL			US\$ 1,414.26

Enlace Wifi 2.4GHz (enlace omnidireccional):

Tipo Marca y Modelo	Precio x unidad	Unid.	Precio Total
Antena direccional 5.8GHz Hyperlink HG5829D + Radome HGR-06	US\$ 202.98	1	US\$ 202.98
Antena Omnidireccional 2.4GHz Hyperlink HGV2410U	US\$ 57.99	1	US\$ 57.99
Tarjeta Super Range 2 – Ubiquiti Network	US\$ 109.95	1	US\$ 109.95
Tarjeta Super Range 5 – Ubiquiti Network	US\$ 109.95	1	US\$ 109.95
Cable coaxial LMR-400	US\$ 88		US\$ 88
Cable STP	US\$ 1.05/metro	100	US\$ 10.5
Soekris Net 4526 – 20	US\$ 151	1	US\$ 151
Switch Trendnet TEG-S160TXE 16 puertos	US\$ 525	1	US\$ 525
Distribuidor de corrientes	US\$ 10	1	US\$ 10
Cable UTP 5e	US\$ 0.39/metro	100	US\$ 3.90
TOTAL			US\$ 1,269.27

Enlace 5.8GHz (enlace desde Central):

Tipo Marca y Modelo	Precio x unidad	Unid.	Precio Total
Antena direccional 5.8GHz Hyperlink HG5829D + Radome HGR-06	US\$ 202.98	1	US\$ 202.98
Tarjeta Super Range 5 – Ubiquiti Network	US\$ 109.95	1	US\$ 109.95
Cable coaxial LMR-400	US\$ 88		US\$ 88
Cable STP	US\$ 1.05/metro	100	US\$ 10.5
Soekris Net 4526 – 20	US\$ 151	1	US\$ 151

Switch Trendnet TEG-S160TXE 16 puertos	US\$ 525	1	US\$ 525
Distribuidor de corrientes	US\$ 10	1	US\$ 10
Cable UTP 5e	US\$ 0.39/metro	100	US\$ 3.90
TOTAL			US\$ 1,101.33

En caso no exista repetidor:

Enlace Wifi 2.4GHz (enlace desde Central):

Tipo Marca y Modelo	Precio x unidad	Unid.	Precio Total
Antena Omnidireccional 2.4GHz Hyperlink HG2410U	US\$ 57.99	1	US\$ 57.99
Tarjeta Super Range 2 – Ubiquiti Network	US\$ 109.95	1	US\$ 109.95
Cable coaxial LMR-400	US\$ 88		US\$ 88
Cable STP	US\$ 1.05/metro	100	US\$ 10.5
Soekris Net 4526 – 20	US\$ 151	1	US\$ 151
Switch Trendnet TEG-S160TXE 16 puertos	US\$ 525	1	US\$ 525
Distribuidor de corrientes	US\$ 10	1	US\$ 10
Cable UTP 5e	US\$ 0.39/metro	100	US\$ 3.90
TOTAL			US\$ 956.34

Precio de Torres:

Tipo	Características	Precio
STZ35G, SCZ35G (copete galvanizado) SBZ35G (Base para Torre) SAZ45G (Ancla de piso galvanizada) SJB35G (tornillería y tuerca de seguridad) SRET474 (Cable de retenida) SNU476 (Abrazadera tipo o nudo para cable 3 16") SCUE474 (Cuello para cable 3/16) SLOP (Lámpara de obstrucción) HLU (Herraje Universal para lámpara de	Torre para zonas de fuerte viento. Resistente a la corrosión del salitre y humedad. Altura máxima 30 metros.	US\$ 148 por tramo de 3 metros. US\$ 78 por copete. US\$ 59 por base. US\$ 135 por 3 anclas US\$ 120 por 3 juegos de bridas US\$ 207.4 por 305 metros de cable de retenida US\$ 25.2 por

<p>obstrucción) 2003A (Interruptor foto celda para luz de obstrucción)</p>		<p>abrazadera US\$ 19.8 por SCUE474 US\$ 106 por 2 lamparas US\$ 26 por 2 herrajes US\$ 22 por 1 interruptor</p>
<p>STZ45G, SCZ45G (copete galvanizado) SBZ35G (Base para Torre) SAZ60G (Ancla de piso galvanizada) SJB45G (tornillería y tuerca de seguridad) SRET635 (Cable de retenida) SNU635 (Abrazadera tipo o nudo para cable 3 16") SCUE635 (Cuello para cable 3/16) SLOP (Lámpara de obstrucción) HLU (Herraje Universal para lámpara de obstrucción) 2003A (Interruptor foto celda para luz de obstrucción)</p>	<p>Torre para zonas de fuerte viento. Resistente a la corrosión del salitre y humedad. Altura máxima 60 metros.</p>	<p>US\$ 191 por tramo de 3 metros. US\$ 78 por copete. US\$ 59 por base. US\$ 777 por 3 anclas US\$ 301 por 3 juegos de bridas US\$ 934.5 por 1050 metros de cable de retenida US\$ 75.6 por abrazadera US\$ 50.4 por SCUE474 US\$ 212 por 2 lamparas US\$ 52 por 2 herrajes US\$ 22 por 1 interruptor</p>

Capítulo V

Evaluación de la aplicación de estas tecnologías en las diferentes regiones del País

5.1 Regiones del Perú

Una región se puede definir como “el área geográfica en la cual existen factores comunes como el relieve, el clima, la flora, la fauna y el paisaje” ¹⁸. La geografía peruana. Según el enfoque tradicional. Se puede dividir en costa, sierra y selva; una costa desértica, una sierra escarpada y fría, y una selva frondosa y tropical. Actualmente, este enfoque ha cambiado, y la más aceptada es la de Javier Pulgar Vidal, quien propone la división geográfica en 8 regiones naturales, ya que consideraba muy simplista el concepto de tres regiones naturales.



Fuente: www.adonde.com

figura 5.1 Grafico de las ocho regiones del Perú

Para el estudio se considera las ocho regiones por ser mucho más detallista en la diversidad climática y ecológica del país. Las principales características de cada una de ellas se presentan a continuación:

Costa o Chala.- Esta ubicada desde los 0 a 500 m.s.n.m. Su relieve se caracteriza por ser predominantemente plano o llano, formado por pampas, valles, desiertos, esteros, albuferas, depresiones y estribaciones andinas. Su clima es de dos tipos, un clima es el subtropical, propio de costa norte, se caracteriza por ser húmedo y presentar lluvias durante el verano. El otro es el clima subtropical, que afecta a la costa central y costa sur, se caracteriza por ser muy húmedo pero con escasas lluvias. Aquí ubicamos ciudades como Lima, Chimbote, Trujillo, Ica, Chiclayo, Tumbes y Piura.

Yunga.- Se ubica desde los 500 hasta los 2 300 m.s.n.m. Se distinguen dos tipos de Yunga, una marítima (500 – 2 300 m.s.n.m) y otra fluvial (1 000 – 2 300 m.s.n.m). Su relieve está conformado por valles estrechos y quebradas profundas. Su clima es templado cálido, que se caracteriza por ser soleado durante casi todo el año. La yunga marítima es desértica con escasas precipitaciones y temperaturas altas durante el día. La yunga fluvial presenta abundantes precipitaciones. Destacan las ciudades de Moquegua, Chosica, Tacna (Yunga marítima), Moyabamba y Huanuco (Yunga Fluvial).

Quechua.- Ubicada desde los 2 300 hasta los 3 500 m.s.n.m. Posee un relieve escarpado conformado por los valles interandinos. El clima es templado seco (mejor clima del Perú), que se caracteriza por ser seco y con

ligeras lluvias de verano. Sus principales ciudades son: Canta, Huaraz, Cajamarca, Arequipa, Abancay, Cuzco, Ayacucho y Huancayo.

Suni o Jalca.- Esta ubicado entre los 3 500 y 4 000 m.s.n.m. Su relieve se caracteriza por ser rocoso e inclinado. Posee un clima templado frío, que se caracteriza por presentar precipitaciones sólidas. En esta región se inician las llamadas “heladas” (vientos fríos que descienden desde las altas montañas). Las ciudades principales son: Huancavelica, La Oroya, Juliaca, Castrovirreyna y Puno.

Puna.- Ubicado entre los 4 000 y 4 800 m.s.n.m. Su relieve esta conformado por las mesetas andinas y por nudos y morrenas que semejan pequeñas colinas. Su clima es frío, con precipitaciones especialmente en verano, como granizo o nieve, junto con rayos, relámpagos y truenos. La temperatura desciende bajo 0°C. Aquí ubicamos la ciudad de Cerro de Pasco, Junín y Caylloma.

Janca o Cordillera.- Se ubica entre los 4 800 hasta los 6 780 m.s.n.m. Su relieve esta conformado por nevados y montañas, así como cráteres. Posee un clima muy frío, con temperaturas bajo 0°C durante la mayor parte del año. No presenta centros poblados.

Rupa Rupa o Selva Alta.- Ubicada entre los 4 000 y 1 000 m.s.n.m. en el sector oriental de los andes. Su relieve es complejo conformado por los valles amazónicos, pongos, cavernas, montañas escarpadas. Su clima es tropical y es la zona más nubosa y lluviosa del Perú. Destacan las ciudades de Bagua, Oxampampa, Jaén, Satipo, Chanchamayo y Huállaga.

Omagua o Selva Baja.- Se ubica entre los 83 a 400 m.s.n.m. Su relieve es poco accidentado y de escasa pendiente. Es la región más calurosa y húmeda del Perú. Aquí ubicamos las ciudades de Iquitos, Pucallpa y Puerto Maldonado.

5.2 Elección de las ciudades a estudiar

Para hacer las simulaciones se debe primero elegir el pueblo o localidad rural en donde se hará las simulaciones usando las tres tecnologías. En primer lugar se compara la población de los distritos pertenecientes a las

principales ciudades o provincias del Perú (una de cada región) tomando como fuente los datos que INEI muestra en su pagina web del ultimo censo realizado en el 2005.

En la costa la ciudad elegida fue la provincia de Contralmirante Villa. Entre los diferentes distritos observamos que el distrito de Casitas es el que el presenta menor población.

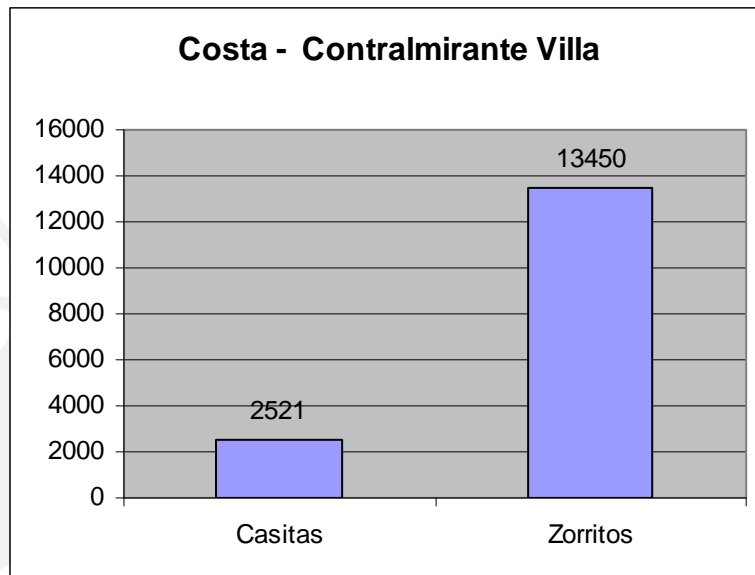


figura 5.2 Población en la provincia Contralmirante Villa por distritos

Con respecto a la región Yunga la ciudad elegida fue Mariscal Nieto. Observando sus distritos vemos que Cuchumbaya es el que presenta menor población.

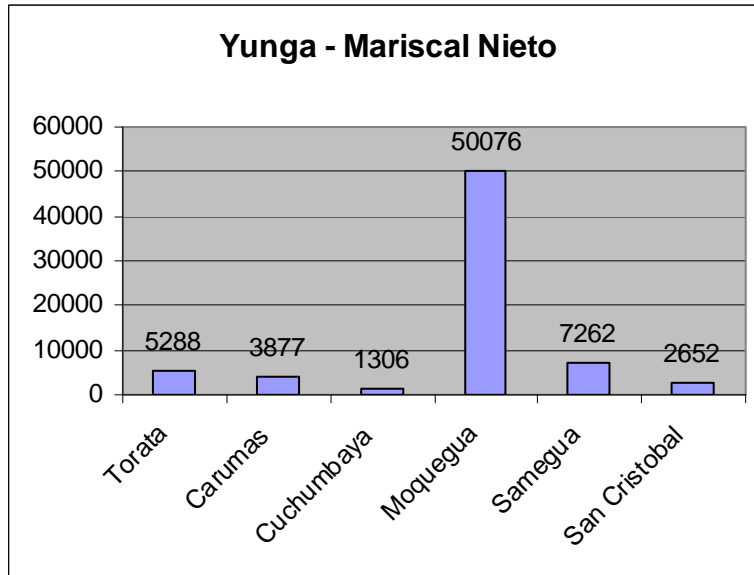


figura 5.3 Población en la provincia Mariscal Nieto Villa por distritos

En la región Quechua se eligió a la provincia de Abancay y su distrito de menor población es Chacoche.

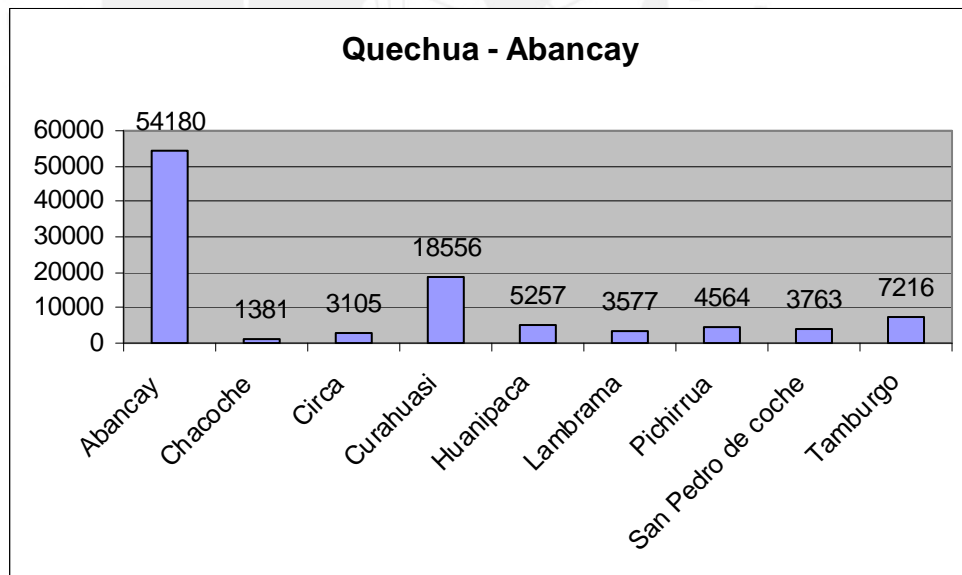


figura 5.4 Población en la provincia Abancay por distritos

En la región Suni, la provincia elegida fue Castrovirreyna y su distrito de menor población, Huamatambo.

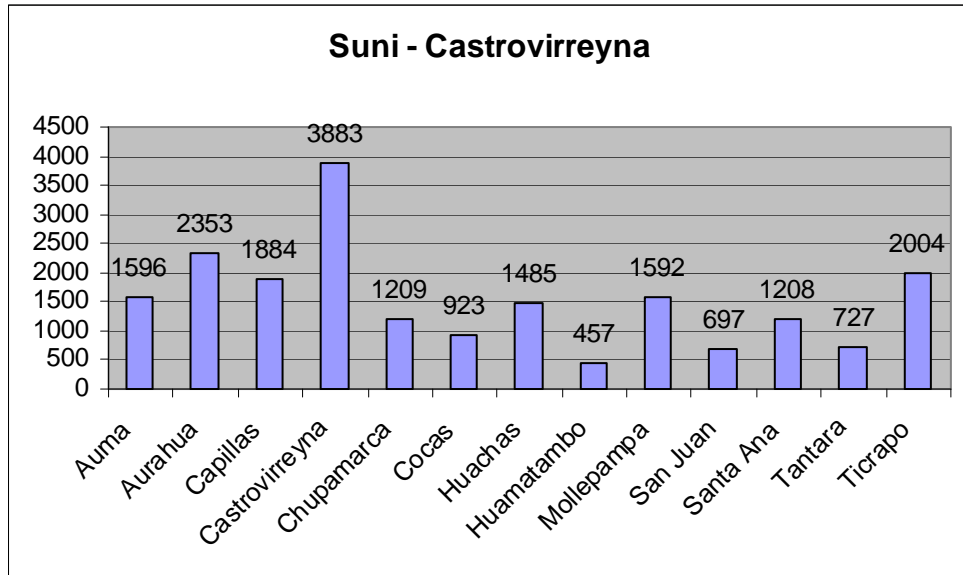


figura 5.5 Población en la provincia Castrovirreyna por distritos

En la región Puna se eligió a la provincia de Junín y su distrito Andares:

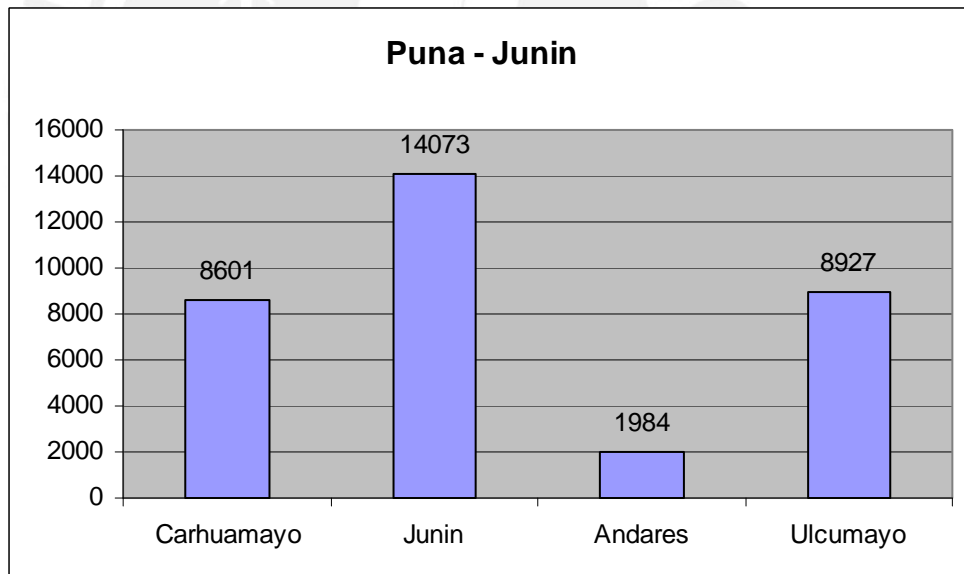


figura 5.6 Población en la provincia Junín por distritos

En la región Rupa Rupa se eligió a la provincia de Huallaga y su distrito Tingo de Sapoosa.

