



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

“ESTUDIO Y ANÁLISIS DE SEGMENTO TERRESTRE DE NUEVA GENERACIÓN EN
COMUNICACIONES POR SATÉLITE”

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:

ANDRÉS CORNEJO GAIBOR

TUTOR:

DR. SALVADOR LANDEROS AYALA
FACULTAD DE INGENIERÍA

MÉXICO, D.F. ABRIL 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO

Presidente: Dr. Vicente Vivas Esaú

Secretario: Dr. Matías Maruri José María

Vocal: Dr. Landeros Ayala Salvador

1er. Suplente: Dr. Moctezuma Flores Miguel

2do. Suplente: Dr. García Garduño Víctor

Lugares en donde se realizó la tesis: México, Distrito Federal.

TUTOR DE TESIS:

Dr. Salvador Landeros Ayala

FIRMA

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento a la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, UNAM, por haberme permitido formar parte de tan prestigiosa Institución educativa, referente Latinoamericano y mundial.

Un agradecimiento especial al Dr. Salvador Landeros Ayala, pionero y visionario de las comunicaciones satelitales en México, por compartir su experiencia y conocimiento, y haberme guiado en la realización de este trabajo.

A los profesores del Posgrado de Ingeniería, por dedicar su vida a la enseñanza y particularmente un honor haber sido alumno de todos ustedes, muchas gracias.

A todo el departamento de Coordinación de Estudios de Posgrado por todas las facilidades que me brindaron para poder continuar con mis estudios, mis más respetuosos agradecimientos.

DEDICATORIA

La realización de este trabajo está dedicado a la vida, porque gracias a ella he podido ir alcanzando muchas metas pero principalmente poder compartirla con mi familia, amigos, maestros y por todo el aprendizaje que el día a día nos ofrece, una oportunidad de honrar a ese milagro que nos ofrece poder despertarse y comunicarle al mundo nuestros sueños y esperanzas.

También les dedico este trabajo a todos los pueblos originarios de nuestra Latinoamérica, desde el Río Bravo hasta Tierra del Fuego, que de nosotros es el futuro, y es ahí donde todos nuestros objetivos se irán convirtiendo en hechos porque de la mano de la tecnología nos irá acercando mucho más.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	iii
ÍNDICE DE TABLAS	v
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	vi
OBJETIVOS	vii
METODOLOGÍA	viii
ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS	ix
NOTACIÓN	xii
INTRODUCCIÓN	xiii
CAPITULO 1: TÉCNICAS DE ACCESO	1
1.1. Tecnologías de acceso múltiple.....	1
1.2. Características de los servicios.....	2
1.3. Esquemas de acceso múltiple.....	2
1.3.1. Acceso múltiple por división de frecuencia, FDMA.....	3
1.3.2. Sistemas analógicos SCPC-FM.....	5
1.3.3. Técnicas FDM/FM/FDMA.....	6
1.3.4. Acceso múltiple por división en el tiempo, TDMA.....	7
1.3.5. Acceso múltiple por división de código, CDMA.....	8
1.3.6. Acceso múltiple por división espacial, SDMA.....	10
1.3.7. Acceso múltiple aleatorio, ALOHA.....	10
1.3.8. Acceso múltiple aleatorio ranurado, S-ALOHA.....	11
CAPITULO 2: ESTACIONES TERRENAS Y TOPOLOGÍA DE REDES	13
2.1. Segmento terrestre.....	13
2.1.1. El sistema de antena.....	13
2.1.2. Amplificadores de bajo ruido, (LNA).....	14
2.1.3. Amplificadores de potencia, (PA's o HPA's: amplificadores de alta potencia)....	15
2.1.4. Equipos de telecomunicaciones.....	15
2.1.5. Equipamiento para conectividad con la red terrestre.....	15
2.1.6. Equipamiento auxiliar.....	16
2.1.7. Equipos de suministro de potencia.....	16
2.1.8. Infraestructura general.....	17
2.2. Estaciones terrenas principales.....	18
2.2.1. Estaciones para operaciones internacionales.....	18
2.2.2. Estaciones para sistemas regionales o nacionales.....	19
2.2.3. Servicios de radiodifusión satelital, (BSS: Broadcasting Satellite Service), estaciones Feeder-Link (enlaces de conexión).....	19
2.2.4. Estaciones terrenas para servicio móvil satelital, (MSS).....	20
2.2.5. Estaciones terrenas pequeñas.....	20
2.3. Estaciones terrenas Very Small Aperture Terminal, VSAT.....	21
2.3.1. Clasificación de estaciones HUB.....	21
2.3.2. Estación VSAT.....	22
2.3.3. Estación HUB, (Diferencia con una estación VSAT).....	25
2.4. Topología de redes satelitales VSAT.....	27
2.4.1. Configuración malla.....	27
2.4.2. Configuración estrella.....	28
2.5. Selección del tipo de topología de red VSAT.....	29
2.5.1. Estructura del flujo de información.....	29
2.5.2. La calidad del enlace y la capacidad.....	30
2.5.3. Retardo de transmisión.....	30

CAPITULO 3: APLICACIONES, SERVICIOS Y DIMENSIONAMIENTO EN REDES DE VOZ Y DATOS.	31
3.1. Estándar DVB	31
3.1.1. Sistema DVB-S y DVB-DSGN	31
3.1.1.1. Escenarios de aplicación DVB-S	31
3.1.1.2. Escenarios de aplicación DVB-DSGN	33
3.1.2. Sistema DVB-S2	34
3.1.2.1. Tecnologías que habilitan a DVB-S2	34
3.1.2.2. Perfiles de aplicaciones para DVB-S2	35
3.1.2.3. Modulaciones jerárquicas y modos de operación DVB-S2	35
3.1.3. Sistema DVB-RCS	37
3.2. Sistema NOVELSAT® NS3	37
3.2.1. Ventajas en la tecnología NovelSat NS3	38
3.3. Dimensionamiento de la red satelital de telecomunicaciones	39
3.3.1. Criterios y replanteo de red satelital	40
3.3.2. Criterios de tipos de acceso a utilizar	40
3.3.3. Criterio para análisis de retrasos	41
3.3.4. Criterio para análisis de cálculos de enlace y capacidad de la red	43
3.3.5. Gestión de red satelital para radiodifusión y backbone de datos, Networking	50
3.3.6. Consideraciones para el diseño de última milla de comunicaciones	52
CAPITULO 4: SIMULACIONES DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN SATELITAL	57
4.1. Simulaciones de la red satelital de comunicaciones	57
4.1.1. Simulaciones para obtención de eficiencia espectral	57
4.1.2. Simulaciones para enlaces de radiodifusión en banda Ku y banda Ka, usando los estándares DVB-S2 y NS3 con CCM, VCM y ACM.	64
4.1.3. Simulaciones para enlaces de datos en banda Ku y banda Ka, usando los estándares DVB-S2 y NS3 con CCM, VCM y ACM.	74
4.1.4. Determinación de la eficiencia entre ACM, VCM y CCM para los estándares DVB-S2 y NS3.	89
CAPITULO 5: ESTUDIO DE COSTOS Y FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN	93
5.1. Licencias para operación de red satelital	93
5.1.1. El acceso al segmento espacial	93
5.1.2. Las regulaciones locales	94
5.2. Estimación del costo por el segmento terrestre	94
5.2.1. Valoración del costo de la estación terrena	94
5.2.2. Valoración del costo de un MINIHUB VSAT	95
5.2.3. Valoración del costo por estación remota VSAT por usuario	96
5.2.4. Valoración del costo de las estaciones base, (BS)	97
5.3. Estimación del costo del segmento espacial	98
5.4. Comparación de costos en una red satelital para distintas alternativas de configuración para la distribución de contenidos de información.	98
CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	103
6.1. Conclusiones	103
6.2. Recomendaciones	107
BIBLIOGRAFÍA	109

ANEXO 1: CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN EN MATLAB ®

ANEXO 2: DIAGRAMA DE ENLACE SATELITAL EN SIMULINK ©

ANEXO 3: RESUMEN DE PARÁMETROS PARA CADA ESTACIÓN VSAT, BANDA Ku Y Ka.

ÍNDICE DE FÓRMULAS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Tipo de acceso satelital por cada estación.....	2
Figura 1-2. Comparación de las tres principales técnicas de acceso, FDMA, TDMA, CDMA.....	3
Figura 1-3. Banda de guarda entre frecuencias FDMA.....	4
Figura 1-4. Principio básico FDMA.....	4
Figura 1-5. Esquema básico de acceso SCPC y MCPC.....	5
Figura 1-6. Throughput vs N° Estaciones FDMA.....	6
Figura 1-7. Esquema básico de acceso TDMA y sus ráfagas.....	7
Figura 1-8. Throughput vs N° Estaciones TDMA.....	8
Figura 1-9. Throughput vs N° Estaciones CDMA.....	9
Figura 1-10. Comparación de throughput vs N° Estaciones FDMA, TDMA, y CDMA.....	9
Figura 1-11. Esquema ALOHA puro.....	10
Figura 1-12. Esquema básico ALOHA ranurado.....	11
Figura 1-13. Comparación de eficiencia o rendimiento entre ALOHA puro y S-ALOHA.....	12
Figura 2-1. Diagrama general de operación de una estación terrena.....	14
Figura 2-2. Diagrama de una estación VSAT.....	23
Figura 2-3. ODU para una estación VSAT.....	24
Figura 2-4. Sistema electrónico ODU de VSAT.....	24
Figura 2-5. Vista frontal de un IDU de una estación VSAT.....	25
Figura 2-6. Vista trasera de un IDU de una estación VSAT.....	25
Figura 2-7. ODU de una estación HUB.....	26
Figura 2-8. Subsistemas de un HUB.....	26
Figura 2-9. Red VSAT en malla.....	27
Figura 2-10. Red VSAT en estrella de dos vías.....	28
Figura 2-11. Red VSAT en estrella.....	29
Figura 3-1. Sistema DTH.....	32
Figura 3-2. Diagrama típico usando DVB-DSGN.....	33
Figura 3-3. Modo de operación CCM.....	36
Figura 3-4. Modo de operación VCM/ACM.....	36
Figura 3-5. Red en forma de estrella usando FDMA-TDMA.....	41
Figura 3-6. Cobertura para enlace de bajada en banda Ku y curvas de PIRE, EUTELSAT.....	45
Figura 3-7. Listado de frecuencias para uso de bandas satelitales, ITU.....	46
Figura 3-8. Regiones 1, 2 y 3 para distribución de frecuencias satelitales, ITU.....	46
Figura 3-9. Configuración punto – multipunto.....	50
Figura 3-10. Configuración punto – multipunto, VLAN Networking.....	51
Figura 3-11. Configuración de agregación Router – Switch, VLAN Networking.....	51
Figura 3-12. Estimado por regiones para el número de subscriptores..... por cada 100 habitantes.	53
Figura 3-13. Red de acceso por radio (RAN) con backhaul satelital.....	53
Figura 3-14. Enlace punto-multipunto con WLAN 2.4 GHz.....	55
Figura 3-15. Esquema de una red satelital de múltiples servicios en topología malla.....	56
Figura 3-16. Esquema de una red satelital de múltiples servicios con..... topología multiestrella y malla.	56
Figura 4-1. Modelo simplificado de una transmisión satelital, SIMULINK©.....	58
Figura 4-2. Información en forma de constelación QPSK antes de HPA.....	59

Figura 4-3. Información en forma de constelación QPSK, después de HPA.....	59
Figura 4-4. Constelación antes de ser transmitida por el canal de comunicación.....	60
Figura 4-5. Constelación recibida.....	60
Figura 4-6. Constelación transmitida 8PSK.....	61
Figura 4-7. Constelación recibida 8PSK.....	61
Figura 4-8. Comparación gráfica de datos enviados y recibidos.....	62
Figura 4-9. Medición del espectro de frecuencia del ancho de banda.....	63
Figura 4-10. Relación portadora a ruido, C/N_0 , para radiodifusión en banda Ku.....	65
Figura 4-11. E_s/N_0 despejado y con lluvia, para radiodifusión en banda Ku.....	65
Figura 4-12. Tasa de bits por usuario en clúster para radiodifusión en banda Ku.....	66
Figura 4-13. Comparación entre DVB-S2 y NS3, modo ACM, radiodifusión en banda Ku.....	66
Figura 4-14. Comparación entre DVB-S2 y NS3, modo VCM, radiodifusión en banda Ku.....	67
Figura 4-15. Distribución de estaciones VSAT por clúster, radiodifusión en banda Ku.....	67
Figura 4-16. Relación portadora a ruido, C/N_0 , para radiodifusión en banda Ka.....	70
Figura 4-17. E_s/N_0 despejado y con lluvia, para radiodifusión en banda Ka.....	70
Figura 4-18. Tasa de bits por usuario en clúster para radiodifusión en banda Ka.....	71
Figura 4-19. Comparación entre DVB-S2 y NS3, modo ACM, radiodifusión en banda Ka.....	71
Figura 4-20. Comparación entre DVB-S2 y NS3, modo VCM, radiodifusión en banda Ka.....	72
Figura 4-21. Distribución de estaciones VSAT por clúster, radiodifusión en banda Ka.....	72
Figura 4-22. Relación portadora a ruido, C/N_0 , enlace de datos en banda Ku.....	76
Figura 4-23. E_s/N_0 despejado y con lluvia, enlace de datos en banda Ku.....	76
Figura 4-24. Tasa de bits por usuario en clúster, enlace de datos en banda Ku.....	77
Figura 4-25. Comparación entre DVB-S2 y NS3, modo ACM, datos, en banda Ku.....	77
Figura 4-26. Comparación entre DVB-S2 y NS3, modo VCM, datos en banda Ku.....	78
Figura 4-27. Retraso comparativo entre DVB-S2 y NS3, por clúster, datos, banda Ku.....	78
Figura 4-28. Distribución de estaciones VSAT por clúster, datos en banda Ku.....	79
Figura 4-29. Relación portadora a ruido, C/N_0 , enlace de datos en banda Ka.....	82
Figura 4-30. E_s/N_0 despejado y con lluvia, enlace de datos en banda Ka.....	83
Figura 4-31. Tasa de bits por usuario en clúster, enlace de datos en banda Ka.....	83
Figura 4-32. Comparación entre DVB-S2 y NS3, modo ACM, datos, en banda Ka.....	84
Figura 4-33. Comparación entre DVB-S2 y NS3, modo VCM, datos en banda Ka.....	84
Figura 4-34. Retraso comparativo entre DVB-S2 y NS3, por clúster, datos, banda Ka.....	85
Figura 4-35. Distribución de estaciones VSAT por clúster, datos en banda Ka.....	85
Figura 4-36. Ilustración a partir de la tabla 4-8, cantidad de usuarios, en banda Ku.....	90
Figura 4-37. Ilustración a partir de la tabla 4-9, mejora en.....	91
eficiencia en modos de operación, vista a).	
Figura 4-38. Ilustración a partir de la tabla 4-9, mejora en.....	91
eficiencia en modos de operación, vista b).	
Figura 5-1. Costos de operación de red para 5 años.....	100
Figura 6-1. Porcentaje de mejora para los modos de operación, CCM, VCM, ACM.....	105
para DVB-S2 y NS3 comparados con DVB-S, bandas Ku y Ka.	
Figura 6-2. Costos de operación de red para 5 años, comparación de tecnologías.....	106
de puntos de acceso, última milla y VSAT remoto.	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1. Parámetros típicos para eficiencia espectral DVB-S.....	32
Tabla 3-2. Parámetros típicos para eficiencia espectral para DVB-DSGN.....	33
Tabla 3-3. Parámetros típicos para eficiencia espectral DVB-S2.....	37
Tabla 3-4. Parámetros típicos para eficiencia espectral para NS3.....	39
Tabla 3-5. Tipo de configuración de la red y servicios que soporta.....	40
Tabla 3-6. Resumen de valores para determinar el tráfico de datos VSAT.....	44
Tabla 3-7. Resumen de configuraciones VLAN para los enlaces de ejemplo.....	52
Tabla 4-1. Comparación de valores (E_s/N_0) simulado y teórico.....	63
Tabla 4-2. Resumen de las simulaciones por clúster, radiodifusión en banda Ku.....	68
Tabla 4-3. Resumen de las simulaciones por clúster, radiodifusión en banda Ka.....	73
Tabla 4-4. Resumen de las simulaciones por clúster, enlace de datos, banda Ku.....	79
Tabla 4-5. Resumen de cantidades, enlaces INBOUND/OUTBOUND satelitales, banda Ku.....	79
Tabla 4-6. Resumen de las simulaciones por clúster, enlace de datos, banda Ka.....	86
Tabla 4-7. Resumen de cantidades, enlaces INBOUND/OUTBOUND satelitales, banda Ka.....	86
Tabla 4-8. Comparación de cantidad de usuarios en banda Ku.....	89
Tabla 4-9. Comparación en la mejora de eficiencia por modo de operación, banda Ku.....	90
Tabla 5-1. Estimación del costo total de una estación terrena.....	94
Tabla 5-2. Estimación del costo total de estaciones MINIHUB.....	95
Tabla 5-3. Estimación del costo total de las estaciones VSAT, para enlace de datos.....	96
Tabla 5-4. Estimación del costo total de las estaciones VSAT, para TV digital.....	96
Tabla 5-5. Estimación del costo de estaciones base, BS para GSM/LTE.....	97
Tabla 5-6. Estimación del costo de estaciones base, BS para CDMA 450/EVDO.....	97
Tabla 5-7. Estimación del costo de estaciones base, BS para WLAN 2.4 GHz.....	97
Tabla 5-8. Costo de los servicios de segmento espacial, aproximados.....	98
Tabla 5-9. Estimación del costo total del segmento terrestre/espacial.....	99
para 5 años, última milla GSM/LTE.	
Tabla 5-10. Estimación del costo total del segmento terrestre/espacial.....	99
para 5 años, última milla CDMA 450/EVDO.	
Tabla 5-11. Estimación del costo total del segmento terrestre/espacial.....	99
para 5 años, última milla WLAN 2.4 GHz.	
Tabla 5-12. Estimación del costo total del segmento terrestre/espacial.....	100
para 5 años, VSAT remoto.	
Tabla 5-13. Estimación del costo total del segmento terrestre/espacial.....	100
para 5 años para cada tecnología (resumen).	

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Una de las grandes ventajas de los sistemas de comunicaciones satelitales es dotar de cobertura a zonas de difícil acceso, esto plantea la necesidad de poder ir optimizando tanto el segmento espacial como el segmento terrestre en términos de ancho de banda, capacidad y potencia para los diferentes servicios y aplicaciones, particularmente en lo que respecta al desempeño y throughput del enlace, así como en la topología de las redes en las estaciones terrenas.

Esto sin duda lleva a reconfigurar los conceptos de redes en el segmento terrestre, debido a que las grandes capacidades actuales de los enlaces satelitales en términos de transporte de la información, genera un concepto de backhaul satelital de grandes prestaciones, que bien podría ampliar la cobertura de redes de voz y datos de operadoras ya establecidas o que deseen entrar al mercado de las telecomunicaciones. Esto se propone para zonas de muy difícil acceso, sin la necesidad de enlazar con medios físicos terrestres, reduciendo el impacto ambiental y se favorece en mayor medida a la comunicación de los pueblos.

Esto también marca la pauta de que los enlaces satelitales (en el segmento espacial) tenga una altísima disponibilidad en un medio tan complejo como el de México y Latinoamérica, debido a que la intensidad de lluvias anuales afecta sin duda a los enlaces satelitales por la atenuación producida por las mismas, y es ahí donde se tiene que garantizar que la comunicación sea lo más robusta en la medida que sea posible, por lo que este estudio llevará a determinar la verdadera factibilidad tanto tecnológica como económica de poner en marcha un modelo de comunicaciones en base a enlaces satelitales eficiente y de altas prestaciones.

OBJETIVOS

Estudiar y comparar los estándares usados en comunicaciones satelitales para la transmisión de datos de alta calidad y confiabilidad, basados en el estándar DVB, con sus evoluciones, y el estándar nuevo de la empresa NovelSat ®, NS3 en el contexto para ser implementado en México y que se pueda ampliar a toda Latinoamérica.

Analizar y realizar cálculos con simulaciones de los parámetros que intervienen dentro del diseño de red, es decir de cada uno de los enlaces satelitales, para determinar disponibilidad, throughput y la confiabilidad que se llegaría a cada estación de usuario final, así como garantizar que el modelo que se va a proponer sea el que más resultados satisfactorios haya arrojado luego de las simulaciones realizadas.

Recomendar alternativas de solución en la configuración del segmento terrestre de nueva generación, en lo que a última milla para su aplicación en zonas de difícil acceso (zonas rurales) se refiere, puesto que existen varias tecnologías de carácter inalámbrico que pueden ser una solución eficaz, que a través del análisis y estudio a efectuar en este trabajo, se determinará qué opción al final será la más efectiva, sustentado en la relación coste/implementación.

Exhortar a la comunidad científica y tecnológica la utilización de redes de comunicaciones híbridas con base en backhaul satelital, las mismas que permitan desarrollar y ampliar redes existentes ya operativas, tal es el caso de operadores de telefonía celular, que no han podido ampliar su cobertura debido a lo complejo muchas veces del terreno, así como también permitir nuevos nichos en el mercado de telecomunicaciones para operadores que desean usar esta alternativa para desplegar y ampliar sus redes de datos.

METODOLOGÍA

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación, se usará la metodología de análisis, que permitirá estudiar varios temas por separado para comprender la funcionalidad de cada una de éstas partes dentro de un modelo de red a desarrollar, los temas a analizar son los siguientes:

- Estudio del estándar satelital DVB-S/DVB S-2 y NS3 y sus eficiencias espectrales respectivamente.
- Configuración de la estación terrena.
- Efectos de propagación y mitigación de pérdidas del enlace satelital.
- Estudio de topología de redes, basado en enlaces satelitales.

Una vez completado el análisis de los temas, se aplicarán técnicas de investigación fundamentadas en la experimentación, observación y análisis del contenido, donde se realizarán procedimientos apoyados en simulaciones y cálculos, los mismos que serán procesados en sistemas computacionales de alta precisión que permitan obtener resultados que puedan ser comparados y analizados para los modelos de red a proponer. Los procedimientos a desarrollar serán los siguientes:

- Análisis de servicios de voz/datos y aplicaciones para el sistema de comunicación satelital.
- Simulación de los enlaces satelitales, rendimiento, trafico, throughput que puedan ser transportados de manera eficientes en las redes terrestres de nueva generación propuestas.
- Estudio de los costos de todo el sistema de comunicación.

Finalmente, se conseguirán resultados que determinarán el modelo de red en el segmento terrestre más funcional a las necesidades de costo/implementación, por lo que estará detallado en el capítulo final de conclusiones y recomendaciones.

ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

3GPP	3rd Generation Partnership Project
8PSK	8-ary Phase Shift Keying
16APSK	16-ary Amplitude and Phase Shift Keying
16QAM	16-ary Quadrature Amplitude Modulation
32APSK	32-ary Amplitude and Phase Shift Keying
ACI	Adjacent Channel Interference
ACK	ACKnowledgement
ACM	Adaptive Coding and Modulation
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AP	Access Point
AVC	Advanced Video Coding
AWGN	Additive White Gaussian Noise
BCH	Bose – Chaudhuri – Hocquenghem codes
BER	Bit Error Rate
BOo	BackOff Output
BS	Base Station
BSS	Broadcasting Satellite Service
CCM	Constant Coding and Modulation
CDMA	Code Division Multiple Access
CENELEC	Comité Européen de Normalisation Electrotechnique
CES	Coast Earth Station
CPE	Customer Premises Equipment
DAMA	Demand Assignment Multiple Access
DSNG	Digital Satellite News Gathering
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
DTH	Direct To Home
DVB	Digital Video Broadcasting
EBU	European Broadcasting Union
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
EUTELSAT	European Telecommunications Satellite Organization
EV-DO	Evolution-Data Optimized
FCC	Federal Communications Commission, USA
FDM	Frequency Division Multiplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FEC	Forward Error Correction
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
FM	Frequency Modulated
FSS	Fixed Satellite Service
FTN	Faster Than Nyquist

GbE	Gigabit Ethernet
GEO	Geostationary Earth Orbit
GSM	Global System for Mobile communications
GSO	GeoSynchronous Orbit
HDTV	High Definition Television
HPA	High Power Amplifier
IBS	INTELSAT Bussiness Services
IDU	InDoor Unit
INMARSAT	International Maritime Satellite Organization
INTELSAT	International Telecommunications Satellite Organization
IP	Internet Protocol
ISM	Industrial, Scientific and Medical
ISO	International Standarization Organization
ISP	Internet Service Provider
ITU	International Telecommunication Union
LAN	Local Area Network
LDPC	Low Density Parity Check
LEO	Low-Earth Orbit
LES	Land Earth Station
LNA	Low Noise Amplifier
LNB	Low Noise Block
LRE	Low bit Rate Encoding
LTE	Long-Term Evolution
MAC	Medium Access Control
MATLAB	MATrix LABoratory
MCPC	Multiple Channels Per Carrier
MEO	Medium Earth Orbit
MES	Mobile Earth Station
MODEM	MODulator DEModulator
MPEG	Moving Pictures Experts Group
MSAT	Mobile Satellite
MSS	Mobile Satellite Services
NACK	Negative ACKnowledgement
NMS	Network Management System
NS3	NovelSat 3rd generation
ODU	OutDoor Unit
OSI	Open System Interconnection
PA	Power Amplifier
PER	Packet Error Rate
PIRE	Potencia Isotrópica Radiada Equivalente, EIRP
PSK	Phase Shift Keying
QoS	Quality of Service
QPSK	Quaternary Phase Shift Keying

RAN	Radio Access Network
RCS	Return Channel Satellite
RF	Radio Frequency
S-ALOHA	Slotted-ALOHA protocol
SCPC	Single Channel Per Carrier
SDMA	Spatial Division Multiple Access
SDTV	Standard Definition Television
SNR	Signal to Noise Ratio
TCM	Trellis Coded Modulation
TCP	Transmission Control Protocol
TDM	Time Division Multiplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TV	Television
TWT	Travelling Wave Tube
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UPS	Uninterrupted Power Supply
VCM	Variable Coding and Modulation
VLAN	Virtual Local Area Network
VoIP	Voice over IP
VPN	Virtual Permanent/Private Network
VSAT	Very Small Aperture Terminal
WLAN	Wireless Local Area Network

NOTACIÓN

A	Ángulo de Azimuth, [grados°]
BW	Ancho de banda, [Hz]
c	Velocidad de la luz, [3×10^8 m/sec]
(C/N₀)_T	Relación portadora a ruido total, [dBHz]
(C/N₀)_D	Relación portadora a ruido bajada, [dBHz]
(C/N₀)_U	Relación portadora a ruido subida, [dBHz]
d	Distancia promedio del enlace RF en lluvia, [Km]
D	Diámetro de la antena receptora, [m]
E	Ángulo de elevación, [grados°]
E_b/N₀	Relación de energía por bit entre la densidad espectral de potencia de ruido, [dB]
E_s/N₀	Relación de energía por símbolo entre la densidad espectral de potencia de ruido, [dB]
f	Frecuencia de operación, [Hz]
G_r	Ganancia de la antena receptora, [dB]
G/T	Figura de mérito, [dB/°K]
h	Altura efectiva de lluvia, [Km]
k	Coefficiente que depende de la frecuencia para estimar la atenuación específica R
L	Longitud de información, [bits]
L_{aa}	Pérdida por apuntamiento de antena, [dB]
L_{rain}	Pérdidas en el enlace por lluvia, [dB]
N	Número de VSAT en una red satelital distribuida
P_{at}	Pérdidas por atenuación atmosférica, [0.1 dB]
P_e	Probabilidad de error
P_{go}	Pérdidas en la guía de onda, [1 dB]
PIRE	Potencia isotrópica radiada equivalente, [W]
PL	Pérdida parcial por trayectoria, [dB]
PL_{total}	Pérdida total por trayectoria, [dB]
P_{pol}	Pérdida por polarización, [0.1 dB]
P_R	Potencia en el receptor, [W]
R	Rango desde el HUB/VSAT al satélite, [Km]. Intensidad de lluvia excedida (mm/h)
R_e	Radio de la tierra, [6378 Km]
R₀	Altitud del satélite geostacionario, [35786 Km]
T	Periodo, tiempo de intervalo, [sec]
T_s	Temperatura del sistema, [° Kelvin]
α	Factor de Roll Off. También puede ser el coeficiente que depende de la frecuencia para estimar la atenuación específica R
δ	Longitud punto terrestre – Longitud del satélite, [grados°]
θ	Ángulo de elevación de la antena, [grados°]
λ	Generación promedio de paquetes, [paquetes/portadora]
η	Eficiencia espectral, [bits/sec/Hz]
γ	Atenuación específica por lluvia, [dB/Km]
φ	Latitud Terrestre, [grados°]

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las comunicaciones juegan un papel predominante en la sociedad, y cada vez aumentan los requerimientos de envío y recepción de grandes cantidades de información, lo que ha llevado a la evolución constante de las tecnologías que se usan diariamente y los enlaces satelitales se encuentran a la vanguardia del desarrollo.

Estas evoluciones se dan tanto en el segmento espacial como en el segmento terrestre, y gracias a la versatilidad que se puede encontrar en las comunicaciones satelitales para poder desplegarse en lugares de difícil acceso (zonas rurales especialmente), ayudan a que se puedan extender redes de información ya establecidas, pudiendo usarse como backhaul satelital para redes celulares, y así extender la cobertura de este servicio en zonas remotas, y no solo en redes celulares, sino de cualquier tipo de red de datos.

En lo que ha servicio de televisión de alta definición, las comunicaciones satelitales siguen estando al frente. Con el estándar DVB-S2 se puede ofrecer una calidad inigualable, y no solo para transmisiones de TV, sino de altas tasas de datos. Sin embargo uno de los limitantes más grandes en México y Latinoamérica en general, son las temporadas de lluvias que afectan la calidad de las transmisiones, siendo el objetivo de esta investigación el poder determinar qué tan factible son las transmisiones de datos mediante enlaces satelitales en las bandas Ku y Ka en los diferentes modos de operación y determinar la factibilidad de tener una última milla de alto rendimiento y bajo coste para las zonas de difícil acceso y por ende, que pueda ser asequible a los usuarios finales, favoreciendo a la teleeducación y la telemedicina.

CAPITULO 1: TÉCNICAS DE ACCESO

1.1. Tecnologías de acceso múltiple

Al hablar de técnicas de acceso, se está indicando de que muchas estaciones sobre la misma red puedan intercambiar información desde algún punto particular (sea éste un usuario) con el satélite. Entre las antenas de transmisión y recepción, el satélite ha incorporado un repetidor, el cual consiste de uno o más canales, llamados **transpondedores**, operando en paralelo en diferentes sub-bandas del total del ancho de banda asignado.

La información transferida entre algunas de las estaciones terrenas, implica el establecimiento de varios canales de comunicación estación-estación simultáneamente (conexiones) en un repetidor asignado del satélite.

Se debe tener en cuenta algunos efectos, como el tema de la intermodulación existente, resultado de la no-linealidad del canal de transferencia del satélite, así como el problema de compartir la potencia del repetidor del satélite con todas las portadoras.

A partir de la introducción de dispositivos integrados de alta velocidad (circuitos lógicos integrados) a partir de 1970, fueron desarrolladas nuevas formas de comunicaciones para satélite. El salto de lo analógico a lo digital en las tecnologías, supuso una manipulación de las comunicaciones de muchas formas, de maneras que antes no se creía posible.

La encriptación no estuvo disponible durante mucho tiempo, quizás solo para algunos tipos de transmisión, y eso muy pocos, las técnicas de corrección de errores proveyeron la habilidad de transmitir datos a través de canales ruidosos o transmisiones débiles, sin errores sustanciales en la comunicación satelital, que era un verdadero dolor de cabeza para los ingenieros de diseño, lo que incrementó la cantidad de opciones de equipos y las técnicas de acceso también incrementaron según la necesidad.

Estos avances en la tecnología mantienen el interés por los sistemas de comunicaciones por satélite usando estaciones terrenas pequeñas, tanto fijas como en sistemas VSAT¹ o móviles como en sistemas MSAT².

Estos dos sistemas señalados anteriormente, son planificados para proporcionar no solo los servicios de datos de baja velocidad, tipo *TELEX*³ o mensajería, sino también de voz e incluso de datos de alta velocidad. Hay que señalar que tanto en VSAT como en MSAT es importante el uso eficiente de los recursos limitados de potencia y ancho de banda que deben ser compartidos por un gran número de usuarios no coordinados que acceden al sistema de forma corta e impulsiva (a modo de ráfagas).

El acceso múltiple es una variante del multiplexado y describe el procedimiento a usar para compartir los recursos de comunicaciones entre un gran número de usuarios. En la figura 1-1 se puede observar la comunicación existente entre el satélite y dos estaciones, la una es una estación maestra y la otra una remota y cada una posee una configuración para el acceso al mismo.

¹ VSAT: VERY SMALL APERTURE TERMINAL, (Terminal de Apertura Muy Pequeña Satelital)

² MSAT: MOBILE SATELLITE, (Móvil satelital)

³ TELEX: Teletipo, dispositivo telegráfico de transmisión y recepción de datos mecanografiados punto a punto.

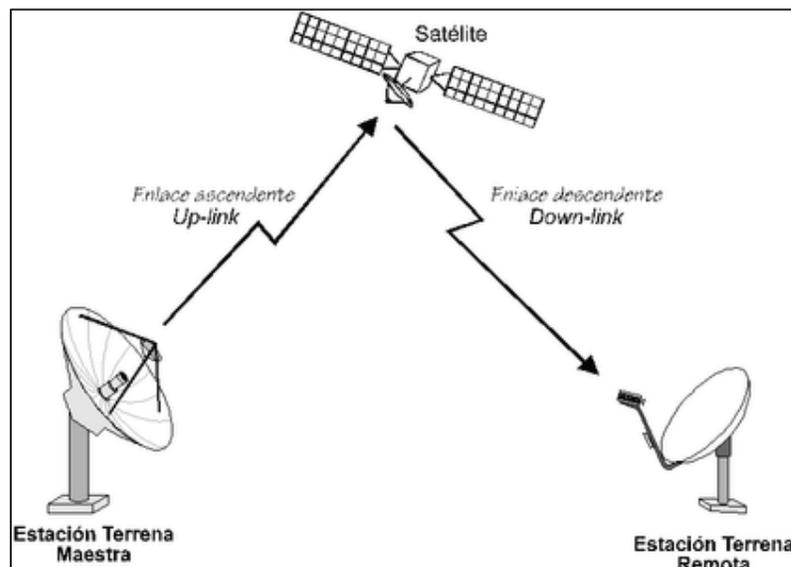


Fig. 1-1. Cada estación tiene su tipo de Acceso al Satélite, y por ende cada estación multiplexa usuarios⁴.

1.2. Características de los servicios

La tarea fundamental de una Red de Comunicaciones por Satélite es que se permite interconectar simultáneamente un gran número de estaciones terrenas con sus servicios de voz, datos, video por medio del satélite, un caso típico en las redes VSAT y MSAT, los servicios que suelen pasar por ahí son los siguientes:

- Servicio continuo de voz.
- Servicio continuo de datos.
- Servicio de paquetes de datos.

Los tipos de servicios indicados, son del tipo continuo de voz y datos, eso hace alusión a que son orientados a la conexión con circuitos conmutados, que es un uso dedicado para cada usuario, cuando el mismo lo esté usando. Los servicios de paquetes no están orientados a la conexión.

Para establecer una pequeña diferencia entre los circuitos orientados y no orientados a la conexión, los circuitos orientados a la conexión toleran ciertos errores pero es muy estricto en retardos, es decir no debe exceder un límite de retardo, para no perder calidad de la transmisión, en cambio para el tráfico de paquetes que no son orientados a la conexión, se puede recibir con cierto retardo, pero debe estar libre de errores.

1.3. Esquemas de acceso múltiple

Se debe comprender que el protocolo de acceso múltiple afectará a todo el sistema, determinando su capacidad, flexibilidad y por ende, tiene una repercusión en los costes del mismo.

Los esquemas de Acceso Múltiple están divididos de la siguiente manera:

⁴ *Cortesía: Principios básicos de comunicaciones satelitales, <http://comunicacionesvsat.files.wordpress.com/2010/10/principios-basicos.jpg>.*

- De asignación Fija.
- De acceso Aleatorio.
- Técnicos de Acceso Controlado (Asignación Bajo Demanda **DAMA**⁵).

Para comprender los esquemas de asignación Fija (FDMA⁶, TDMA⁷, CDMA⁸, SDMA⁹), estos asignan permanentemente una fracción de los recursos del sistema a cada uno de los usuarios y se van adaptando en diferentes instancias de tráfico, si este es continuo o intenso. A continuación se tiene la figura 1-2 en donde se aprecia cómo está constituido FDMA, TDMA y CDMA, que se detallará a continuación.

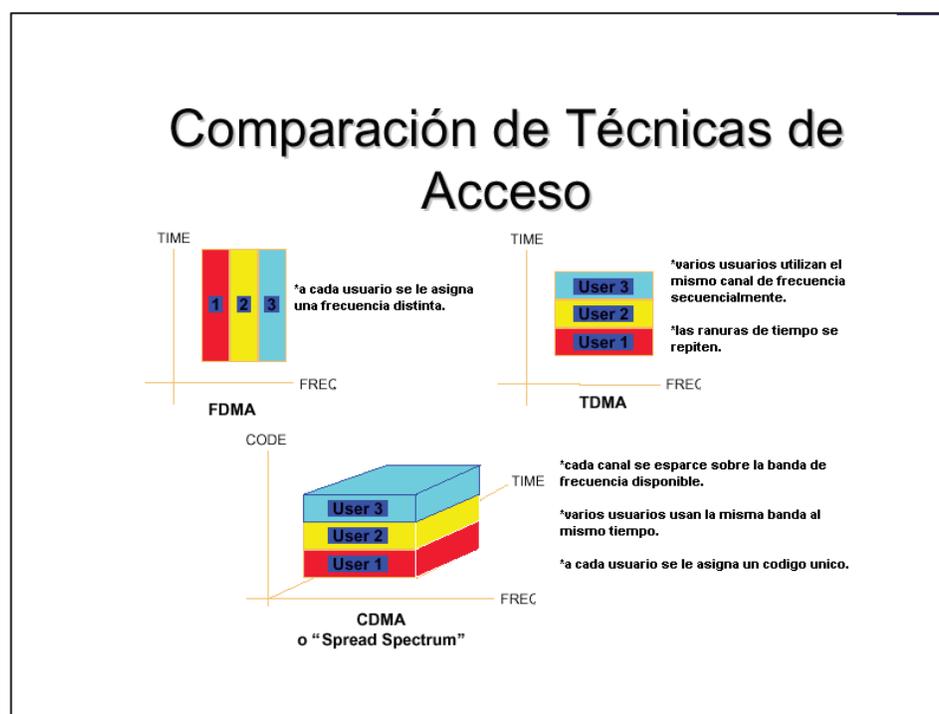


Fig. 1-2. Comparación de las tres principales técnicas de acceso, FDMA, TDMA y CDMA⁴.

El principio de funcionamiento de la multiplexación espacial SDMA, está en la separación de usuarios en función de su posición espacial, si dos usuarios están lo suficientemente separados, podrán acceder al mismo tiempo a los recursos del satélite, para poder tener u optar por este recurso, el satélite debe tener antenas **multibeam** (multihaz) o inteligentes.

Los esquemas de acceso aleatorio (**ALOHA**¹⁰) tienen una adaptación mucho mejor cuando existe un gran número de fuentes de tráfico, cortos o por ráfagas, a diferencia de las técnicas de acceso controlado que son usadas cuando el tráfico generado por el usuario tiende a ser de larga duración (llamadas de voz, videoconferencia o transferencias de ficheros largos). Los recursos se van asignando para canales comunes de petición (acceso aleatorio) o fijos, el resto de los recursos una vez asignados, se usa para las comunicaciones entre usuarios.

1.3.1. Acceso múltiple por división de frecuencia, FDMA

⁵ **DAMA:** DEMAND ASSIGNMENT MULTIPLE ACCESS, (Acceso Múltiple de Asignación por Demanda)

⁶ **FDMA:** FREQUENCY DIVISION MULTIPLE ACCESS, (Acceso Múltiple por División de Frecuencia)

⁷ **TDMA:** TIME DIVISION MULTIPLE ACCESS, (Acceso Múltiple por División de Tiempo)

⁸ **CDMA:** CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS, (Acceso Múltiple por División de Código)

⁹ **SDMA:** SPATIAL DIVISION MULTIPLE ACCESS, (Acceso Múltiple por División Espacial)

¹⁰ **ALOHA:** RANDOM ACCESS: Acceso Aleatorio desarrollado por la Universidad de Hawaii en 1971.

El ancho de banda disponible para este tipo de acceso, se divide en sub-bandas o canales de frecuencia, cada una de éstas es conocida como portadora y es asignada una banda de frecuencias. Como se puede apreciar en la figura 1-3, entre cada portadora se debe dejar una banda de guarda, para efectos de filtrado y que las portadoras no se interfieran entre sí y por supuesto el control del ACI¹¹ (Interferencia de Canal Adyacente).

Se debe tomar en cuenta que al aumentar el número de portadoras, se reduce la eficiencia en el uso de la banda disponible al aumentar la frecuencia no utilizable en las bandas de guarda. En un esquema FDMA satelital puede asignarse una portadora por estación, o varias portadoras por estación, y dependerá de la configuración, como se puede observar en la figura 1-4.

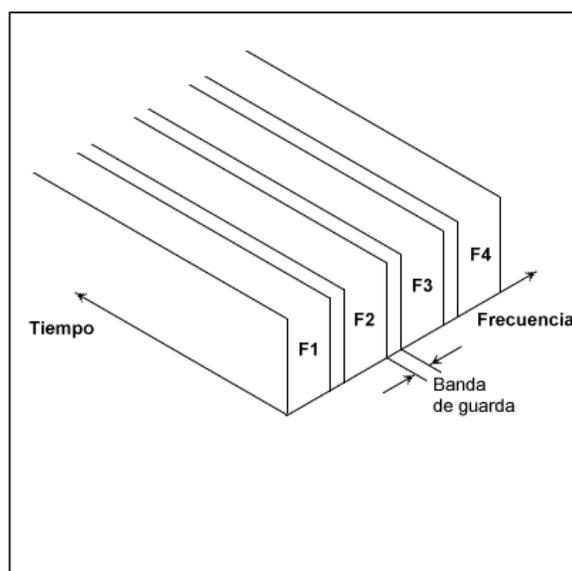


Fig. 1-3. Banda de guarda entre frecuencias en FDMA⁴.

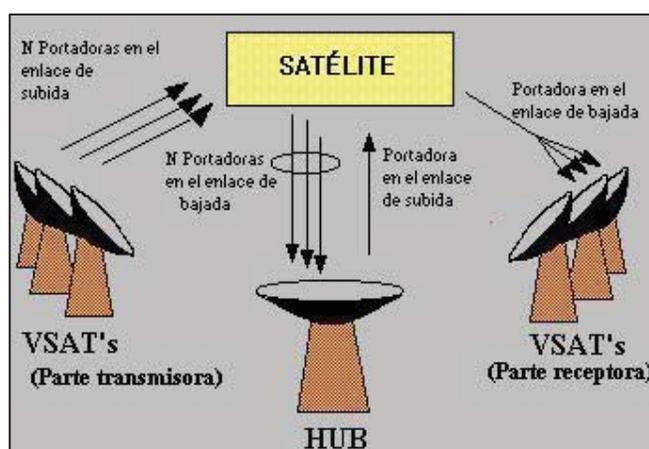


Fig. 1-4. Principio básico FDMA, con varias portadoras por estación y otro ejemplo de una sola portadora⁴.

La desventaja que tiene FDMA es el control del acceso de cada portadora; esto es debido a que el amplificador no lineal y su efecto de captura, proporciona más ganancia a las portadoras que llegan con más potencia a la entrada del mismo.

¹¹ ACI: ADJACENT CHANNEL INTERFERENCE, (Interferencia de canal adyacente)

Se deben realizar tareas de mantenimiento y control de los transpondedores de una manera que si una portadora de una estación cualquiera, debido a la atenuación por lluvia como ejemplo, disminuye la potencia que la que llega al satélite, hay que aumentar la potencia de transmisión de la estación para mantener la calidad del enlace, sin embargo, cuando el efecto atmosférico que causa la atenuación se hace presente en el enlace, se tendrá que volver a reconfigurar la potencia de transmisión para que no siga degradando al resto de portadoras por el efecto captura.

También a tomar en cuenta, se tienen los efectos de intermodulación en la no linealidad del amplificador de potencia, debido a que los transpondedores transparentes amplifican simultáneamente las portadoras de un sistema FDMA.

Controlar estos efectos de generación de ruido de intermodulación, obliga necesariamente a aumentar el Back Off de salida (**BO**¹²), así al aumentar el número de portadoras se reduce la eficiencia al obtener una menor potencia.

1.3.2. Sistemas analógicos SCPC-FM

Los sistemas de canal único por portadora SCPC-FM¹³ evitan el multiplexado de los canales, es decir cada canal telefónico modula a cada una de sus portadoras lo que origina que el costo se reduzca en las estaciones terrenas al no requerir los filtros multiplexores.

SCPC-FM requiere más ancho de banda que la tecnología FDM-FM¹⁴, que se verá a continuación, para el mismo número de canales ya que las bandas de guarda en RF¹⁵ (Radio Frecuencia) deben ser mayores que en la banda base en donde se realiza la multiplexación, lo que supone una desventaja cuando se necesita o requiere la transmisión de muchos canales desde una estación terrena.

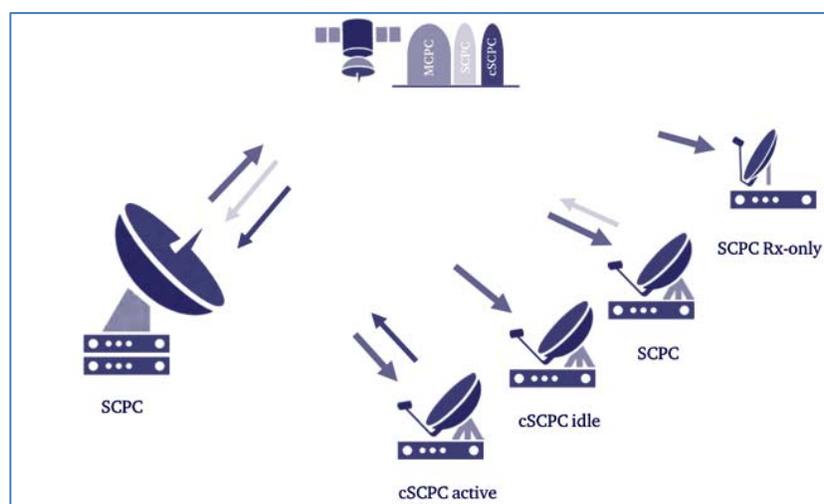


Fig. 1-5. Esquema básico de acceso SCPC y MCPC¹⁶.

¹² **BO**: BACKOFF OUTPUT, (*Backoff de salida*)

¹³ **SCPC-FM**: SINGLE CHANNEL PER CARRIER – FREQUENCY MODULATED, (*Canal único por portadora con frecuencia modulada*)

¹⁴ **FDM-FM**: FREQUENCY DIVISION MULTIPLEX – FREQUENCY MODULATED, (*Multiplexación por división de frecuencia con FM*)

¹⁵ **RF**: RADIO FREQUENCY, (*Radiofrecuencia*)

¹⁶ **Cortesía**: JABA Satellite Communications: <http://www.jabasat.com/>.

Cada portadora puede llevar un solo canal (SCPC¹⁷) o muchos (MCPC¹⁸). En MCPC la multiplexación de los canales puede ser FDM¹⁹ o TDM²⁰. Los canales van ya sea a una sola estación o varias estaciones de destino.

Para la elección entre SCPC y MCPC se tendrá en cuenta el número de moduladores y demoduladores necesarios o requeridos en las estaciones, esto supone la ineficiencia producida por la cuantificación propia de la multiplexación y la flexibilidad limitada del MCPC.

SCPC supone superar las desventajas del MCPC por la fácil implementación y expansión de la capacidad de la estación, añadiendo canales a medida que se vaya expandiendo. La facilidad de instalación del equipo de asignación bajo demanda (DAMA) que mejora la eficiencia en el uso del ancho de banda y potencia del transpondedor, en la figura 1-5, se puede ilustrar un ejemplo básico de un esquema SCPC y MCPC.

1.3.3. Técnicas FDM/FM²¹/FDMA

Esta técnica de acceso ha sido usada tradicionalmente en las grandes estaciones de interconexión telefónica intercontinentales e internacionales de sistemas INTELSAT²² y EUTELSAT²³. Éste esquema de acceso está basado en una sola portadora por estación, que incorpora la multiplexación de numerosos canales telefónicos.

- **Eficiencia (Throughput) de FDMA**

Para entender la eficiencia en FDMA, se comprende que cuando el número de portadoras aumenta, el ancho de banda asignado a cada portadora debe disminuir, lo que conlleva a una reducción de la capacidad de las mismas.

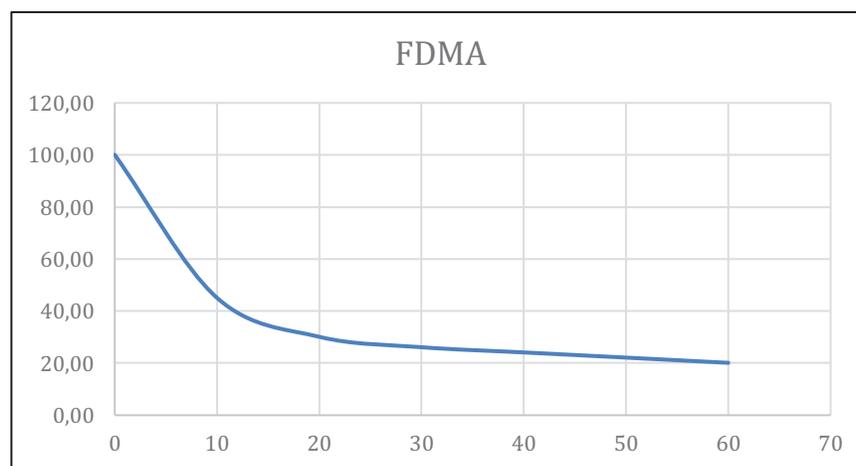


Fig. 1-6. Throughput vs N° Estaciones en FDMA.

¹⁷ SCPC: SINGLE CHANNEL PER CARRIER, (Canal único por portadora)

¹⁸ MCPC: MULTIPLE CHANNELS PER CARRIER, (Múltiples canales por portadora)

¹⁹ FDM: FREQUENCY DIVISION MULTIPLEX, (Multiplexación por división de frecuencia)

²⁰ TDM: TIME DIVISION MULTIPLEX, (Multiplexación por división de tiempo)

²¹ FM: FREQUENCY MODULATED, (Frecuencia modulada)

²² INTELSAT: Proveedor de servicios de comunicaciones satelitales, con sede en Luxemburgo.

²³ EUTELSAT: EUROPEAN TELECOMMUNICATIONS SATELLITE ORGANIZATION, proveedor de servicios de comunicaciones por satélite, fundada en 1977 con sede en París, Francia.

La figura 1-6 muestra ésta reducción en función del número de accesos, tomando como referencia la capacidad de una sola portadora, se puede ver como existe una reducción de la eficiencia a medida que se incrementa el número de accesos.

1.3.4. Acceso múltiple por división en el tiempo, TDMA

A diferencia de FDMA, en este caso cada estación de la red transmite una portadora por cada fracción de tiempo (ráfagas) del transpondedor que se repite cíclicamente por cada trama, que es una estructura en la cual se aloja la información a transmitir.

De igual forma a las bandas de guarda del esquema FDMA, el TDMA requiere tiempos de guarda para separar las transmisiones entre usuarios en la trama, por supuesto se requiere de preámbulos para que se puedan recuperar las portadoras y sincronización de reloj. Se debe tener en cuenta que las ráfagas provienen de diversas estaciones, con osciladores no coherentes y los circuitos de recuperación de portadora y sincronismo deben ser además rápidos.

Las portadoras de las estaciones ocupan todo el ancho de banda del transpondedor por lo que este amplifica solo una portadora, con lo que se logra que el transpondedor pueda operar a máxima potencia, con la única limitación que se imponga la distorsión que se introduce de esta manera se obtiene un PIRE²⁴ máximo del satélite. Cabe resaltar que no existe intermodulación.

De no existir sincronización, las ráfagas de transmisión de las estaciones se solapan en el transpondedor y la información se pierde. Existen sistemas TDMA aleatorios sin sincronización, tipo ALOHA, que lógicamente poseen un throughput muy bajo pero que son adecuados cuando el tráfico no es continuo, sino que se producen a ráfagas.

De lo que se ha venido tratando, el principio de funcionamiento de un esquema de acceso TDMA de una red de estaciones a través de satélite es el indicado en la figura 1-7, por lo que cada estación transmite su ráfaga en un intervalo temporal, de manera que las ráfagas de las consiguientes estaciones lleguen al transpondedor en intervalos sucesivos sin que se produzca solapamiento e interferencia.

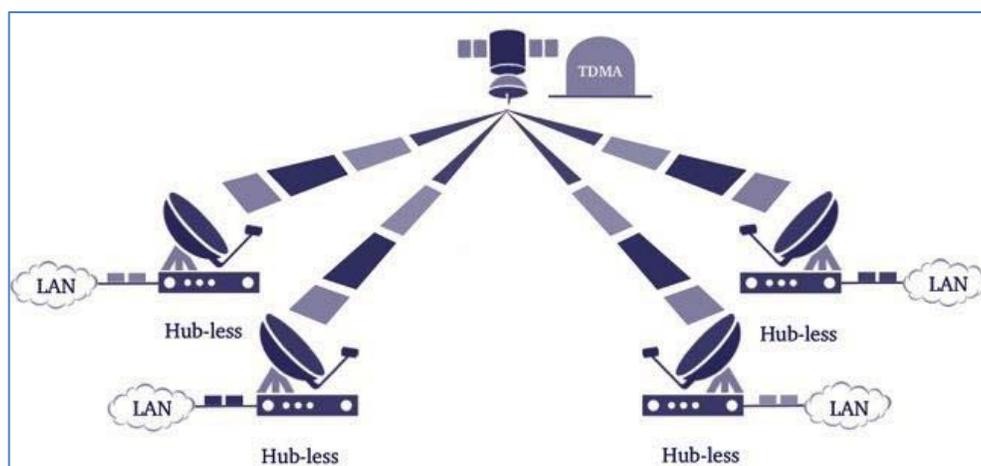


Fig. 1-7. Esquema básico de acceso TDMA y sus ráfagas¹⁶.

²⁴ PIRE: POTENCIA ISOTRÓPICA RADIADA EFECTIVA/EQUIVALENTE, (en inglés: EIRP)

- **Eficiencia de trama TDMA**

La eficiencia del sistema TDMA se le denomina eficiencia de trama y se le puede definir como la relación entre tiempo usado para la transmisión de datos y el tiempo total de trama.

Para subir el porcentaje de eficiencia se puede usar un tiempo mayor para la trama, pero para ello se requiere una capacidad de almacenamiento mayor y por ende aumenta el retraso en la transmisión.

Otra forma de mejorar este índice, es usar menos tiempo de guarda entre ráfagas, pero para poder hacerlo efectivo, se debe tener una precisión mayor en la sincronización en la red o preámbulos más cortos.

Cualquiera que sea la manera de mejorar la eficiencia, se debe comprender que a medida que se aumenta el número de estaciones, el throughput irá disminuyendo, pero de una manera menos dramática que en FDMA, por lo que TDMA es altamente superior para un número grande de estaciones como se puede ilustrar en la figura 1-8 a continuación.

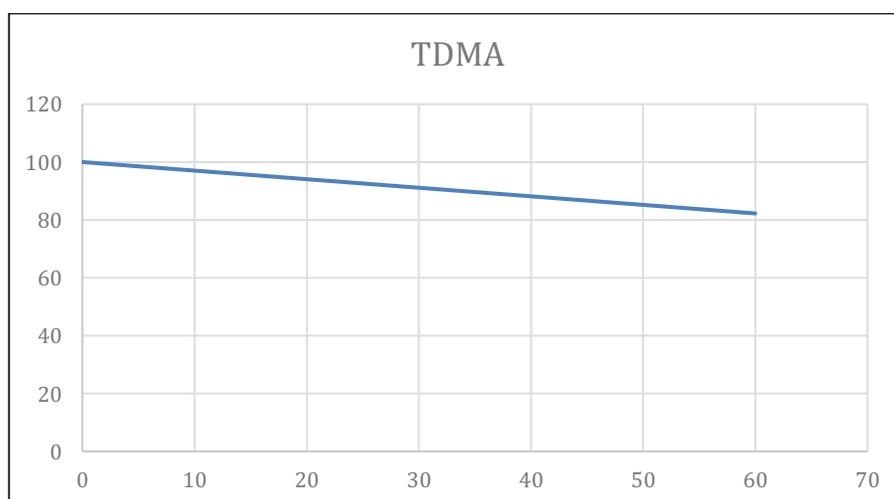


Fig. 1-8. Throughput vs Nº Estaciones TDMA.

1.3.5. Acceso múltiple por división de código, CDMA

En este tipo de acceso todas las estaciones pueden transmitir y recibir continua y simultáneamente ocupando el mismo ancho de banda, lógicamente como se sabe en CDMA se produce interferencia entre las transmisiones de las diferentes estaciones, pero el receptor resuelve ese problema con la identificación de cada código de cada transmisor.

Éste código es una firma, el cual trata de una secuencia binaria única que se combina con la información a transmitir de cada transmisor. Estos códigos se les llaman chips.

Para llegar a transmitir conjuntamente el código y la información se requiere más ancho de banda, por ello se habla de transmisión de espectro ensanchado, lógicamente

son DSSS²⁵ (Espectro Ensanchado por Secuencia Directa) y FHSS²⁶ (Espectro Ensanchado por Salto de Frecuencia).

La eficiencia supone ser un problema en CDMA, y a la vista se da por la limitación impuesta por la degradación de la capacidad debida a la interferencia mutua entre los usuarios. Si se empieza a subir la potencia del receptor para mejorar la eficiencia, el sistema se vuelve muy inestable, en el sentido que las imprecisiones de control de potencia alteran mucho el nivel de interferencia.

Es común trabajar con un nivel de potencia interferente igual a la potencia de ruido térmico, lo que se traduce en un número típico de usuarios en relación a la mitad del número máximo. En la figura 1-9, se puede observar el throughput de la técnica de acceso CDMA, que va incrementando a medida que aumentan los usuarios, pero luego se satura, dando como máximo un 15% de throughput. En la figura 1-10, se puede observar una comparación entre los accesos FDMA, TDMA y CDMA y su rendimiento frente al número de usuarios.

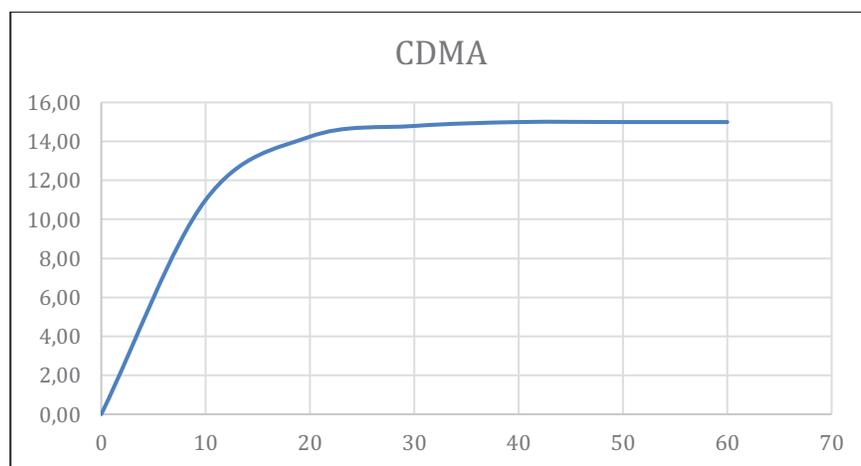


Fig. 1-9. Throughput vs Nº Estaciones CDMA.

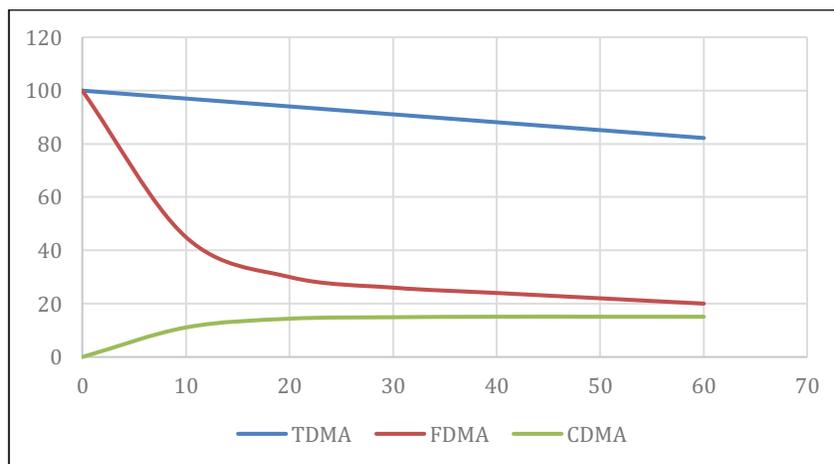


Fig. 1-10. Comparación de Throughput vs Nº Estaciones TDMA, FDMA y CDMA.

²⁵ DSSS: DIRECT SEQUENCE SPREAD SPECTRUM, (Espectro Ensanchado por Secuencia Directa)

²⁶ FHSS: FREQUENCY HOPPING SPREAD SPECTRUM, (Espectro Ensanchado por Salto de Frecuencia)

1.3.6. Acceso múltiple por división espacial, SDMA

El esquema SDMA empieza por la idea de que los usuarios a los que se les da servicio ocupan un lugar espacial diferente, lo que haría que desde el satélite se comience a discriminar a los usuarios por las diferentes zonas espaciales y zonas. El sistema satelital debe ser capaz de establecer un conjunto de canales ortogonales en transmisión y recepción en base a la separación de los usuarios, lo anteriormente explicado tiene aplicación en los servicios de comunicaciones móviles MSS²⁷ que disponen los sistemas satelitales en las órbitas LEO²⁸ y MEO²⁹.

Para que se pueda usar una técnica de acceso basado en SDMA, se requiere el uso de antenas multihaz, de forma que para dar cobertura a una determinada región, se usan un conjunto de haces estrechos, con una solapamiento entre ellos.

Existen dos tipos de esquemas de conformación de un haz para la implementación en el sistema SDMA, estas son:

- Antena de haces conmutados.
- Antenas adaptativas.

Los dos tipos de antenas necesitan de un *array* (arreglos) de antenas en el satélite, donde se logran reducir significativamente las interferencias adyacentes en otras celdas que afectan a las señales recibidas en el satélite y dependiendo en muchos casos, podría lograr reducir considerablemente y hasta cancelar la degradación de la señal por los efectos de la pérdida multitrayectoria.

Una ventaja adicional al usar multihaz y haces estrechos es que se aumenta la ganancia y se reducen los requisitos de potencia transmitida.

1.3.7. Acceso múltiple aleatorio, ALOHA

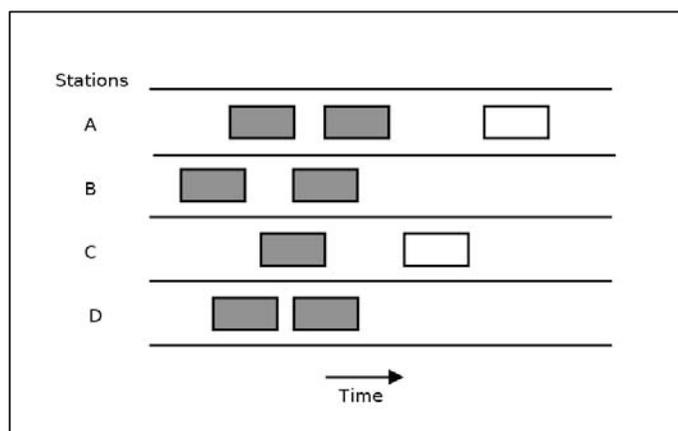


Fig. 1-11. Esquema ALOHA puro⁴.

²⁷ MSS: MOBILE SATELLITE SERVICES, (Servicios para Móvil Satelital)

²⁸ LEO: LOW EARTH ORBIT, (Órbita baja terrestre)

²⁹ MEO: MEDIUM EARTH ORBIT, (Órbita media terrestre)

Este es uno de los tipos de acceso más conocidos, cada estación transmite cuando tiene un paquete de datos disponible. La estación receptora detecta la presencia de errores en el paquete, si no existe errores, transmite una señal de ACK³⁰ como se indica en la figura 1-11. Cuando la estación transmisora reciba un ACK, significa que puede seguir transmitiendo más paquetes de datos que haya podido generar.

El transmisor usa un algoritmo de codificación para generar los bits de redundancia en función de los bits contenidos en el paquete de datos. El receptor usa un algoritmo de detección para determinar si ha habido errores de transmisión. Si se produce colisión en la estación receptora, esta detecta la presencia de errores y no envía un ACK o envía una NACK³¹ (no ACK). Después de un cierto tiempo de no recibir un ACK o al recibir un NACK las estaciones realizan una retransmisión, pero dando un retardo adicional aleatorio para tratar de evitar que sigan colisionando los paquetes.

1.3.8. Acceso múltiple aleatorio ranurado, S-ALOHA³²

En comparación con el Acceso ALOHA puro, en ALOHA ranurado (SLOTTED ALOHA) las estaciones solo pueden transmitir dentro de unos intervalos de tiempo previamente establecidos, aunque posean los datos disponibles, las estaciones deben esperar al comienzo del siguiente intervalo a transmitir, también debemos indicar que la eficiencia del ALOHA ranurado es el doble que ALOHA puro, alrededor del 18% del primero vs 36% del ALOHA ranurado. En la figura 1-12 podemos observar el esquema básico de ALOHA ranurado.

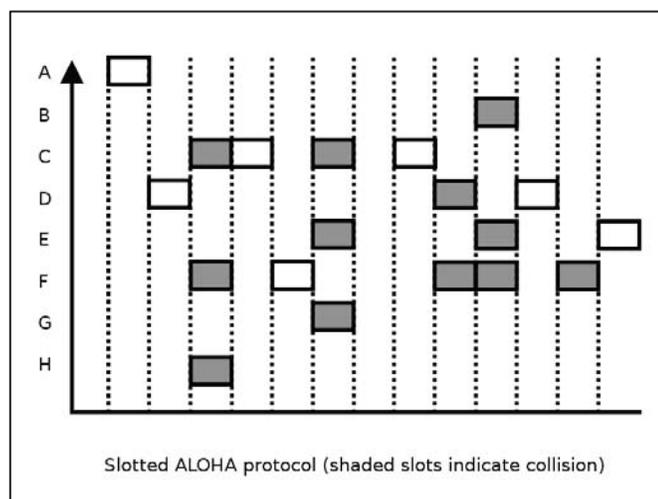


Fig. 1-12. Esquema básico ALOHA ranurado⁴.

En la siguiente figura 1-13, se muestra el throughput en función de la carga para el ALOHA puro y ranurado. La eficiencia máxima del ALOHA ranurado es superior, como indicamos anteriormente, y se consigue mayor complejidad que implica la sincronización en ranuras de transmisión del sistema.

³⁰ **ACK:** ACKNOWLEDGEMENT, (En comunicaciones es una confirmación de que se ha realizado una transmisión de información)

³¹ **NACK:** NEGATIVE ACKNOWLEDGEMENT, (En comunicaciones significa que no ha recibido la información solicitada)

³² **S-ALOHA:** SLOTTED-ALOHA, (ALOHA ranurado)

Hay que mencionar que si la carga del sistema se incrementa por encima de la máxima eficiencia registrada, entonces el número de retransmisiones aumentará de tal forma que será de forma indefinida y disminuye el número de paquetes que se entregan con éxito a cero, en pocas palabras, el sistema se vuelve inestable.