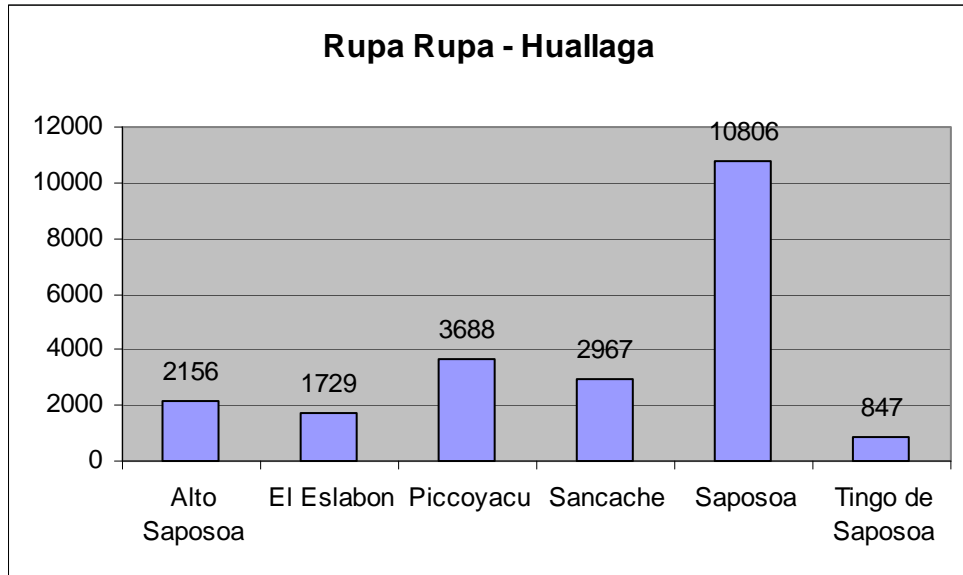


figura 5.7 Población en la provincia Huallaga por distritos

Finalmente en la región de Omagua o Selva baja se eligió la provincia de Maynas con su distrito de Teniente Manuel Clavero.

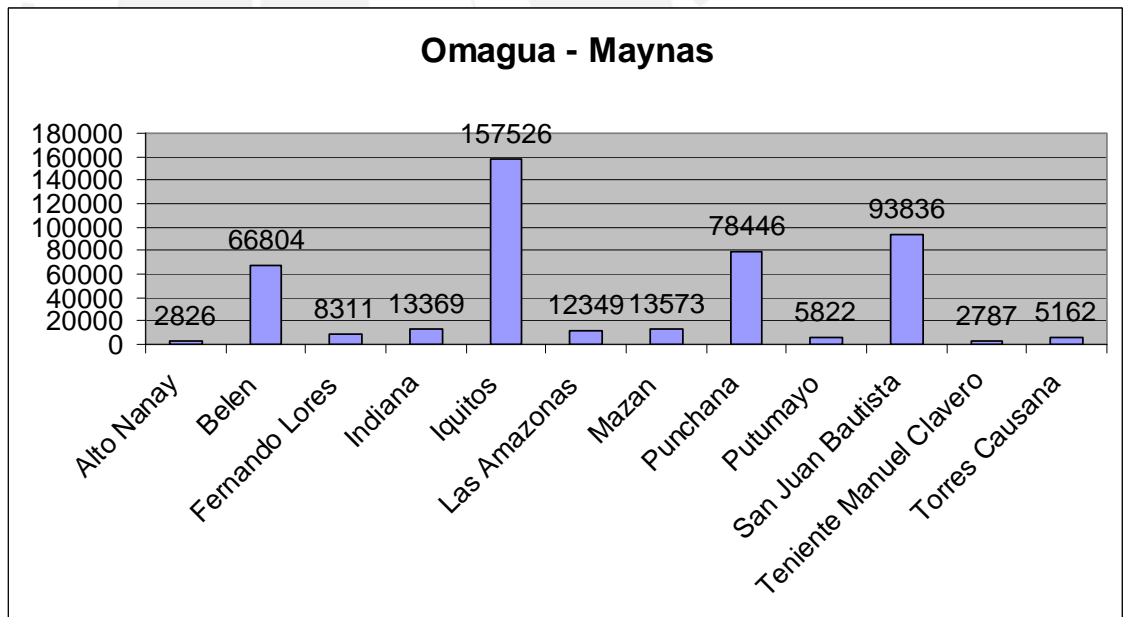


figura 5.8 Población en la provincia Maynas por distritos

5.3 Coordenadas de los distritos elegidos

El siguiente cuadro resume las ciudades y distrito elegidos:

Tabla 5.1 Distritos elegidos para la implementación de las redes

REGION	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	POBLACION
Costa	Tumbes	Contralmirante Villa	Casitas	2 521
Yunga	Moquegua	Mariscal Nieto	Cuchumbaya	1 306
Quechua	Apurimac	Abancay	Chacoche	1 381
Suni	Huancavelica	Castrovirreyna	Chupamarca	1 209
Puna	Junín	Junín	Ondores	1 984
Janca	No hay Población	No hay población	No hay población	No hay población
Rupa Rupa	San Martín	Huallaga	El Eslabón	1 729
Omagua	Loreto	Maynas	Teniente Manuel Clavero	2 787

Tabla 5.2 Latitud y longitud de los distritos elegidos para la implementación de las redes

DISTRITO	LATITUD	LONGITUD	MSNM
Casitas	3° 55' 40"	80° 38' 15"	119
Cuchumbaya	16° 45' 0"	70° 41' 0"	3 124
Chacochi	13° 56' 52"	72° 59' 29"	3 476
Chupamarca	13° 2' 0"	75° 36' 0"	3 372
Ondores	11° 4' 0"	76° 8' 0"	4 086
El Eslabon	7° 2' 0"	76° 46' 0"	4 70
Teniente Manuel Clavero	0° 24' 54.87"	75° 6' 35.50"	1 83

5.4 Creación de redes con los diferentes sistemas

En esta sección se describirá la formación de 21 redes el cual es el producto de elaborar 3 redes en las 7 regiones habitables (La región Janca o Cordillera no presenta poblado por presentar un clima no adecuado para la supervivencia humana).

Anteriormente se eligió las ciudades y distritos del Perú teniendo como base las poblaciones (hay que tener en cuenta que se considera zona rural a aquellas poblaciones y/o distritos con una población menor a 3 000 personas), ahora se colocara los tres sistemas del estudio en dichos distritos para ver el rango de cobertura que tendríamos con cada sistema además de calcular que tan costoso seria implementar esta tecnología en dicho lugar (para ello se hará un enlace entre el Central URA mas cercana con el poblado – esto permitirá sacar un costo aproximado utilizando la tecnología CDMA 450 y MAR).

Para hacer una comparación de las tecnologías, utilizare sistemas iguales en cada región del país (estos sistemas fueron definidos en el capitulo 4), además se utilizara el *software radiomobile* y *linkBudget* para simular dichas redes.

En este estudio se quiere ofrecer el servicio de telefonía convencional e Internet por lo que se necesitara tener acceso a la PSTN. El Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) nos ofrece la ubicación de las Centrales URA a través de su mapa de infraestructura ²⁰. Se tomara como datos estas centrales para la creación de las redes.

Costa:

El distrito de Casitas esta localizada en la zona norte del Perú (departamento de Tumbes). Tiene una extensión aproximada de 855,36 km². La central URA más cercana se encuentra en el mismo distrito de Casitas.

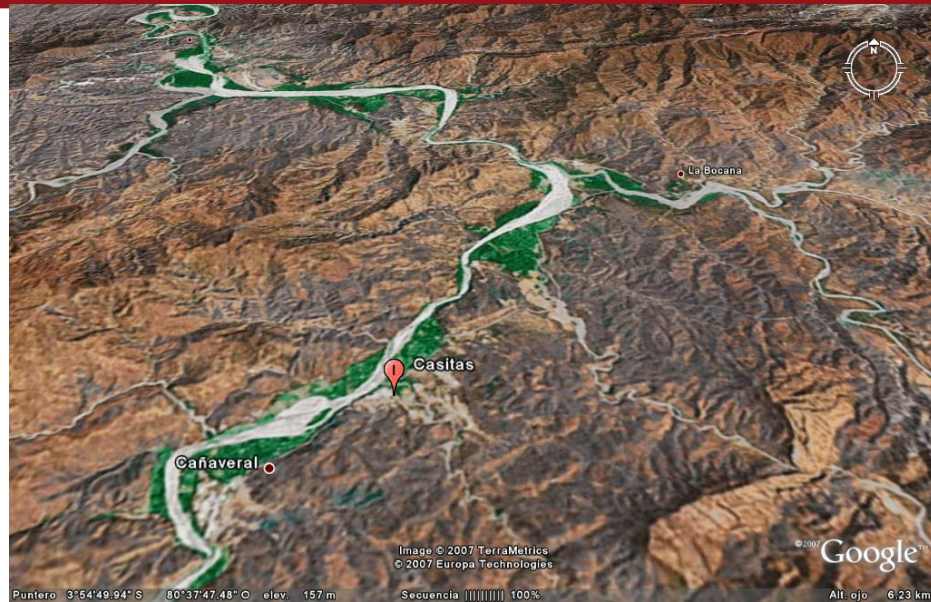


figura 5.9 Vista desde el Satélite de Casitas

Como la central se encuentra en el mismo distrito, se colocara una torre con una antena omnidireccional para que irradie y pueda ofrecer los servicios a los abonados.

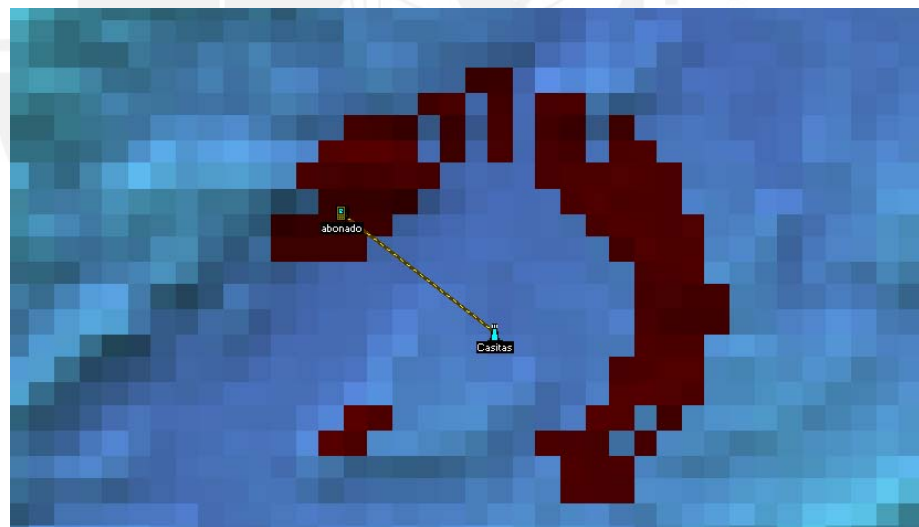
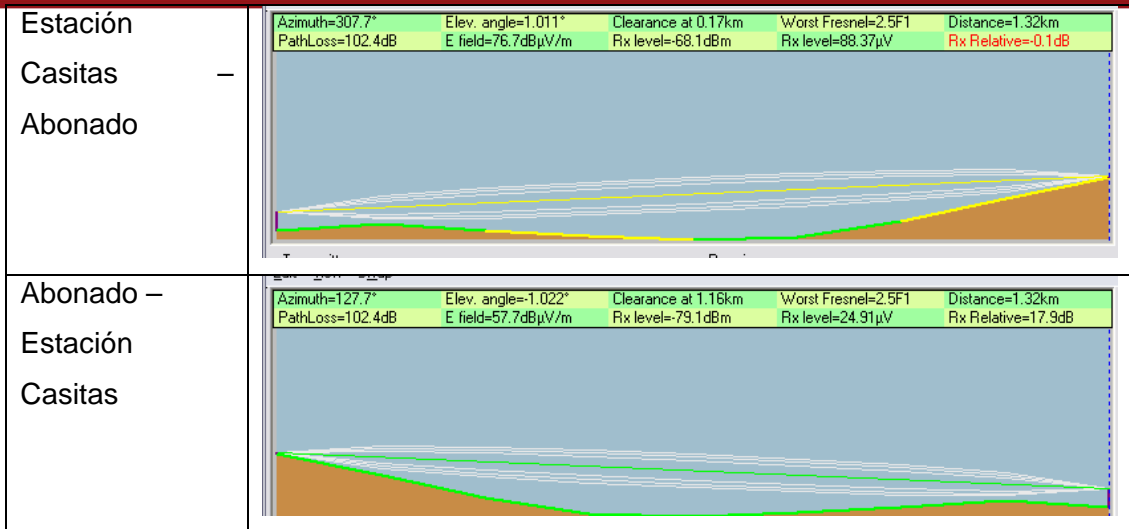


figura 5.10 Cobertura utilizando la frecuencia de 2.4GHz en Casitas

Con la tecnología MAR la distancia de cobertura será de 1.32 Km. aproximadamente. En la grafica siguiente se tiene los datos obtenidos de la simulación en donde se observa que se tiene despejado 2.5 veces la zona de fresnel por lo que la comunicación no sufrirá problema alguno.



En el caso de CDMA 450 se deberá colocar la MSC cercano a la central URA para que se tenga acceso a la PSTN, y además, la BSC. Esta BSC se enlazara con la BTS utilizando la frecuencia de 5,8GHZ. En la BTS se irradiara a la frecuencia de 450 MHz, utilizando el sistema descrito en el capitulo anterior.

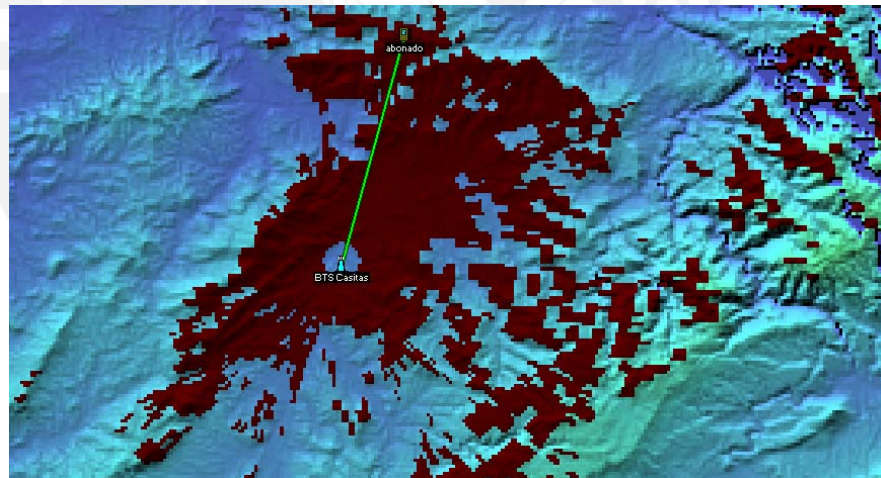
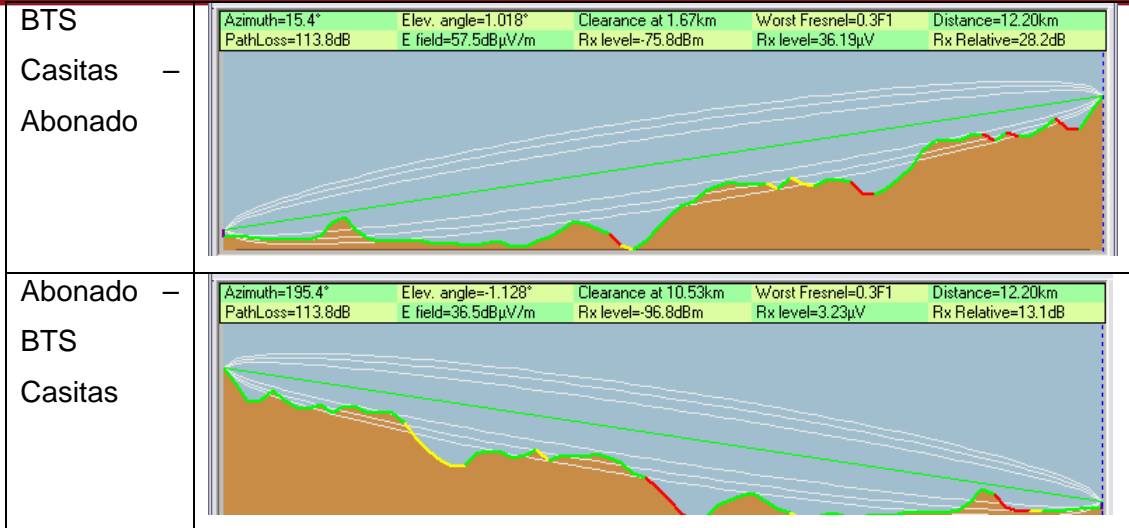


figura 5.11 Cobertura utilizando la frecuencia de 450 MHz en Casitas

Con esta frecuencia y sistema se lograra cubrir una distancia de 12,20 Km aproximadamente.