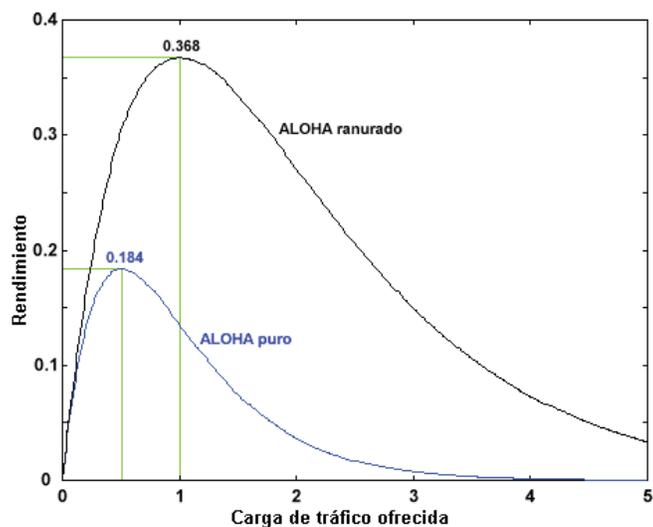


Fig. 1-13. Comparación de eficiencia o rendimiento entre ALOHA puro y ALOHA ranurado⁴.

CAPITULO 2:

ESTACIONES TERRENAS Y TOPOLOGÍA DE REDES

2.1. Segmento Terrestre

La estación terrena es un terminal de transmisión y recepción de un enlace de telecomunicaciones vía satélite. La configuración general de una estación terrena no es tan diferente de un terminal de radioenlaces, pero la atenuación del espacio libre en un enlace satelital, es demasiado grande (sobre 200dB), a consecuencia de varios aspectos, principalmente a la onda portadora de radio sobre la trayectoria entre la estación terrena y el satélite (distancia aproximada de 36000 Km).

Es entonces, que con lo acotado anteriormente se puede decir que la estación terrena usualmente requiere de subsistemas principales para poder obtener niveles de alto rendimiento para los radioenlaces tanto de transmisión como de recepción satélites respectivamente.

Los principales subsistemas de una estación terrena se pueden clasificar de la siguiente manera:

- El sistema de antena.
- Amplificadores de recepción (bajo ruido).
- Amplificadores de transmisión (potencia).
- Equipos de telecomunicaciones (convertidores de frecuencia y módems).
- Equipos de multiplexado/demultiplexado.
- Equipos para la conexión con la red terrestre.
- Equipamiento auxiliar.
- Equipos para la fuente de energía.
- Infraestructura general.

En la figura 2-1, se puede observar un diagrama de bloques en donde se encuentran indicados cada uno de los subsistemas indicados anteriormente.

2.1.1. El sistema de antena

Este sistema cuenta con la antena que puede variar con diámetros desde los 33 m hasta la 3 m, inclusive más pequeñas en el caso de VSAT. Este supone ser uno de los subsistemas más sobresalientes e impresionante de toda la estación terrena.

Los parámetros de las antenas en las estaciones terrenas comúnmente usados en la transmisión y recepción, deben tener los siguientes rendimientos:

- Alta ganancia para transmisión y recepción, se requieren reflectores que son más grandes en comparación con la longitud de onda de la señal, y por supuesto posee una alta eficiencia.

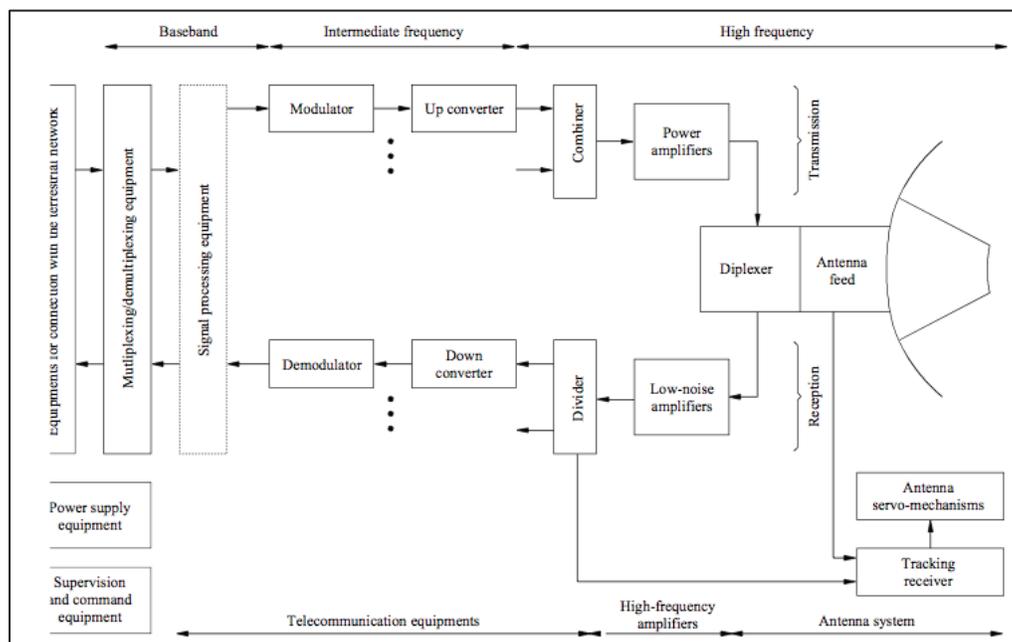


Fig.2-1. Diagrama general de operación de una estación terrena. [1]

- Un bajo nivel de interferencia (para las transmisiones) y la sensibilidad a la interferencia (para recepción), se puede llegar a analizar este parámetro con los diagramas y patrones de radiación con un bajo nivel de interferencia del lóbulo principal.
- Radiación con alta pureza de polarización.
- Para recepción, baja sensibilidad para ruido térmico debido a la radiación del suelo y diversas pérdidas.

Algunos tipos de estaciones terrenas para bandas de 6/4 GHz y 14/11-12GHz son clasificadas frecuentemente acorde al tamaño de sus antenas como se describe a continuación:

- **Estaciones Terrenas Grandes:** con antenas de dimensiones de más de 15 m.
- **Estaciones Terrenas Medias:** con antenas de aproximadamente 15 m hasta los 7 m.
- **Estaciones Terrenas Pequeñas:** con antenas desde los 7 m hasta los 3 m o menos.
- **Microestaciones:** para **VSAT** (*Very Small Aperture Terminal*): desde los 4 m hasta los 0.7 m.

Esta clasificación general debería estar más acorde a niveles de rendimiento, costos y tipos de equipos así como los componentes de los subsistemas.

2.1.2 Amplificadores de bajo ruido (LNA³³)

Para recibir una señal muy débil desde un satélite, la estación terrena debe estar conectada a un receptor con alta sensibilidad un muy bajo ruido térmico inherente. El ruido térmico de un receptor es comúnmente conocido como "*Figura de Ruido*", pero

³³ LNA: LOW NOISE AMPLIFIER, (*Amplificador de bajo ruido*)

para receptores de muy bajo ruido es preferible referirse al concepto de “*Temperatura de Ruido*” medido en grados Kelvin.

El parámetro básico para la representación de la sensibilidad para la recepción en la estación terrena es la G/T (figura de mérito), o lo que significa el ratio de ganancia de la antena (G) sobre el total de la temperatura de ruido (T). La temperatura de ruido es la suma de todas las temperaturas del sistema, tanto de la temperatura de ruido equivalente de la antena (T_A) y la temperatura de ruido del receptor (T_R).

2.1.3 Amplificadores de potencia (PA's³⁴ y HPA's³⁵: Amplificadores de alta potencia)

La magnitud de potencia requerida a la salida del transmisor es del orden de 1 W o menos para los canales de telefonía y de 1KW para la portadora que sirven para transmisión de canales de televisión.

Dos de los principales amplificadores de potencia usados para microondas son los Tubos de Onda Progresiva o **TWT**³⁶ y los **Klystrons**. En el caso de estaciones más pequeñas, se usan amplificadores de potencia de **estado sólido**. A continuación se clasifica los amplificadores de potencia para el transmisor que son usados:

- **Tubo de onda progresiva (TWT):** Generalmente usados para bandas de 500 MHz o más, donde se necesita ganancia uniforme
- **Amplificadores Klystron:** Mecanismo de pasa banda estrecho, usado en anchos de banda de 40MHz para 6GHz y de 80MHz para 14 GHz.
- **Amplificadores de Estado Sólido:** Se usan en el caso de estaciones terrenas pequeñas, que no sobrepasen los 100W en 6 GHz o de 20W en 14 GHz, son muy económicos.

2.1.4. Equipos de telecomunicaciones

Para referirse a los equipos de telecomunicaciones, se está discutiendo de equipos que modulan las portadoras en alta frecuencia con señales en baja frecuencia (banda base) para transmisión y demodulación de estas señales de frecuencia en la recepción.

Estas señales en baja frecuencia, lógicamente pueden ser señales analógicas de telefonía (usualmente señales multiplexadas), señales digitales, señales de audio y video (televisión digital), etc.

El subsistema de equipos de telecomunicaciones está conformado por los siguientes componentes:

- Equipos convertidores de frecuencia.
- Equipos para modulación y demodulación (MODEM³⁷)
- Equipos para procesamiento de señales.

2.1.5. Equipamiento para conectividad con la red terrestre

³⁴ PA: POWER AMPLIFIER, (Amplificador de potencia)

³⁵ HPA: HIGH POWER AMPLIFIER, (Amplificador de alta potencia)

³⁶ TWT: TRAVELLING WAVE TUBE, (Tipo de amplificador de potencia para microondas)

³⁷ MODEM: Abreviatura para un equipo de comunicaciones modulador/demodulador

Para telefonía, la estación terrena es comúnmente conectada a la red terrestre a través de un centro de conmutación. Se trata de un centro de tránsito en el caso de estaciones internacionales y estaciones de tamaño medio y grande para sistemas nacionales, o simplemente un subscritor de intercambio en el caso de estaciones pequeñas dentro de redes nacionales, pudiendo ser éstas de preferencia VSAT. Específicamente para la conexión con la red terrestre se requiere de:

- El enlace terrestre entre la estación terrena y el centro de conmutado, se puede usar un cable coaxial si las condiciones son algo complejas, también se puede usar un radio enlace de telecomunicaciones.
- Canceladores de eco y varios equipos periféricos de señalización.

Para el caso de televisión, la estación terrena es configurada de la siguiente manera:

- Los estudios de televisión son programados para realizar las funciones de transmisión.
- Se activan las funciones para la transmisión de broadcasting local.

2.1.6. Equipamiento auxiliar

Los equipos auxiliares para una estación terrena se describen a continuación:

- Equipamiento para supervisión y comando: para controlar continuamente el desempeño tanto de los enlaces, como del tráfico que estar circulando por la red, pudiendo ser de voz y de datos simultáneamente.
- Equipos de medición: para controlar variables como voltaje, corriente y potencia de los equipos, además de los enlaces tanto de bajada como de subida, y que se encuentre tanto monitoreada de forma automática y manual.

2.1.7. Equipos de suministro de potencia

Es uno de los subsistemas que deben operar satisfactoriamente todo el tiempo en una estación terrena, dependerá de cómo esté correctamente diseñado el sistema eléctrico de potencia. Existen dos fuentes principales de suministro de energía:

- Suministro de potencia principal, con capacidad de stand-by.
- Suministro ininterrumpido de potencia (UPS³⁸ por sus siglas en inglés).

Se debe tener en cuenta un nivel auxiliar de bajo voltaje (24 V o 48 V) que se requiere para suplir a ciertos equipos automáticos. Este suministro principal para una red de distribución es por medio de una estación de transformación. También hay un grupo de generación independiente de respaldo controlado por un arranque rápido (5 a 10 sg.), a través de un grupo electrógeno o máquina de diésel. Éste generador comúnmente está dimensionado cercano a los 250KVA para estaciones terrenas grandes, el grupo de generador suministra a toda la estación, incluyendo los motores de las antenas, iluminación y aire acondicionado para el cuarto de equipos.

El mantenimiento del generador de respaldo y preservar el almacenaje de diésel es de las tareas fundamentales para el manejo de la estación.

³⁸ UPS: UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY, (suministro ininterrumpido de potencia para equipos eléctricos)

El propósito de un suministro ininterrumpido de potencia, el cual recibe la energía desde el suministro principal (estación de transformación), provee un constante suministro de potencia de alta calidad (voltaje y frecuencia estable con supresión de transitorios, mientras que el grupo de soporte está listo para arrancar en caso de un corte de energía en la red de distribución eléctrica.

Para una estación terrena grande, todo el control de éste suministro debe ser con equipamiento electrónico, y con un dimensionamiento entre 50 a 100 KVA, de esa potencia, alrededor del 80% a 90% es requerido para los amplificadores de alta potencia. Tres de los sistemas de suministro ininterrumpido de potencia se los puede describir a continuación:

- **Alternador con una rueda inercial:** La rueda provee energía mecánica de reserva el cual continúa moviendo al alternador mientras los motores a diésel o grupo electrógeno arrancan el suministro.
- **Sistemas de conversión de alternador:** en este caso la reserva de energía es provista por un acumulador de baterías. Las baterías, los cuales se mantienen cargadas por el suministro principal de potencia (mediante rectificadores), alimentan un alternador el cual se constituye en una fuente ininterrumpida de potencia.
- **Sistemas de conversión estática:** en el cual se menciona como reemplazar el alternador por una unidad de generador de estado sólido en AC usando un puente de tiristores. Este es uno de los sistemas más usados en la actualidad, por la rapidez de acción.

2.1.8. Infraestructura general

La infraestructura general de una estación terrena incluye todos los permisos para la construcción del complejo y trabajos de ingeniería civil. El tamaño de cada uno de esta infraestructura depende del tipo de estación, por ejemplo para estaciones grandes, son considerados dos tipos de construcción:

- **Una estación con una sola antena:** en este tipo de configuración se puede instalar todo el equipamiento en una sola construcción debajo de la antena (teniendo en cuenta que el sistema de potencia debe estar aparte por razones de insonorización ubicados dentro del edificio). Visto de esta manera, es una infraestructura bastante particular, compacta y económica.
- **Una estación terrena con varias antenas:** cada antena es levantada en un edificio aparte, el cual cada una de ellas está asociada con amplificadores de bajo ruido, seguidor para recepción, amplificador de potencia y algunos convertidores de frecuencia). Un edificio central para operaciones, y que es común para todas las antenas, contiene todo el sistema de telecomunicaciones y operaciones, algunos recursos que podrían ser compartidos (equipos de supervisión y comando) o simplemente ser multi-propósito (cadenas de transmisión y recepción podrían ser asignados a varias antenas acorde a requerimientos).

Guías de onda en microondas o enlaces con frecuencia intermedia (cables coaxiales), llamados enlaces de inter-facilidad, son usados para conectar los equipos en los edificios de las antenas a los equipos de la estación en el edificio principal. La infraestructura general de una estación multi-antena puede representar un alto porcentaje del costo total del centro: entre el 20% al 50%,

eventualmente las nuevas instalaciones requieren contar también con salones de conferencias, recepción, oficinas, etc.).

Se debe considerar también que la construcción debe poseer sitios de acceso para personas y también para aquellas que tienen capacidades especiales, suministro de redes (electricidad, aire acondicionado, fluidos, etc.) y varias guarniciones (aterramiento o mallado a tierra, comunicaciones internas, prevención de fuegos, drenaje, etc.).

Para estaciones terrenas medianas, requieren lógicamente, menos equipamiento y consumo de menor potencia que la estación que le precede, la infraestructura puede ser diseñada más simple y económicamente. Este tipo de construcciones podrían representar algunas desventajas tales como ser una edificación que no esté lista para la prevención de fuego, por el tipo de construcción, si es prefabricada, estaría con mayor riesgo, eso dependerá de la construcción civil a utilizar.

Para finalizar, las estaciones pequeñas son diseñadas en unidades más compactas, ya que todo el equipamiento viene ensamblado e instalado ya de fábrica, generalmente viene en una caja fácil de transportar, donde se puede instalar y poner en servicio en un sitio ya listo como una vivienda de un solo cuarto que proteja dichos equipos.

2.2. Estaciones terrenas principales

2.2.1. Estaciones para operaciones internacionales

Para empezar a entender sobre el concepto de estas grandes estaciones, se empieza analizando uno de los operadores internacionales más grandes del mundo, en este caso el INTELSAT, y gracias a este concepto se ha descrito varios estándares que se derivan de INTELSAT, lógicamente que se desempeñan dentro de este operador, pero que ayuda a plantearse una idea de la magnitud de cada una de éstas estas estaciones. De aquí se detallan 7 estándares que se describen a continuación³⁹:

- **Estándar A:** son las estaciones más usadas, operan en la banda de 6/4 GHz, equipadas con una gran antena (mayor a 15 m de diámetro), con un muy bajo nivel de ruido al amplificador de recepción y una alta potencia de transmisión. Maneja tráfico de telefonía, datos, TV, etc.
- **Estándar B:** estas estaciones operan también en 6/4 GHz, están equipadas con antenas de mediano tamaño (alrededor de los 11m.) y con un receptor bastante simple y cadenas de transmisión. Usa técnicas de acceso SCPC o FDM-FM para telefonía. Se usan para tráficos medianos o limitados (con capacidad de menos de 60 circuitos telefónicos troncales).
- **Estándar C:** estas estaciones operan en la banda de los 14/11 GHz, con antenas alrededor de los 11 m de diámetro, son usados para grandes capacidades de transmisión de mensajes.
- **Estándar D:** esta estación opera en la banda de los 6/4 GHz son usadas para proveer servicio en zonas rurales o comunidades remotas. El **Estándar D-1** es una antena de bajo costo, y pequeña (5 m).

³⁹ Ref. bibliográfica: "Handbook On Satellite Communications (HSC)" [1], Pág. 669

- **Estándar E:** estas estaciones operan en las bandas de 14/11 GHz o 14/12 GHz con antenas en el rango desde los 3.5 m a 10 m y son diseñadas específicamente para el *INTELSAT Business Services* (IBS⁴⁰) o servicios de negociaciones de INTELSAT, que provee servicios integrados de red para aplicaciones de negocios y servicios internacionales, domésticos.
- **Estándar F:** estaciones que trabajan en la banda de 6/4 GHz con antenas en el rango de los 5 m a 10 m y son usadas para todas la aplicaciones IBS digitales.
- **Estándar G:** estaciones que operan en las bandas de 6/4, 14/11, o 14/12 GHz e incluye un amplio rango de tamaños de antenas para estaciones terrenas internacionales con las mínimas restricciones que se requiere. Los parámetro a tomar en cuenta son:
 - Máximo PIRE por portadora.
 - Método de modulación.
 - Relación ganancia sobre temperatura, G/T (Figura de mérito).
 - Ganancia de transmisión.
 - Calidad de canal.

2.2.2. Estaciones para sistemas regionales o nacionales

Varios tipos de estaciones terrenas están disponibles para aplicaciones regionales o nacionales, donde la selección de un determinado tipo dependerá de la operación general del sistema y las características del rendimiento de la carga útil en el satélite de comunicaciones. Estas estaciones que usan antenas de mediano tamaño pueden ser categorizadas de la siguiente manera:

- Estaciones que operan con conexiones arrendadas de segmento especial en la banda de 6/4 GHz a INTELSAT, estas estaciones cumplen con el Estándar B, con diámetros de antena entre los 5 m y 15 m y lógicamente con técnicas de modulación y acceso al medio entre SCPC-FM o FDM-FM para comunicaciones análogas y para comunicaciones digitales puede ser SCPC-PSK⁴¹ o TDM-PSK.
- Estaciones que operan en 6/4 GHz exclusivamente en sistemas satelitales dedicados, con estaciones similares al del Estándar B, debido a que el hecho de que se requiere una limitada cobertura de la tierra permite un alto PIRE en el transpondedor a través de antenas satelitales directivas. Por lo tanto se puede tener altas capacidades de tráfico en estaciones terrenas simples, equipadas con antenas de mediano tamaño.
- Estaciones en las bandas 14/11 GHz (y de 14/12 GHz) son usadas cada vez más en sistemas satelitales regionales y nacionales.

2.2.3. Servicio de radiodifusión satelital (BSS⁴²: Broadcasting Satellite Service), estaciones Feeder-Link (enlace de conexión)

La banda de frecuencia asignada para las estaciones con enlace de conexión (feeder-link) de una BSS es ya sea de 14.0 a 14.5 GHz o 17.3 a 18.1 GHz excepto en algunos países donde ambas bandas son asignadas. Una típica estación BSS con feeder-link podría constar de los siguientes elementos:

⁴⁰ **IBS:** INTELSAT BUSSINESS SERVICES, (Servicios para negocios del proveedor INTELSAT)

⁴¹ **PSK:** PHASE SHIFT KEYING, (Modulación basada en desplazamiento de fase)

⁴² **BSS:** BROADCASTING SATELLITE SERVICE, (Servicio Satelital de Radiodifusión)

- Rango de frecuencia: 14.0 a 14.5 GHz, además la estación tendrá facilidades para el monitoreo para enlaces de bajada de radiodifusión en las bandas de 11.7 a 12.3 (o 12.5) GHz.
- Diámetro de la antena: de 5 a 8 m.
- Amplificador para la transmisión: HPA Klystron de 1 a 2 KW para cada portadora de broadcast.

2.2.4. Estaciones terrenas para servicio móvil satelital (MSS)

Para hacer una referencia para los sistemas móviles satelitales, un ejemplo real es INMARSAT ⁴³, sistema que actualmente provee un rango de servicios de comunicaciones (voz, telex, fax y datos) para diferentes usuarios y una variedad de terminales y aplicaciones (aeronáutica, marítima o terrestre). Existen dos tipos fundamentales de estaciones terrenas para INMARSAT, llamada **estación terrena terrestre (LES⁴⁴: Land Earth Station)** algunas veces referido como **estación terrena costera (CES⁴⁵)**, que opera en la banda de los 6/4 GHz y la segunda llamada estación terrena móvil (**MES⁴⁶: Mobile Earth Station**) que opera en la banda de 1.6/1.5 GHz.

2.2.5. Estaciones terrenas pequeñas

Como se ha visto hasta el momento, las estaciones terrenas están clasificadas regularmente, por el tamaño de las antenas, sin embargo, el término “estación terrena pequeña” debe ser tomado en un amplio sentido y debe ser incluido con una amplia variedad de estaciones terrenas implementadas en **FSS⁴⁷ (Fixed Satellite Service)** en 6/4 GHz, 14/10-12 GHz, 30/20 GHz.

De hecho, este sector de segmento terrestre es al momento el que mayor evolución en términos de progreso técnico, está llevando dentro del mercado de la comunicación satelital.

Las estaciones terrenas pequeñas pueden ser diferenciadas por el tipo de aplicaciones o por sus características técnicas.

- **Aplicaciones:** la utilización de las estaciones terrenas pequeñas se subdividen en dos categorías:
 - **Sistemas de comunicaciones para áreas remotas:** telecomunicaciones rurales y para sitios aislados, tales como plataformas costeras, minas, etc.
 - **Comunicaciones empresariales:** o redes corporativas, generalmente en el marco de comunidades de usuarios exclusivos. Generalmente aquí nace el concepto de VSAT (Very Small Aperture Terminals), que se analizará más adelante.

Algunas de las aplicaciones más importantes se clasifican a continuación:

- Telefonía.
- Fax.

⁴³ **INMARSAT:** Proveedor de servicios satelitales móviles, International Maritime Satellite Services, con sede en Reino Unido, UK

⁴⁴ **LES:** LAND EARTH STATION, (Estación Terrena-Terrestre)

⁴⁵ **CES:** COAST EARTH STATION, (Estación Terrena-Costera)

⁴⁶ **MES:** MOBILE EARTH STATION, (Estación Terrena-Móvil)

⁴⁷ **FSS:** FIXED SATELLITE SERVICE, (Servicio Fijo-Satelital)

- Transmisión de datos.
 - Recepción de TV para distribución local.
 - Acceso a redes de comunicaciones (internet, intranet) incluido correo electrónico (email), distribución de datos y acceso a datos bancarios, etc.
 - Compartir carga de datos de computadoras, procesamiento de datos distribuidos, etc.
 - Teleconferencia y videoconferencia.
- **Características técnicas:** las estaciones terrenas poseen comúnmente algo o todo de las siguientes características:
 - **Segmento espacial:** la utilización de estaciones terrenas pequeñas, implica un alto nivel de potencia recibida desde el satélite, por ejemplo el nivel de potencia está dado por el gran PIRE que radia el transpondedor.
 - **Diámetro de la antena:** los diámetros de antena en una estación terrena pequeña, son menores a 7 m (en otros casos menores a 5 m), 2.5 m y 1 m para 6/4 GHz, 14/10-12 GHz y 30/20 GHz respectivamente.
 - **Apuntamiento de antena:** en muchos casos no se requiere seguimiento automático o manual para sistemas satelitales con cobertura global o continental.
 - **Amplificador de transmisión:** está sobre los 500W (tubos para RF) o 1 W (estado sólido).
 - **Acceso múltiple y modulación:** tales como **FDMA-SCPC** (analógico), **FDMA-SCPC-PSK**, **FDMA-TDM-PSK** (con tasas de 46 kbps a 45 Mbps), **TDMA-TDM-PSK** (**FDMA-TDMA** con tasas de rango medio de 25 Mbps o rango bajo como 256 kbps), **TDMA** de acceso aleatorio (**RA-TDMA** frecuentemente usado en VSAT o para tasas bajas de bits como operadores “outroute”), **CDMA-PSK** (propuesto para sistemas MSS y FSS).
 - **Codificadores de voz:** para transmisiones digitales con una codificación baja en tasa de bits (**LRE**⁴⁸: Low bit Rate Encoding), que es comúnmente implementada en estaciones pequeñas para telefonía.
 - **Asignación por demanda:** es implementado con regularidad en estaciones terrenas pequeñas en el caso de ruteo de baja densidad, como el caso de la telefonía rural.
 - **Televisión:** las estaciones terrenas pequeñas son equipadas para la recepción de programas de televisión digital o analógica.

2.3. Estaciones terrenas Very Small Aperture Terminal, VSAT

2.3.1 Clasificación de estaciones HUB

En el caso de VSAT, la estación terrena se determinará por un HUB⁴⁹, que es un concentrador por así llamarlo, donde se receptan y transmiten todas las señales del sistema satelital de comunicaciones, a continuación se explica cada una de las opciones de HUB existentes:

- **HUB grande dedicado:** posee una antena de diámetro que está entre los 8 a 10 m, soporta una red única completa con posibilidad de conectar miles de VSAT a ella. Este HUB puede estar localizado en la organización del cliente, con un computador

⁴⁸ **LRE:** LOW BIT RATE ENCODING, (Codificador de tasa baja de bits)

⁴⁹ **HUB:** nombre para el concentrador o estación terrena central

que esté conectado directamente a la estación. Sin lugar a duda, esto ofrecerá un control total de la red, en periodos de expansión, cambios en la red o problemas, esta opción puede simplificar la vida del cliente. Sin embargo un HUB dedicado representa la opción más cara y solo justifica si el costo puede ser amortizado sobre un número lo suficientemente considerable de VSAT en la red. El costo típico de un sistema con HUB dedicado está bordeando el millón de dólares.

- **HUB compartido:** muchas redes separadas pueden ser compartidas en un único Hub, con esta opción, los servicios del HUB son arrendados a operadores de redes VSAT. De esta forma, los operadores de red se enfrentan a una mínima inversión de capital favoreciendo la implementación inicial de una red VSAT. Por lo tanto, HUB compartidos son más adecuadas que las redes pequeñas (menores a 50 VSAT), pero esto acarrea ciertos inconvenientes:
 - **Necesidad de una conexión desde el Hub al host:** Una instalación de HUB compartido por lo general no está en conectarse con ningún equipo host del cliente. Por lo tanto se necesita un circuito de red de retorno para conectar el HUB al host. El circuito puede ser una línea dedicada o una proporcionada por la red telefónica conmutada terrestre. Esto añade un costo adicional para el funcionamiento de la red VSAT. Por otra parte, la experiencia operacional ha demostrado que el circuito de backhaul para ser el eslabón más débil de la cadena. Por lo tanto esta opción significa un mayor riesgo de falla. Una posible manera de mitigar este problema potencial estaría utilizando diversidad de rutas: por ejemplo, un enlace microondas o un enlace por satélite podría ser utilizado como una copia de seguridad para esta interconexión.
 - **Posible limitación en la expansión futura:** un HUB compartido puede suponer una limitación de la capacidad, como la capacidad disponible se puede alquilar sin previo aviso a los otros operadores de redes que comparten el HUB. Garantías contractuales deben ser solicitadas por cualquier operador de red en este sentido.
- **Mini Hub:** El mini-HUB es un pequeño concentrador (con tamaño de la antena en el rango de 2 - 5 m) y un costo típico que oscila entre los \$100,000.00 USD, surgió como resultado con la implementación de mayor potencia en los satélites y la mejora del rendimiento de los equipos de recepción de bajo ruido. El mini HUB ha demostrado ser una solución atractiva, ya que conserva las ventajas de un centro dedicado a un costo reducido. También facilita posibles problemas de instalación en relación con las zonas céntricas o comunidades con las restricciones de zonificación, como un mini HUB implica un tamaño de antena más pequeña y menos equipos montados en Rack de un gran centro dedicado o incluso un centro compartido. Un mini HUB típico puede soportar 300 a 400 VSAT remotas.

2.3.2. Estación VSAT

En la figura 2-2 se ilustra la arquitectura de una estación VSAT, como se muestra en la figura mencionada, una estación VSAT está hecha de dos juegos separados de equipos: La unidad externa (**ODU**⁵⁰: Outdoor Unit) y la unidad interior (**IDU**⁵¹: Indoor Unit).

⁵⁰ **ODU:** OUTDOOR UNIT, (Unidad externa del sistema VSAT)

⁵¹ **IDU:** INDOOR UNIT, (Unidad interna del sistema VSAT)

La unidad ODU es la interface entre el VSAT y el satélite, mientras que la IDU es la interface al terminal del cliente o la red de área local o LAN⁵².

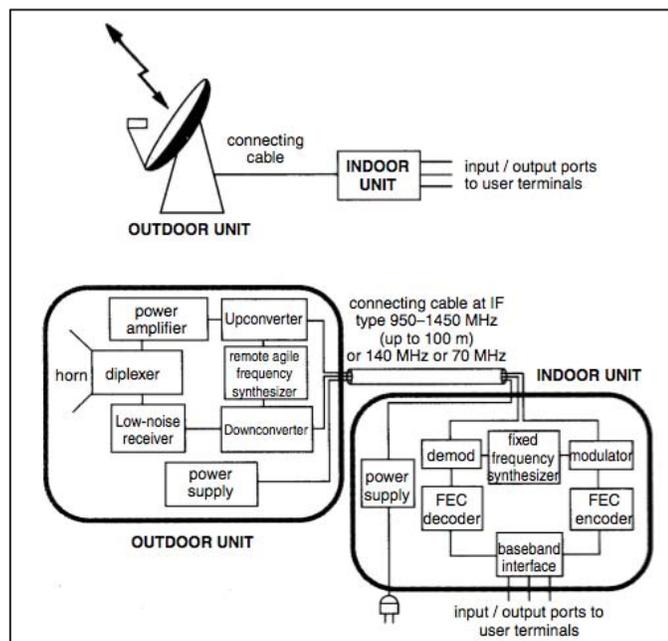


Fig. 2-2. Diagrama de una estación VSAT. [2]

- **La unidad externa (ODU):** para una especificación apropiada de un ODU como una interface satelital, se detallan los siguientes aspectos:
 - Bandas de frecuencia para transmisión y recepción.
 - El tamaño de paso de transmisión y recepción para el ajuste de la frecuencia de la portadora transmitida o para la sintonización a la frecuencia de portadora recibida.
 - La potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE), que determina el rendimiento del enlace ascendente de radiofrecuencia. El PIRE depende del valor de la ganancia de la antena, y por lo tanto su tamaño y frecuencia de transmisión, y en la potencia de salida del amplificador de transmisión.
 - La figura de mérito, G/T, que determina el rendimiento del enlace descendente de radiofrecuencia. La razón G/T depende del valor de la ganancia de la antena, por lo tanto de su tamaño, frecuencia de recepción y la temperatura de ruido del receptor.
 - La variación de ganancia de la antena y su lóbulo lateral con ángulo fuera del eje que controla el PIRE y el G/T, por lo tanto determina los niveles de producción e interferencia recibida.

A continuación la figura 2-3 muestra un ODU, que contiene su antena y el sistema electrónico para el amplificador de transmisión, el receptor de bajo ruido,

⁵² LAN: LOCAL AREA NETWORK, (Red de Área Local para comunicaciones de datos)

convertidores para enlaces ascendentes y descendentes y el sintetizador de frecuencia. La figura 2-4 muestra una mirada de cerca al sistema electrónico.



Fig. 2-3. ODU para una estación VSAT. [2]

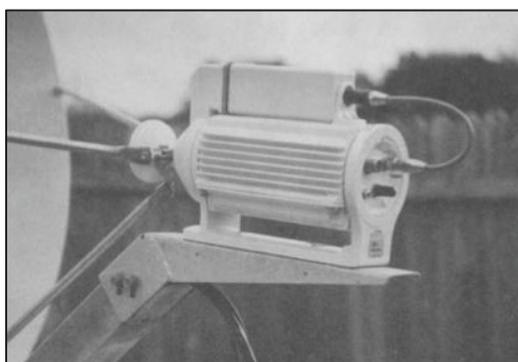


Fig. 2-4. Una mirada más de cerca del sistema electrónico del ODU. [2]

- **La unidad interior (IDU):** La unidad interior instalada en la planta del usuario o cliente se muestra en la Figura 2-5. Con el fin de conectar sus terminales a la VSAT, el usuario debe tener acceso a los puertos instalados en el panel trasero de la unidad exterior, que se muestra en la fotografía de la Figura 2-6.

Para una especificación adecuada de la IDU, como una interfaz a los terminales del usuario o a una red de área local (LAN), los siguientes parámetros son de importancia:

- Número de puertos.
- Tipo de puertos: mecánicos, eléctricos e interfaces funcionales. Esto frecuentemente es especificado como un estándar.
- Velocidad de puertos: es el máximo bit rate en que los datos pueden ser intercambiados entre el usuario terminal y el IDU del VSAT dado un puerto asignado. El data rate actual puede ser bajo.

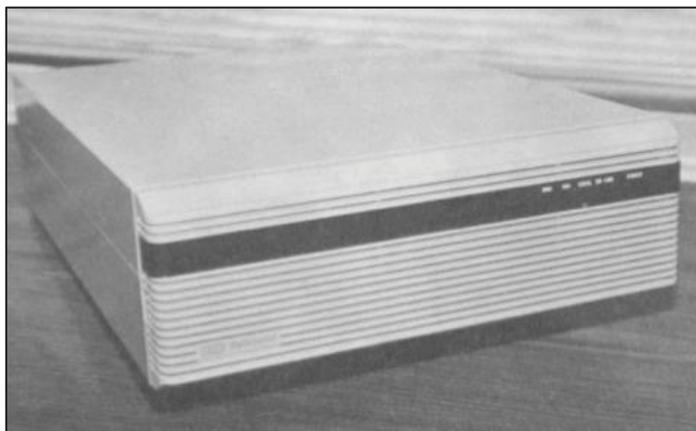


Fig. 2-5. Vista frontal de un IDU de una estación VSAT. [2]



Fig. 2-6. Vista trasera de un IDU de una estación VSAT. [2]

2.3.3. Estación Hub (Diferencia de una estación VSAT)

La figura 2-7 muestra una fotografía de una estación HUB y la Figura 2-8 muestra la arquitectura de la estación Hub, con su equipamiento. Aparte del tamaño y el número de subsistemas, hay poca diferencia funcional entre un HUB y un VSAT.

La principal diferencia está en la unidad interior de los interfaces de un HUB ya sea a un equipo host o a una red pública conmutada o líneas privadas, dependiendo de si el Hub es dedicado o un uno compartido.

Se puede observar en la Figura 2-8 que la estación HUB está equipada con un sistema de gestión de red (NMS⁵³). El NMS es un mini ordenador o una estación de trabajo, equipada con su un software dedicado y pantallas, y se utiliza para las funciones operativas y administrativas.

Este mini ordenador está conectado a cada VSAT en la red por medio de circuitos virtuales permanentes (VPN⁵⁴). Mensajes de gestión se intercambian constantemente entre el NMS y las VSAT y competir con el tráfico normal de los recursos de red.

⁵³ NMS: NETWORK MANAGMENT SYSTEM, (Sistema de gestión de red)

⁵⁴ VPN: VIRTUAL PERMANENT NETWORK, (Red virtual permanente/privada)



Fig. 2-7. ODU de una estación HUB. [2]

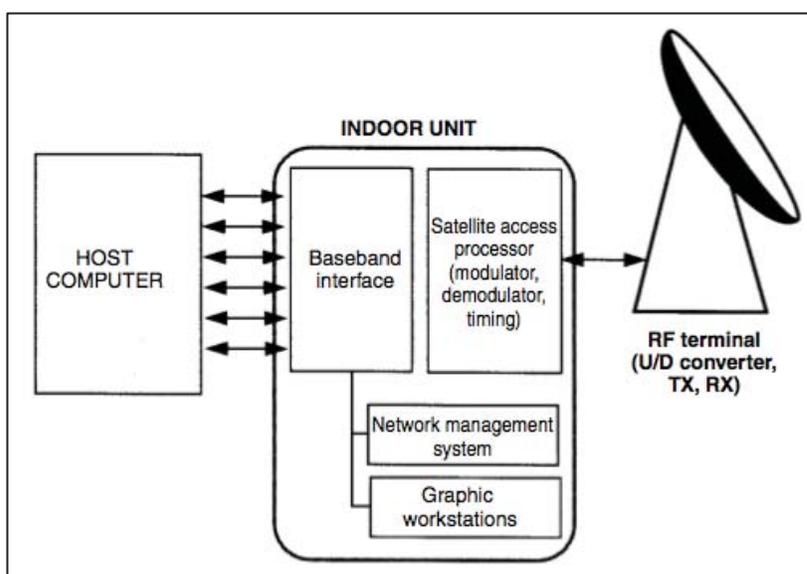


Fig. 2-8. Subsistemas de un HUB. [2]

- Funciones operativas:** Funciones operativas relacionadas con la gestión de redes y proporcionar la capacidad para volver a configurar la red de forma dinámica mediante adición, eliminación, estaciones VSAT, operadoras y las interfaces de red. Funciones operativas también incluyen el seguimiento y el control del rendimiento y el estado del HUB y cada estación VSAT, y todos los puertos de datos asociados de la red. Esto implica herramientas de gestión operacionales que proporcionan la asignación en tiempo real, la conectividad de las VSAT, la gestión y control de las nuevas instalaciones y configuraciones.
- Funciones administrativas:** Las funciones administrativas se ocupan de inventario de equipos, registros de uso de la red, la seguridad y la facturación. El NMS mantiene una relación de las estaciones VSAT instalados y operados, la

configuración del equipo en el HUB y cada estación VSAT, y la configuración del puerto de cada interfaz de red. Esta información está disponible a solicitud del operador, junto con información estadística sobre el tráfico, el número de fallos, el tiempo promedio de demora de transmisión de datos, etc.

2.4. Topología de redes satelitales VSAT

2.4.1 Configuración malla: Como todas las VSAT son visibles desde el satélite, los portadores pueden ser transmitidos por el satélite desde cualquier VSAT a cualquier otra VSAT en la red, como se ilustra en la Figura 2-9.

En cuanto a las redes VSAT en malla, como se muestra en la Figura 2-9, hay que tener en cuenta las siguientes limitaciones:

- Típicamente son 200 dB de atenuación de potencia de la portadora en el enlace ascendente y el enlace descendente como resultado de la distancia de un satélite geostacionario.
- Potencia de radiofrecuencia en el transpondedor del satélite muy limitada, por lo general unas pocas decenas de vatios.
- Pequeño tamaño de la VSAT, lo que limita su potencia a transmitir y su sensibilidad de recepción.

Como resultado de lo anterior, es muy posible que las señales demoduladas en la VSAT receptora no coinciden con la calidad requerida por los terminales de usuario. Por lo tanto, los enlaces directos de VSAT a VSAT pueden no ser aceptables.

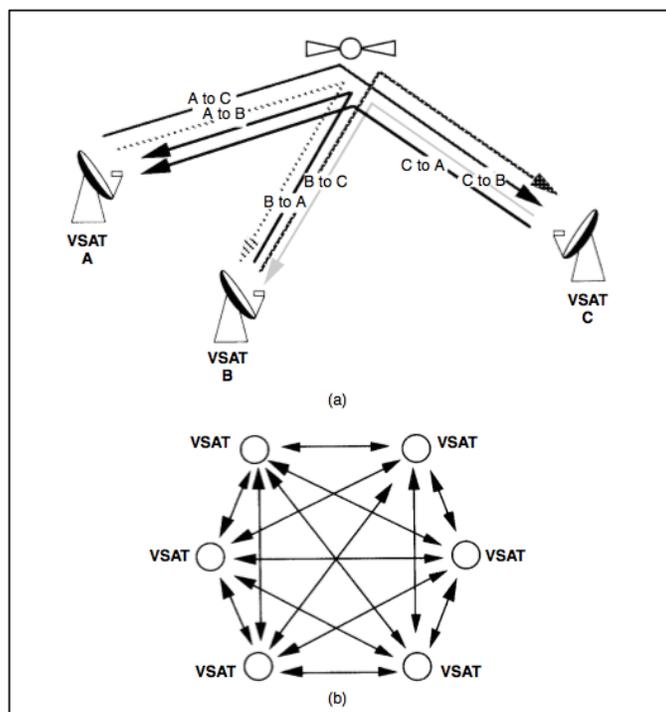


Fig. 2-9. Red VSAT en malla. (a) Ejemplo con tres VSAT (flechas representan el flujo de información transmitida por las operadoras transmitidas por el satélite); (b) representación simplificada de un mayor número de VSAT (flechas representan enlaces bidireccionales hechos de dos portadores que viajan en direcciones opuestas). [2]

2.4.2. Configuración estrella: Dado los problemas presentados por la configuración malla, la solución entonces es instalar una estación más grande que un VSAT, llamado el HUB. La estación HUB (concentrador) tiene un tamaño de antena más grande que la de un VSAT, es decir alrededor de 4 m a 11 m, lo que resulta en una ganancia mayor que la de una antena típica VSAT, y está equipado con un transmisor más potente.

Como resultado de la mejora de su capacidad, la estación central es capaz de recibir adecuadamente a todas las operadoras que transmiten los VSAT, y para transmitir la información deseada a todas las VSAT a través de sus propias operadoras de transmisión. La arquitectura de la red se convierte, como se muestra en las figuras 2-10 y 2-11 en forma de estrella.

Los enlaces desde el HUB a la VSAT se nombran los enlaces salientes. Los de la VSAT al Hub se llaman enlaces entrantes. Ambos enlaces entrantes y salientes se componen a su vez de dos enlaces, el enlace ascendente y el enlace descendente, hacia y desde el satélite.

Hay dos tipos de redes VSAT en estrella:

- Redes estrella de dos vías: Donde las VSAT pueden transmitir y recibir, pueden servir para tráfico interactivo, mostrado en la figura 2-10.
- Redes estrella de una vía: donde el HUB simplemente se limita a transmitir la información de la operadora y los VSAT solo son receptores. Esta configuración es usada para radiodifusión (broadcasting), que se ilustra en la figura 2-11.

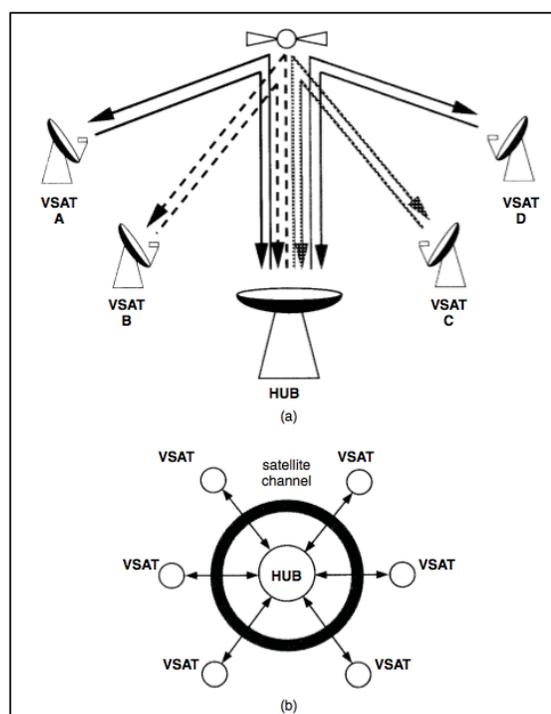


Fig. 2-10. Red VSAT en forma de estrella de dos vías. (a) Ejemplo con cuatro VSAT (flechas representan el flujo de información transmitida por las operadoras transmitidas por el satélite); (b) la representación simplificada de un mayor número de VSAT (flechas representan vínculos bidireccionales hechas de dos operadoras que viajan en direcciones opuestas). [2]

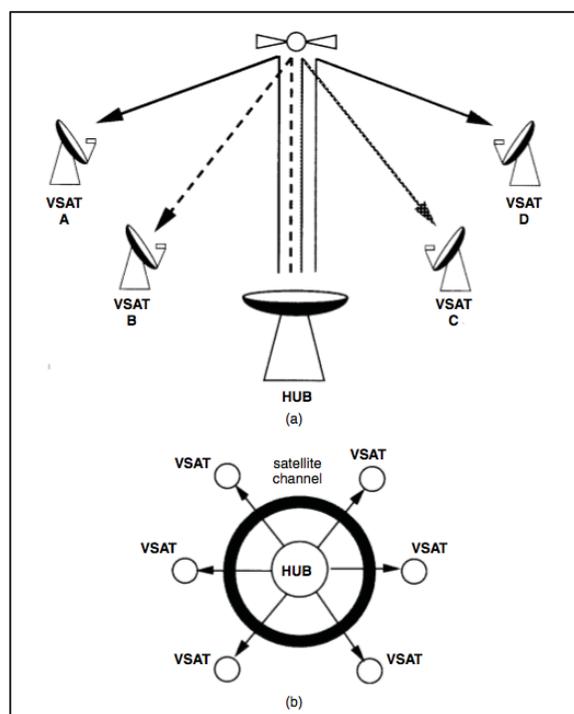


Fig. 2-11. Red VSAT en estrella una vía. (a) Ejemplo con cuatro VSAT (flechas representan el flujo de información transmitida por los portadores de salida transmitidos por el satélite); (b) la representación simplificada de un mayor número de VSAT (flechas representan vínculos unidireccionales). [2]

2.5. Selección del tipo de topología de red VSAT

Haciendo un análisis de las dos arquitecturas principales de una red VSAT, estrella y malla, la problemática se centra en la elección de cuál de las dos topologías será la más adecuada para el sistema mencionado.

De ahí se puede desprender tres factores fundamentales:

- La estructura del flujo de información dentro de la red.
- La calidad del enlace solicitado y la capacidad.
- El retardo de transmisión.

2.5.1. Estructura del flujo de información

Las redes VSAT pueden soportar varios tipos de aplicaciones, y cada uno tiene una configuración óptima de la red, que se describe a continuación:

- **Radiodifusión:** un sitio central distribuye la información a muchos sitios remotos sin flujo de retorno de información. Por lo tanto una red de una sola vía en forma de estrella admite el servicio al menor costo.
- **Red corporativa:** más a menudo las empresas tienen una estructura centralizada con la administración y la gestión realizada en un lugar central, y la manufactura o ventas realizadas en sitios dispersos en un área geográfica. La información de los sitios remotos es necesaria recoger en el sitio central para la toma de decisiones, y

la información desde el sitio central (por ejemplo, en relación con el reparto de tareas) tiene que ser distribuido a los más remotos.

Tal flujo de información puede ser apoyado parcialmente por una red VSAT de una vía en forma de estrella, por ejemplo, para la distribución de información, o soportado totalmente por una red VSAT de dos vías en forma de estrella. En el primer caso, La VSAT necesitan de sólo recibir y son menos costosos que en este último caso en el que se requiere la interactividad, ya que esto implica VSAT equipados tanto con transmisor y receptor. Normalmente, el coste de los equipos de transmisión es dos tercios de la de un VSAT interactivo o bidireccional.

2.5.2. La calidad del enlace y la capacidad

El enlace considerado aquí va desde la estación de transmisión para el que lo recibe. Ese vínculo puede comprender varias partes. Por ejemplo, un solo salto comprendería un enlace ascendente y un enlace descendente, un enlace doble salto comprendería dos enlaces de salto individuales, uno de ellos de entrada y el otro saliente.

Cuando se trata de la calidad del enlace, hay que referirse a la calidad de una señal dada. En realidad, están implicados dos tipos de señales: la portadora modulada en la entrada del receptor y las señales de banda base para el terminal de usuario una vez que la portadora ha sido demodulada.

La capacidad del enlace, será medido por la información del bit rate o R_b (bps), dado:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{(C/N_0)}{R_b} \quad (2.1)$$

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{dB} = \left(\frac{C}{N_0}\right)_{dB} - 10 \cdot \log_{10}[R_b(bps)] \quad (2.2)$$

También se podría representar como:

$$\left(\frac{E_s}{N_0}\right)_{dB} = \left(\frac{C}{N_0}\right)_{dB} - 10 \cdot \log_{10}[R(baud)] \quad (2.3)$$

2.5.3. Retardo de transmisión

Con un solo enlace hop de VSAT a VSAT en una red mallada, el retardo de propagación es de unos 0,25 s. Con un doble salto de VSAT a VSAT a través del concentrador, el retardo de propagación es el doble, es decir, alrededor de 0,5 s.

Doble salto puede ser un problema para las comunicaciones de voz. Sin embargo no es un problema grave para el vídeo o la transmisión de datos.

El diseñador puede decidir ya sea un gran retraso de VSAT a VSAT y una capacidad más grande o un pequeño retraso y una menor capacidad, mediante la implementación de una red, ya sea en forma de estrella, o una malla uno. En los capítulos siguientes se expone de mejor manera el concepto de retardo o latencia, en el diseño final de la red de comunicaciones por satélite.

CAPITULO 3:

APLICACIONES, SERVICIOS Y DIMENSIONAMIENTO EN REDES DE VOZ Y DATOS

3.1. Estándar DVB

El proyecto DVB⁵⁵ (*Digital Video Broadcasting*) es una alianza de más de 200 compañías que en sus inicios contemplaba solamente a Europa y que actualmente tiene presencia a nivel mundial. El objetivo principal es llegar a unificar especificaciones y llegar a acuerdos entre todos para el manejo y administración de sistemas digitales multimedia, que incluye la radiodifusión.

Los miembros del proyecto DVB desarrollan y acuerdan las especificaciones los cuales son traspasados al cuerpo de estándares europeos, en el área de sistemas multimedia, para la aprobación de los estándares existe un comité técnico conjunto entre el EBU⁵⁶/CENELEC⁵⁷/ETSI⁵⁸. Las especificaciones pueden ser estandarizadas por cualquier ente del CENELEC o en la mayoría de casos por el ETSI.

El alcance de este capítulo no es entrar a detalle al estándar DVB y sus variantes, debido a que es un estudio ya realizado en trabajos anteriores y el capítulo tiene el objetivo de llegar a conocer los parámetros necesarios para el dimensionamiento de una red VSAT basado en el estándar mencionado, por lo que se resaltarán las partes más importantes del estándar DVB y sus evoluciones más representativas, por lo que se supone que toda la red estará basada en el estándar europeo DVB.

3.1.1. Sistema DVB-S, distribución satelital

El estándar DVB-S^[3] es el que comúnmente se usa para lo que son comunicaciones vía satélite para televisión digital y radiodifusión en general. Los procedimientos de codificación para fuentes de audio y video están definidos por MPEG⁵⁹, sin embargo, MPEG solo cubre los aspectos y metodologías utilizados en la compresión de las señales de audio/video y los procedimientos para la multiplexación y sincronización de estas señales en tramas de programa o transporte.

Cuando está definida la trama, es necesario implementar los sistemas de modulación de señal que se utilizarán para los distintos tipos de radiodifusión (siendo éstas: satelital, cable o terrestre), el código de protección frente a errores y los mecanismo de acceso a los servicios y programas.

DVB está dividido en distintos estándares en función de las características del sistema de radiodifusión, siendo los estándares más utilizados el DVB-S y DVB-C, que contempla las transmisiones de señales de televisión digital mediante redes de distribución por vía satelital y cable respectivamente. Hay otros estándares como el DVB-T, que es por distribución terrestre, pero el estudio solo se centrará en la distribución por redes satelitales.

3.1.1.1. Escenarios de aplicación DVB-S

⁵⁵ **DVB:** DIGITAL VIDEO BROADCASTING, (*estándar desarrollado para la transmisión de video digital*)

⁵⁶ **EBU:** EUROPEAN BROADCASTING UNION

⁵⁷ **CENELEC:** EUROPEAN COMMITTEE FOR ELECTROTECHNICAL STANDARDIZATION

⁵⁸ **ETSI:** EUROPEAN TELECOMMUNICATIONS STANDARDS INSTITUTE

⁵⁹ **MPEG:** MOVING PICTURE EXPERTS GROUP, (*grupo de trabajo para la estandarización de formatos digitales de audio y video de la ISO*)

- Radiodifusión de señales de Televisión Digital por Satélite (servicios DTH⁶⁰) de calidad SDTV⁶¹ o HDTV⁶², como se puede observar en la Figura 3-1.
- Varios canales de TV multiplexados a la entrada del modulador.
- Válido para TDM (de preferencia) y FDM.
- Emplea modulación y codificación fijas:
 - QPSK⁶³ con roll-off del 35%
 - Reed-Solomon (204,188) con FEC $\frac{1}{2}$.
 - Tasas FEC⁶⁴: $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{7}{8}$ (se usa **puncturing**).
- Encapsulamiento con MPEG-2 (188 Bytes por trama).
- La tabla 3-1, indica la eficiencia espectral debido al nivel de Es/No dado para cada tipo de modulación y tasa FEC.

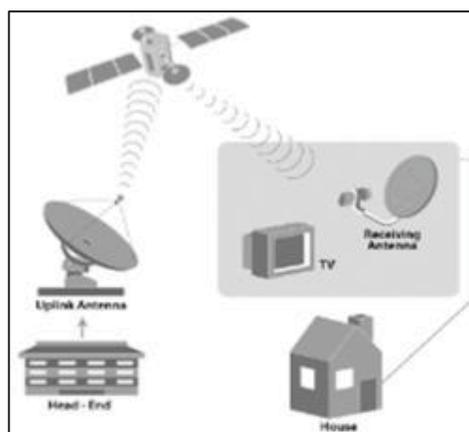


Fig. 3-1. Sistema DTH. [5].

MODCOD ⁶⁵	Eficiencia Espectral [Bits/Sec/Hz]	Eb/No [dB]	Es/No [dB]
QPSK 1/2	0,921569	3,9	3,55
QPSK 2/3	1,228758	4,5	5,39
QPSK 3/4	1,382353	5,1	6,51
QPSK 5/6	1,535948	5,8	7,66
QPSK 7/8	1,612745	6,4	8,48

Tabla.3-1. Parámetros típicos para eficiencia espectral y Es/No para cada tipo de FEC y modulación [3].

El modo de operación en DVB-S, posee elevados márgenes de funcionamiento (entre 4 a 6 dB) que implican un elevado consumo de potencia.

El exceso de la potencia que se transmite, es solo por un periodo corto de tiempo, basándose en la estadística de lluvia durante 10 min/año con una disponibilidad del 99.6%, además los parámetros de transmisión son fijos, esto es válido solo para radiodifusión.

⁶⁰ **DTH**: DIRECT TO HOME, (sistema de distribución broadcast de TV para cada usuario)

⁶¹ **SDTV**: STANDARD DEFINITION TELEVISION, (Definición estándar para televisión)

⁶² **HDTV**: HIGH DEFINITION TELEVISION, (Alta definición para televisión)

⁶³ **QPSK**: QUATERNARY PHASE SHIFT KEYING, (modulación por desplazamiento de fase cuaternario)

⁶⁴ **FEC**: FORWARD ERROR CORRECTION, (corrección de errores hacia adelante)

⁶⁵ **MODCOD**: abreviatura usada para expresar tipo de modulación y codificación a usar

3.1.1.2. Escenarios de aplicación DVB-DSGN [4]

En 1997, DVB-S evoluciona y pasa a llamarse DVB-DSGN (*Digital Satellite News Gathering*), en el cual es una mejora ya que incorpora modulaciones 8PSK⁶⁶ y 16QAM⁶⁷, donde se emplea TCM⁶⁸ (*Trellis Coded Modulation*).

Este estándar es usado típicamente para uso de terminales satelitales móviles, como las vagonetas de noticias, para la emisión de sus contenidos. En la tabla 3-2, se puede observar que se ingresan las modulaciones 8PSK y 16QAM y presentan mejoras en el umbral Eb/No.

En la Figura 3-2, se observa un diagrama típico de una aplicación DVB-DSGN.

MODCOD	Eficiencia Espectral [Bits/Sec/Hz]	Eb/No [dB]	Es/No [dB]
QPSK 1/2	0,921569	4,5	4,15
QPSK 2/3	1,228758	5,0	5,89
QPSK 3/4	1,382353	5,5	6,91
QPSK 5/6	1,535948	6,0	7,86
QPSK 7/8	1,612745	6,4	8,48
8PSK 2/3	1,843137	6,9	9,56
8PSK 5/6	2,303921	8,9	12,52
8PSK 8/9	2,457516	9,4	13,30
16QAM 3/4	2,764706	9,0	13,42
16QAM 7/8	3,225490	10,7	15,79

Tabla.3-2. Parámetros típicos para eficiencia espectral y Es/No para cada tipo de FEC y modulación para DVB-DSGN [4].

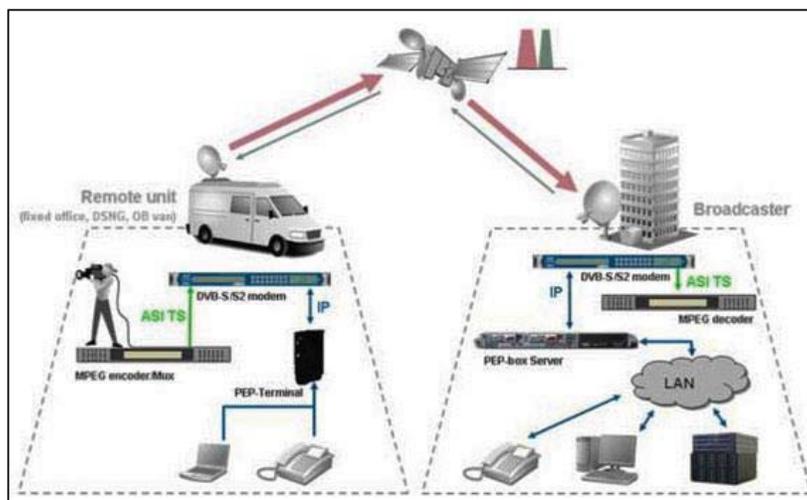


Fig. 3-2. Diagrama típico usando DVB-DSGN⁶⁹

⁶⁶ **8PSK**: 8-ARY PHASE SHIFT KEYING, (modulación 8-ario por desplazamiento de fase)

⁶⁷ **16QAM**: 16-ARY QUADRATURE AMPLITUDE MODULATION, (modulación de amplitud en cuadratura 16-aria)

⁶⁸ **TCM**: TRELIS CODED MODULATION, (modulación con codificación reticulada)

⁶⁹ **Cortesía**: Imagen de SATNEWS: www.satnews.com

3.1.2. Sistema DVB-S2

DVB-S2 ^[6] es la segunda generación de especificaciones para aplicaciones satelitales de banda ancha, desarrollada por el grupo DVB (Digital Video Broadcasting) en el año 2003. El sistema está estructurado de una forma tal, que es un conjunto de herramientas para permitir el uso en los satélites para las siguientes aplicaciones, ^[7]:

- Difusión de televisión con sonido.
- Interactividad (acceso a Internet).
- Servicios profesionales, pudiendo ser enlaces de televisión y recopilación digital de noticias por satélite.

Todo esto se ha determinado basándose en los siguientes pilares fundamentales:

- Mejor rendimiento de la transmisión al acercarse al límite de Shannon.
- Flexibilidad total
 - Múltiples tramas (*streams*) de entrada (MPEG-2, IP, etc.).
 - Diversos formatos: MPEG-2 para SDTV y HDTV, AVC/H.264, VC9.
 - Cada *stream* puede protegerse de forma distinta (MOD-COD).
- Complejidad razonable en el receptor.
- Retrocompatibilidad con DVB-S (modulaciones jerárquicas).

3.1.2.1. Tecnologías que habilitan a DVB-S2

A continuación se presenta algunos puntos importantes de las tecnologías que están presentes en DVB-S2 y que mejoran notablemente en comparación con su predecesor, DVB-S

- **Esquemas de transmisión:**
 - Existen nuevos esquemas de codificación de canal: **LDPC**⁷⁰+**BCH**⁷¹
 - Se anexan nuevas modulaciones: QPSK, 8PSK, 16APSK⁷², 32APSK⁷³
 - Se encuentra a 0.7-1 dB del límite de Shannon.
 - Factores de roll-off de 0.2, 0.25 y 0.35
- **Modos de operación:**
 - Adaptación a las condiciones del enlace, siendo este con cielo despejado o con lluvia, manejando las disponibilidades del mismo.
 - Optimización de transmisión para cada usuario.
 - Modos: **CCM**⁷⁴ (*Constant Codification Mode*), **VCM**⁷⁵ (*Variable Codification Mode*), **ACM**⁷⁶ (*Adaptative Codification Mode*).
 - Modulaciones jerárquicas para usar con **retrocompatibilidad** (*backward compatibility*), para usar con DVB-S.

⁷⁰ **LDPC**: LOW DENSITY PARITY CHECK: Comprobación de paridad de baja densidad, códigos de corrección de error lineal, que permite transmitir mensajes mediante un canal muy ruidoso. Descubierta por Robert G. Gallager en 1960. ^[24].

⁷¹ **BCH**: Código de tipo cíclico y de una generalización del código de *Hamming*, puede corregir *t* errores, descubierta en 1959 por A. Hocquenhem.

⁷² **16APSK**: 16-ARY AMPLITUDE AND PHASE SHIFT KEYING, (*modulación por desplazamiento de amplitud y fase 16-aria*)

⁷³ **32APSK**: 32-ARY AMPLITUDE AND PHASE SHIFT KEYING, (*modulación por desplazamiento de amplitud y fase 32-aria*)

⁷⁴ **CCM**: CONSTANT CODIFICATION MODE, (*modo de codificación constante*)

⁷⁵ **VCM**: VARIABLE CODIFICATION MODE, (*modo de codificación variable*)

⁷⁶ **ACM**: ADAPTATIVE CODIFICATION MODE, (*modo de codificación adaptativa*)

- **Flexibilidad:**

- Estructura de tramas en dos niveles.
- Adaptación a diferentes formatos de entrada.
- Señalización y pilotos.

3.1.2.2. Perfiles aplicaciones DVB-S2

En las aplicaciones que se incluyen para operar con el estándar DVB-S2, requieren de mayor ancho de banda la mayoría y por supuesto las que venía operando en el estándar predecesor, con mejoras como mayor calidad, por lo que se puede describir de la siguiente manera:

- **Radiodifusión:** en Televisión digital, con formatos SDTV y HDTV.
- **Servicios Interactivos:** Lógicamente este tipo de servicios incluye el acceso a Internet satelital.
- **Aplicaciones Profesionales:** Aquí se puede resaltar especialmente a los enlaces de contribución de TV y *News Gathering*, pudiendo ser estos de punto-a-punto o punto-a-multipunto, también se puede destacar que generalmente este tipo de aplicaciones poseen transmisores fijos o portátiles con estaciones de recepción, como se observó anteriormente en la figura 3-2.
- **Distribución de datos:** En estos casos se distribuye a las estaciones receptoras contenidos e Internet de modo UNICAST, generalmente información referente a su enlace, comerciales, y datos en general.

3.1.2.3. Modulaciones Jerárquicas y modos de operación DVB-S2

Cuando existe migración de estándares, la preocupación es latente, debido a, ¿Qué hacer con los equipos que manejan una tecnología anterior?, por eso siempre se piensa en la **retrocompatibilidad** (*backwards compatibility*), debido a factores muy importantes:

- Los receptores DVB-S instalados, representa un parque muy extenso.
- La migración de DVB-S a DVB-S2 pueden tardar varios años, además que también existiría un gasto adicional por parte del usuario al cambiar de receptores.

Al tratarse de modulaciones jerárquicas, se está enviando a través de cada enlace, dos tramas síncronas, la uno con una **prioridad alta** (*HP: High Priority*) compatible **solo** con receptores DVB-S y otra de **prioridad baja** (*LP: Low Priority*) que es **solo** compatible con DVB-S2, aparte la modulación que estará presente en estas transmisiones será necesariamente 8PSK no uniforme (envolvente cuasi-constante).

La transmisión se irá organizando en tramas, éstas pueden ser cortas (16200 bits) o largas (64800 bits) que la segunda es la que se utilizará para realizar el estudio de dimensionamiento.

Cada una de las tramas puede cambiar de parámetros de transmisión (modulación y codificación, que para simplificar el término lo pasamos a llamar **MODCOD**), según las condiciones del enlace. Se debe tomar en cuenta que como son tramas de información, éstas por norma deben incluir las cabeceras de señalización y sincronismo.

Una parte importante y que hace de DVB-S2 un estándar superior, son sus modos de operación, tema central para el estudio de dimensionamiento en este capítulo que se ampliará cada uno a medida que se realice las simulaciones y cálculos.

- **CCM (Constant Coding And Modulation):** Codificación y modulación constante, pudiendo ser *single o multistream*, todas las tramas usan los mismos parámetros de transmisión.
- **VCM (Variable Coding And Modulation):** Transmisiones (*streams*)/Servicios diferentes que se transmiten con MODCOD diferentes, pero se mantienen fijos en la portadora.
- **ACM (Adaptive Coding And Modulation):** cada trama posee sus propios parámetros de funcionamiento, los mismos que van variando según las condiciones del estado de recepción de cada usuario terminal, generalmente variará por la condición climática. Para que ACM tenga un funcionamiento eficaz debe usar canal de retorno.

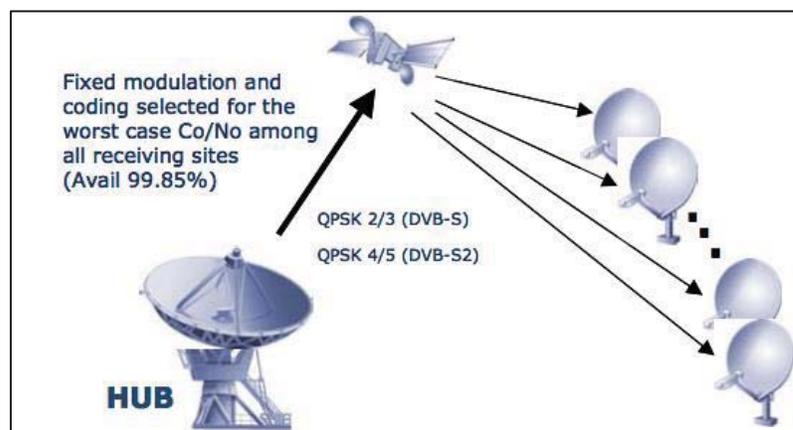


Fig. 3-3. Modo de operación CCM para DVB-S (QPSK 2/3) y para DVB-S2 (QPSK 4/5) para radiodifusión. [8]

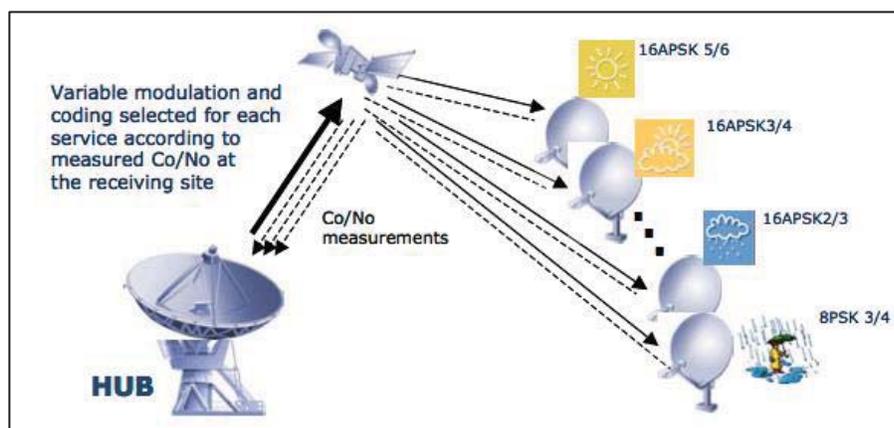


Fig. 3-4. Modo de operación VCM para DVB-S (8PSK 3/4 y 16APSK 2/3) y ACM (16APSK 5/6 y 16APSK 3/4) para radiodifusión, VCM cambia su MODCOD debido al cambio de clima, mientras que ACM está con cielo despejado. [8].