En el caso de VSAT este podrá ser colocado en cualquier lugar lo único que hay que tener cuenta es que tenga línea de vista (LoS) hacia el satélite. Para la simulación de esta se usó linkbudget. La factibilidad está regida por el valor de *Bandwidth* y *Power %*; se debe buscar que *Bandwidth* sea mayor que el *Power %*. En el caso de las simulaciones cumple con esta característica.

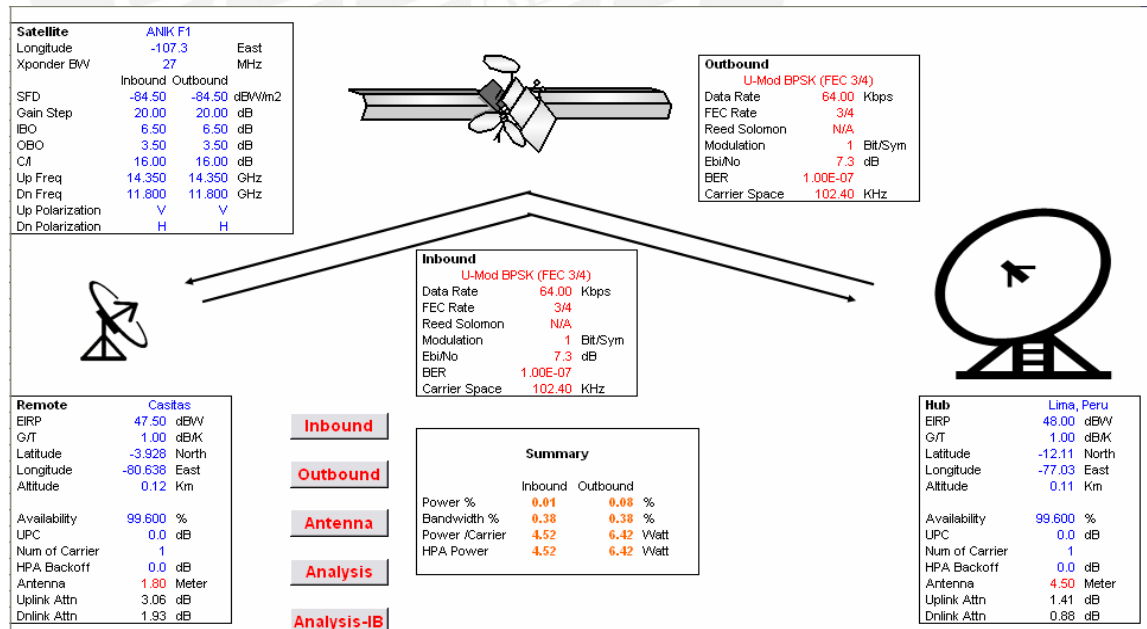


figura 5.12 Simulación de un enlace satelital en Casitas

Yunga:

El distrito de Cuchumbaya pertenece a la provincia de Mariscal Nieto en el departamento de Moquegua. Sus coordenadas en latitud y longitud son de -16,75 y -70,6833333 respectivamente. La central URA mas cercana esta localizada en el distrito Torata en el mismo departamento, ubicado en latitud -17,0769444 y longitud -70,8433333 a 2213 metros sobre el nivel del mar.



figura 5.13 Vista desde el Satélite de Cuchumbaya y la Central URA de Torata

Con MAR estaríamos llegando a una distancia de 0,55 km y un despeje de la zona de fresnel de 7,1 veces su valor.

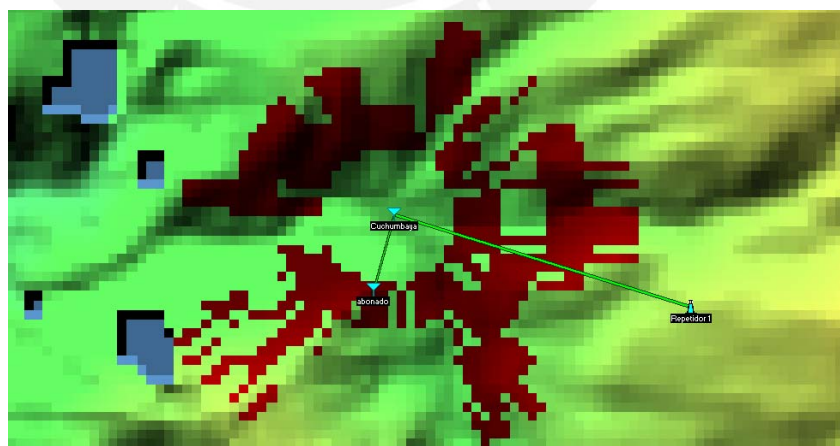
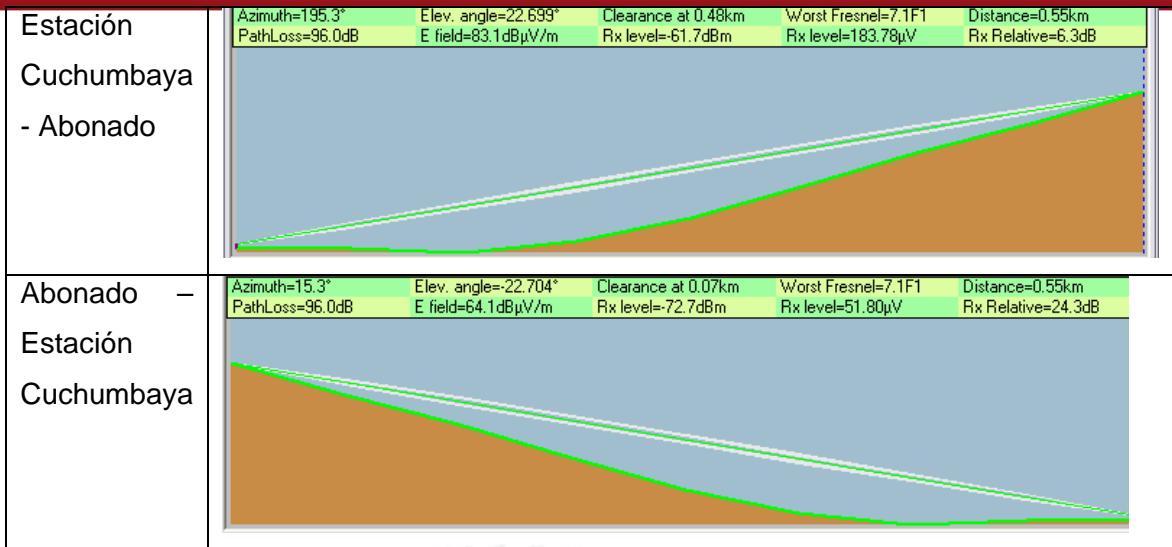


figura 5.14 Cobertura utilizando la frecuencia de 2,4GHz en Cuchumbaya



Utilizando CDMA 450 MHz alcanzaríamos una distancia de cobertura de 26,71 km, en este caso, de forma direccional pero existe una cobertura radial de 1,38 km en el poblado.

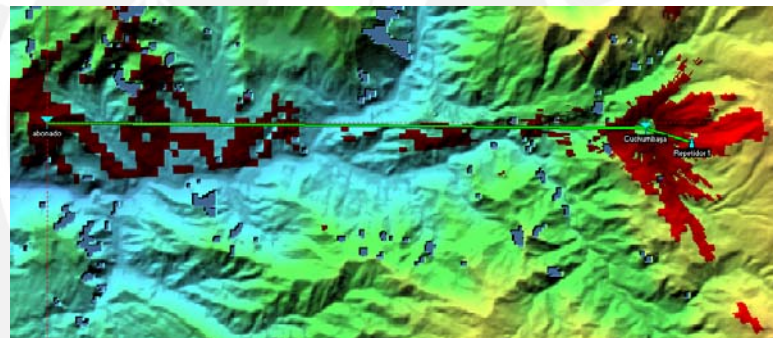
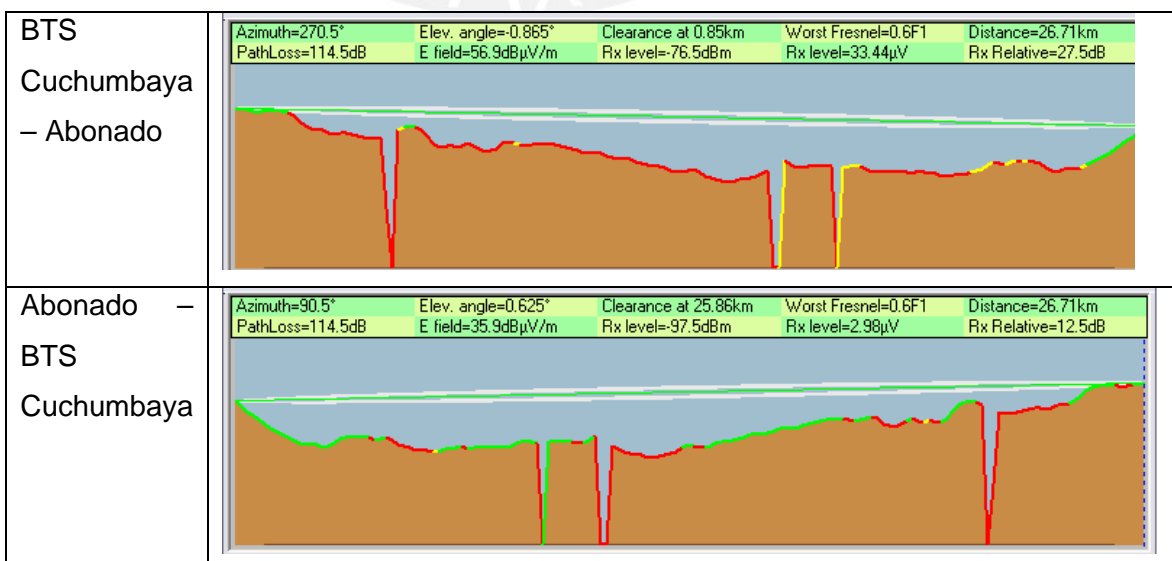
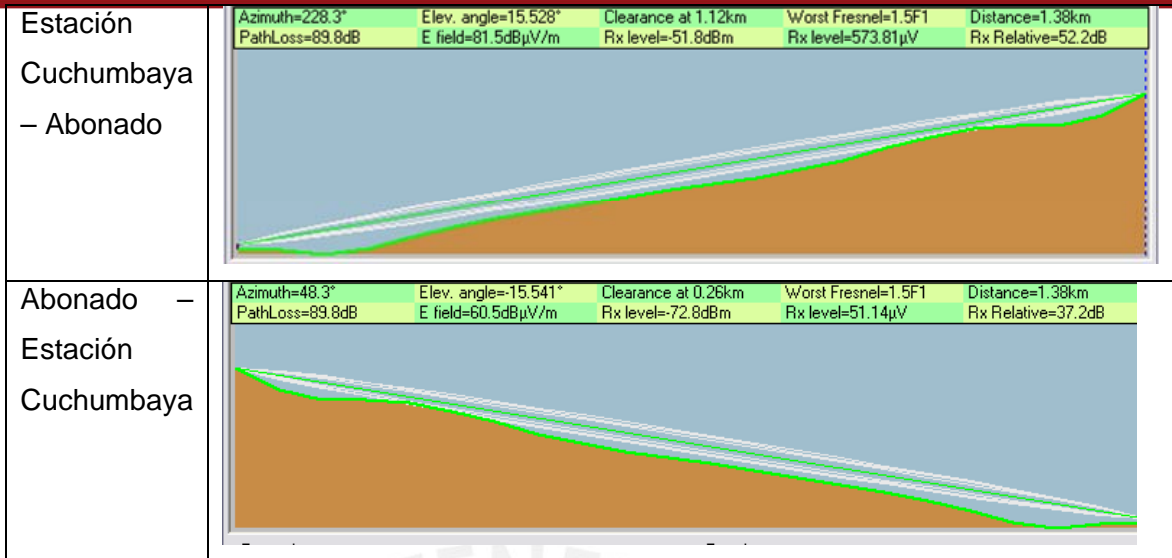


figura 5.15 Cobertura utilizando la frecuencia de 450 MHz en Cuchumbaya





En este caso consideraría la forma radial de 1.38 km porque en ese radio la comunicación no se vera afectada y la movilidad del usuario será asegurada. Con la simulación se observa q se tiene 1.5 veces el valor de fresnel.

En el caso de VSAT, semejante al caso anterior, se comprueba que el *Bandwitch %* es mayor que *Power %* por lo que es factible utilizar el sistema en esta región.

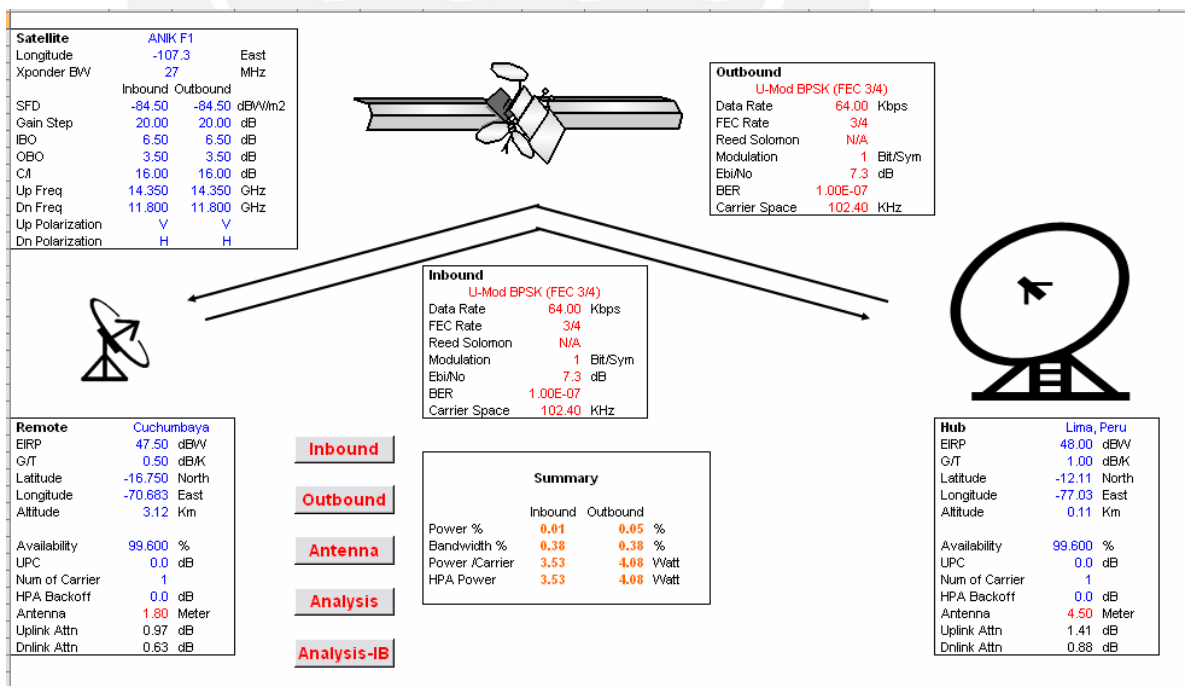


figura 5.16 Simulación de un enlace satelital en Cuchumbaya

Quechua:

El distrito de Chacochi pertenece a la provincia de Abancay, departamento de Apurímac con una altura de 3476 metros sobre el nivel del mar. La central URA más cercana se encuentra en el distrito Abancay en la latitud -13,6338889 y longitud -72,8813889 sobre los 2 410 metros sobre el nivel del mar.