En la figura 3-3 y figura 3-4, se representa cada uno de los modos de operación, particularmente en la figura 3-3, se muestra CCM tanto para DVB-S y DVB-S2, mientras que la figura 3-4, se ilustra la implementación de VCM y ACM.

En la tabla 3-3, se puede apreciar la tabla de eficiencia espectral por cada MODCOD, (tipo de modulación y tipo de codificación) además del umbral Es/No respectivo para cada uno de ellos.

MODCOD	Eficiencia Espectral [Bits/Sec/Hz]	Ideal Es/No (dB) FECFRAME Length = 64800	MODCOD	Eficiencia Espectral [Bits/Sec/Hz]	Ideal Es/No (dB) FECFRAME Length = 64800
QPSK 1/4	0,490243	-2,35	8PSK 5/6	2,478562	9,35
QPSK 1/3	0,656448	-1,24	8PSK 8/9	2,646012	10,69
QPSK 2/5	0,789412	-0,3	8PSK 9/10	2,679207	10,98
QPSK 1/2	0,988858	1	16APSK 2/3	2,637201	8,97
QPSK 3/5	1,188304	2,23	16APSK 3/4	2,966728	10,21
QPSK 2/3	1,322253	3,1	16APSK 4/5	3,165623	11,03
QPSK 3/4	1,487473	4,03	16APSK 5/6	3,300184	11,61
QPSK 4/5	1,587196	4,68	16APSK 8/9	3,523143	12,89
QPSK 5/6	1,654663	5,18	16APSK 9/10	3,567342	13,13
QPSK 8/9	1,766451	6,2	32APSK 3/4	3,703295	12,73
QPSK 9/10	1,788612	6,42	32APSK 4/5	3,951571	13,64
8PSK 3/5	1,779991	5,5	32APSK 5/6	4,11954	14,28
8PSK 2/3	1,980636	6,62	32APSK 8/9	4,397854	15,69
8PSK 3/4	2,228124	7,91	32APSK 9/10	4,453027	16,05

Tabla.3-3. Parámetros típicos para eficiencia espectral y Es/No para cada tipo de FEC y modulación para DVB-S2 [6].

3.1.3. Sistema DVB-RCS

DVB-RCS es la primera especificación de DVB para implementar el canal de retorno para los estándares DVB-S y DVB-S2, que consiste esencialmente en darles nuevas funcionalidades a la red, esto simplificando el concepto, es darle interacción a los usuarios terminales con el HUB.

La comunicación que existirá entre cada uno de los usuarios con el HUB es para devolver a este último las medidas necesarias para el modo de operación ACM.

DVB-RCS opera con arquitecturas en satélites transparentes o regenerativos, su utilidad se ve mucho más reflejada en la implementación de redes VSAT malladas

(*VSAT MESH*). DVB-RCS [9] ya ha presentado sus evoluciones tanto en DVB-RCS2 [10] y la versión móvil DVB-RCS2+M [11].

3.2. Sistema NOVELSAT NS3

La empresa NOVELSAT ha desarrollado un estándar compatible con equipos DVB-S2, pero que después de un arduo trabajo y un reto tecnológico en mejorar la eficiencia espectral en transmisiones satelitales, ha creado una 3ra generación en protocolos de modulación satelital.

En el año 2011, después de tres años de trabajo, NOVELSAT, con éxito lanza la primera línea comercial **NovelSat NS3™** [12], de moduladores y demoduladores, los cuales proveen, entre un 40% a 60% de incremento en throughput comparado con DVB-S2 en un rango típico, y hasta un 37% en la señal en el rango de ruido.

Tiene un sistema de cancelación de eco, donde el ancho de banda requerido para un enlace de dos vías es reducido a la mitad, doblando la eficiencia espectral efectiva. Dependiendo la aplicación a usar, el costo del ancho de banda satelital puede reducirse en algunas decenas de miles de dólares al mes, esto se hace más notorio en aplicaciones de banda ancha como enlaces DSGN, Backhaul Celular, etc.

Adicionalmente, NovelSat NS3 tiene la posibilidad de soportar grandes anchos de banda, tiene una resistencia superior a la saturación, la interferencia, ruido de fase y jamming, por lo que a NS3 se le etiqueta como 3ra generación en comunicaciones satelitales.

3.2.1. Ventajas en la tecnología NovelSat NS3™

El rendimiento superior de NS3 es una combinación de las siguientes innovaciones dentro de esta tecnología que se considera a continuación:

- **Nuevas matrices LDPC y un decodificador mejorado:** con esto se logra un mayor rendimiento y granularidad, principalmente con las constelaciones existentes y con las nuevas constelaciones a menor SNR para las modulaciones del sistema.
- **Nuevas constelaciones:** se adiciona al sistema 64APSK, con el fin de optimizar el rendimiento en SNR donde DVB-S2 usa 32APSK.
- **Reducción del factor de *Roll-Off*:** se reduce el factor de caída mínima (*roll-off*) al 5%, además del mejoramiento de los circuitos de sincronización en el lado del receptor con reducir las caídas al mínimo.
- **Más rápido que el de Nyquist (FTN) de señalización:** señalización FTN⁷⁷ es una manera de aumentar la velocidad de símbolos en un ancho de banda dado. Visto así, es similar al factor de reducción *roll-off*. Puede ser reducido por el transmisor y el receptor utilizando precodificación y ecualización avanzada.
- **NovelSat DUET™:** (basada en software de cancelación de eco) para vídeo y datos que permite reutilizar el mismo canal para la transmisión hacia y desde el satélite en ambos extremos de un enlace, doblando efectivamente la eficiencia espectral.
- **Ecualización no lineal:** importante en condiciones prácticas que implican canales no lineales y son esenciales cuando se combinan con algunos de los métodos descritos anteriormente y también son beneficiosos en el modo compatible hacia atrás DVB-S2, (modo *backward* o retrocompatibilidad).
- **Adaptación dinámica en el lado del receptor.**
- **Resistencia al deterioro:** como ruido de fase, la interferencia y bloqueo.

⁷⁷ FTN: FASTER THAN NYQUIST SIGNALING, (método para aumentar la tasa de símbolos en un ancho de banda establecido)

En la tabla 3-4, se expone la tabla de eficiencia espectral para NS3 basado en el tipo de modulación y tasa FEC, MODCOD, y el umbral Es/No para cada uno de ellos:

MODCOD	Eficiencia Espectral [Bits/Sec/Hz]	Ideal Es/No (dB) FECFRAME Length = 64800	MODCOD	Eficiencia Espectral [Bits/Sec/Hz]	Ideal Es/No (dB) FECFRAME Length = 64800
QPSK ¼	0.46	-2.60	32APSK 7/15	2.14	7.15
QPSK 1/3	0.61	-1.34	16APSK 3/5	2.20	7.54
QPSK 2/5	0.73	-0.31	8PSK 3/4	2.07	7.70
QPSK 13/30	0.80	0.05	16APSK 19/30	2.33	8.03
QPSK 7/15	0.86	0.49	32APSK 1/2	2.29	8.03
QPSK ½	0.92	0.92	32APSK 8/15	2.45	8.47
QPSK 8/15	0.98	1.32	16APSK 2/3	2.45	8.50
QPSK 17/30	1.04	1.76	8PSK 4/5	2.21	8.64
QPSK 3/5	1.10	2.05	32APSK 17/30	2.60	9.14
8PSK 2/5	1.10	2.37	8PSK 5/6	2.31	9.28
QPSK 19/30	1.17	2.49	16APSK 32/45	2.61	9.35
QPSK 2/3	1.23	2.81	32APSK 3/5	2.76	9.78
8PSK 13/30	1.19	2.81	16APSK 3/4	2.76	9.95
8PSK 7/15	1.29	3.25	32APSK 19/30	2.91	10.36
QPSK 32/45	1.31	3.38	8PSK 8/9	2.46	10.55
8PSK ½	1.38	3.79	16APSK 4/5	2.94	10.70
QPSK ¾	1.38	3.93	8PSK 9/10	2.49	10.74
8PSK 8/15	1.47	4.37	32APSK 2/3	3.07	10.92
QPSK 4/5	1.48	4.52	16APSK 5/6	3.07	11.36
16APSK 2/5	1.46	4.68	32APSK 32/45	3.27	11.63
8PSK 17/30	1.56	4.80	32APSK 3/4	3.45	12.43
16APSK 13/30	1.59	5.00	16APSK 8/9	3.28	12.59
QPSK 5/6	1.54	5.02	64APSK 19/30	3.48	12.69
8PSK 3/5	1.66	5.29	16APSK 9/10	3.32	12.84
16APSK 7/15	1.71	5.45	32APSK 4/5	3.68	13.31
8PSK 19/30	1.75	5.90	64APSK 2/3	3.67	13.31
QPSK 8/9	1.64	5.94	32APSK 5/6	3.84	13.99
16APSK 1/2	1.83	5.95	64APSK 32/45	3.92	14.03
QPSK 9/10	1.66	6.11	64APSK 3/4	4.13	14.95
32APSK 2/5	1.83	6.16	32APSK 8/9	4.10	15.21
8PSK 2/3	1.84	6.26	32APSK 9/10	4.15	15.53
16APSK 8/15	1.96	6.39	64APSK 4/5	4.41	16.03
32APSK 13/30	1.99	6.54	64APSK 5/6	4.60	16.83
16APSK 17/30	2.08	6.94	64APSK 8/9	4.91	18.40
8PSK 32/45	1.97	6.98	64APSK 9/10	4.97	18.67

Tabla.3-4. Parámetros típicos para eficiencia espectral y Es/No para cada tipo de FEC y modulación para NS3 [12].

3.3. Dimensionamiento de la red satelital de comunicaciones

Para empezar con el dimensionamiento de la red satelital de comunicaciones, se debe tener en cuenta varios aspectos, como el tipo de servicio o perfil que se requiere, si el servicio es únicamente voz, datos, combinado o de radiodifusión, es decir, influyen numerosos aspectos en que las necesidades de los clientes son la piedra angular para realizar el estudio.

Estas necesidades pueden ser interpretadas como perfiles que van dirigidos a ciertos sectores de clientes, ya que una de las ventajas de las redes satelitales es la versatilidad de atacar varios requerimientos en una misma red, es decir en una red satelital desplegada se podría tener los siguientes servicios:

- **Radiodifusión de TV (*Broadcast*):** pudiendo ser transmitidas programas de TV en calidades de *SDTV* y *HDTV*, con DVB-S2 (con retrocompatibilidad a DVB-S).
- **Servicios interactivos:** acceso total a Internet, con diferentes tasas pudiendo clasificarse desde servicio casero (*Home*) hasta pequeña y mediana empresa (*Professional Bussiness*) con un receptor/transmisor VSAT.
- **Aplicaciones profesionales:** generalmente se usa el estándar DVB-DSGN para enlaces de contribución, enlaces corporativos, enlaces para noticias, backhaul para Internet o telefonía celular (GSM⁷⁸, CDMA, LTE⁷⁹).
- **Distribución *Unicast*:** este apartado es solo para enviar contenidos en una sola dirección, es decir solo se recepta, para comerciales, y difusión de contenidos de índole informativa.

Una vez que se ha determinado los perfiles que comúnmente se utilizan en redes satelitales, se empieza a definir los criterios de diseño para la red a desplegar.

3.3.1. Criterios y replanteo de la red satelital

Los criterios para el diseño de red satelital son muy importantes, porque con cada uno de ellos se determina aspectos vitales dentro del diseño final anchos de banda, tasas de bits, diámetros de antenas, configuración de red, número de usuarios, tipos de servicios, etc.

Aplicación	Configuración de Red		
	Estrella		Malla
	Una Vía	Dos Vías	Dos Vías
Radiodifusión	√		
Red Corporativa (HUB En Corporación)	√	√	
VSAT (Red distribuida)		√	√
	Un Salto	Doble Salto	Un Salto
	250 ms*	500 ms*	250 ms*

* Retraso en la transmisión

Tabla.3-5. Tipo de configuración de la red y servicios que soporta.

La red a desplegar contará con servicio de voz/datos/video, conocido como **tripleplay**, como ejemplo inicial, se observa en la tabla 3-5, que se tiene el tipo de configuración de red satelital y el tipo de servicio que se acopla mejor a cada una de las configuraciones.

Se toma en cuenta los saltos que toma la transmisión, dato importante para el número de usuarios que puede soportar la red sin retrasos que afecte la calidad de las transmisiones interactivas.

3.3.2. Criterios de tipo de acceso a utilizar

⁷⁸ **GSM:** GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS, (estándar de comunicaciones móviles celulares en 2G y 3G en evolución UMTS)

⁷⁹ **LTE:** LONG-TERM EVOLUTION, (estándar del grupo 3GPP de la evolución 3G UMTS hacia redes celulares de arquitectura 4G)

Dentro de las redes satelitales, existen diferentes tipos de acceso al medio, y como se analizó en el capítulo primero, hay varias técnicas de acceso, en las que se destacan FDMA, TDMA y CDMA, sin embargo, ya en el diseño de una red se usan casos combinados de los posibles configuraciones a usar y las que se recomienda para el diseño final.

- **FDMA-TDMA Inbound / FDMA-MCPC Outbound:** para reducir la potencia del transmisor VSAT mediante la reducción de tasa de bits, una solución bastante elegante y práctica está en organizar VSAT por grupos o clústeres. Un grupo comparte la misma banda de frecuencia y acceso al transpondedor en modo TDMA. Cada clúster usa bandas diferentes de frecuencia, FDMA/TDMA combinado.

Dado un número N de VSAT en la red, y la capacidad por VSAT, la tasa de bits transmitida en la ráfaga del portador, y por lo tanto, la potencia de la portadora requerida se divide en G grupos (**clúster**). Del HUB al VSAT, se usa MCPC y en acceso FDMA al transpondedor satelital, esto reduce la tasa de bits transmitidos y por tanto la potencia de transmisión, consecuentemente, ofrece al administrador de la red, la posibilidad de gestionar redes VSAT en grupos independientes que compartan un núcleo común en ejecución.

En la figura 3-5 se puede visualizar la configuración basado en este acceso, lo que sin lugar a duda lo *hace flexible para desplegar y usar de manera eficiente los recursos limitados en segmento espacial y reducir costos en segmento terrestre, por lo que será el tipo de acceso para diseñar la red a estudiar, considerando la configuración estrella.*

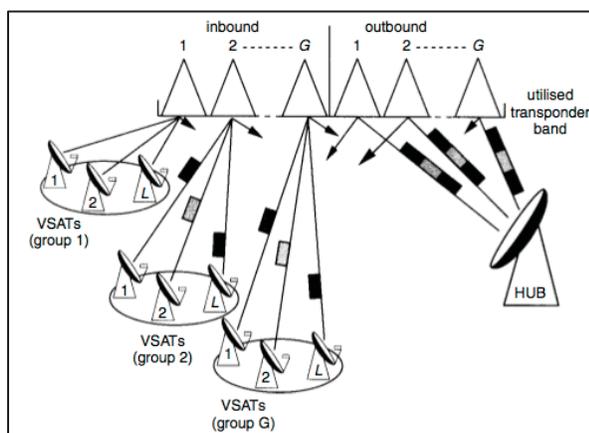


Fig. 3-5. La red en forma de estrella utilizando de entrada FDMA-TDMA combinado y un esquema de salida FDMA-MCPC. [2].

3.3.3. Criterios para análisis de retrasos

El tiempo de retraso significa el tiempo que toma un mensaje en ser transferido desde un usuario terminal a la computadora anfitrión o *host*. El retraso es una variable aleatoria, es común caracterizar su valor en función de su valor medio.

Muchas aplicaciones no están lo suficientemente listas para entrar en el diseño de una red VSAT basadas en el retraso promedio, especialmente aplicaciones en tiempo real, de esta manera vamos a dimensionar basándonos en el 95% o más del retraso total.

Para empezar con el análisis de retraso, se asume que cada usuario genera un mensaje basado en un proceso de **Poisson**⁸⁰, los mensajes son acumulados o guardados en las VSAT en un buffer de capacidad infinita, cada uno de estos paquetes tendrá una longitud

L , que dependerá del estándar usado y el tipo de aplicación y como se vayan segmentado en las diferentes capas del modelo TCP⁸¹ u OSI⁸².

- Los componentes principales de retraso en las VSAT se dan principalmente por:
 - Cola en la interfaz entre VSAT-Usuario.
 - Retraso en el procesamiento de paquetes en la VSAT.
 - Retardos inducidos por protocolos, en un caso con **acceso aleatorio**, que está a la espera de la retransmisión si una colisión sucedió, con **asignación de demanda**, que está a la espera de la asignación.
 - Tiempo para envío de mensajes, llamado tiempo de servicio, depende del tamaño de mensaje y la tasa de bits.
- Los componentes de retraso en el enlace satelital, son los que corresponde al tiempo de propagación de la portadora desde la estación terrena (HUB) y desde las VSAT, todas hacia el satélite.
- Los componentes de retraso en el HUB están determinados por:
 - Cola entre el interfaz entre HUB-Host.
 - Retraso en el procesamiento de paquetes en el HUB.
 - Tiempo de envíos de mensajes, llamado tiempo de servicio, el cual depende del tamaño del mensaje y tasa de bits.

Una vez determinado los diversos componentes que intervienen en los retrasos en el enlace total en la transmisión de datos, se puede deducir las ecuaciones según Maral [2], tanto para acceso tipo FDMA y TDMA:

- Ecuaciones para estimar el retraso en FDMA:

- Distribución exponencial de paquetes:

$$T_{FDMA} = T_p + \frac{1}{\frac{R_{FDMA}}{L} - \lambda} [sg] \quad (3.1)$$

- Distribución constante de paquetes:

$$T_{FDMA} = T_p + \frac{2 - \frac{\lambda}{\frac{R_{FDMA}}{L}}}{2 \cdot \left(\frac{R_{FDMA}}{L} - \lambda\right)} [sg] \quad (3.2)$$

⁸⁰ **Proceso de Poisson:** Un proceso de Poisson, también conocido como ley de los sucesos raros, es un proceso estocástico de tiempo continuo que consiste en "contar" eventos raros (de ahí el nombre "sucesos raros") que ocurren a lo largo del tiempo.

⁸¹ **TCP:** Descripción de protocolos de red, desarrollado en 1970 por V. Cerf y R. Kahn, consta de 4 capas para analizar dicho modelo.

⁸² **OSI:** OPEN SYSTEM INTERCONNECTION, (modelo descriptivo de red creado en 1980 por la ISO, consta de 7 capas)

$$k \text{ portadoras}, R = N \cdot k \cdot R_{FDMA}$$

T_{FDMA} : Tiempo promedio FDMA.

T_p : Tiempo de propagación.

R_{FDMA} : Tasa de bits en la portadora transmitida.

L : Longitud de un paquete en bits.

λ : Promedio de generación de paquetes, paquetes/portadora.

N : Numero de VSAT

- Ecuaciones para estimar el retraso en TDMA:

- Distribución exponencial de paquetes:

$$T_{TDMA} = T_p + \frac{1}{\frac{R_{TDMA}}{N \cdot L} - \lambda} - \frac{T_F}{2} + \frac{T_F}{N} [sg] \quad (3.3)$$

- Distribución constante de paquetes:

$$T_{TDMA} = T_p + \frac{2 - \frac{\lambda}{\frac{R_{TDMA}}{N \cdot L}}}{2 \cdot \left(\frac{R_{TDMA}}{L} - \lambda\right)} - \frac{T_F}{2} + \frac{T_F}{N} [sg] \quad (3.4)$$

$$R_{VSAT} = \frac{R_{FDMA}}{N}$$

T_{TDMA} : Retraso promedio TDMA.

T_p : Tiempo de propagación.

R_{TDMA} : Tasa de bits en la portadora transmitida.

L : Longitud de un paquete en bits.

λ : Promedio de generación de paquetes, paquetes/portadora.

N : Numero de VSAT

T_F : Tiempo de la trama.

3.3.4. Criterios para análisis de cálculos de enlace y capacidad de red

Se han determinado ciertos aspectos importantes para el diseño de red, como el tipo de acceso a usar, la asignación si es fija o de demanda, la topología o configuración física de la red, los retrasos en el sistema y por supuesto, los servicios que se van a ofrecer, entonces se puede empezar con los cálculos respectivos de enlace.

Consecuentemente, hay algunos **datos adicionales** que se necesitan para realizar el cálculo y que se irá enlistando a continuación:

- **Satélite:** EUTELSAT 113 WEST A, con cobertura continental en **banda Ku** y una potencia PIRE de 49 dBW ^[13], como se observa en la figura 3-6.
- **Ancho de banda del transpondedor:** Existen anchos de banda comerciales para los transpondedores satelitales que van desde los **33, 36, 46, 50, 54 y 72 MHz**.

- **Tasa de bits por portadora en modulador:** para el modulador se tiene una tasa máxima de 216 Mbps ^[14] por el equipo a usar para el diseño.
- **Tasa de bits por portadora en demodulador:** para el demodulador se tiene una tasa máxima de hasta 115 Mbps ^[15], de acuerdo al equipo a usar para el diseño.
- **Tasa de bits de recepción/transmisión modem profesional:** para el modem tipo profesional, especialmente diseñado para enlaces de contribución y MINIHUB, tiene tasas de transmisión y recepción de hasta 216 Mbps ^[16].
- **Diámetro de Antenas VSAT:** las antenas en banda Ku de tipo comercial están en los 0.74 y 0.98m, sin embargo, existen diámetros de antenas para estaciones MINIHUB desde los 1.2 m hasta 2.0 m que se va a usar para el estudio pertinente, ya que la gama es más completa y que varía según la región a usar ^[17].
- **Longitud de bits:** para aplicaciones profesionales tipo DVB-DGNS/S se usará una trama de 188 bytes, para aplicaciones en DVB-S2 ^[6] basados en su eficiencia espectral, se usará tramas de 64800 bits.
- **Roll-Off:** se considerará un 20% para el diseño, valor que soporta los equipos a usarse para el diseño.
- Los enlaces estarán calculados para una disponibilidad de al menos el **95%** de los emplazamientos (**menos de ese porcentaje el diseño no sería factible**) y probabilidad de desvanecimiento por lluvia que estén en el orden del **99.7%** y **99.9%** según la recomendación **ITU-R-REC-P.837.1** ^[18], en el caso del 99.7% se usará para banda Ka, mientras que el 99.9% corresponde a la banda Ku, en ambas cosas se aplica para radiodifusión y enlace de datos.
- Para los emplazamientos, se usará con una coordenada real y luego se aplicará una distribución normal (distribución gaussiana) de puntos alrededor del punto original, es decir se lo considera como una variable aleatoria que tiene su media y varianza y que se distribuirá según los parámetros sexagesimales de las coordenadas geográficas.
- La cantidad de estaciones remotas VSAT en la red para diseño inicialmente se propone la cantidad de 1000 unidades, pero al final del diseño esto podría variar.
- El tipo de tráfico que se va a utilizar para radiodifusión para TV es el siguiente:
 - Para **SDTV**, la tasa bits será: AVC: 2.2 Mbps o MPEG-2: 4.4 Mbps.
 - Para **HDTV**, la tasa de bits será: AVC: 9.0 Mbps o MPEG-2: 18.0 Mbps.
- El tráfico de datos para el diseño estará basado en el tipo de servicio o servicios a utilizar, por ejemplo, si se va a usar Internet, VoIP y Videoconferencia, para el caso de teleeducación y telemedicina, se deberá considerar los valores de la tabla 3-6, a continuación:

Parámetro	Valor	
Transacciones por segundo	0.03	
Longitud media de transacciones de y hacia la central	4000000	Caracteres/transacción
Overhead	15%	

Tabla.3-6. Resumen de valores para determinar el tráfico de datos para una estación VSAT.

Aplicando la siguiente fórmula, se obtiene:

$$Tasa = \left(0.03 \frac{\text{transacciones}}{\text{segundo}}\right) \cdot \left(4000000 \frac{\text{caracteres}}{\text{transacción}}\right) \cdot \left(8 \frac{\text{bits}}{\text{caracter}}\right) + 15\% = 1.1\text{Mbps}$$

Finalmente la tasa para cada usuario VSAT será de **1.1 Mbps**.

- La banda de frecuencias para Ku y Ka a utilizar, están estipuladas como se observa en la figura 3-7, para Uplink y Downlink, además se divide por regiones como se puede apreciar en la figura 3-8, México está en la región 1.

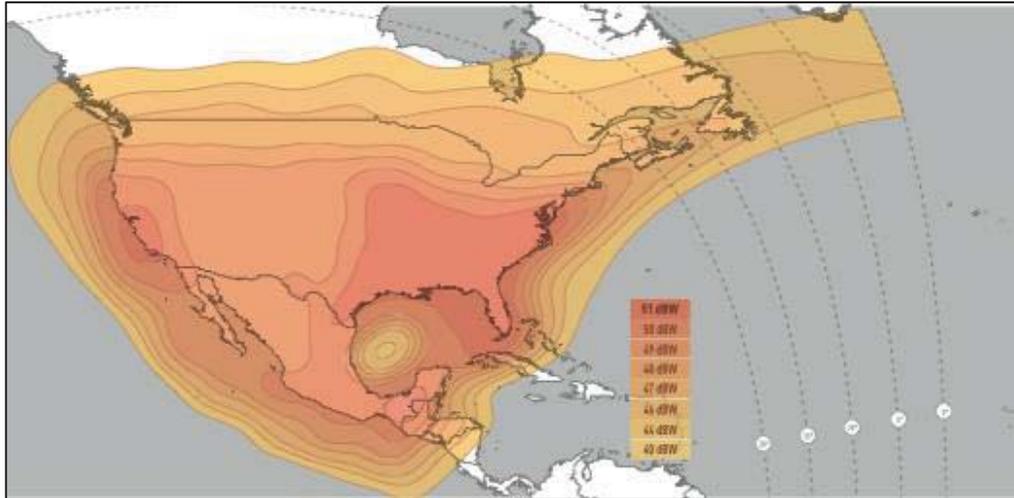


Fig. 3-6. Cobertura para enlace de bajada en banda Ku y curva de niveles por PIRE [13]

A continuación se empieza con las ecuaciones respectivas para el cálculo de los enlaces satelitales:

- **Distancia desde la estación remota al satélite:**

$$R = 42643.7 \sqrt{1 - 0.29577 \cdot \cos\phi \cos\delta} \text{ [Km]} \tag{3.5}$$

Donde:

ϕ : Latitud terrestre

δ : Longitud del punto terrestre - Longitud del satélite.

- **Cálculo para elevación:**

$$E = \tan^{-1} \left(\frac{\cos\Phi - \frac{R_e}{R_e + R_0}}{\sqrt{1 - \cos^2\Phi}} \right) \tag{3.6}$$

Donde:

R_e : 6378 Km

R_0 : 35786 Km

$\cos\Phi$: $\cos\phi \cos\delta$

- **Cálculo para Azimut:**

$$A = 180 - \tan^{-1} \left(\frac{\tan\delta}{\sin\phi} \right) \tag{3.7}$$

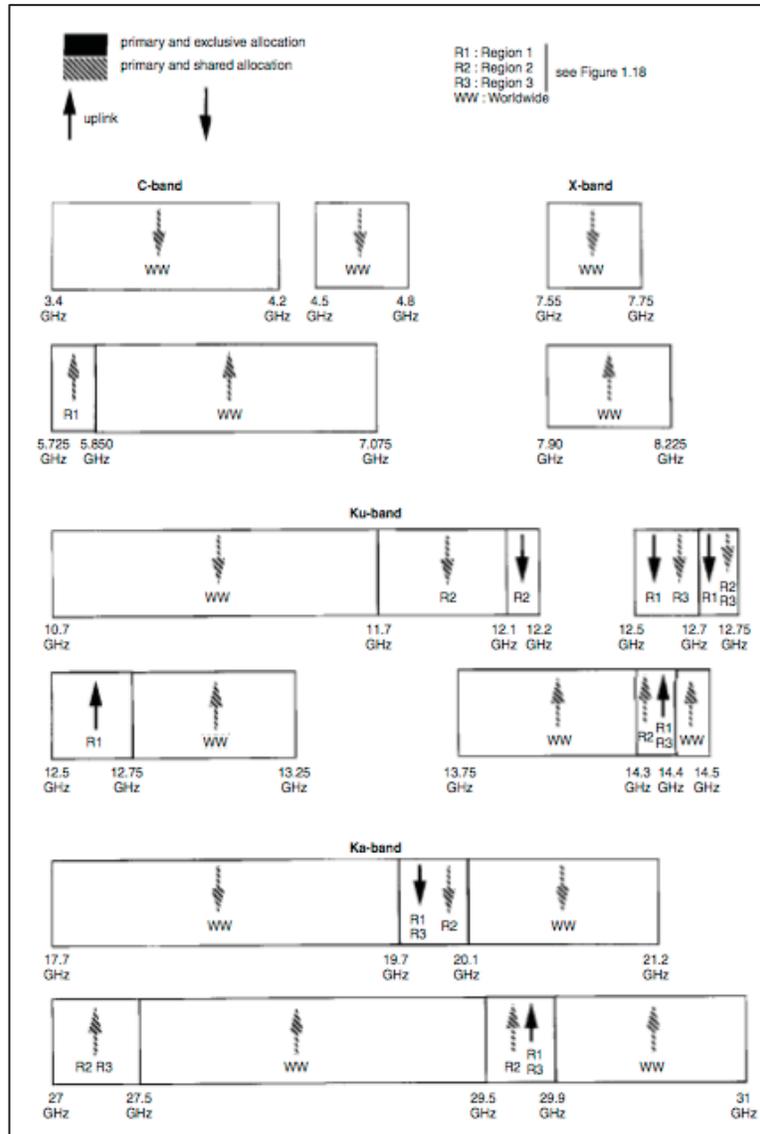


Fig. 3-7. Listado de frecuencias para usar en enlaces satelitales para diferentes bandas. [2]

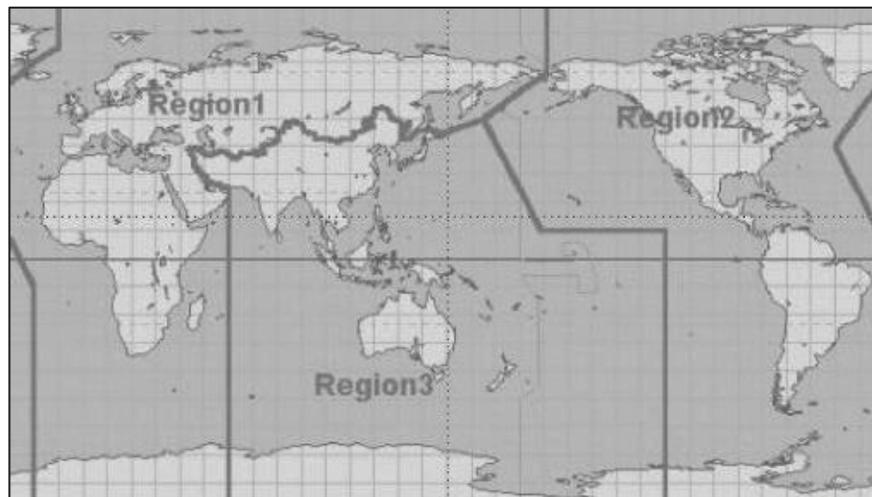


Fig. 3-8. Regiones 1, 2 y 3 para distribución de frecuencias satelitales. [2]

- **Cálculo para pérdida total por trayectoria enlace de bajada:**

$$PL_{Total} = PL + L_{aa} + L_{rain} \quad (3.8)$$

- **Cálculo para pérdida por trayectoria:**

$$PL = 20 \cdot \log_{10}[R(Km)] + 20 \cdot \log_{10}[f(Ghz)] + 92.44 \text{ [dB]} \quad (3.9)$$

- **Cálculo para pérdida por apuntamiento:**

$$L_{aa} = 0.07 \cdot \csc(Elevación) \text{ [dB]} \quad (3.10)$$

- **Cálculo para relación portadora a ruido descendente:**

$$\left[\frac{C}{N_0}\right]_{des} = PIRE_{sat} - PL_{Total} + \left[\frac{G}{T}\right]_{VSAT} - 10 \cdot \log_{10}(1.38 \times 10^{-23}) - P_{at} - P_{go} \quad (3.11)$$

Donde:

P_{at} : Pérdidas atmosféricas 0.1 [dB].

P_{go} : Pérdidas en las guías de onda 1 [dB].

- **Cálculo para ganancia de la antena receptora:**

$$G_r = \eta \cdot \left(\frac{\pi \cdot D \cdot f}{c}\right)^2 \quad (3.12)$$

$$Gr[dB] = 10 \cdot \log_{10} Gr \quad (3.13)$$

Donde:

D : Diámetro de la antena en metros

f : Frecuencia de operación en la antena, Hz.

c : Velocidad de la luz 3×10^8 m/sg.

- **Cálculo para temperatura del sistema:** se encuentra entre los 80°K hasta los 150 °K, generalmente por pruebas estadísticas se asume como 110°K:

$$Ts_{dB} = 10 \cdot \log_{10} Ts \quad (3.14)$$

- **Cálculo para figura de mérito G/T:**

$$\left(\frac{G}{T}\right)_{VSAT} = Gr_{dB} - Ts_{dB} - P_{go} - P_{pol} \quad (3.15)$$

Donde:

P_{pol} : Pérdidas por polarización, 0.1 [dB].

- **Cálculo para la potencia de recepción total:**

$$PR_{dB} = PIRE_{sat} + Gr_{dB} - PL_{Total} \quad (3.16)$$

- **Cálculo para la atenuación específica por lluvia:** para este cálculo se basa en la recomendación de la ITU, es decir se toma en cuenta las siguientes recomendaciones: ITU-R-REC-P.837.1^[18], ITU-R-REC-P.837.6^[19], ITU-R-REC-P.838.6^[20], recalando que se va a tomar una disponibilidad de los enlaces del 99.7% para radiodifusión por TV y del 99.9% para comunicaciones de datos, debido a la intensidad de lluvia excedida:

$$\gamma_R = k \cdot R^\alpha, \left[\frac{dB}{Km} \right] \quad (3.17)$$

Donde:

k, α coeficientes que dependen de la frecuencia para estimar la atenuación específica debido a la lluvia, puede ser para polarización vertical u horizontal, (cuadro 5)^[20].

R: Intensidad de lluvia excedida (mm/h), se obtiene del (cuadro 1) ^[18], México está en las zonas M, N y E

- **Cálculo para la distancia que recorre el enlace de RF en lluvia:**

$$d = \frac{h}{\sin\theta} \quad (3.18)$$

Donde:

h: es la altura efectiva para la zona del Valle de México en lluvia, se determina mediante curvas de nivel, altura aproximada que varía entre los 4.5-6Km, ITU-R-REC-P.839-3^[21].

θ : Angulo de elevación de la antena, puede ser de la estación remota VSAT o de la estación terrena, depende desde donde se realice el cálculo.

- **Cálculo para la atenuación total por lluvia:**

$$L_{rain} = \gamma_R \cdot d [dB] \quad (3.19)$$

- **Cálculo para la capacidad de usuarios VSAT:** para este cálculo se debe tomar en cuenta que el factor de cantidad de usuarios, está determinada por el throughput que puede alcanzar el modulador, es decir se limita por la capacidad de la portadora, en algunos casos, para calcular la cantidad de usuarios en una red VSAT lo hacen mediante la eficiencia espectral, pero se estaría suponiendo que el transpondedor es infinito, y esto en la práctica no es real, por lo tanto, se debe tomar en cuenta tanto la capacidad portadora Outbound como Inbound para determinar la cantidad de usuarios.

Para el diseño se tiene que la portadora Outbound (HUB – Satélite – VSAT) tiene una capacidad de hasta 216 Mbps, y gracias a TDMA se puede ocupar para ambos servicios la misma capacidad, es decir:

Para datos: 216 Mbps.

Para radiodifusión: 216 Mbps.

Ahora este cálculo se sectorizará, es decir se hará mediante clúster, debido a que es una solución muy eficiente, ya que permite realizar el reúso de frecuencias, esto sin duda permite crecer en número de usuarios VSAT en la red, es decir la red se vuelve escalable gracias a las técnicas de acceso propuestas.

Entonces, el cálculo se deduce para radiodifusión usando SDTV a 2.2 Mbps:

$$\frac{216 \text{ Mbps}}{2.2 \text{ Mbps}} = 98,1818 \approx 98 \text{ usuarios}$$

El cálculo para datos, tomando en cuenta al throughput por VSAT calculado a 1.1 Mbps:

$$\frac{216 \text{ Mbps}}{1.1 \text{ Mbps}} = 196,364 \approx 196 \text{ usuarios}$$

Estos valores sin duda variarán al final excepto si se usara codificación constante y no lloviera, que prácticamente sería los valores de los cálculos iguales a los valores en la realidad, sin embargo, en la actualidad se usan varias técnicas como la modulación adaptativa y modulación variable, que se acoplan a las condiciones del medio, lo que le vuelve dinámico, eficiente y procura que no se pierdan los enlaces, generalmente para transmisiones de alta fidelidad. Quizás en lo que a radiodifusión se refiere, en la actualidad se sigue usando DVB-S, por lo que su codificación es constante, pero para transmisiones de datos, como enlaces de contribución, servicios profesionales, para mediana y grandes empresas, la alta fidelidad es requerida, por lo que las técnicas más actuales se encuentran a disposición.

Para los enlaces Inbound (VSAT-SATELITE-HUB) hay varias técnicas que se puede usar, empezando por el Inbound individual, retorno terrestre, retorno hacia un MINIHUB, todas estas alternativas variarán por el costo, número de usuarios, disponibilidad y a que segmento del mercado va dirigido los productos y servicios de telecomunicaciones.

- **Datos para cálculos de enlaces en banda Ka:** a continuación se pone a consideración datos necesarios para realizar cálculos en banda Ka:
 - **Ancho de banda del transpondedor:** 500 MHz (4x125 MHz)
 - **Cada haz (beam):** 125 MHz (90 Msimbolos/s).
 - **Diámetro antena HUB:** 4.5 m.
 - **HPA:** 120 dBW.
 - **PIRE/portadora:** 74 dBW.

- **Diámetro antena VSAT:** 0.75 m.
- **G/T VSAT:** 16.5 dB/K.

Finalmente, todos los criterios, consideraciones y cálculos necesarios para realizar nuestro diseño, servirá para el desarrollo de la plataforma de simulación realizada en MATLAB®, basado en C++, en donde el detalle del código se tendrá en el ANEXO 1.

3.3.5. Gestión de red satelital para radiodifusión y backbone de datos, Networking

La gestión de red, se basa en como destinar el flujo de datos en la red, es decir, como se va a repartir la información para cada uno de los destinos de nuestra red. Para cumplir este objetivo, todo este manejo viene a partir del **NOC**⁸³, en donde a través de enrutadores y conmutadores programables, se podrá realizar la gestión de la información para su destino, es decir todo el Networking de la red.

A manera de ejemplo, si se considerara 3 aplicaciones diferentes, donde 250 Mbps son transmitidos desde el HUB a tres diferentes estaciones remotas (pudiendo ser éstas MINHUB), y reciben 100 Mbps, 80 Mbps y 70 Mbps respectivamente, finalmente cada estación remota VSAT transmite de regreso 25 Mbps hacia el HUB, como se puede apreciar en la figura 3-9.

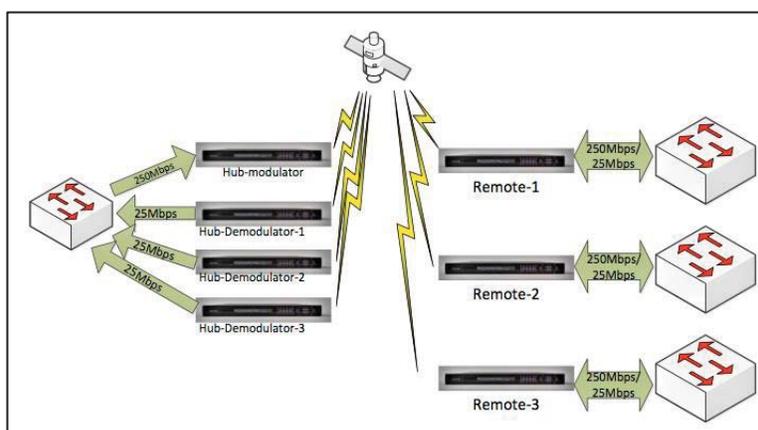


Fig. 3-9. Configuración Punto - Multipunto. [22].

El caso que se observa, lleva consigo los siguientes inconvenientes:

- **Incumplimientos de seguridad:** todos los sitios remotos reciben 250 Mbps, donde cada estación remota debe recibir su propia tasa de bits, lo que ocasiona que al recibir toda esa tasa, queda vulnerable la información que no es para esa estación.
- **Modem de altas tasas de bits, MODEM GbE**⁸⁴: se debe usar MODEM de altas capacidades ya que está recibiendo tasas de 250 Mbps, pero solamente estará manejando tasas menores a ese valor (100, 80 y 70 Mbps respectivamente).
- **Todas las estaciones deben estar configuradas al mismo MODCOD:** la trama de datos no puede distinguirse para cada estación remota, y esto lo que ocasiona es una baja utilización del segmento espacial, la estación remota con condiciones más complejas (baja recepción por atenuación por lluvia) entrará en un cuello de botella

⁸³ **NOC:** NETWORK OPERATION CENTER: Centro de operaciones de red, se encuentra en el HUB y proporciona interconectividad e interoperabilidad con el backbone internacional, ISP, PSTN, etc.

⁸⁴ **GbE:** Abreviación de Gigabit para el estándar Ethernet, 1000 Mbps es su tasa de transmisión.

por las peticiones de retransmisión de su trama de datos, y determinará el MODCOD para el resto de las estaciones.

Para resolver estos inconvenientes, se sugiere gestionar la red a manera de VLAN⁸⁵, en capa 2 (L2) y enrutamiento en capa 3 (L3).

La configuración de **L2 VLAN SWITCHING**, resuelve los inconvenientes suscitados en la configuración de la figura 3-9. Gracias a este modo de operación, el administrador de la red necesita definir las estaciones remotas, y entonces se puede asignar una etiqueta VLAN diferente para cada estación remota. Muchas VLAN pueden ser asignadas a una sola estación remota, pero solo una estación remota podrá estar asignada a una determinada red VLAN.

Con este modo de operación en Networking, se puede configurar cada estación con un diferente MODCOD, esto lógicamente optimiza el segmento espacial y se da paso para poder usar los enlaces en modo ACM y VCM.

Gracias al etiquetado VLAN, se logra mayor seguridad, ya que cada MODEM filtrará únicamente los paquetes de información que esté con las etiquetas VLAN asignadas a su estación y autorizadas a dejar pasar a su subred. En la figura 3-10, se aprecia la configuración punto – multipunto usando VLAN.

Desde que el HUB consiste en una base de modulador y demoduladores, una configuración de agregación es requerida en el SWITCH ETHERNET del HUB, para asegurar o garantizar la asignación correcta de puerto para la transmisión de datos y recopilación de los mismos en un solo puerto, como se puede observar en la figura 3-11.

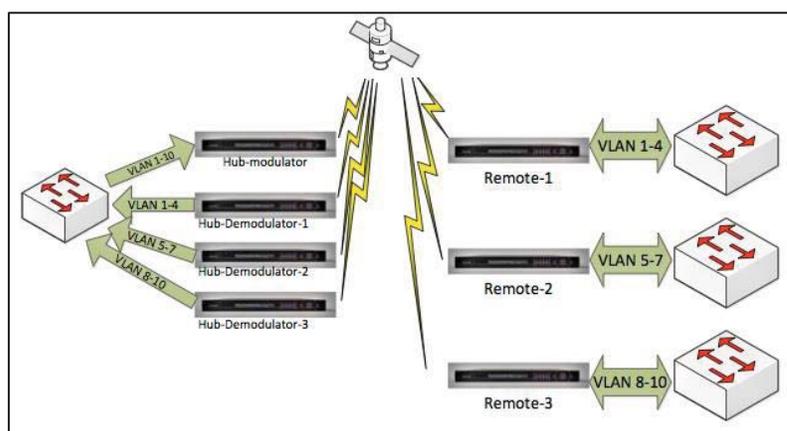


Fig. 3-10. Configuración Punto – Multipunto, con VLAN Networking. [22].

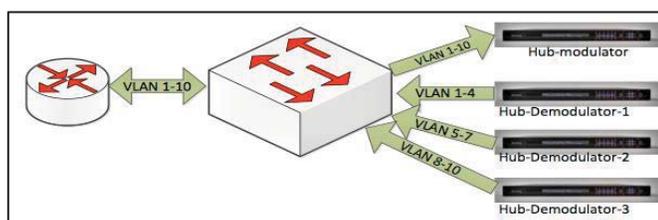


Fig. 3-11. Configuración de agregación Router – Switch, VLAN Networking. [22].

⁸⁵ **VLAN:** VIRTUAL LOCAL AREA NETWORK, (Red de Área Local configurada de manera virtual, de manera lógica e independiente dentro de una misma red física)

A continuación en la tabla 3-7, se coloca un resumen de cada enlace con etiquetado VLAN del ejemplo anterior.

Destino/Outbound	Tasa de bits [Mbps]	VLAN	MODCOD
Remote-1	100	1-4	8PSK 2/3
Remote-2	80	5-7	QPSK 1/4
Remote-3	70	8-10	16APSK 2/3
Destino/Inbound	Tasa de bits [Mbps]	VLAN	MODCOD
Demodulador-1	25	1-4	8PSK 3/4
Demodulador-2	25	5-7	8PSK 3/4
Demodulador-3	25	8-10	8PSK 3/4

Tabla.3-7. Resumen de configuraciones VLAN para los enlaces del ejemplo. [22]

Finalmente, teniendo en cuenta la sugerencia para Networking en capa 2, se usará VLAN para el diseño a realizar, separando redes mediante esta técnica de optimización.

3.3.6. Consideraciones para el diseño de última milla de comunicaciones

Para determinar el tipo de acceso final ya al usuario final, la gama de posibilidades es muy amplia, ya que existen diferentes soluciones, pero todo se determinará por el tipo de servicio que se ofrece.

En el caso de la **radiodifusión** de TV, la opción más usada y versátil es la del equipo receptor satelital por usuario, es decir la antena VSAT receptora más el decodificador de señal, lo cual es la opción más recomendable. Sin embargo también existe la posibilidad de tener una estación remota VSAT de tipo MINIHUB y distribuir la señal mediante red coaxial, usando el estándar DVB-T, lógicamente, esto aumenta considerablemente el costo del despliegue de la red, *por lo que en lo que ha radiodifusión se refiere, se mantendría la idea original con el equipo receptor satelital.*

La situación difiere en lo que ha comunicaciones de datos se refiere, puesto que aquí dependerá mucho de los costos tanto de equipos, uso de segmento espacial y al segmento de mercado que va dirigido el servicio.

Con el rápido crecimiento de las comunicaciones inalámbricas a nivel mundial, las demandas de servicio de voz y datos también se han incrementado, especialmente en zonas de difícil acceso, especialmente sectores donde las redes terrestres no tienen cobertura.

Existe una fuerte correlación entre el índice de penetración y el crecimiento de ingresos económicos de las empresas operadoras de servicios de telecomunicaciones, equitativamente tanto para zonas urbanas como rurales. Un estudio de la ITU, que se ilustra en la figura 3-12, muestra el crecimiento de subscriptores de acceso a servicios de banda ancha, tanto inalámbricas como fijas por cada 100 habitantes, en los continentes señalados, como se observa África, Asia y el Pacífico, Estados Árabes y Comunidad de Estados Independientes (CIS) son regiones que están bajo el promedio mundial, lo que significa una oportunidad de crecimiento en el sector de telecomunicaciones.

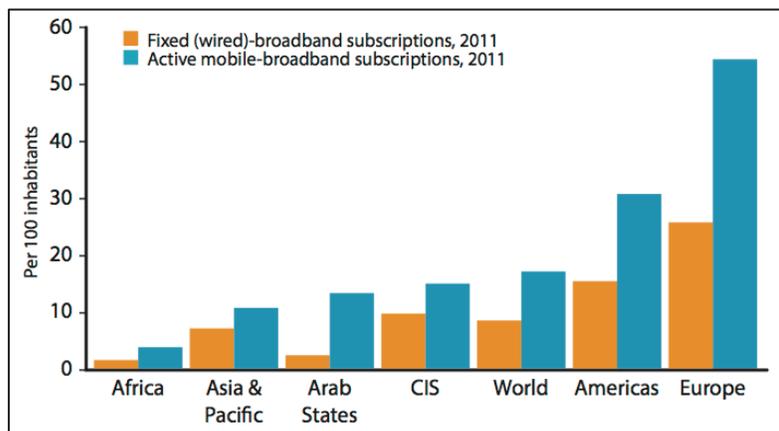


Fig. 3-12. Estimado por regiones para el número de subscriptores por cada 100 habitantes. [23]

A pesar de lo anterior, los servicios móviles presentan una serie de retos en el despliegue de su infraestructura de calidad en zonas de difícil de acceso, situación que no se presentan en zonas urbanas de alta densidad.

Esto no es un dato menor, puesto que las operadoras necesitan reducir sus costos de backhaul, que generalmente son altos, debido a que malas soluciones de ingeniería se traducirán en el aumento de costo operacional, reducción de ingresos y clientes insatisfechos. Por todo lo anterior, se debe hacer un análisis serio de integración de las tecnologías de acceso para la optimización de toda la infraestructura, para que resulte rentable y viable para las compañías ya revertida en temas de ingresos.

Una alternativa es integrar la red celular convencional, (pudiendo ser esta de GSM/LTE/CDMA y que dependerá de que tecnología use el operador), con un backhaul satelital como se observa en la figura 3-13, en donde es una solución de fácil despliegue de infraestructura para nuevos servicios de telecomunicaciones para zonas de difícil acceso (transferencia de datos, acceso a internet, telefonía, etc.).

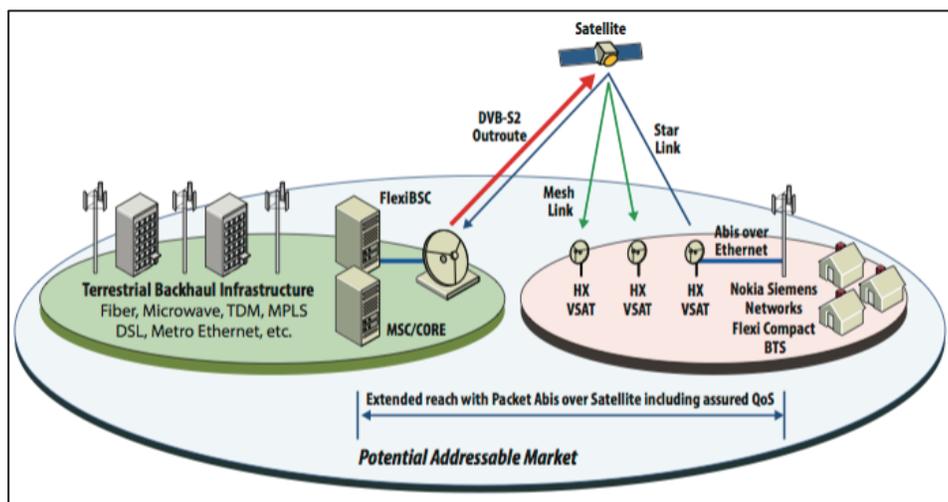


Fig. 3-13. Red de acceso por radio (RAN) con backhaul satelital. [23]

Con este tipo de integración de infraestructura, se tiene las siguientes ventajas:

- Diseño simplificado y compacto.
- Asignación de ancho de banda dinámico y características flexibles de QoS⁸⁶.
- Consumo de energía bajo, lo que puede ayudar a usar energía renovable en caso de no tener disponible, redes eléctricas convencionales.
- Uso eficiente de los recursos de la red.
- Conmutación local.
- Diseño de backhaul de alta calidad.
- Baja latencia.
- Fácil implementación en cualquier zona, debido a la cobertura de grandes áreas por parte del satélite (cobertura continental).

Los inconvenientes que se presentan para este tipo de redes son las siguientes:

- El costo de las estaciones base (*BS⁸⁷: Base Stations*) son elevados, y aumentará dependiendo la tecnología usada, siendo LTE la más cara en la actualidad, y también si no existe redes eléctricas convencionales, el costo se incrementa al tener que usar dispositivos como paneles solares/dispositivos eólicos para la alimentación.
- En cuanto a la concesión para operar en las bandas de frecuencia asignadas para GSM/LTE/CDMA, cada operadora celular no tendría problema en aumentar su infraestructura, el inconveniente radicaría en que una empresa nueva quiera iniciar en el negocio, por lo que los precios se dispararían, ya que aparte del uso de segmento espacial para el satélite, también sumarle el costo de concesión de frecuencia de uso celular, por lo que esta solución es aplicable para empresas operadores establecidas de telefonía celular que desean expandir su mercado.
- Otra alternativa podría ser el usar CDMA 450MHz, en el cual no se necesita pagar por la patente como lo es CDMA 1x/2000 a *Qualcomm*, pero también el costo de las estaciones base es elevada, por lo que se necesita replantear otra solución más viable y de rápida implementación.

La propuesta presentada, es una excelente opción pero que ***es viable más para extender la infraestructura a operadores de servicio de telefonía y datos celulares establecidos y con segmentos de mercado fijos.***

Volviendo al caso de estudio, la propuesta inicial, es dotar de servicio de internet y datos a zonas de difícil acceso, pudiendo ser rurales, urbano-marginales, e inclusive zonas urbanas para el despliegue de redes para enlaces profesionales o de contribución, pero la intención es desplegar una solución económica y de fácil implementación.

Una opción es dotar de una antena VSAT y un modem satelital para cada usuario, solamente que el costo del equipo es alto, y la renta mensual también es un poco elevada, sin embargo esta solución es la más rápida, y se podría usar para zonas bastante aisladas, aparte que está dirigida para un sector de mercado medio-alto y alto.

La opción para redes de contribución y enlaces profesionales, estaría integrada por estaciones VSAT de características MINIHUB, son soluciones de alto costo, pero también

⁸⁶ QoS: QUALITY OF SERVICE, (Acrónimo de calidad de servicio)

⁸⁷ BS: BASE STATIONS, (Acrónimo de Estaciones Base)

de altas prestaciones, ya que son prácticamente enlaces con anchos de banda dedicados, por lo que están dirigidos a un segmento de mercado de nivel alto y profesional.

Finalmente, para zonas rurales, aisladas en cuestión de ordenamiento territorial, y que generalmente viven en comunidades de 30 a 100 familias o más, hay una opción de muy bajo costo, rápida implementación y alta escalabilidad y es usar enlaces de **radio en la banda de 2.4 GHz WLAN⁸⁸**.

Aprovechando que en esas zonas es casi nula la contaminación en esa banda de frecuencia, ya que al no ser licenciada y de libre uso (banda ISM⁸⁹) no tiene costo por uso del espectro de frecuencia **siendo la opción más conveniente para una zona rural y que está dirigido a un sector del mercado de nivel de escasos recursos, e inclusive podría ser subvencionado como ayuda social por parte del Estado.**

Una red de este tipo, usando una BS WLAN 2.4 GHz, y cada usuario final un radio receptor/transmisor, enlaces punto-multipunto, se ilustra en la figura 3-14.

Se tiene un abanico de posibilidades para escoger la tecnología de última milla para los usuarios finales, la factibilidad **dependerá tanto de su funcionamiento, tipo de aplicación y su costo**, eso se determinará una vez que se haga el estudio pertinente, con cálculos, simulaciones y el costo de la implementación

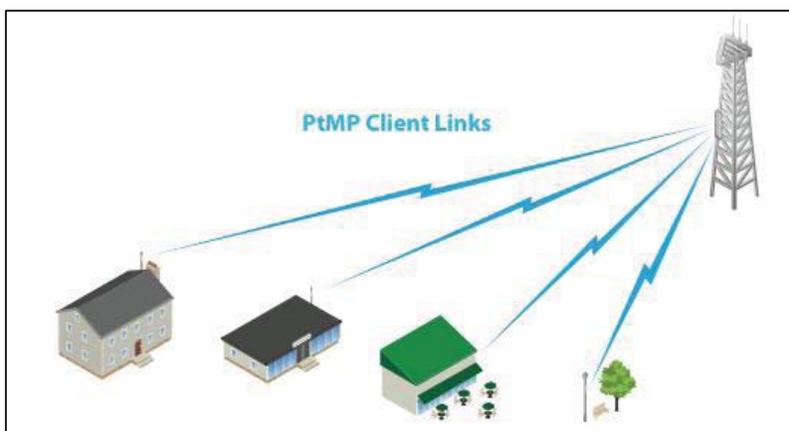


Fig. 3-14. Enlace punto a multipunto, con última milla basada en enlace WLAN 2.4 GHz, la salida de datos se hace a través de la BS con comunicación VLAN al MINHUB correspondiente. [24]

En las figuras 3-15 y 3-16 se tendría finalmente una red satelital de múltiples servicios, demostrando la versatilidad y la facilidad en la implementación de redes basadas en satélites de comunicaciones.

En la figura 3-15 se ilustra una red satelital con topología malla, en la cual tiene varias estaciones remotas, basado en Networking IP, transferencia de datos, VoIP⁹⁰, la ventaja de esta topología es evitar el doble salto para comunicarse entre remotas, lo que le vuelve más eficiente, pero costosa en temas de uso de segmento espacial.

⁸⁸ **WLAN:** WIRELESS LOCAL AREA NETWORK, (Red de Área Local con acceso Inalámbrico flexible mediante RF)

⁸⁹ **Banda ISM:** INDUSTRIAL, SCIENTIFIC AND MEDICAL: Banda de frecuencias para uso no comercial, no se necesita licencia para su operación, respetando los niveles de potencia, usan mecanismo de protección contra interferencias y usan técnicas de espectro ensanchado.

⁹⁰ **VoIP:** VOICE OVER INTERNET PROTOCOL, (Transporte de voz paquetizada digitalmente a través de protocolos de Internet)

CAPITULO 4:

SIMULACIONES DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN SATELITAL

4.1. Simulaciones de la red satelital de comunicaciones

Con los análisis, criterios, cálculos y realización de algoritmos en lenguaje de programación, basado en C++ de MATLAB® de la sección anterior, se procede a simular cada uno de los parámetros establecidos, tanto para banda Ku⁹¹ y banda Ka⁹².

Para la mejor apreciación de los resultados, se ha dividido las simulaciones por secciones, con el objetivo de organizar mejor la información que se obtiene después de realizar las simulaciones.

4.1.1 Simulaciones para obtención de eficiencia espectral

Para la obtención de una tabla de eficiencia espectral simulada y que sea útil para los algoritmos de simulación posteriores, se ha creado un modelo basado en SIMULINK® de MATLAB®, como se conoce, es un modelo gráfico, y se ha hecho a partir de la unión de dos modelos predefinidos, basados en *DVB-S2* y *RF Satellite*.

Lo que se ha realizado es unir los dos modelos y crear uno solo, como se observa en la figura 4-1, este modelo esta simplificado, se puede observar que se realiza una transmisión de información desde un satélite hacia una estación remota VSAT, se ha medido (E_b/N_0) y a partir de ahí se ha calculado la eficiencia espectral que se la compara con la eficiencia espectral teórica DVB-S2.

En el modelo creado, se tiene algunas limitaciones, como no poder establecer un tasa de bits variable, también se tienen MODCOD únicamente entre QPSK y 8PSK con diferentes FEC, pero sin embargo, son útiles al momento de calcular la eficiencia espectral simulada.

Para poder apreciar de manera detallada todo el funcionamiento del modelo presentado, se puede remitir al **ANEXO 2**, donde esta todos los bloques que intervienen en el modelado.

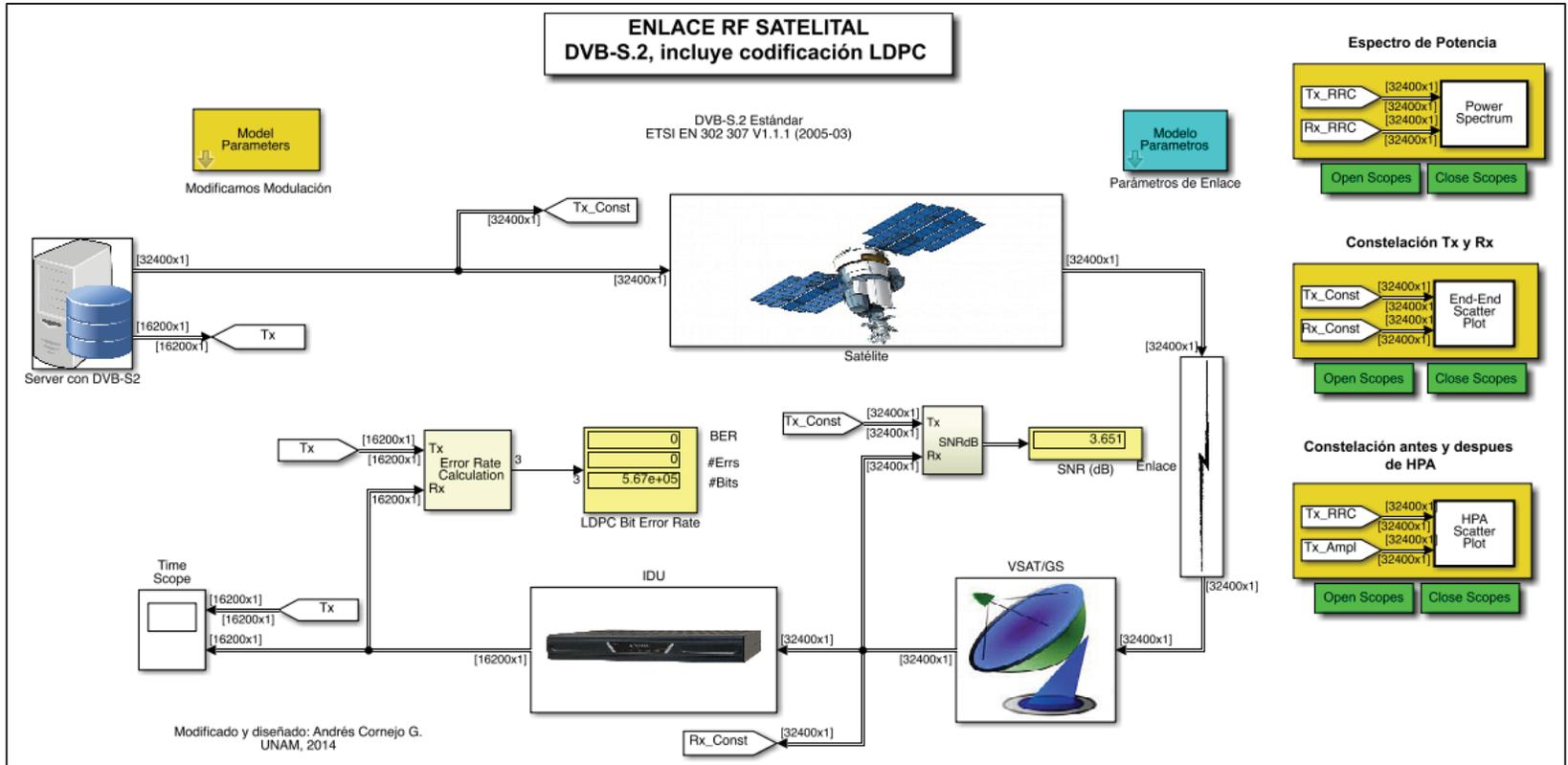
Para empezar con las simulaciones, se localiza al bloque de “*model paramters*” de color amarillo, y se puede elegir el tipo de modulación, se empezará con QPSK 2/5, se arranca la simulación, en la figura 4-2 se observa la constelación que se está yendo a transmitir por el sistema de comunicaciones, se visualiza la constelación QPSK.

Mientras en la figura 4-3, se ilustra la misma constelación, pero luego de pasar por el amplificador de alta potencia (HPA) el cual sirve para que la información a transmitir pueda soportar el canal de comunicaciones a través del espacio libre y la distancia, lógicamente como se observa en dicha figura, la amplitud de cada símbolo es mayor que la que se muestra en la figura 4-2.

⁹¹ **Banda Ku:** Banda de frecuencias comprendida entre los 11 a 18 GHz, especialmente usado para transmisiones satelitales

⁹² **Banda Ka:** Banda de frecuencias comprendida entre los 18 a 31 GHz, especialmente usado para transmisiones satelitales

Fig. 4-1. Modelo simplificado de una transmisión satelital hacia una estación remota VSAT basado en el estándar DVB-S2.



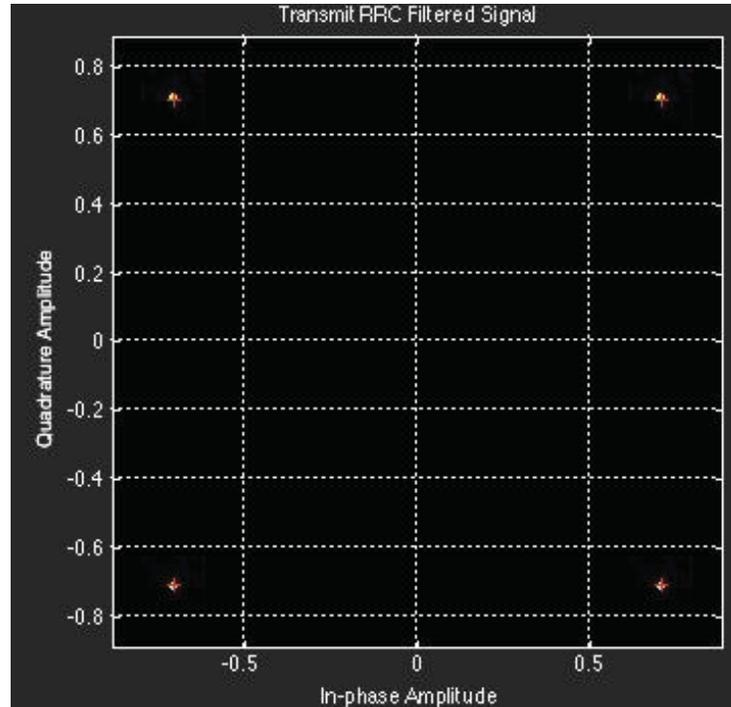


Fig. 4-2. Información en modo de constelación QPSK antes de pasar por el HPA.

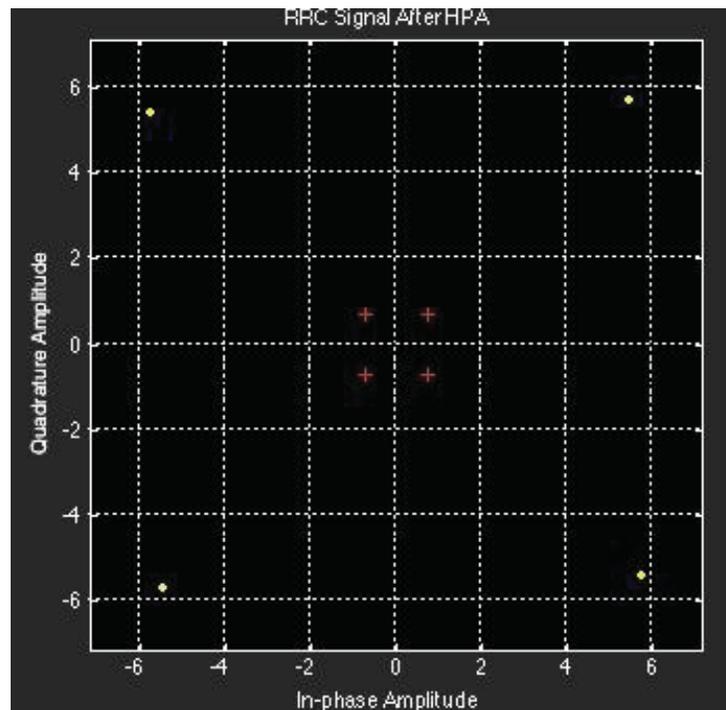


Fig. 4-3. Información en modo de constelación QPSK después de pasar por el HPA, donde se nota una ganancia en amplitud.