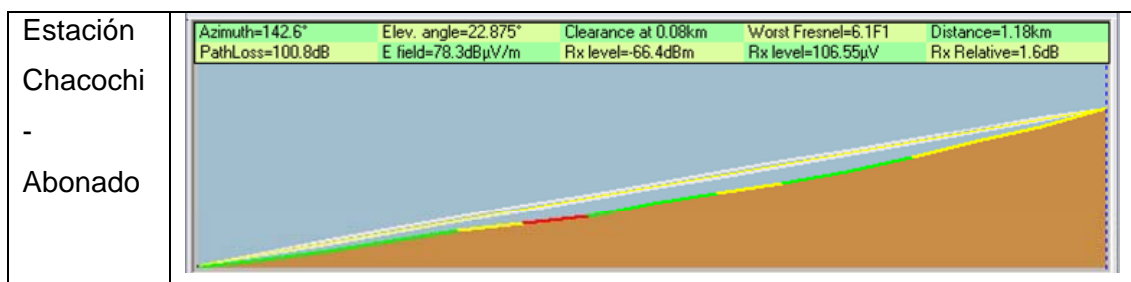


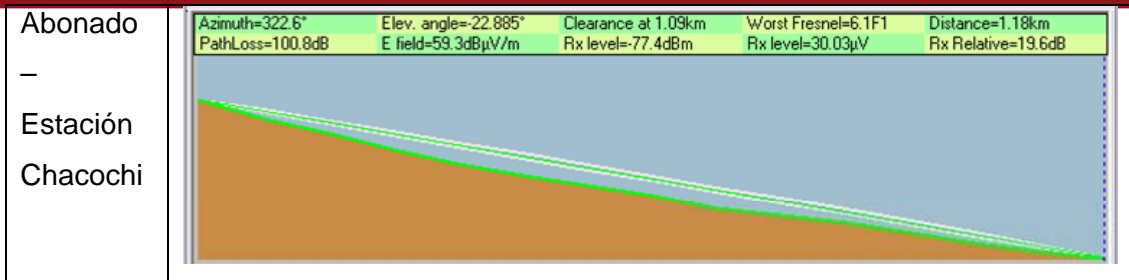
figura 5.17 Vista desde el Satélite de Chacochi y la Central URA de Abancay

Utilizando MAR estaríamos brindando servicios a los abonados en un radio de 1,18 Km.



figura 5.18 Cobertura utilizando la frecuencia de 2,4GHz en Chacochi





En el siguiente grafico se observa la cobertura que se tendría con CDMA 450 MHz. Como se observa en la simulación se podrá llegar a una distancia de 31,8 km sobrepasando las pequeñas montañas que pueda haber. Dentro del poblado se podrá tener un radio de cobertura de 3,08 Km.

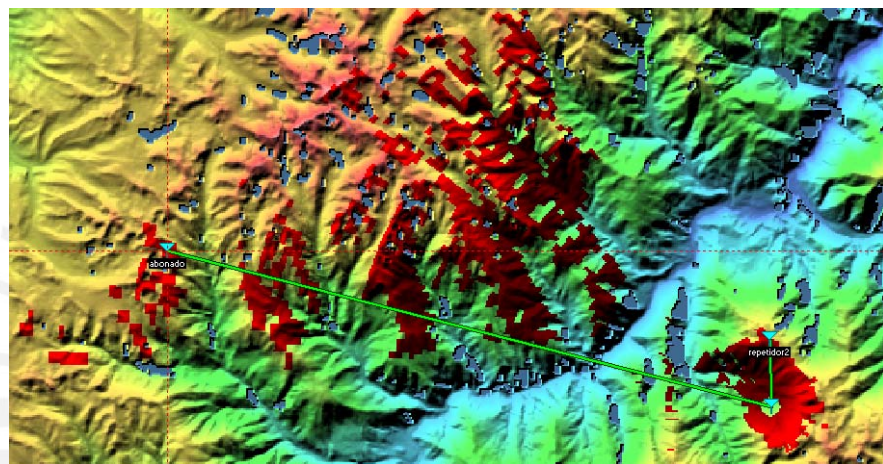
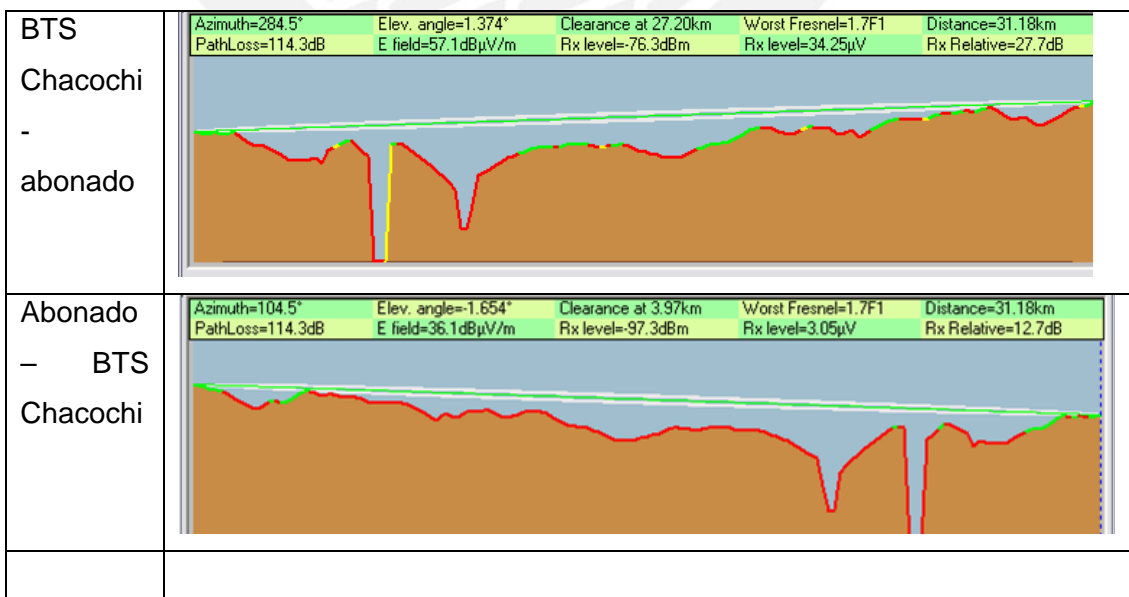
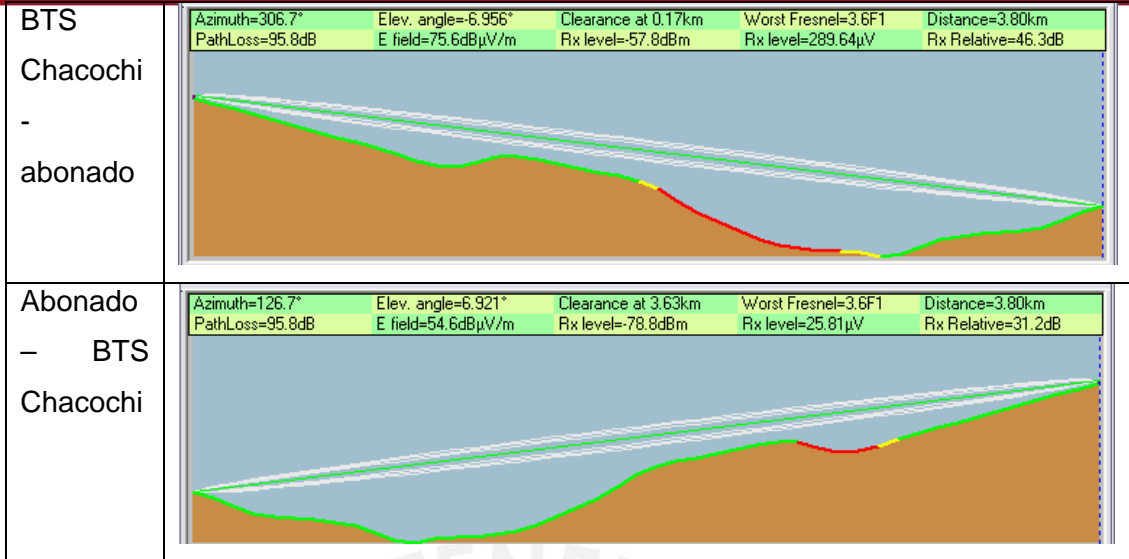


figura 5.19 Cobertura utilizando la frecuencia de 450 MHz en Chacochi





Igual que en el caso de la región anterior se considerara la zona radial por el aseguramiento de buena comunicación en esta. Se tiene 3.6 veces la zona de fresnel despejada.

Para el VSAT se comprueba la factibilidad del sistema.

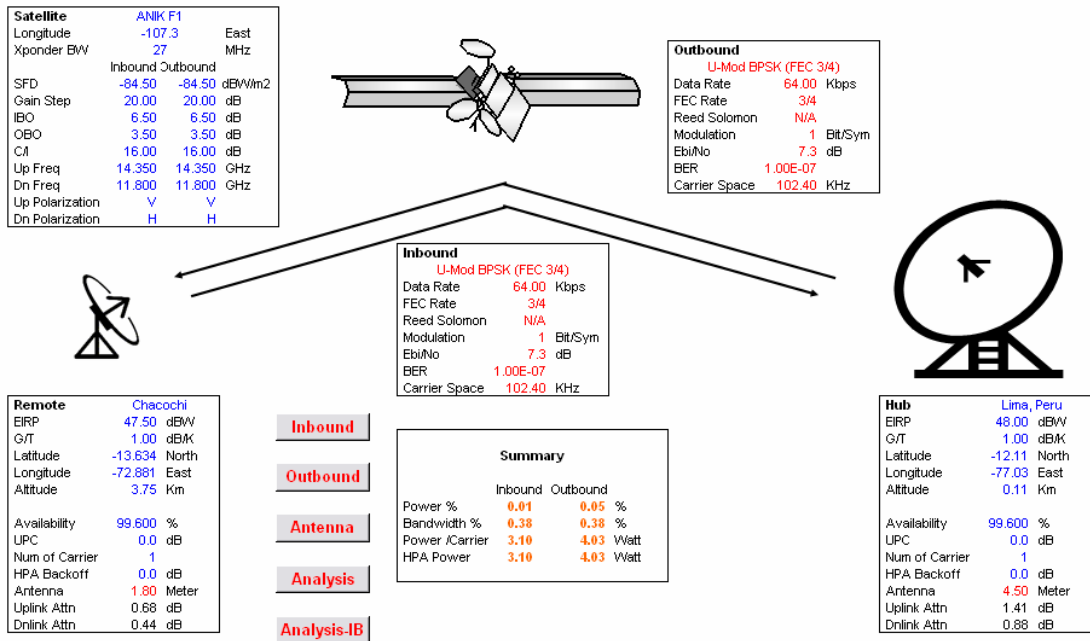


figura 5.20 Simulación de un enlace satelital en Chacochi

Suni:

El distrito de Chupamarca se encuentra en la provincia de Castrovirreyna en el departamento de Huancavelica. Se encuentra en latitud $-13,0333333$ y en longitud $-75,6$ sobre los 3 372 metros sobre el nivel del mar.

La central URA más cercana a este distrito esta localizada en Lunahuana cuya longitud es de $-12,9666667$ y latitud de $-76,1333333$ sobre los 886 metros sobre el nivel del mar.

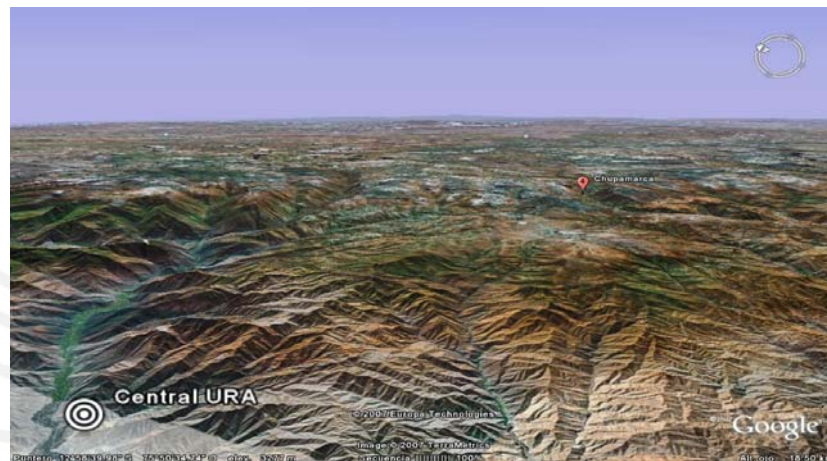


figura 5.21 Vista desde el Satélite de Chupamarca y la Central URA de Lunahuana

Utilizando la tecnología MAR estaremos cubriendo una distancia de 1,17 Km en forma radial.

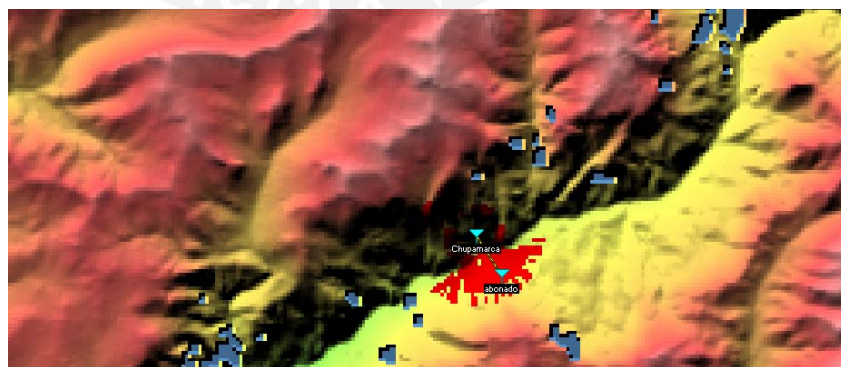
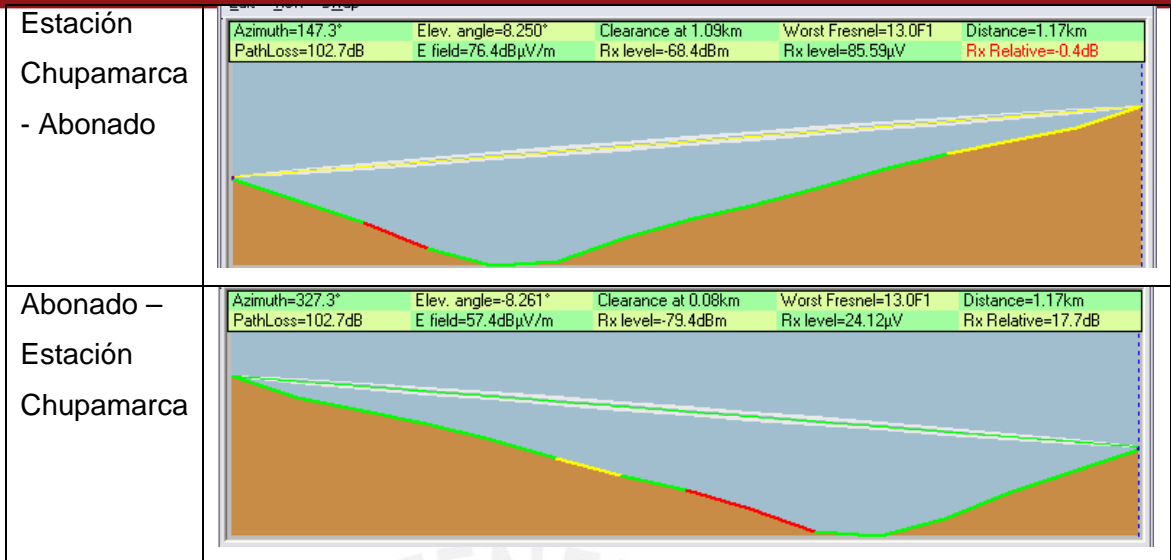


figura 5.22 Cobertura utilizando la frecuencia de 2,4GHz en Chupamarca



Si utilizamos CDMA 450 MHz tendríamos una distancia de 15,49 km en forma sectorial y un radio de 2,19 Km dentro del poblado. Tener en cuenta sola la cobertura radial por lo explicado anteriormente.