Se visualiza a continuación la información que se transmite y recibe en forma de constelación QPSK, en la figura 4-4 se visualiza una constelación a la salida del modulador, aún no interviene parámetros como canal ruidoso, pérdidas por trayectoria y demás pérdidas adicionales, sin embargo si se mira la recepción de la información en

la figura 4-5, se ilustra como varía los símbolos por los factores de pérdida especialmente indicados anteriormente, pero al estar con un $Pe=1 \times 10^{-7}$, existe una buena probabilidad de que se reciban los datos correctamente, con los elementos de decisión tanto de los módulos LDPC y BCH.

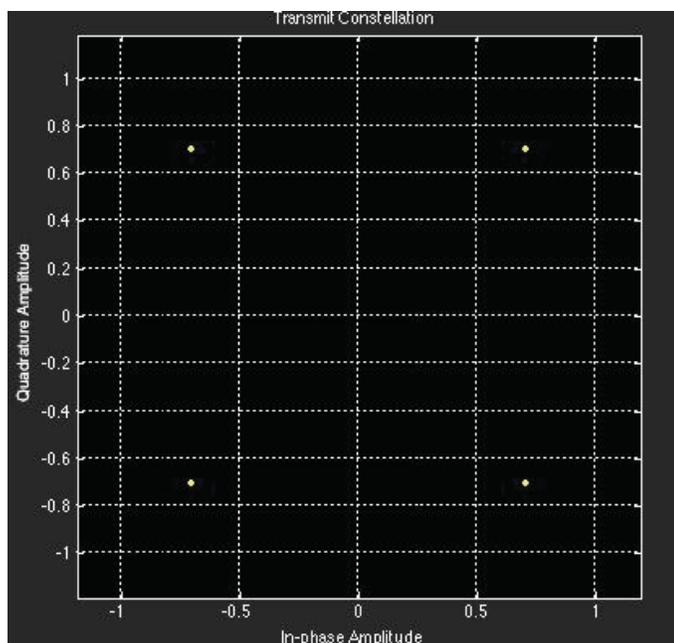


Fig. 4-4. Constelación antes de ser transmitida.

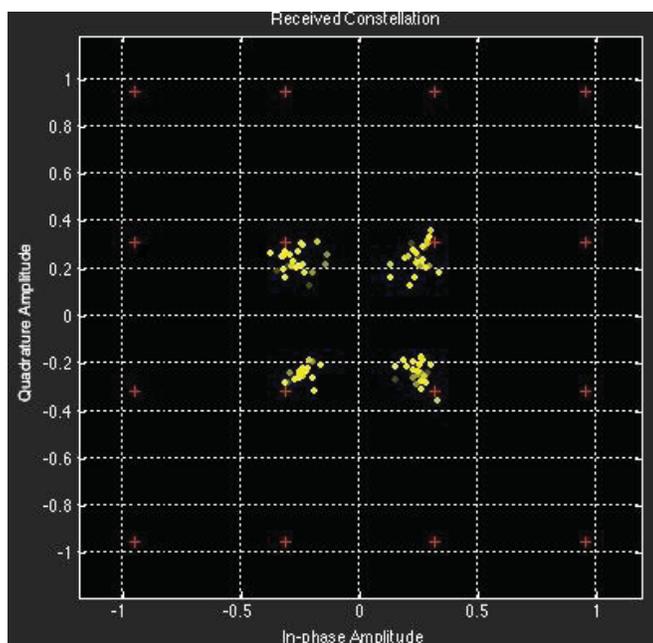


Fig. 4-5. Constelación recibida, con símbolos que varían por parámetros propios por la transmisión.

Las figuras 4-6 y 4-7, ilustran lo presentado anteriormente con la diferencia que se ha cambiado el MODCOD de QPSK 2/5 a 8PSK 3/4, y se aplica el mismo criterio anterior, ya que son parámetros que intervienen en toda la transmisión satelital y los equipos y

sistemas deben ser los más robustos posibles para poder recibir la información de la manera más prolija y con un P_e muy baja.

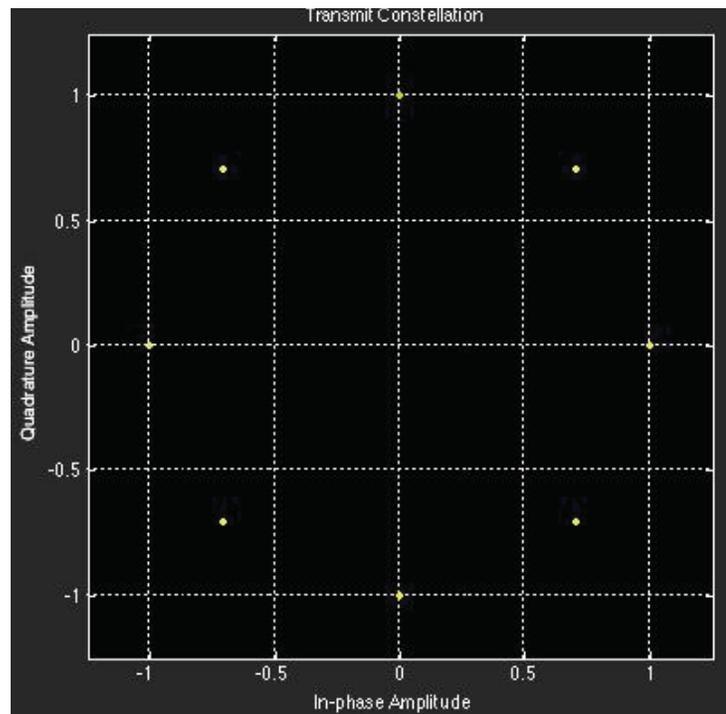


Fig. 4-6. Constelación transmitida, por la disposición de los símbolos es 8PSK.

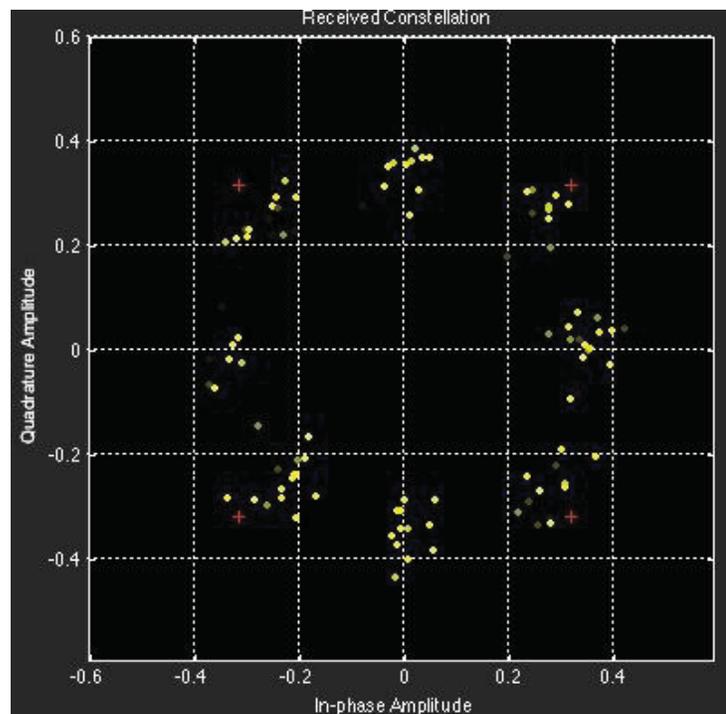


Fig. 4-7. Constelación recibida, 8PSK

En la figura 4-8 se compara los datos que se envían con los que se reciben, por lo que se comprueba que es una transmisión exitosa.

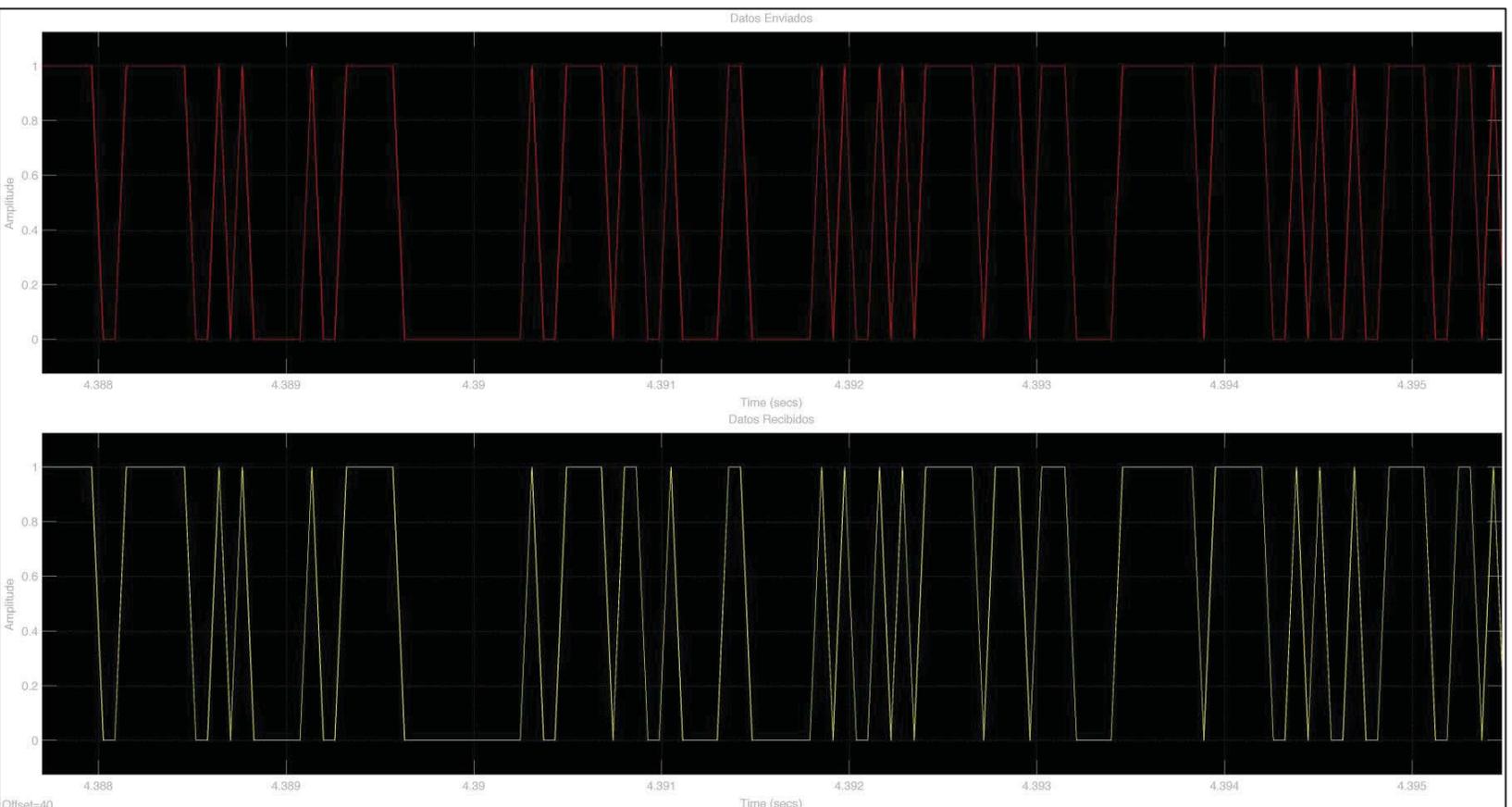


Fig. 4-8. Comparación gráfica de datos enviados y datos recibidos.

En la figura 4-9 se hace una medición de espectro de frecuencia del ancho de banda utilizado para la simulación, es decir la porción de ancho de banda usado para enviar y recibir la información.

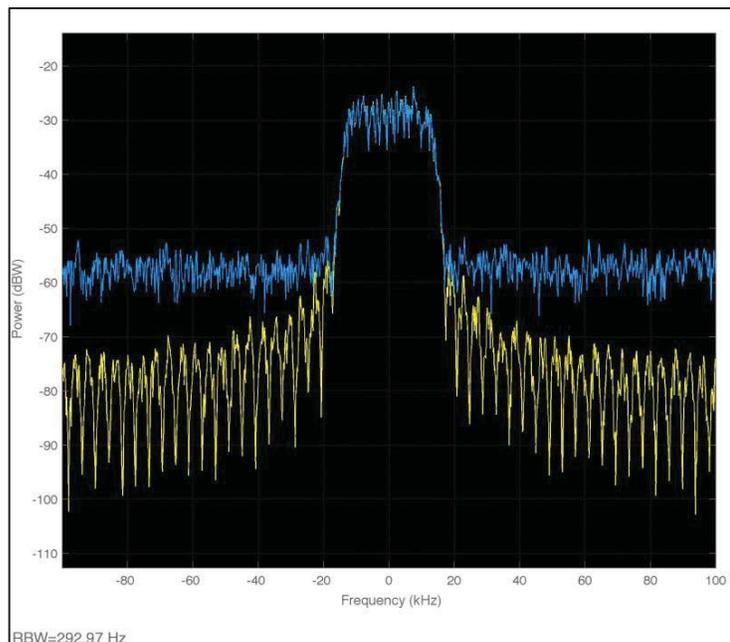


Fig. 4-9. Medición de espectro del ancho de banda utilizado para la simulación.

En la tabla 4-1, se muestra los valores simulados de (E_s/N_0) que conforman el nuevo valor de umbral para la eficiencia espectral teórica, en pocas palabras con la simulación realizada en el modelo de Simulink®, se obtiene nuevos parámetros (E_s/N_0) para utilizar en los algoritmos, si se analiza por cada MODCOD no hay mucha diferencia entre los valores simulados y teóricos, por lo que es una aproximación bastante buena entre el estándar publicado DVB-S2 y la simulación realizada.

Como se explicó anteriormente, no se poseen módulos 16APSK y 32APSK en el SIMULINK®, por lo que la información simulada en esos MODCOD se los obtiene de una hoja de datos de equipos NEWTEC/2263^[26].

MODCOD	Eficiencia Espectral Teórica [Bits/Sec/Hz]	Ideal Es/No (dB) FECFRAME Length = 64800	Eficiencia Espectral [Bits/Sec/Hz]	Umbral Simulado Es/No (dB) FECFRAME Length = 64800
QPSK 2/5	0.789412	-0.30	0.789412	0.50
QPSK 1/2	0.988858	1.00	0.988858	1.00
QPSK 3/5	1.188304	2.23	1.188304	2.80
QPSK 2/3	1.322253	3.10	1.322253	3.50
QPSK 3/4	1.487473	4.03	1.487473	4.35
QPSK 4/5	1.587196	4.68	1.587196	4.85
QPSK 5/6	1.654663	5.18	1.654663	5.40
QPSK 8/9	1.766451	6.20	1.766451	6.70
8PSK 3/5	1.779991	5.50	1.779991	7.00

8PSK 2/3	1.980636	6.62	1.980636	7.45
8PSK 3/4	2.228124	7.91	2.228124	8.60
8PSK 5/6	2.478562	9.35	2.478562	10.30
8PSK 8/9	2.646012	10.69	2.637201	10.50
16APSK 2/3	2.637201	8.97	2.646012	11.50
16APSK 3/4	2.966728	10.21	2.966728	11.50
16APSK 4/5	3.165623	11.03	3.165623	12.05
16APSK 5/6	3.300184	11.61	3.300184	13.00
16APSK 8/9	3.523143	12.89	3.523143	14.15

Tomado equipo Newtec NTC/2263/xF DVBS2 ^[26] .				
--	--	--	--	--

Tabla.4-1. Comparación de valores (E_s/N_0) simulado y teórico DVB-S2.

4.1.2 Simulaciones para enlaces de radiodifusión en banda Ku y banda Ka, usando los estándares DVB-S2 y NS3, con CCM, VCM y ACM

Para realizar el estudio de los enlaces de radiodifusión para receptores VSAT, se debe tener en cuenta que únicamente los equipos son receptores, es decir cada estación estará conformada por la antena VSAT, LNB y decodificador de señal. La capacidad total de la portadora del HUB al satélite, viene dada por la capacidad del modulador a usar y para este estudio se toma en cuenta el equipo modulador de NEWTEC®, de la familia Azimuth, AZ110 con una tasa de bits de hasta 216 Mbps^[14].

Como datos importantes a tener en cuenta, es que se tomará la disponibilidad del enlace para 99.9% del tiempo, es decir con el 0.1% de intensidad de lluvia excedida para banda Ku y el 99.7% para banda Ka con 0.3% de intensidad de lluvia excedida, además que existan enlaces disponibles para no menos del 95% del total de emplazamientos receptores VSAT en tierra, para validar el estudio como exitoso.

Para que el uso del segmento espacial sea eficiente, se agrupa por clúster o grupos a los usuarios VSAT, con eso se puede asignar una banda de frecuencias por cada clúster, y gracias a la técnica de reuso de frecuencias, se puede incrementar los usuarios finales en toda la red. Para efectos de cálculo se considera 1000 usuarios VSAT o receptores satelitales de TV digital. El código utilizado para esta simulación, se lo puede revisar a detalle en el ANEXO 1, a continuación las simulaciones respectivas.

Simulación en Banda Ku para radiodifusión satelital

PIRE=49 ;	Pire [dBW] del SATMEX 8 [Eutelsat]
BW=18;	Ancho de Banda Transponedor Satelital MHz
Frecuencia=12.2;	GHz Banda Ku
ro=0.2;	Roll Off
Pat=0.1;	Pérdidas atmosféricas [dB]
Pgo=1;	Pérdidas por guías de onda [dB]
Pos=-113.8;	Posición orbital SATMEX 8 113.8 W
D=0.74;	Diámetro en [m] antena VSAT
N=35;	0.1% mm/h zona N, intensidad de lluvia, México DF
Port=216;	Portadoras 216 Mbps Máximo por Portadora.
N=1000;	Número de VSAT en la red

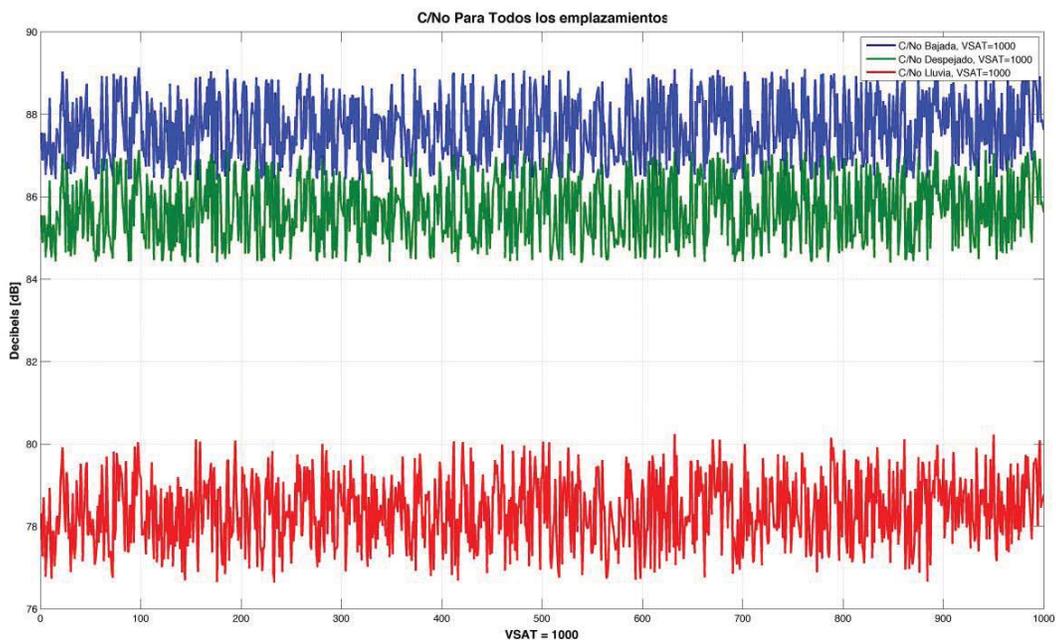


Fig. 4-10. Relación portadora a ruido C/N₀ teórica, despejado con implementación y atenuación por lluvia, respectivamente, para todos los emplazamientos de la red VSAT de radiodifusión en la banda Ku.

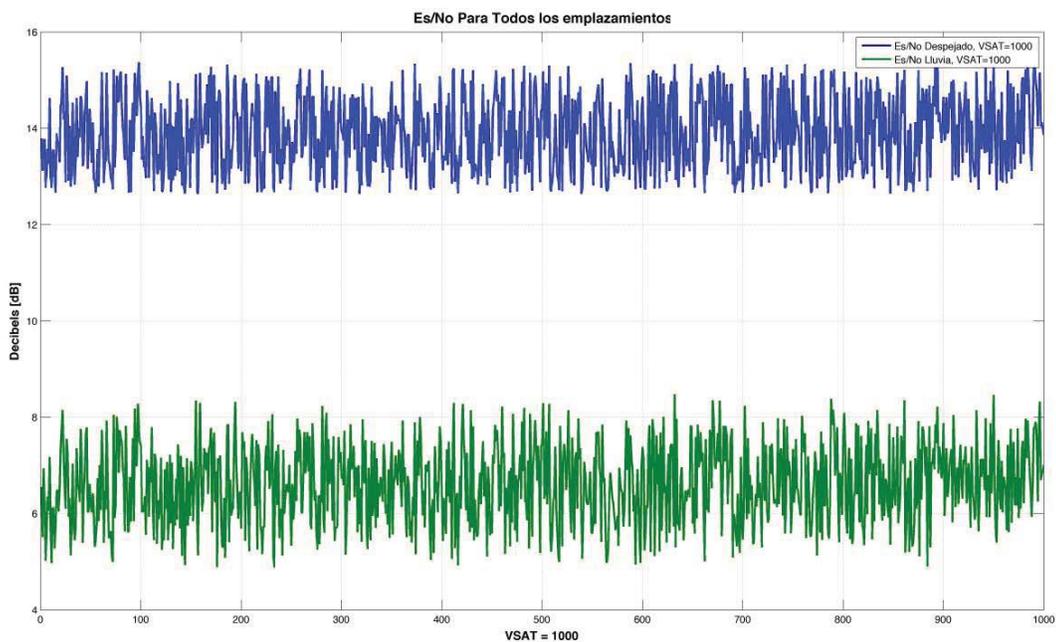


Fig. 4-11. E_s/N₀ despejado y con atenuación por lluvia para todos los emplazamientos de la red de radiodifusión en banda Ku.

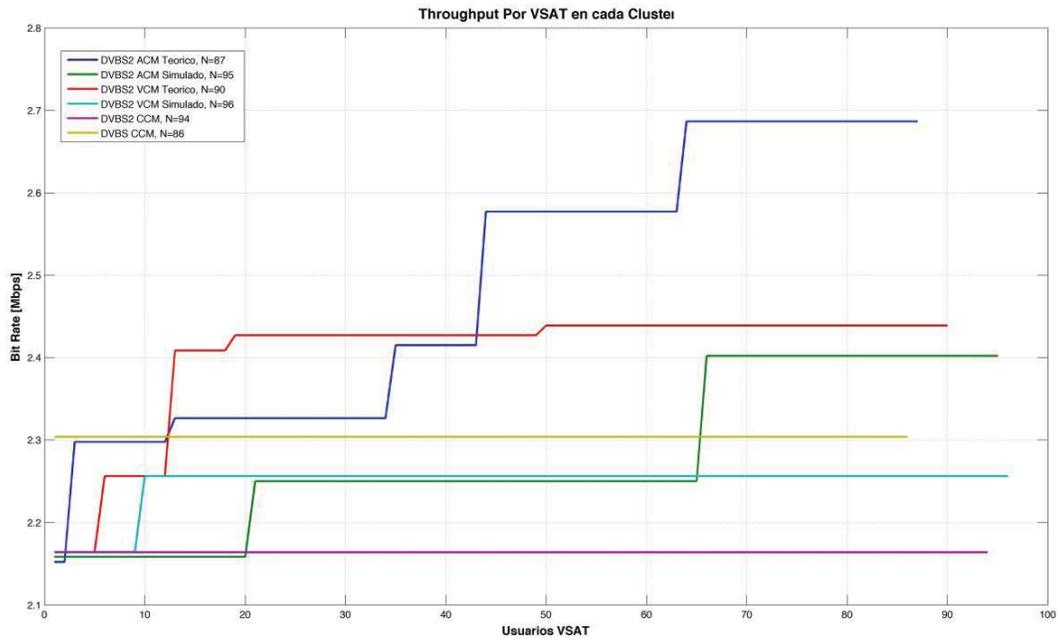


Fig. 4-12 Tasa de bits por usuario en clúster, se analiza de forma ascendente para determinar techo máximo por cada modo, radiodifusión en banda Ku

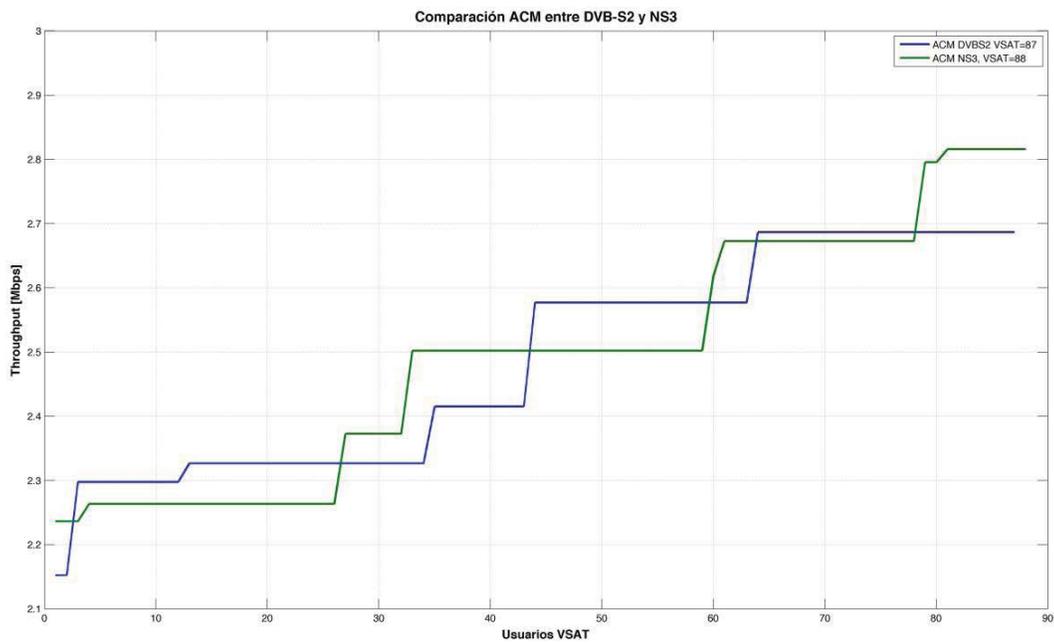


Fig. 4-13. Comparación entre DVB-S2 y NS3 usando ACM en clúster, radiodifusión en banda Ku.

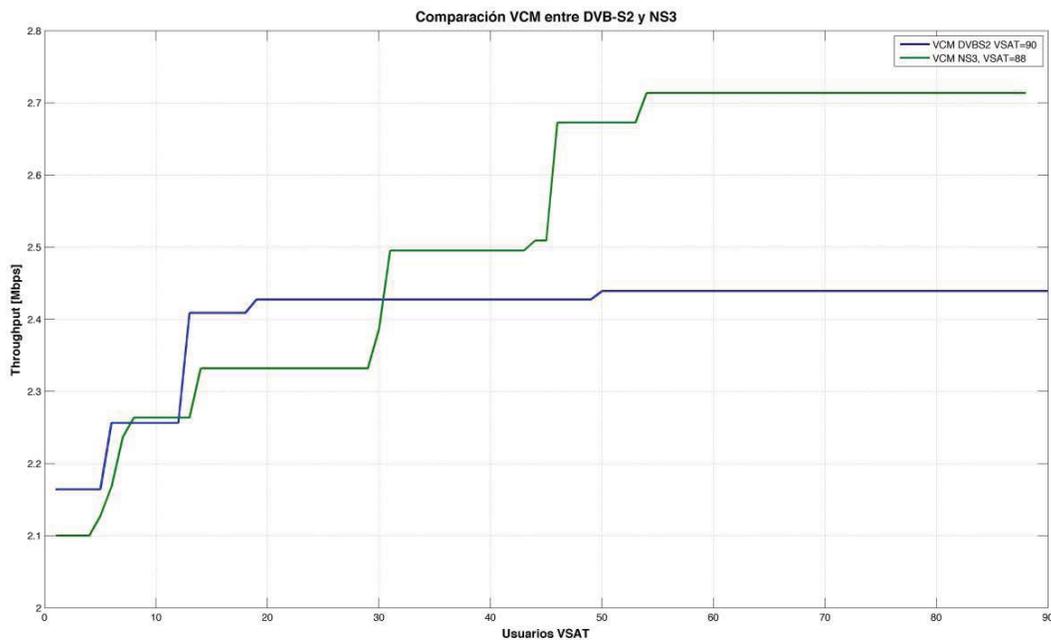


Fig. 4-14. Comparación entre DVB-S2 y NS3 usando VCM en clúster, radiodifusión en banda Ku.

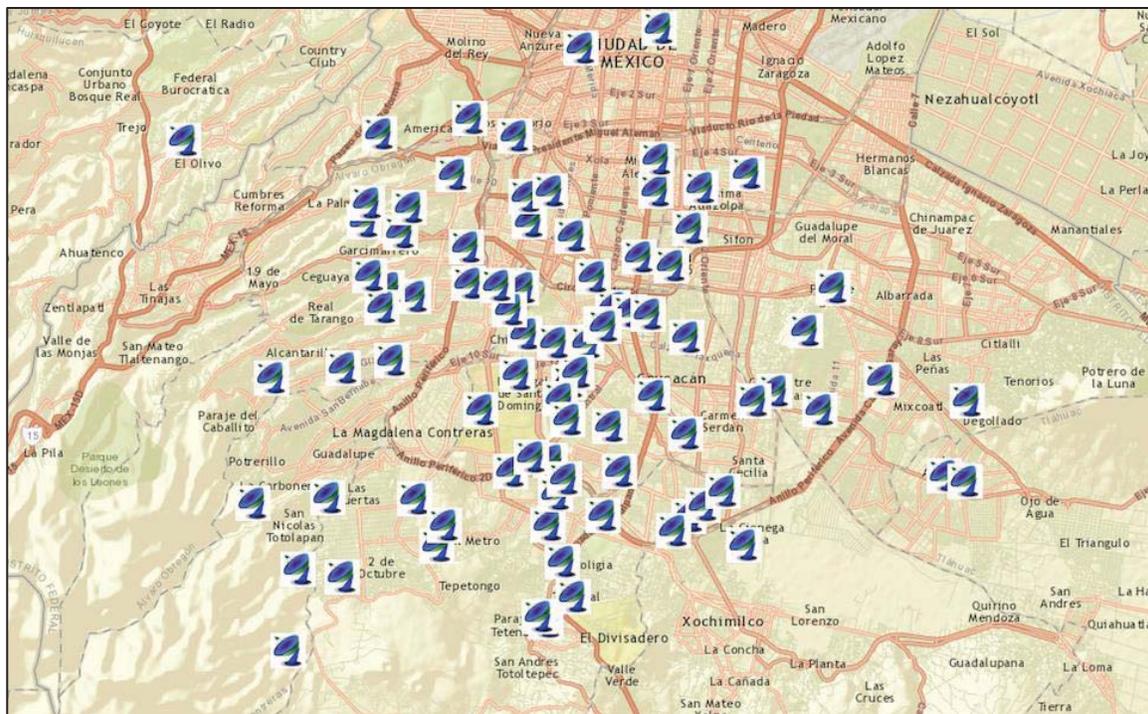


Fig. 4-15. Distribución en un clúster de las estaciones receptoras VSAT para radiodifusión en banda Ku.

Tipo	Clúster	Mejora	Throughput	Outbound
ACM DVBS2	87 VSAT	207.04%	216.2239 Mbps	1x216 Mbps
ACM NS3	88 VSAT	192.42%	219.4159 Mbps	1x216 Mbps
VCM DVBS2	90 VSAT	42.10%	216.3138 Mbps	1x216 Mbps
VCM NS3	88 VSAT	45.75%	222.0273 Mbps	1x216 Mbps
CCM DVBS2	94 VSAT	29.15%	214.245 Mbps	1x216 Mbps
CCM DVBS	86 VSAT	-	214.2647 Mbps	1x216 Mbps

Tabla.4-2. Resumen de cantidades por clúster en la simulación para radiodifusión en banda Ku.

En la figura 4-10 se ilustra la relación portadora a ruido en el enlace de bajada puro, con margen de implementación despejado y con atenuación por lluvia respectivamente, se nota mucho la atenuación pero es porque se está tomando con una disponibilidad del 99.9% para garantizar un enlace constante siempre. En la figura y 4-11 está el valor de E_s/N_0 que ayuda a referenciar en cada uno de los enlaces individuales, la eficiencia espectral para determinar la tasa de bits que puede recibir.

En la figura 4-12 se puede comparar como varía la tasa de bits en cada emplazamiento, se le ha ordenado los valores de manera ascendente para poder visualizar mejor. Para CCM en DVB-S, se observa que el valor está en 2.30 Mbps que supera al valor límite de 2.2 Mbps, por lo que cumple con la simulación, sin embargo hay 7 enlaces que no receptan por valores altos de atenuación, es decir hay una disponibilidad del 92.47% que es inferior al 95% que se pide, por lo que a pesar de que es robusto DVB-S no cubre la expectativa, y en lluvias intensas se perderá la señal en algunos dispositivos.

Para CCM en DVB-S2, la tasa está en 2.16 Mbps, esto es menor al valor de 2.2 Mbps, y es menor la tasa primero por lo reducido del ancho de banda del transpondedor que se está usando (18 MHz) pero aun así transmitiría y cada decodificador con la etapa de corrección de errores trataría de mejorar la recepción y en mucho de los casos ni se notaría, debido a lo efectivo de esta etapa. Consecuentemente cabrían 99 receptores en un clúster en este modo (98 teóricos) pero se pierde enlace en 5 estaciones, que representa el 95%, por lo que se da por válido a este modo.