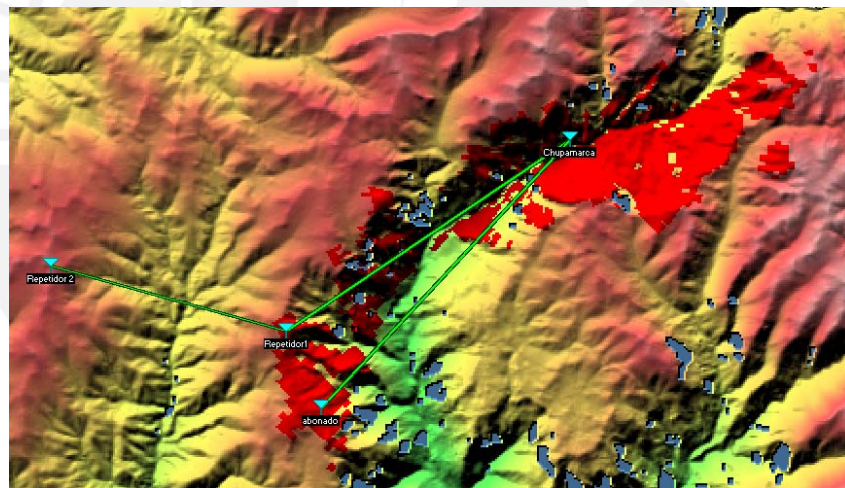
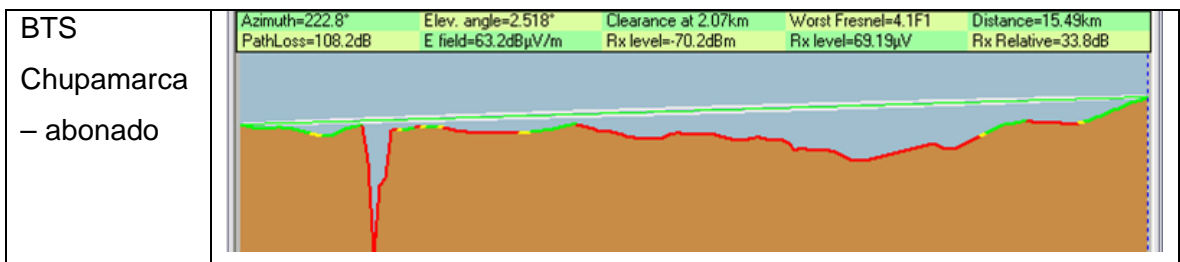
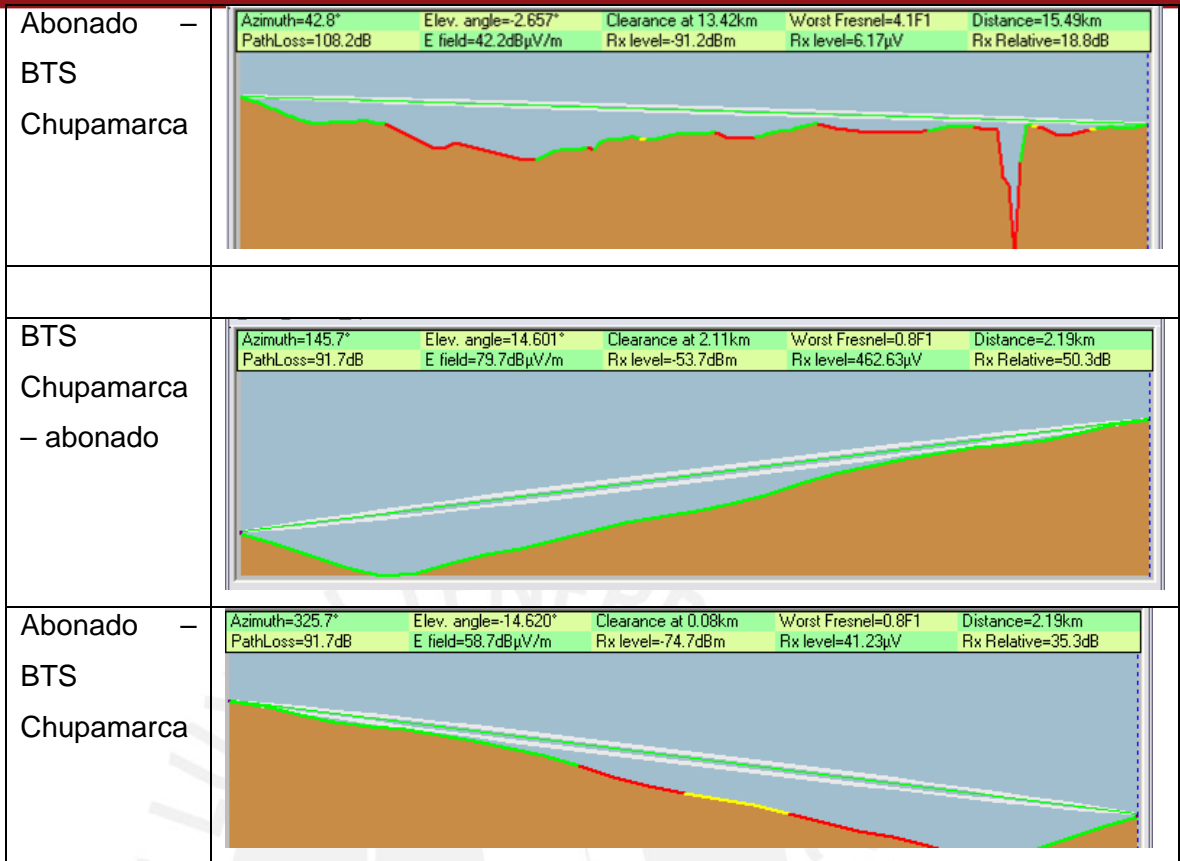


figura 5.23 Cobertura utilizando la frecuencia de 450 MHz en Chupamarca





Para el VSAT se comprueba la factibilidad del sistema elegido anteriormente en el capítulo anterior.

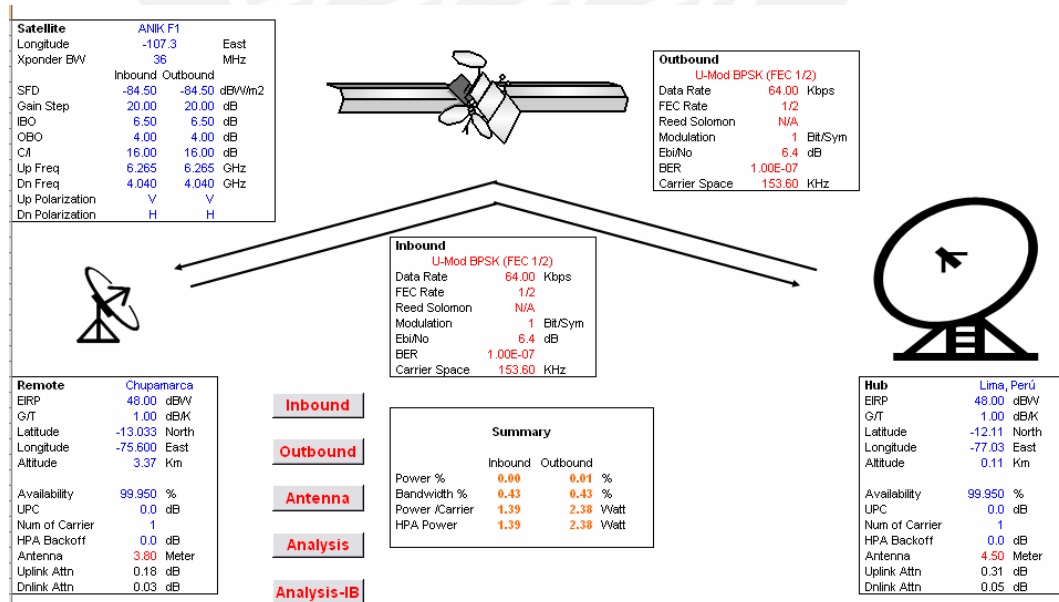


figura 5.24 Simulación de un enlace satelital en Chupamarca

Puna:

El distrito de Ondores se encuentra en la provincia de Junín, departamento de Junín sobre los 4 086 metros sobre el nivel del mar. Tiene latitud -11,0666667 y longitud -76,1333333. La central más cercana se encuentra en el distrito de Carhuamayo en la latitud -10,9166667 y longitud -76,0333333 sobre los 4 263 metros sobre el nivel del mar.

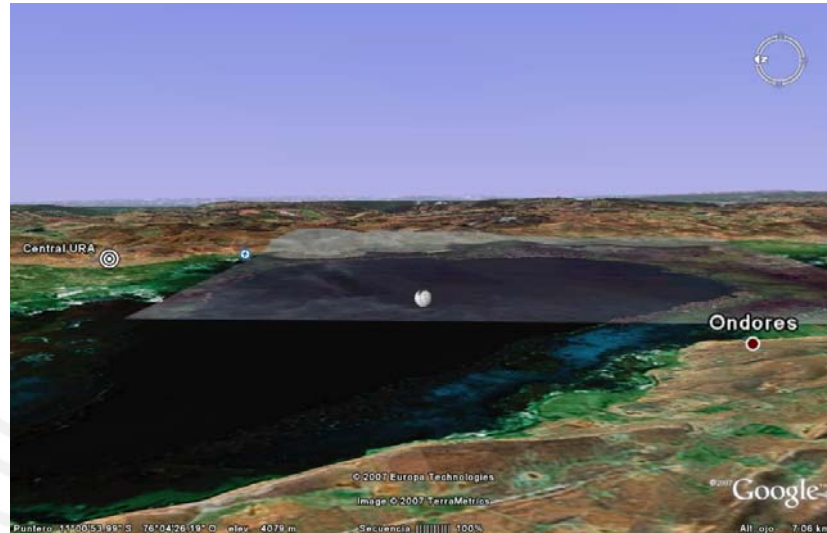


figura 5.25 Vista desde el Satélite de Ondores y la Central URA de Carhuamayo

Con la tecnología MAR tendríamos un radio de cobertura de 0,80 Km y 0,7 el valor de fresnel despejado..

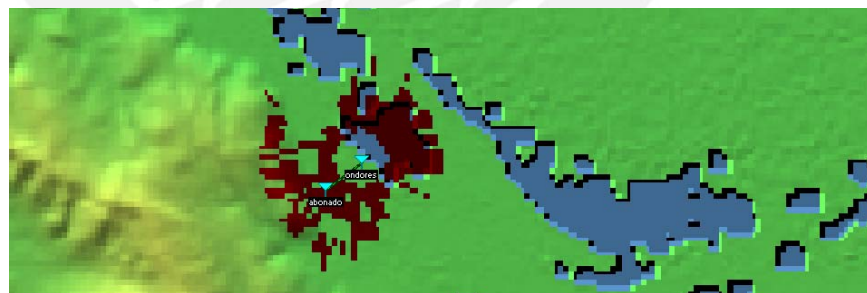
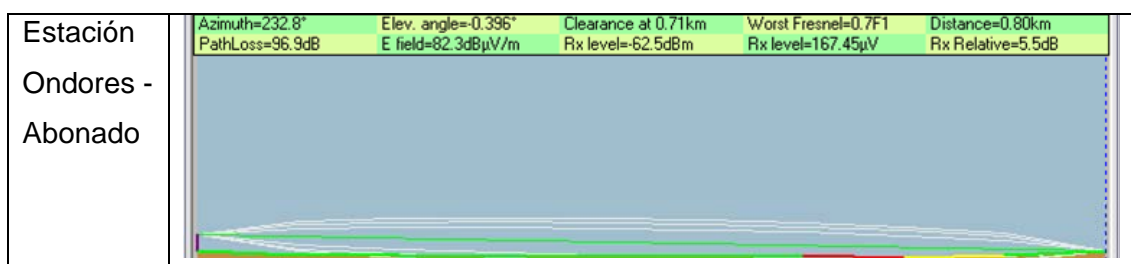
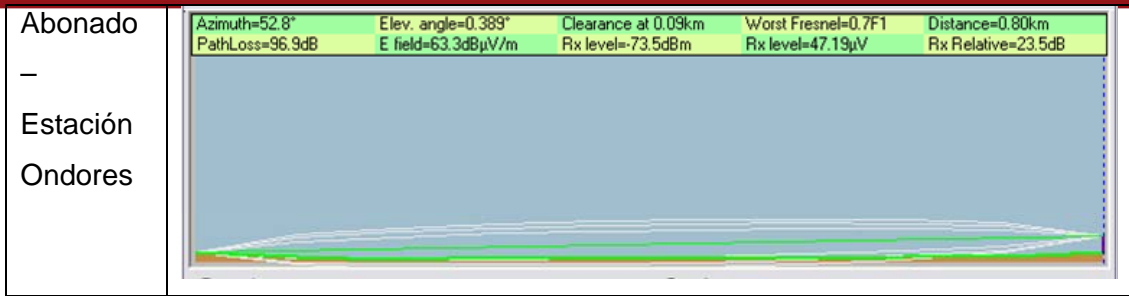


figura 5.26 Cobertura utilizando la frecuencia de 2,4GHz en Ondores





En el caso de CDMA 450 MHz se tendría una cobertura sectorizada de 23,3 Km y una cobertura radial en el poblado de 3,38 km.

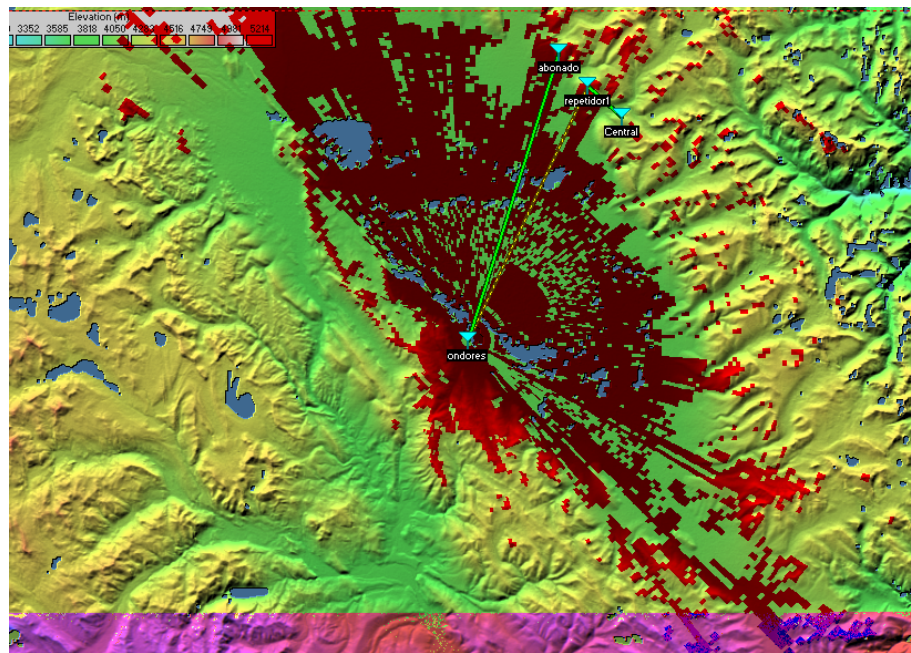
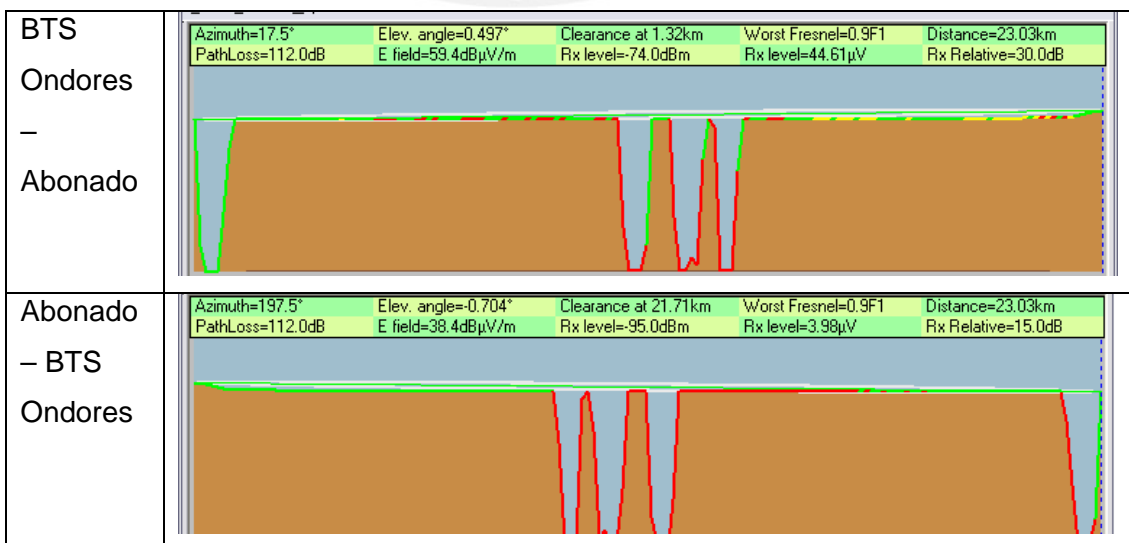
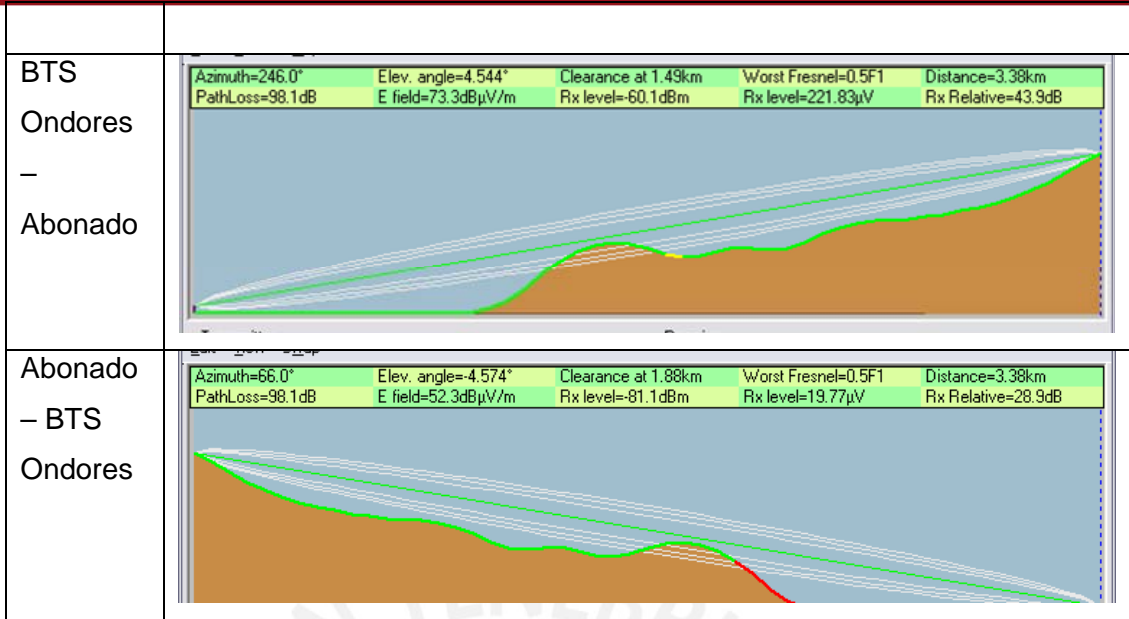


figura 5.27 Cobertura utilizando la frecuencia de 450 MHz en Ondores





Para el VSAT se comprueba que la factibilidad del sistema elegido en el distrito.

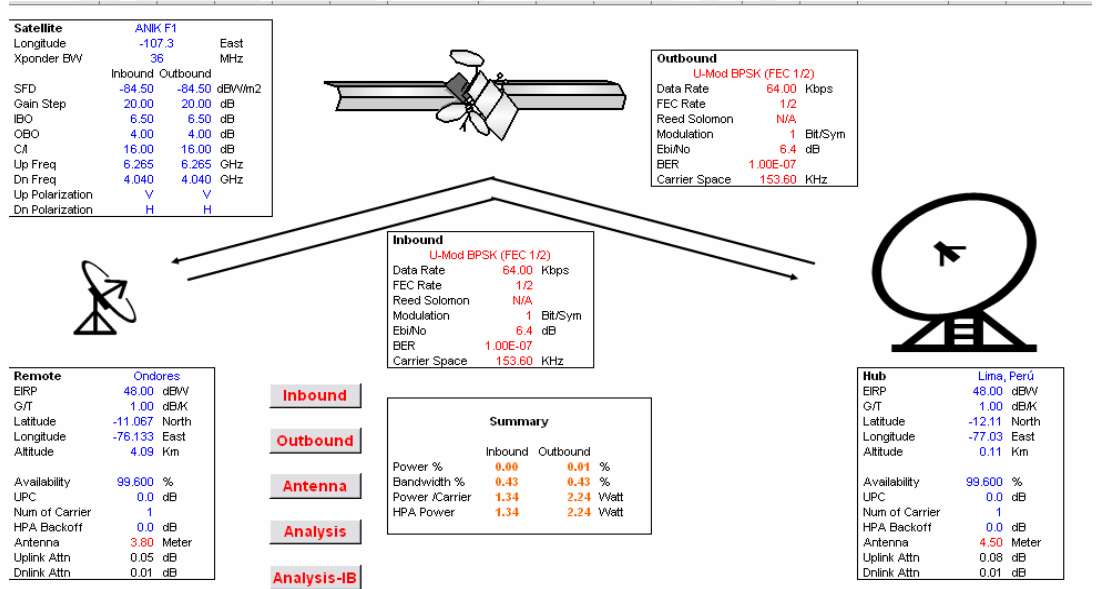


figura 5.28 Simulación de un enlace satelital en Ondores

Rupa Rupa o Selva Alta:

El distrito de El Eslabón se encuentra en la provincia de Huallaga, departamento de San Martín a unos 470 metros sobre el nivel del mar. Su latitud es de -7,0333333 y longitud de -76,7666667.

La central más cercana se encuentra en el distrito de Saposo a unos 497 metros sobre el nivel del mar (latitud de -6,9333333, longitud de -76,8).



figura 5.29 Vista desde el Satélite de El Eslabón y la Central URA de Saposo

Utilizando la tecnología MAR se tendría una cobertura de 0,65 Km y 2,5 veces la zona de fresnel despejada.

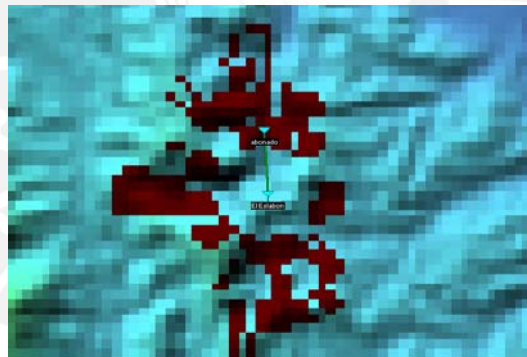
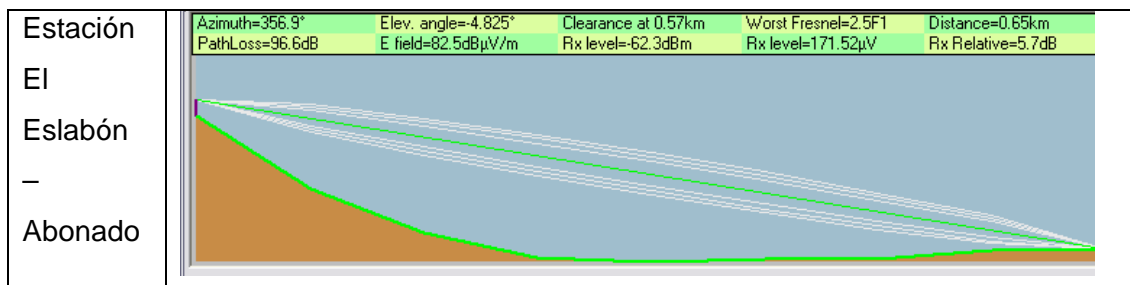
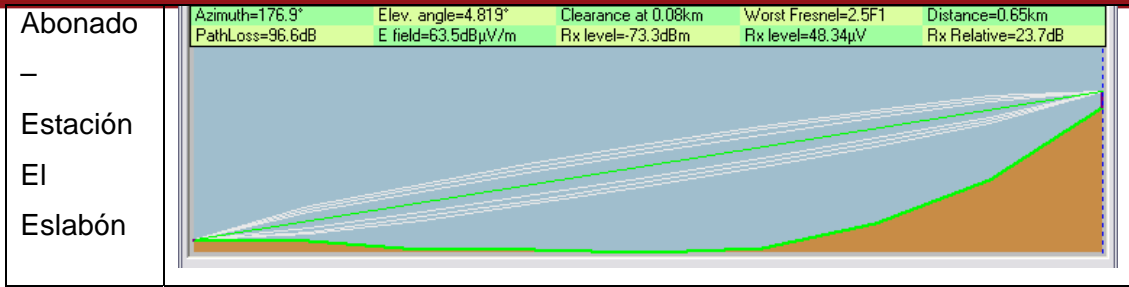


figura 5.30 Cobertura utilizando la frecuencia de 2,4GHz en El Eslabón





Para el caso de CDMA 450 MHz se tendrá un radio de 8,05 km.

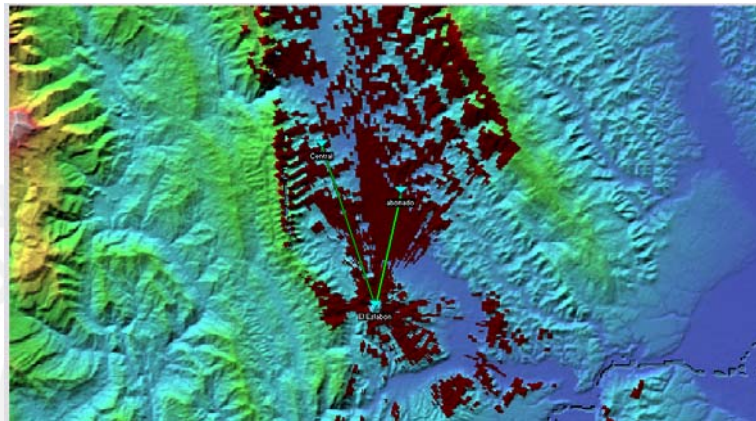
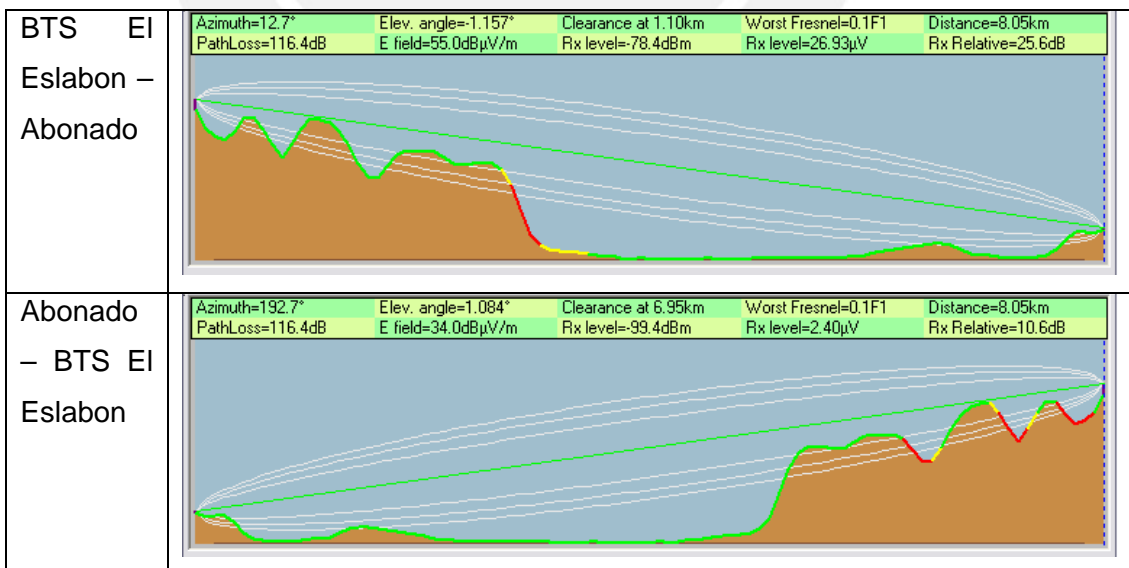


figura 5.31 Cobertura utilizando la frecuencia de 450 MHz en EI Eslabón



Para el VSAT:

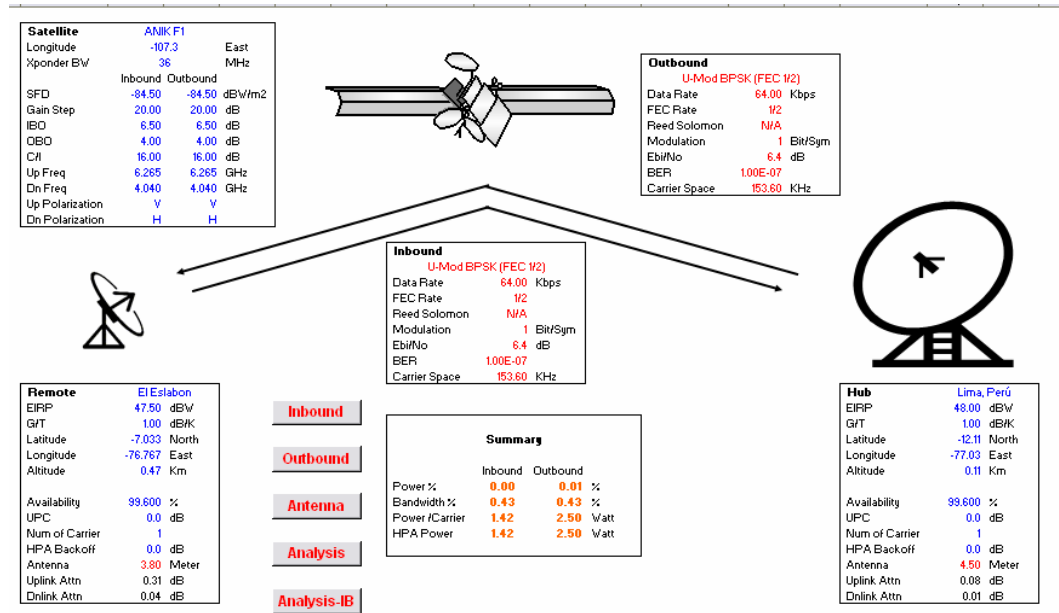


figura 5.32 Simulación de un enlace satelital en El Eslabón

Omagua o Selva Baja:

El distrito de Teniente Manuel Clavero fue creado el 19 de octubre de 2004. Se encuentra localizado en la provincia de Maynas, departamento de Loreto. La central más cercana se encuentra en el distrito de Punchana, con una latitud y longitud de -3,7166667 y -73,23333333 respectivamente.



figura 5.33 Vista desde el Satélite de Teniente Manuel Clavero y la Central URA de Punchana

Si utilizamos MAR tendremos una cobertura de 1,10 Km y 0.8 veces la zona de fresnel despejada.

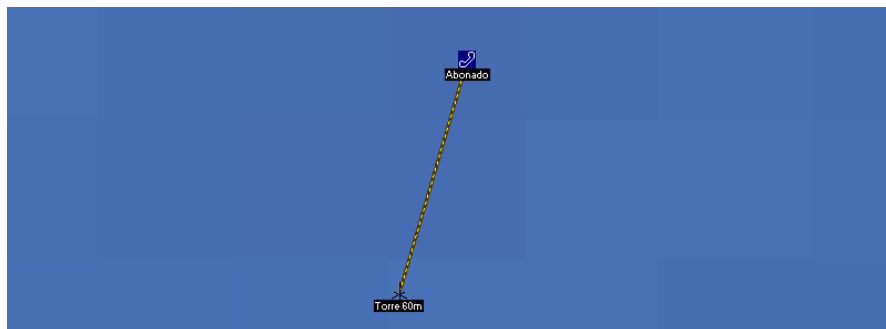
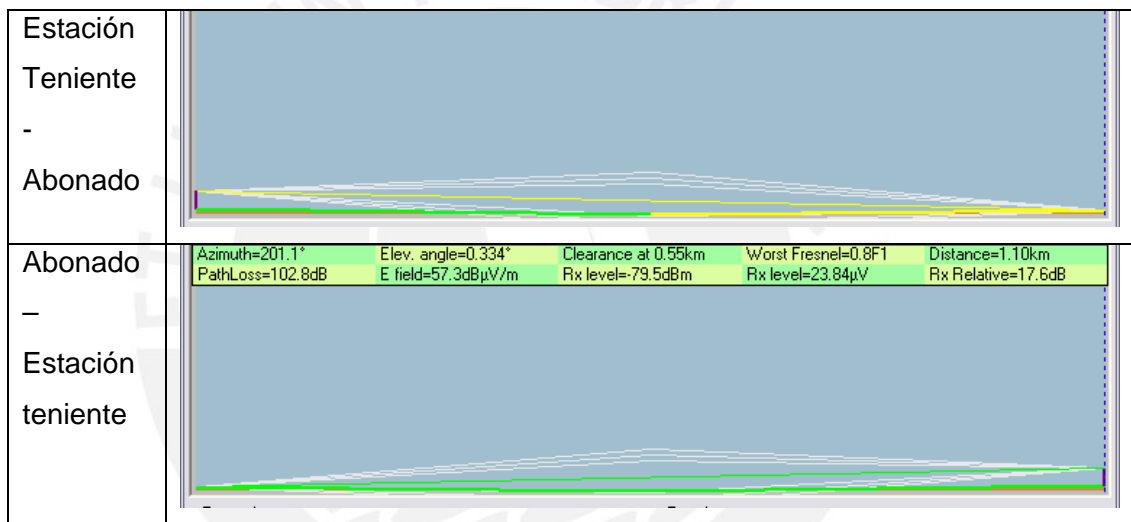


figura 5.34 Cobertura utilizando la frecuencia de 2,4GHz en Teniente Manuel Clavero



En el caso de CDMA 450 MHz se tendría una cobertura de 6,52 Km en forma radial.

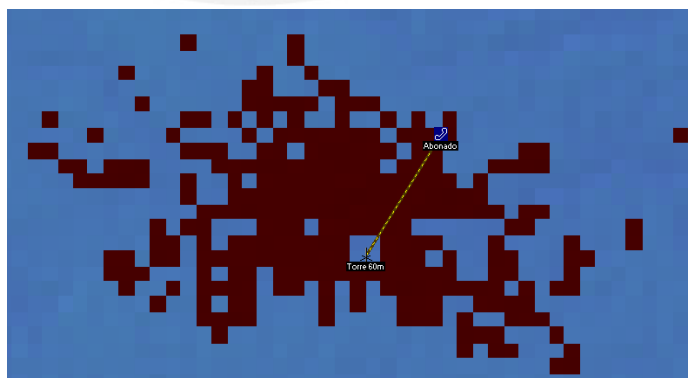
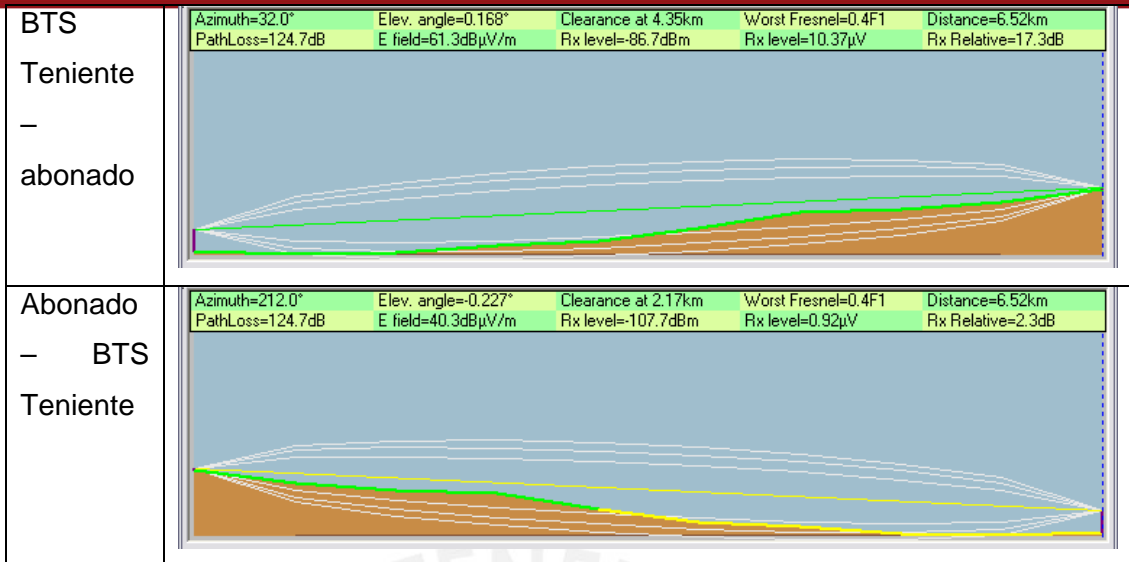


figura 5.35 Cobertura utilizando la frecuencia de 450 MHz en Teniente Manuel Clavero



Para el VSAT:

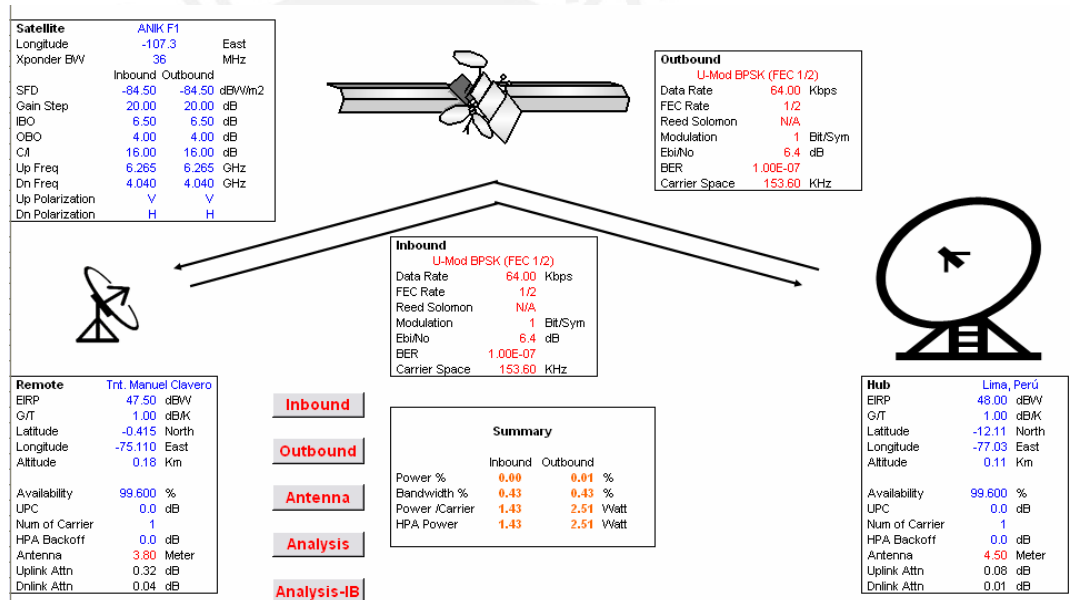


figura 5.36 Simulación de un enlace satelital en Teniente Manuel Clavero

5.5 Resultados

En primer lugar se vera una comparación referido a distancia de cobertura que se obtendrá tanto con CDMA 450MHz como con MAR (no se utilizara VSAT en esta comparación porque la idea de esta tecnología es colocar un teléfono publico y una/varias PC en el mismo lugar donde se encuentre la antena y no necesitara la ultima milla)

En el primer cuadro se observa que la tecnología MAR logra mayor distancia de cobertura en la región costa por ser un área que se caracteriza por ser plana y desértica. En la parte de la selva no es muy recomendable MAR porque la presencia de árboles absorbe la potencia radiada haciendo que sea poca la distancia de cobertura.

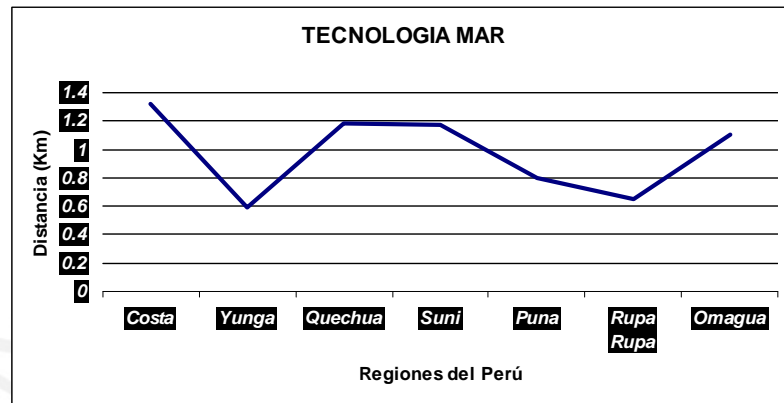


figura 5.37 Cuadro región vs distancia de la tecnología MAR

En este segundo cuadro observamos como actúa CDMA 450 MHz en forma radial. Se observa que tiene gran cobertura en la costa por lo explicado en el recuadro anterior y en la selva también tiene un buen comportamiento, esto se debe a que actúa muy bien frente a las interferencias de los árboles.

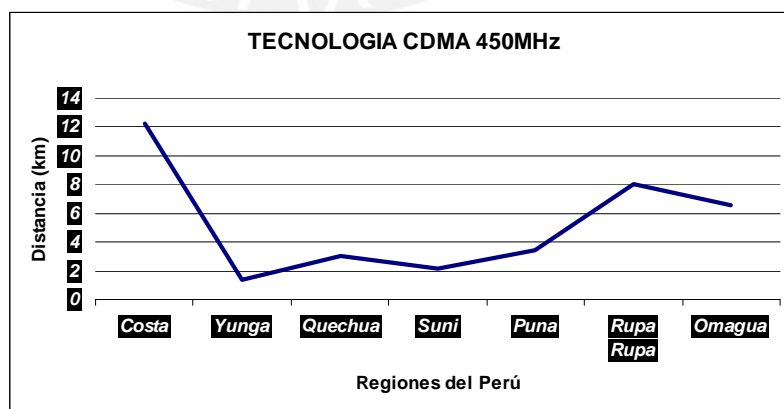


figura 5.38 Cuadro región vs distancia de la tecnología CDMA 450 MHz

Si sobreponemos ambas figuras podemos darnos una idea de la gran distancia que obtendríamos con CDMA 450 MHz en lugares planos en comparación con la tecnología MAR pero en la demás regiones es muy poco relevante su uso por ser muy pegado a la distancia de cobertura de MAR.

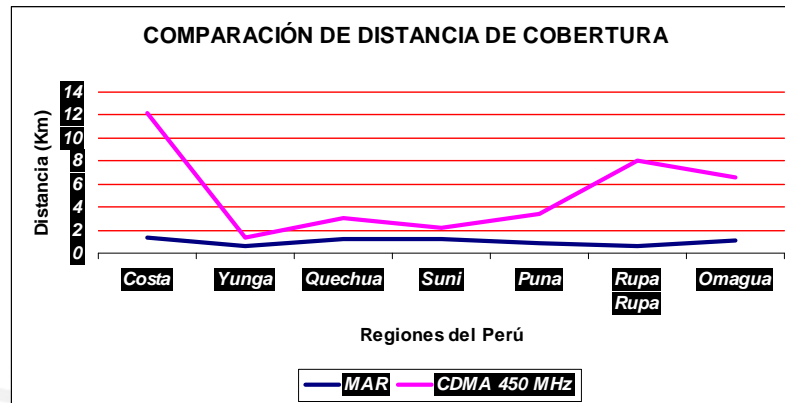
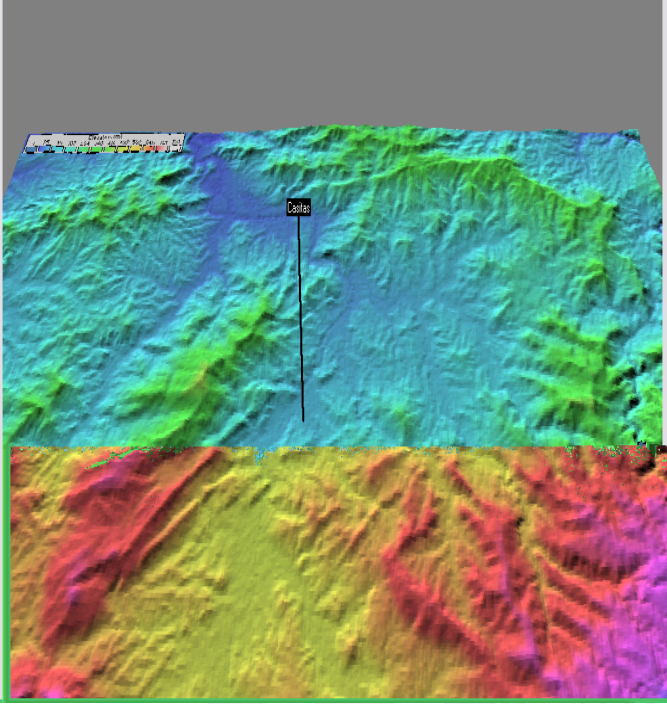
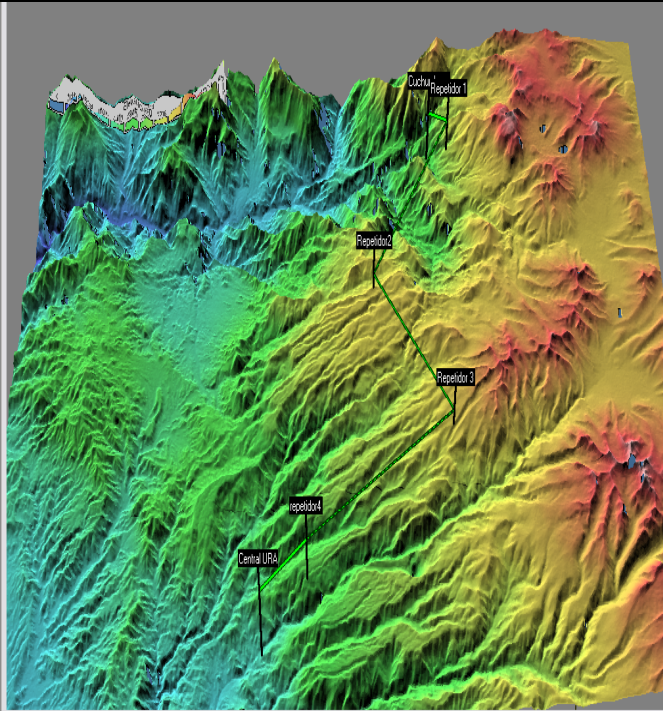
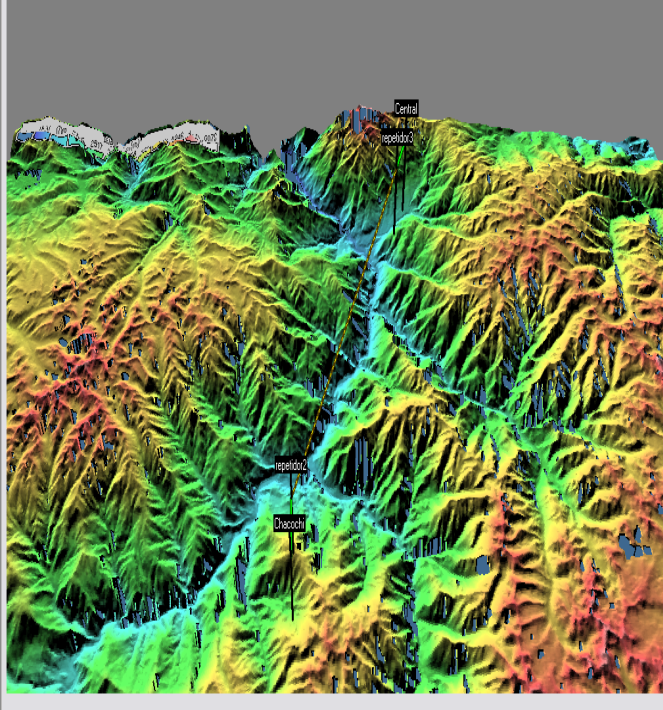


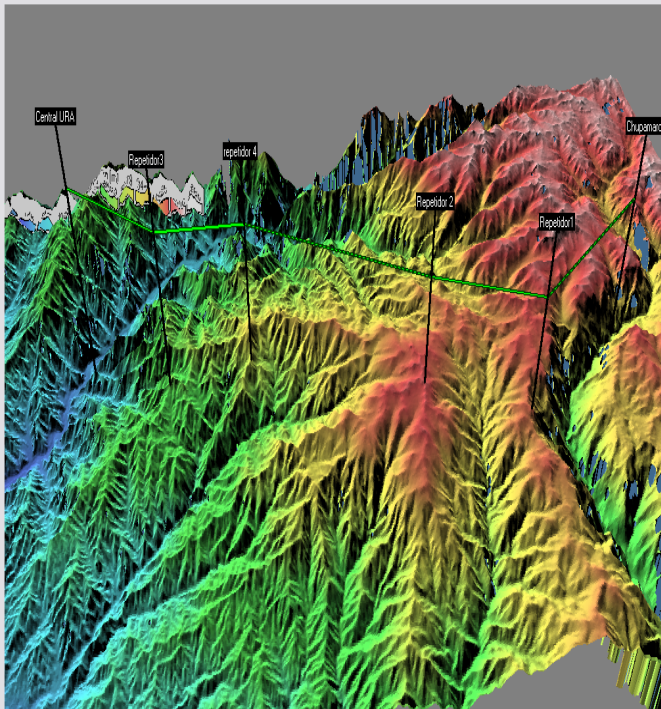
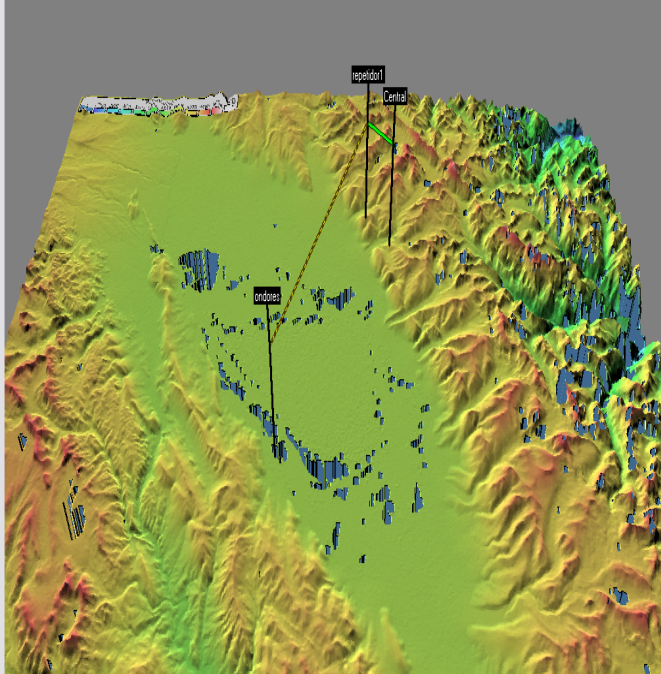
figura 5.39 Cuadro región vs distancia de la tecnología MAR y CDMA 450 MHz

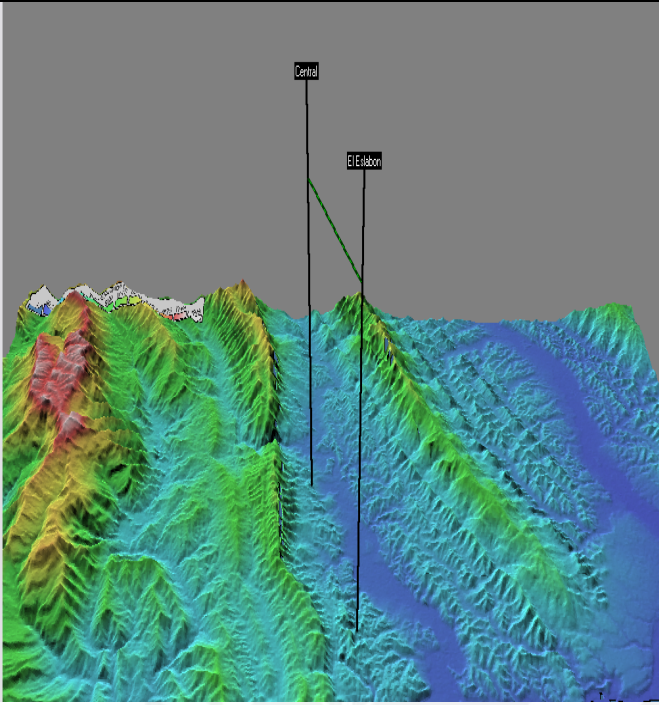
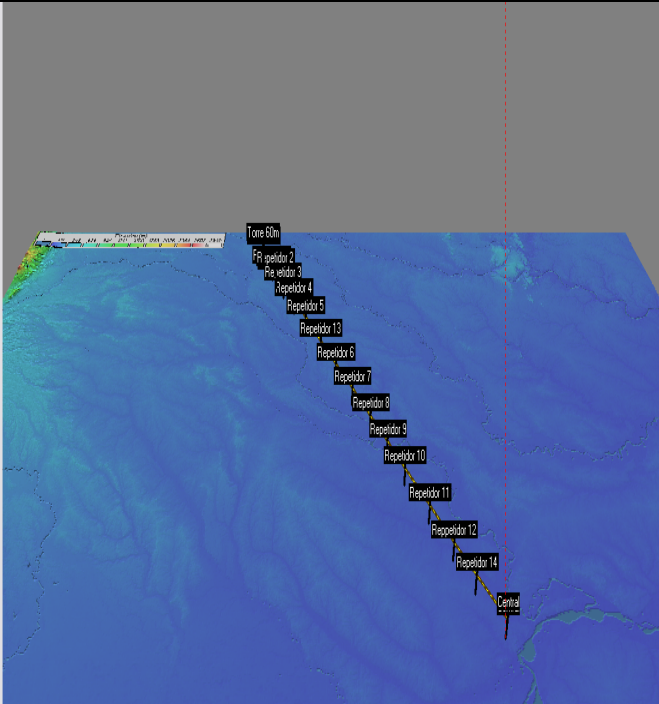
En segundo lugar se mostrara una comparación pero relacionado al aspecto económico (en ella se incluirá las tres tecnologías). La tabla de la parte inferior a este párrafo muestra el número de repetidoras y el costo de que se requiere tanto para CDMA 450MHz como para MAR para llevar la información desde la central hasta el distrito elegido: Luego se incluirá el costo de VSAT para posteriormente realizar un diagrama que muestre la comparación entre las tres tecnologías.

Tabla 5.3 Número de repetidoras y costo de la tecnología CDMA 450MHz y MAR en los distritos elegidos.

Distrito por región	Número de repetidoras y Precios
<p>Costa: Casitas</p> 	<p>No se requiere repetidoras: Costo= US\$ 0</p> <p>Torre de 12 metros: US\$ 1,390.4</p> <hr/> <p>MAR: Enlace Omnidireccional: Costo: US\$956.34 TOTAL = US\$ 956.34 + US\$ 1,390.4 = US\$ 2,346.74</p> <hr/> <p>CDMA 450MHZ: Costo: US\$ 822,250 TOTAL = US\$ 822,250</p>

<p>Yunga: Cuchumbaya</p> 	<p>Se requiere 4 repetidoras Costo = US\$ 5,657.04 6 torres de 12 metros: US\$ 8,342.4</p> <hr/> <p>MAR Enlace desde central y enlace omnidireccional: Costo: US\$ 2,370.6 TOTAL = US\$ 5,657.04 + US\$ 2,370.6 + US\$ 8,342.4= US\$ 16,370.04</p> <hr/> <p>CDMA 450MHZ Costo: US\$ 822,250 TOTAL = US\$ 822,250 + US\$ 5,657.04 = US\$ 827,907.04</p>
<p>Quechua: Chacochi</p> 	<p>Se requiere 2 repetidoras Costo = US\$ 2,828.52 4 torres de 12 metros: US\$ 5,561.6</p> <hr/> <p>MAR Enlace desde central y enlace omnidireccional: Costo: US\$ 2,370.6 TOTAL = US\$ 2,370.6 + US\$ 2,828.52 + 5,561.6= US\$ 10,760.72</p> <hr/> <p>CDMA 450MHZ Costo: US\$ 822,250 TOTAL = US\$ 822,250 + US\$ 2,828.52 = US\$ 825,078.52</p>

<p>Suni: Chupamarca</p> 	<p>Se requiere 4 repetidoras Costo = US\$ 5,657.04 6 torres de 12 metros: US\$ 8,342.4</p> <hr/> <p>MAR Enlace desde central y enlace omnidireccional: Costo: US\$ 2,370.6 TOTAL = US\$ 2,370.6 + US\$ 5,657.04 + 8,342.4= US\$ 16,370.04</p> <hr/> <p>CDMA 450MHZ Costo: US\$ 822,250 TOTAL = US\$ 822,250 + US\$ 5,657.04 = US\$ 827,907.04</p>
<p>Puna: Ondores</p> 	<p>Se requiere 1 repetidora Costo = US\$ 1,414.26 3 torres de 12 metros: US\$ 4,171.2</p> <hr/> <p>MAR Enlace desde central y enlace omnidireccional: Costo: US\$ 2,370.6 TOTAL = US\$ 2,370.6 + US\$ 1,414.26 + US\$ 4,171.2 = US\$ 7,956.06</p> <hr/> <p>CDMA 450MHZ Costo: US\$ 822,250 TOTAL = US\$ 822,250 + US\$ 1,414.26 = US\$ 823,664.26</p>

<p>Rupa Rupa: El Eslabon</p> 	<p>No se requiere repetidora Costo = US\$ 0 2 torres de 15 metros: US\$ 3,076.8</p> <hr/> <p>MAR Enlace desde central y enlace omnidireccional: Costo: US\$ 2,370.6 TOTAL = US\$ 2,370.6 + US\$ 3,076.8 = US\$ 5,447.4</p> <hr/> <p>CDMA 450MHZ Costo: US\$ 822,250 TOTAL = US\$ 822,250</p>
<p>Omagua: Teniente Manuel Clavero</p> 	<p>Se requiere 14 repetidoras Costo = US\$ 11,805.92 16 Torres de 60 metros = US\$ 102,104</p> <hr/> <p>MAR Enlace desde central y enlace omnidireccional: Costo: US\$ 2,370.6 TOTAL = US\$ 2,370.6 + US\$ 11,805.92 + US\$ 102,104 = US\$ 116,280.52</p> <hr/> <p>CDMA 450MHZ Costo: US\$ 822,250 TOTAL = US\$ 822,250 + US\$ 11,805.92 = US\$ 834,055.92</p>

En lo referido a VSAT utilizare la oferta que ofrece Gilat Perú, mostrada en el capítulo IV, el cual es de US\$ 4,040 en el primer año. Si consideramos un tiempo de vida de 3 años en todas las tecnologías sin realizar ningún mantenimiento y reparación tendríamos el siguiente cuadro:.

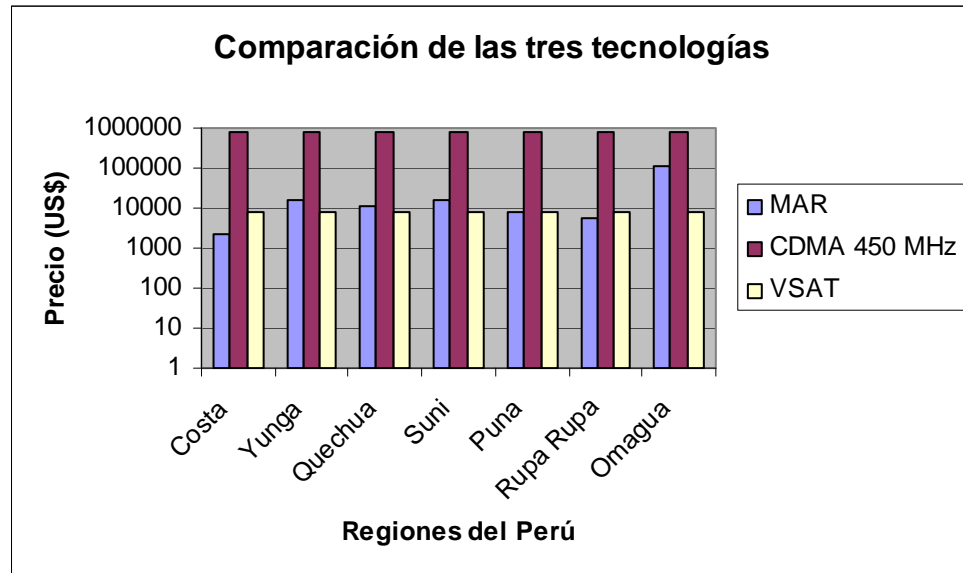


figura 5.40 Comparación económica entre la tecnologías elegidas

Este cuadro nos da una idea del costo que significa cada una de estas tecnologías en las diferentes regiones pero existe otros factores que son necesario tener en cuenta al momento de elegir una de ellas y estas se tratara de resumir en los siguientes párrafos.

En la Costa la alternativa más económica es MAR y esto se debe a la gran presencia de centrales de conmutación instaladas que hace más factible la expansión del servicio de telefonía hacia pueblos rurales, además de que esta región se caracteriza por ser significativamente plana por lo que no se requiere torres de gran altura. En la región Yunga la presencia de quebradas (abertura entre montañas de poca elevación) hace que el uso de la tecnología MAR sea costoso porque las repetidoras es necesaria instalarlas en lugares altos ya que el poblado se caracteriza por habitar en dicha abertura y la comunicación es difícil de entrar en ella; la tecnología más recomendable en dicho lugar es VSAT. La región Quechua se caracteriza por tener valles interandinos en donde se ubica la población, en esta región se podría colocar un VSAT o MAR porque ambos serian del mismo costo,

además que esta región se caracteriza por tener el mejor clima por lo que los equipos no sufrirían imperfecciones por estas. En la región Suni se tiene los vientos fríos llamadas heladas y precipitaciones sólidas; sería recomendable utilizar VSAT en esta región por tener un costo bajo, además, colocar torres en montañas de gran elevación es de gran dificultad por no decir imposible. En la región Puna se tiene mesetas andinas; según el aspecto económico es parecido el costo de colocar VSAT y MAR, tan solo se debe tener en cuenta la elección de equipos que puedan soportar temperaturas bajas. En la región Rupa rupa o selva alta es recomendable utilizar MAR y esto se debe a que la presencia de niebla perjudica la comunicación de la estación terrena con el satélite. Finalmente, en la región Omagua, es necesario utilizar VSAT porque existe poca presencia de centrales de conmutación (a diferencia de la Costa) y utilizar una tecnología MAR y CDMA 450 MHz sería de un costo elevado por la presencia de una gran cantidad de repetidores y además la presencia de árboles de una gran altura que dificulta la línea de vista necesaria para una comunicación buena (se necesitaría torres de 60 metros de altura) y además que absorbe la energía que irradia las antenas.

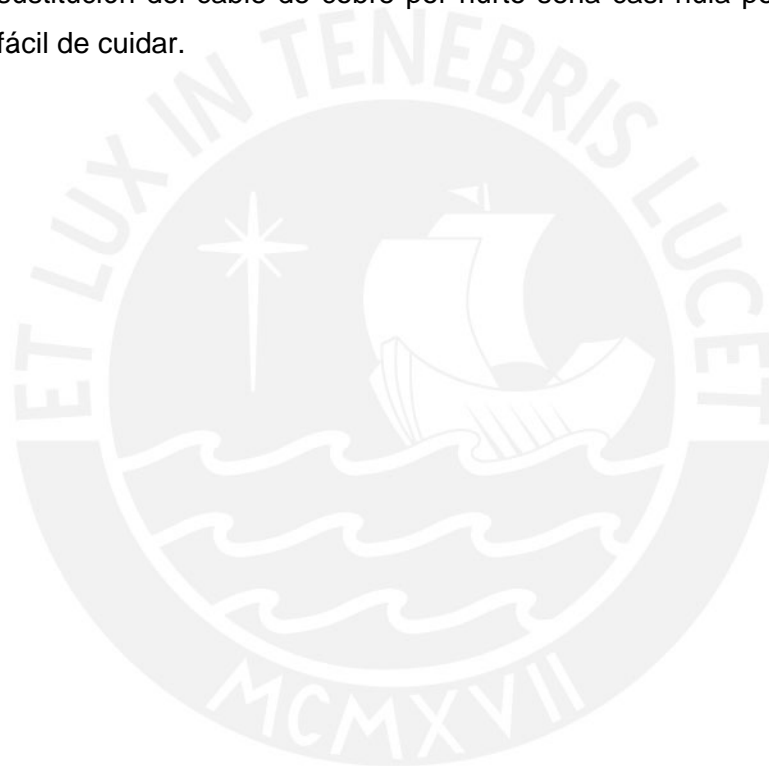
En el caso de CDMA 450 MHz, esta tecnología es una buena alternativa por la gran distancia que se logra alcanzar, aunque en el aspecto económico este es enormemente superior a las otras tecnologías, se debe mencionar que esta tecnología podría ser útil para ofrecer servicios a más de un pueblo logrando de esta manera evolucionar del acceso universal a servicio universal ofreciendo servicio con una calidad excelente y diferenciada.

Conclusiones

1. Con el presente trabajo se logro el objetivo de mostrar, con datos numéricos, técnicos y operacionales, que tecnología es buena en una determinada región del territorio Nacional.
2. El primer factor o elemento a considerar es la distancia de cobertura. La tecnología CDMA 450 MHz es una tecnología muy buena en zonas planas, característica principal de la región Costa, alcanzando distancias superiores a los 10 Km con una torre de solo 12 metros. La distancia mínima alcanzada con la simulación es menos de 2 Km en la región Yunga y sucesivamente se va manteniendo esta distancia hasta el punto de quiebre que es la selva alta y baja (la explicación detallada de cada una de las regiones se observa en el capítulo 5). Con esto se concluye que colocar CDMA 450 MHz en regiones de gran altura no es buena opción porque a lo mucho estaríamos alcanzando un radio de 4 Km en forma omnidireccional y a un precio muy elevado.
3. En lo relativo a costo, la tecnología CDMA 450MHz es la más cara. Si lo que se busca es acceso universal, la tesis se basa en esto, no seria muy recomendable implementarla y por tal motivo se recomienda usar en la costa la tecnología MAR, en la Yunga la tecnología VSAT, en la región Quechua la tecnología MAR y VSAT son relativamente iguales, en la región Suni VSAT es la alternativa mas cómoda, en la región Puna ambas tecnologías, MAR y VSAT se podrían utilizar, en la región Rupa Rupa MAR es la cómoda, en la región Omagua sin lugar a duda VSAT es la alternativa mas económica por la presencia de poblados muy lejanos a las centrales de conmutación y además por ser de difícil acceso a ellos (ver figura 5.39 del capítulo 5).
4. Con respecto a la movilidad, CDMA 450 MHz es la mejor alternativa. Si se compara con las otras tecnologías vemos que estos se caracterizan por ser estáticos, solo se coloca un teléfono o pc en el mismo lugar donde se coloca el Terminal VSAT o en un radio muy pequeño cuyo centro se ubica la estación periférica de MAR. Con CDMA 450 MHz, aprovechando la gran distancia que se alcanza, se puede utilizar dispositivos móviles que

concentran el servicio de Internet y voz en una solo y el usuario tendría la ventaja de moverse libremente y no perder la comunicación.

5. EL precio del cable de cobre (Cu) juega un papel fundamental al momento de elegir la tecnología a usar. El uso de repetidoras en MAR y CDMA 450 es una atractiva ocasión para que personas amantes de lo ajeno se apoderen del cable de cobre que se utiliza en estas, por lo que resultaría de un gran costo a muy corto plazo por la sustitución de este y por la inversión en seguridad que se requerirá. Si utilizamos VSAT estaríamos ubicando todos los dispositivos a utilizar en un mismo lugar por lo que la inversión en sustitución del cable de cobre por hurto seria casi nula porque resulta más fácil de cuidar.



Bibliografía

1. Marlad, Gerad. VSAT NETWORKS. Wiley, 2003.
2. McBride, Alan. VSAT maintenance and installation.
3. Menacho, Jorge. Estaciones terrenas VSAT: solución de telecomunicaciones para el Perú. Electro electrónica No1 1994
4. Hamid, A. VSAT Technology, Trends, and Applications.
5. BENEFICIO Y DESPLIEGUES DE LA TECNOLOGÍA CDMA EN LA BANDA DE 400-450 MHZ
6. RECOPIACION DE LA INFORMACION RECIBIDA EN RESPUESTA A LA CIRCULAR 110/02 Y 125/02 RELATIVA AL DOCUMENTO CCP.III/DOC.2299/02 "DISTRIBUCIÓN DEL ESPECTRO PARA EL SERVICIO FIJO" PRESENTADO EN LA XXI REUNION DEL CCP.III
7. MOTOROLA: Alexander Zawadzki, EVOLUCIÓN A LA TERCERA GENERACIÓN
8. Telefónica: David Holgado, SERVICIOS DE DATOS TECNOLOGÍA IS-95B
9. CDG DEVELOPMENT GROUP "3G Fact Sheet"
10. CODESI "Diagnostico de la Infraestructura para la Sociedad de la Información en el Perú" 10 de Mayo del 2004
11. "PLAN NACIONAL DE ATRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS"
Actualizado 22 de diciembre del 2006

12. "PLAN NACIONAL DE ATRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS"
Modificación de P38, P48 Y P50 DEL PNAF (RM N° 094-2007-MTC/03)
Referencia a Página Web:
13. "Configuraciones de un red VSAT"
http://www.upv.es/satelites/trabajos/pract_4/arq/config.htm
14. "TDMA inbound/ TDM outbound"
http://www.upv.es/satelite/trabajos/Grupo7_99.00/TDMA5.htm
15. "CDMA"
http://www.upv.es/satelite/trabajos/Grupo7_99.00/CDMA7.htm
16. "Acceso múltiple con asignación por demanda"
http://www.upv.es/satelite/trabajos/Grupo7_99.00/asignad.htm
17. "CDMA IS-95"
http://www.teleco.com.br/es/tutoriais/es_tutorialcdma/default.asp
18. "LAS OCHOS REGIONES NATURALES"
<http://qfrojas.blogspot.com/2006/11/las-ocho-regiones-naturales-una-regin.html> Visitado 6de abril de 2007.
19. "ZTE 450MHz CDMA mobile communications system"
<http://www.zte.com.cn:8080/main/P%20AND%20C/System%20equioment/mobile%20communications/GoTa%20clusters%20communications%20system/2003060552780.shtml>
20. "Mapa de Infraestructura"
<http://190.81.44.85/website/telecom/>
21. "Resolución Ministerial N° 076-98-MTC/15.19"
[http://www.mtc.gob.pe/portal/comunicacion/control/normaslegales/espectroradioelectrico/Directivaband9002.4%205.7\(version%2017.8.4\).pdf](http://www.mtc.gob.pe/portal/comunicacion/control/normaslegales/espectroradioelectrico/Directivaband9002.4%205.7(version%2017.8.4).pdf)

22. “Nuevos Planes Tarifarios”
<http://www.gilat.com.pe>
23. “Torres: Torres Syscom”
http://www.epcom.net/Productos/torres_syscom.htm

Tesis Consultada:

24. Díaz, Patricia. Diseño de una red de telecomunicaciones rurales para localidades del departamento de Puno empleando un sistema radioeléctrico digital punto multipunto, 2001
25. Salvatierra, Julio. Diseño de una red rural CDMA-450 MHZ para el valle del Vilcanota – Canchis, 2007
26. Espinoza, David. Diseño de una red de telecentros rurales con un acceso satelital compartido, 2005