Para ACM y VCM en DVB-S2, se tiene una cantidad de usuarios por clúster casi igual, 87 y 90 usuarios respectivamente, y como se observa en la figura 4-12, ACM va incrementando y mejorando su eficiencia a medida de que encuentra mayor E_s/N_0 lo cual al ser más eficiente, reduce la cantidad usuarios en clúster debido a que incrementa la tasa de bits, existe enlace operativo en el 100% de los emplazamientos (87) para los cuales se calculó y se simuló.

VCM es más eficiente, ya que actúa cuando las condiciones climáticas son adversas, obtiene el valor medio de E_s/N_0 en el clúster, los valores que están bajo el umbral medio, usarán MODCOD más robustos, para garantizar la recepción, por eso siempre se dimensionará con el escenario más complicado y será con VCM en lluvia, ya que si se analiza VCM sin lluvia sería un MODCOD constante o CCM por lo que en los 90 enlaces que simuló y calculó dentro de un clúster VCM, existe disponibilidad, por lo que se tiene el 100% de utilización.

Para el caso de ACM y VCM en NS3, se tiene un rendimiento muy bueno como se observa en las figuras 4-13 y 4-14 respectivamente, en lo que a eficiencia espectral se

refiere, al comparar con DVB-S2 se muestra que le lleva una leve ventaja, sin embargo esto tiene sus consecuencias, la primera es que al tener mejor eficiencia espectral, lógicamente reduce la cantidad de usuarios en el clúster, ya que los equipos no poseen algoritmos de control de tasa de bits, y también al aprovechar mejor los recursos en anchos de banda de transpondedor pequeños, tienen a saturar las portadoras como se puede observar en la tabla 4-2, en donde en los dos casos de NS3 para ACM y VCM ha sobrepasado el límite de la portadora, que es de 216 Mbps, por lo que es preferible usar en anchos de banda de transpondedor más grandes para evitar saturar la portadora.

La eficiencia de DVB-S2 frente a DVB-S es evidente, dando porcentajes bastante buenos en CCM hay un rendimiento del 29.15%, en VCM una mejora del 42.1% y en ACM una increíble mejora del 207.04%, eso en el caso de eficiencia espectral con portadora infinita, pero en casos reales, al estar limitado por portadora, todo se reduce a llenar la capacidad de la misma.

Entre DVB-S2 y NS3 no existe mayor diferencia en eficiencia, lo que sí se puede diferenciar que DVB-S2 es más robusto que NS3, lo que garantiza cada uno de los enlaces VSAT.

Finalmente, en lo que a equipos se refiere, se puede entender el uso de DVB-S aún para este tipo de servicio y aplicación, puesto que es bastante robusto y no se necesita equipos tan sofisticados (VCM/ACM), ya que las etapas de corrección de errores harán su trabajo en caso de disminuir la tasa de bits por mal tiempo, por lo que para radiodifusión en SDTV se refiere, es preferible seguir con CCM en DVB-S/S2 con retrocompatibilidad. Tal situación cambiaría ya cuando se transmita HDTV donde la tasa es mayor y seguramente DVB-S terminará saliendo del mercado para dar paso a los decodificadores DVB-S2 con ACM y VCM, para garantizar calidad y servicio, en la figura 4-15 se muestra la posición de cada emplazamiento en el mapa.

En el Anexo 3, tabla A3-1 se tiene un cuadro detallado de todos los enlaces con diferentes MODCOD de cada emplazamiento terrestre, como resultado de la simulación para radiodifusión en banda Ku, de la misma forma en la tabla A3-2, se tiene las coordenadas de cada uno de los usuarios válidos por clúster, con parámetros para calibrar las antenas en elevación y azimut.

Simulación en Banda Ka para radiodifusión satelital

PIRE=60.5 ;	Pire [dBW] del SATMEX 8 [Eutelsat]
BW=125;	Ancho de Banda Transpondedor Satelital MHz
Frecuencia=20.2;	GHz Banda Ka
ro=0.2;	Roll Off
Pat=0.1;	Pérdidas atmosféricas [dB]
Pgo=1;	Pérdidas por guías de onda [dB]
Pos=-113.8;	Posición orbital SATMEX 8 -113.8 W
D=0.74;	Diámetro en [m] antena VSAT
N=15;	0.3% mm/h zona N, intensidad de lluvia, México DF
Port=216;	Portadoras 216 Mbps Máximo por Portadora.
N=1000;	Número de VSAT en la red

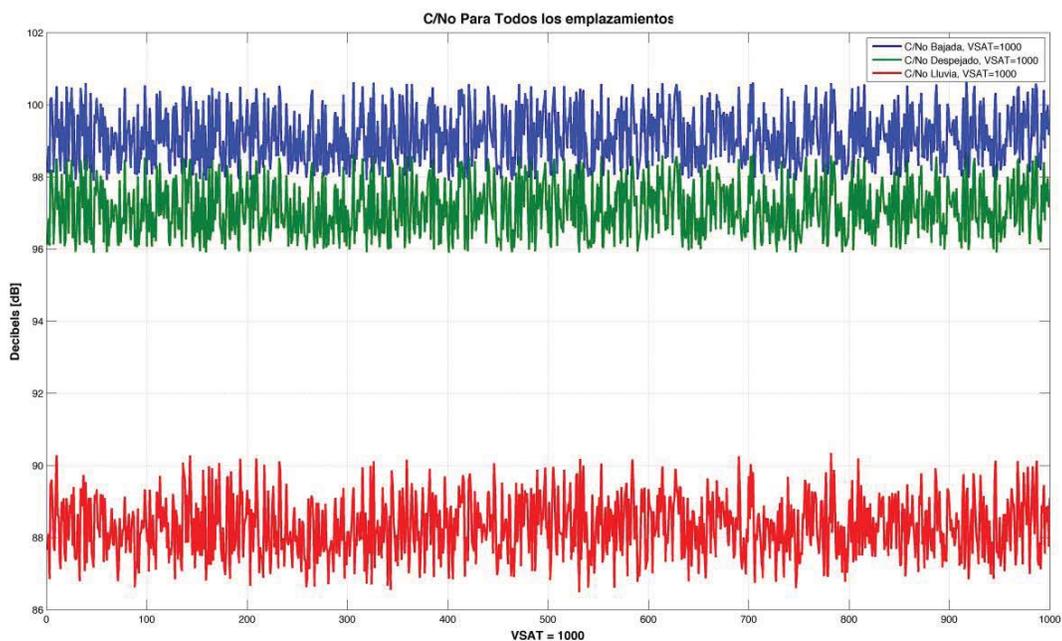


Fig. 4-16. Relación portadora a ruido C/N₀ teórica, despejado con implementación y atenuación por lluvia, respectivamente, para todos los emplazamientos de la red VSAT de radiodifusión en la banda Ka.

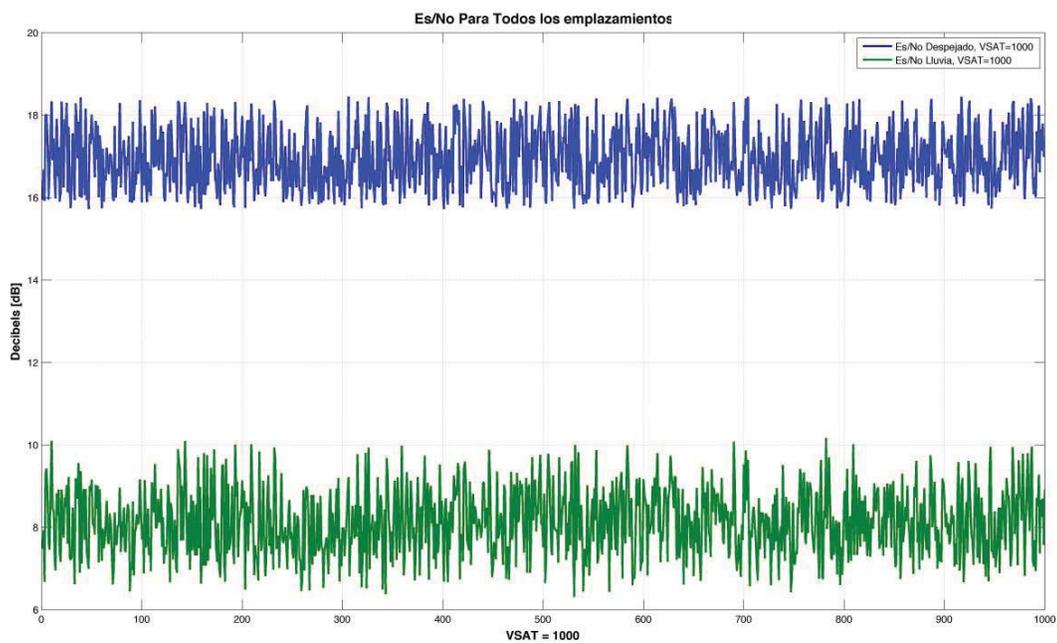


Fig. 4-17. E_s/N₀ despejado y con atenuación por lluvia para todos los emplazamientos de la red de radiodifusión en banda Ka.

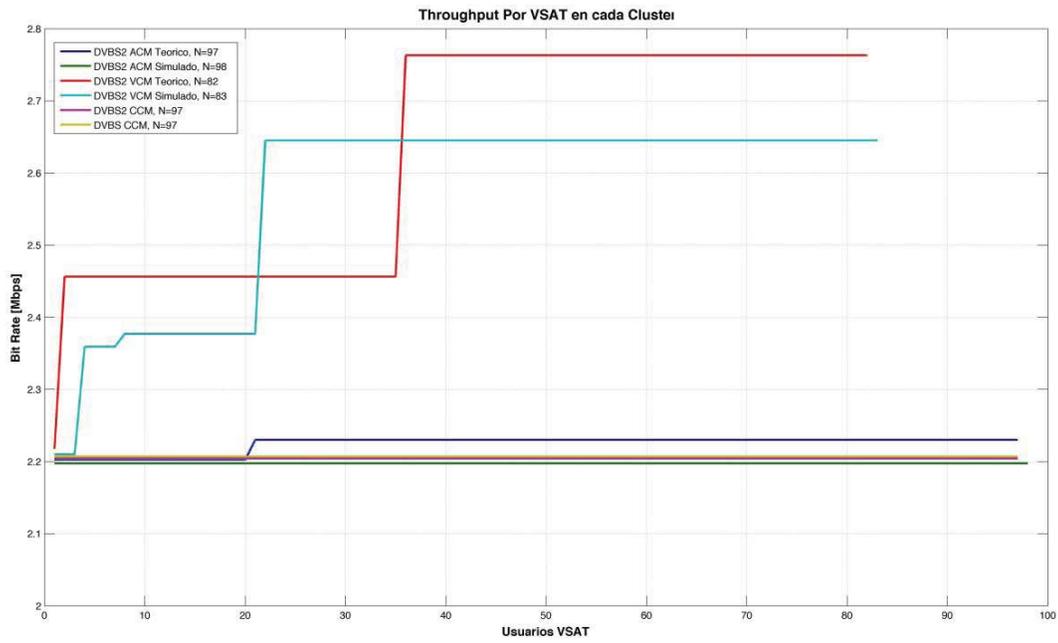


Fig. 4-18. Tasa de bits por usuario en clúster, se analiza de forma ascendente para determinar techo máximo por cada modo, radiodifusión en banda Ka

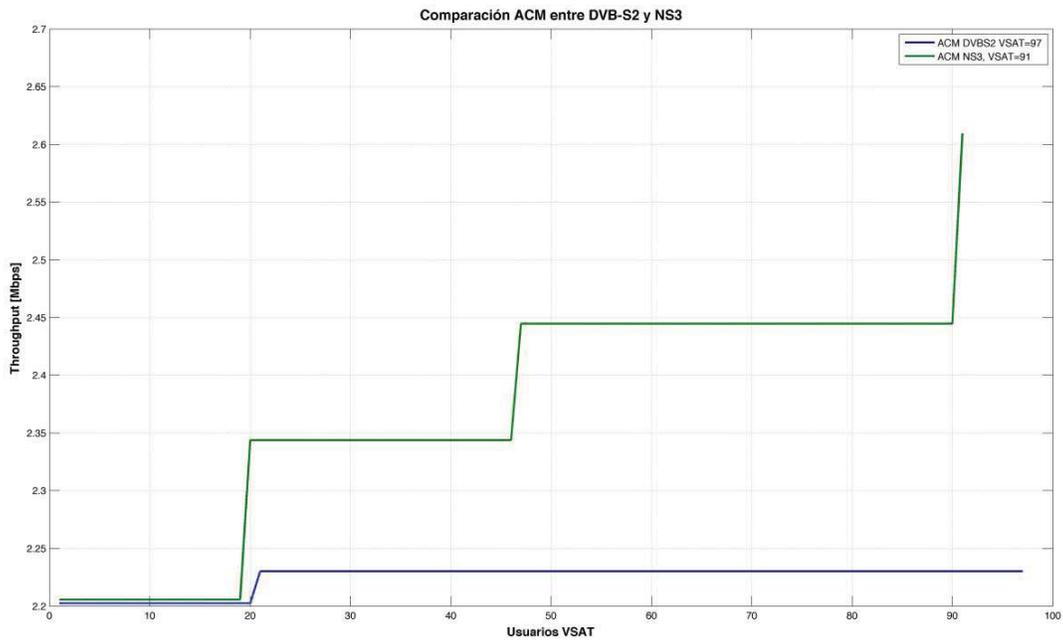


Fig. 4-19. Comparación entre DVB-S2 y NS3 usando ACM en clúster, radiodifusión en banda Ka.

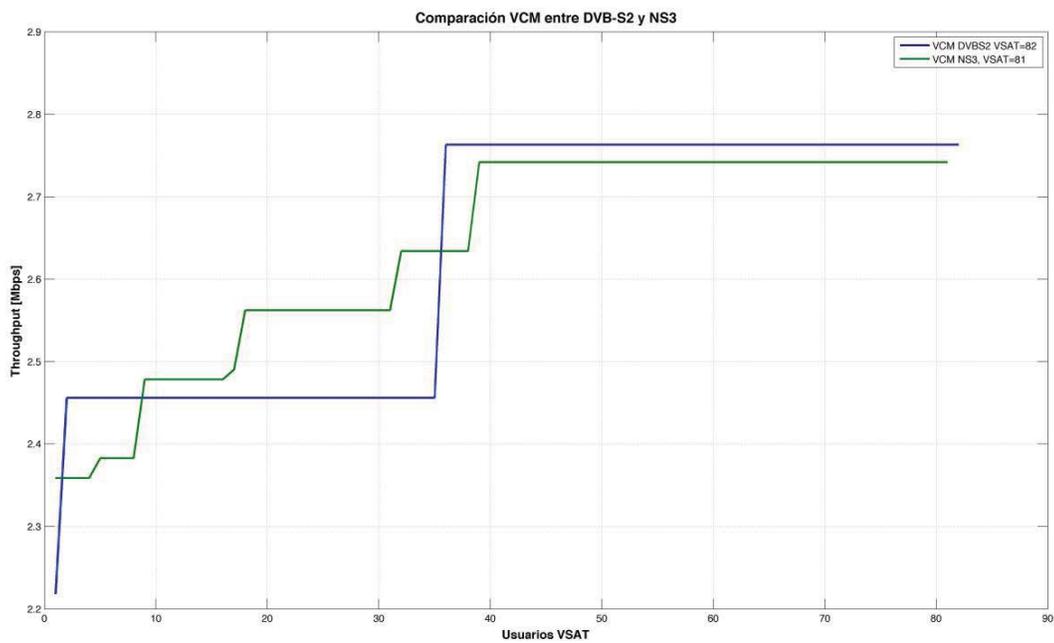


Fig. 4-20. Comparación entre DVB-S2 y NS3 usando VCM en clúster, radiodifusión en banda Ka.



Fig. 4-21. Distribución en un clúster de las estaciones receptoras VSAT para radiodifusión en banda Ka.

Tipo	Clúster	Mejora	Throughput	Outbound
ACM DVBS2	97 VSAT	261.65%	215.7653 Mbps	1x216 Mbps
ACM NS3	91 VSAT	262.80%	215.3646 Mbps	1x216 Mbps
VCM DVBS2	82 VSAT	72.27%	215.5904 Mbps	1x216 Mbps
VCM NS3	81 VSAT	79.37%	213.4938 Mbps	1x216 Mbps
CCM DVBS2	97 VSAT	29.15%	213.8042 Mbps	1x216 Mbps
CCM DVBS	97 VSAT	-	214.0616 Mbps	1x216 Mbps

Tabla.4-3. Resumen de cantidades por clúster en la simulación para radiodifusión en banda Ka.

En la figura 4-16 se ilustra la relación portadora a ruido en el enlace de bajada puro, con margen de implementación despejado y con atenuación por lluvia respectivamente, se nota mucho la atenuación pero es porque se está tomando con una disponibilidad del 99.7% para garantizar un enlace constante siempre. En la figura y 4-17 está el valor de E_s/N_0 que ayuda a referenciar en cada uno de los enlaces individuales, la eficiencia espectral para determinar la tasa de bits que puede recibir igualmente se nota la gran atenuación debido a la frecuencia de la portadora que es muy sensible a la intensidad de lluvia.

En la figura 4-18 se puede comparar como varía la tasa de bits en cada emplazamiento, se le ha ordenado los valores de manera ascendente para poder visualizar mejor. Para CCM en DVB-S, se observa que el valor esta en 2.20 Mbps por lo que cumple con la simulación en todos los emplazamientos del clúster, con una disponibilidad del 100% y muy cerca del valor teórico de 98 usuarios, por lo que DVB-S es muy robusto para operar en SDTV en banda Ka.

Para CCM en DVB-S2, la tasa esta en 2.21 Mbps, y tanto como en el caso de CCM en DVB-S, existe disponibilidad del enlace para todos los emplazamientos, por lo que es un sistema robusto, a diferencia del análisis en banda Ku, aquí existe mejor ancho de banda y es esencialmente a que el transpondedor es de 125 Mhz, lo que lo hace mucho más eficiente.

Para ACM y VCM en DVB-S2, se tiene una cantidad de usuarios por clúster casi igual, 97 y 82 usuarios respectivamente, y como se observa en la figura 4-18, ACM va incrementando y mejorando su eficiencia a medida de que encuentra mayor E_s/N_0 hasta encontrar su techo y se mantiene constante, acercándose mucho al valor teórico de 98 usuarios por clúster, existe enlace operativo en el 100% de los emplazamientos para los cuales se calculó y se simuló.

VCM es más eficiente, su objetivo es ser operativo en todos los emplazamientos, ya que actúa cuando las condiciones climáticas son adversas, obtiene el valor medio de E_s/N_0 en el clúster, los valores que están bajo el umbral medio, usarán MODCOD más robustos, para garantizar la recepción, por eso siempre se dimensionará con el escenario más complicado y será con VCM en lluvia, ya que si se analiza VCM sin lluvia sería un MODCOD constante o CCM por lo que en los 82 enlaces que simuló y calculó dentro de un clúster VCM, existe disponibilidad, por lo que se tiene el 100% de utilización, a diferencia de la banda Ku, aquí los usuarios disminuyen, pero es en gran medida por el la alta atenuación debido a que en banda Ka es mucho más sensible a la lluvia.

Para el caso de ACM y VCM en NS3, se tiene un rendimiento muy bueno como se observa en las figuras 4-19 y 4-20 respectivamente, en lo que a eficiencia espectral se refiere, al comparar con DVB-S2 se muestra que le lleva una ventaja, sin embargo esto tiene su desventaja en que al tener mejor eficiencia espectral, lógicamente reduce la cantidad de usuarios en el clúster, debido a que los equipos no poseen algoritmos de control de tasa de bits, esto en gran medida se nota en la diferencia por tener un mayor ancho de banda en el transpondedor en la banda Ka, a diferencia de la banda Ku, con un ancho de banda menor.

Esto también crea una ventaja y es que no satura la capacidad de la portadora, como se observa en la tabla 4-3, lo que significa que habrá un mejor rendimiento a mayores anchos de banda en transpondedor para NS3 y DVB-S2.

La eficiencia de DVB-S2 frente a DVB-S es evidente, dando porcentajes bastante buenos en CCM hay un rendimiento del 29.15%, en VCM una mejora del 72.27% y en ACM una increíble mejora del 261.65%, eso en el caso de eficiencia espectral con portadora infinita, pero en casos reales, al estar limitado por portadora, todo se reduce a llenar la capacidad de la misma.

Entre DVB-S2 y NS3 se nota una diferencia en eficiencia, que tampoco es muy alta, y esto en gran medida porque en banda Ku se tiene anchos de banda de transpondedor mayores.

Para finalizar la interpretación de resultados, en banda Ka existe una gran eficiencia en lo que a throughput se refiere, incrementando la tasa de bits, en gran medida, por el mayor ancho de banda en el segmento espacial, pero esto también genera desventajas, como el hecho de que a mayores frecuencias se tiene mayor atenuación por lluvia, por lo que se debe tener mucho cuidado al momento de dimensionar este tipo de enlaces, esto también se traduce en lo elevado en costo de los equipos al ser mucho más sensibles.

Un punto a rescatar es que a pesar de existir una atenuación bastante importante (al 0.3% de intensidad de lluvia) se logró que en cada uno de los emplazamientos exista recepción, por lo que no habrá necesidad de usar ACM y VCM para SDTV, basta con CCM en DVB-S/S2.

Para transmisiones en HDTV, al existir mayor tasa de bits, CCM en DVB-S/S2 posiblemente quedará descartado, por lo que técnicas de ACM y VCM entrarán operativas para garantizar calidad y recepción, esto encarecerá costos, pero a beneficio de un paquete de calidad en lo que a radiodifusión se refiere.

En el Anexo 3, tabla A3-3 se tiene un cuadro detallado de todos los enlaces con diferentes MODCOD de cada emplazamiento terrestre, como resultado de la simulación para radiodifusión en banda Ka, y en la tabla A3-4, se tiene las coordenadas de cada uno de los usuarios válidos por clúster, con parámetros para calibrar las antenas en elevación y azimut. En la figura 4-21 se ilustra la distribución de cada emplazamiento en el mapa.

4.1.3 Simulaciones para enlaces de datos en banda Ku y banda Ka, usando los estándares DVB-S2 y NS3, con CCM, VCM y ACM

Para realizar el estudio de los enlaces de datos para receptores/transmisores VSAT, se habla de equipos mucho más completos que los receptores de radiodifusión. Cada uno de estos equipos tiene antena receptora/transmisora VSAT, amplificador de bajo ruido (*LNA*), modem, éste último puede tener características profesionales o para el hogar/pequeña empresa.

La capacidad total de la portadora a transmitir del HUB al satélite, viene dada por la capacidad del modulador a usar y para este estudio se toma en cuenta el equipo modulador de NEWTEC®, de la familia Azimuth, AZ110 con una tasa de bits de hasta 216 Mbps^[14].

Como la comunicación es interactiva, por lo tanto se considera transmisión y recepción de datos, aquí ya interviene el demodulador, que para el estudio se toma en cuenta de la empresa NEWTEC®, familia Azimuth, serie AZ910, con una tasa en bits de recepción de hasta 155 Mbps ^[15].

Para el análisis de modelo de atenuación por lluvia se tomará la disponibilidad del enlace para 99.9% del tiempo, es decir con el 0.1% de intensidad de lluvia excedida para banda Ku y el 99.7% para banda Ka con 0.3% de intensidad de lluvia excedida, además que existan enlaces disponibles para no menos del 95% del total de emplazamientos receptores VSAT en tierra, para validar el estudio como exitoso.

Para que el uso del segmento espacial sea eficiente, se integrará por clúster o grupos a los usuarios VSAT, con eso se puede asignar una banda de frecuencias por cada clúster, y gracias a la técnica de reuso de frecuencias, se puede incrementar los usuarios finales en toda la red.

Para el retorno de la información se tienen varias técnicas gracias a la facilidad de cohesionar varias tecnologías de telecomunicaciones, esto implica que estarán ligadas más al costo que al desempeño, pero al menos en este estudio se considerará la mayor parte de alternativas factibles y con alta prestación, en el Capítulo 5 se tendrá una sugerencia factible para el despliegue de la red.

En el Anexo 1, se encontrará el código realizado en lenguaje C++ en MATLAB® para esta simulación.

Simulación en Banda Ku para enlaces de datos satelital

PIRE=49 ;	Pire [dBW] del SATMEX 8 [Eutelsat]
BW=18;	Ancho de Banda Transponedor Satelital MHz
Frecuencia=12.2;	GHz Banda Ku
ro=0.2;	Roll Off
Pat=0.1;	Pérdidas atmosféricas [dB]
Pgo=1;	Pérdidas por guías de onda [dB]
Pos=-113.8;	Posición orbital SATMEX 8 113.8 W
D=0.98;	Diámetro en [m] antena VSAT
N=35;	0.1% mm/h zona N, intensidad de lluvia, México DF
Port=216;	Portadoras 216 Mbps Máximo por Portadora.
N=1000;	Número de VSAT en la red

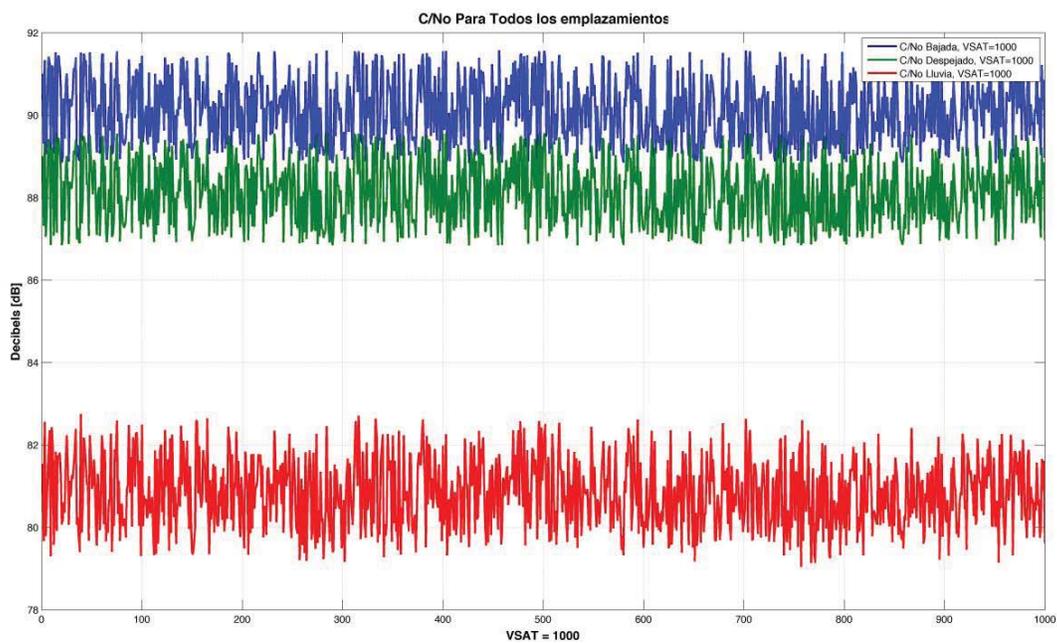


Fig. 4-22. Relación portadora a ruido C/N_0 teórica, despejado con implementación y atenuación por lluvia, respectivamente, para todos los emplazamientos de la red VSAT para transmisión y recepción de datos en la banda Ku.

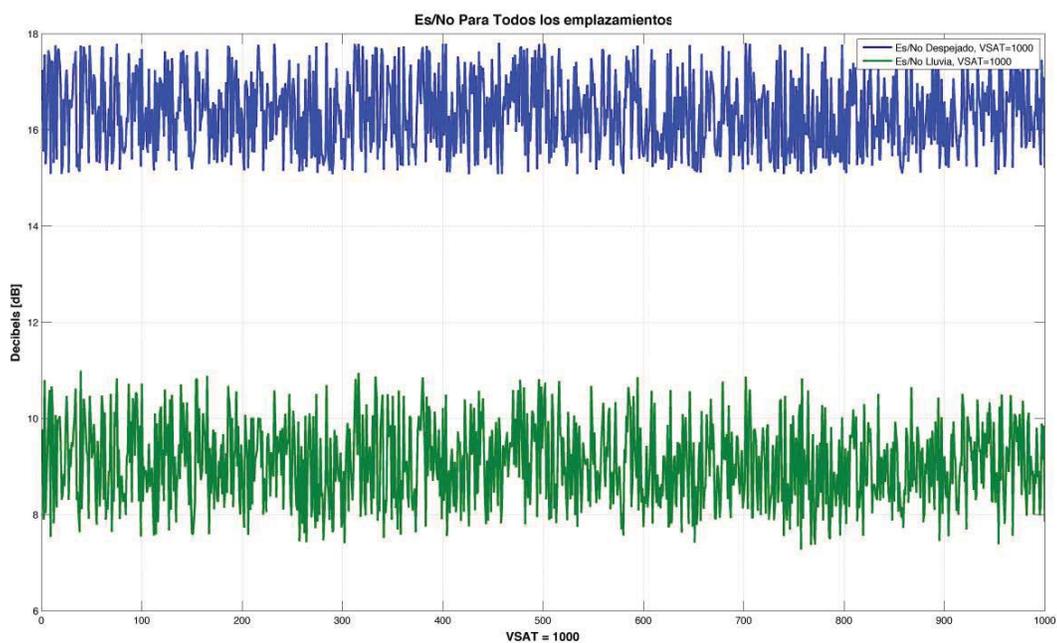


Fig. 4-23. E_s/N_0 despejado y con atenuación por lluvia para todos los emplazamientos de la red de datos satelital en banda Ku.

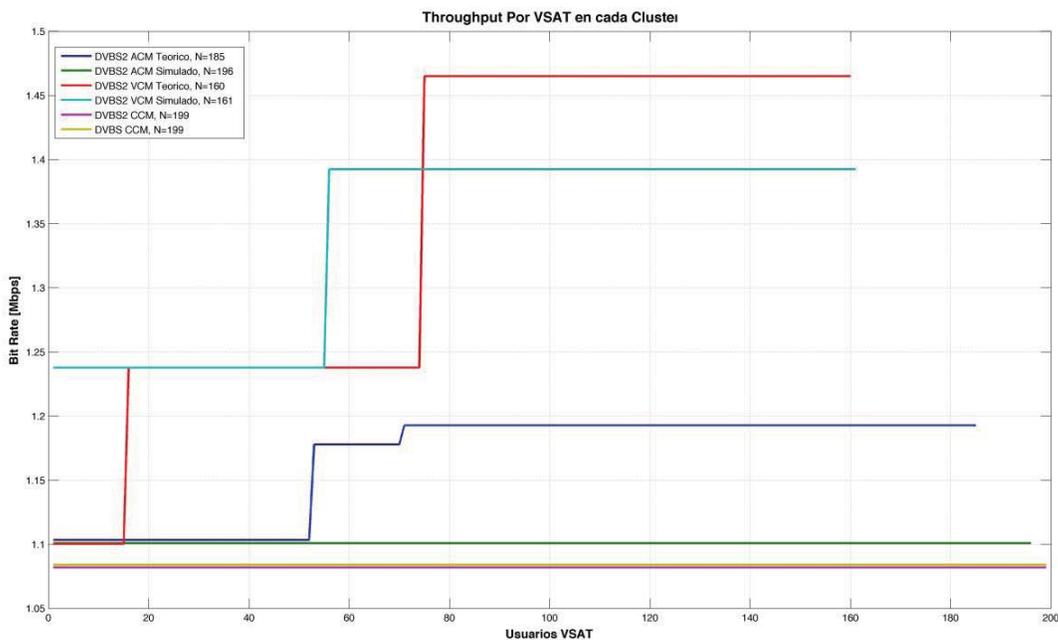


Fig. 4-24. Tasa de bits por usuario en clúster, se analiza de forma ascendente para determinar techo máximo por cada modo, red de datos satelital en banda Ku.

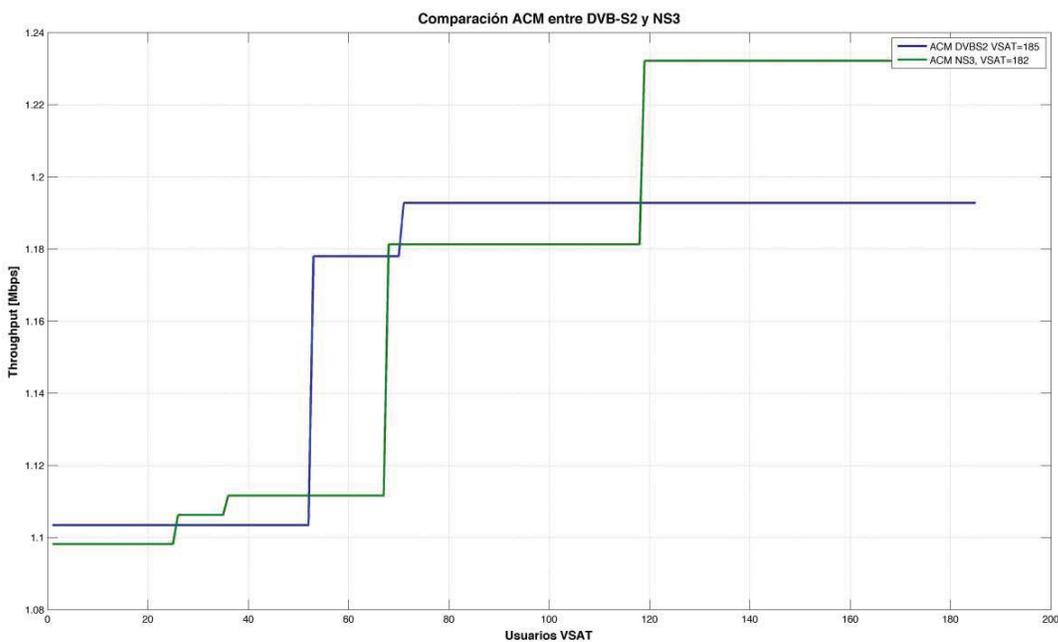


Fig. 4-25. Comparación entre DVB-S2 y NS3 usando ACM en clúster, red de datos satelital en banda Ku.

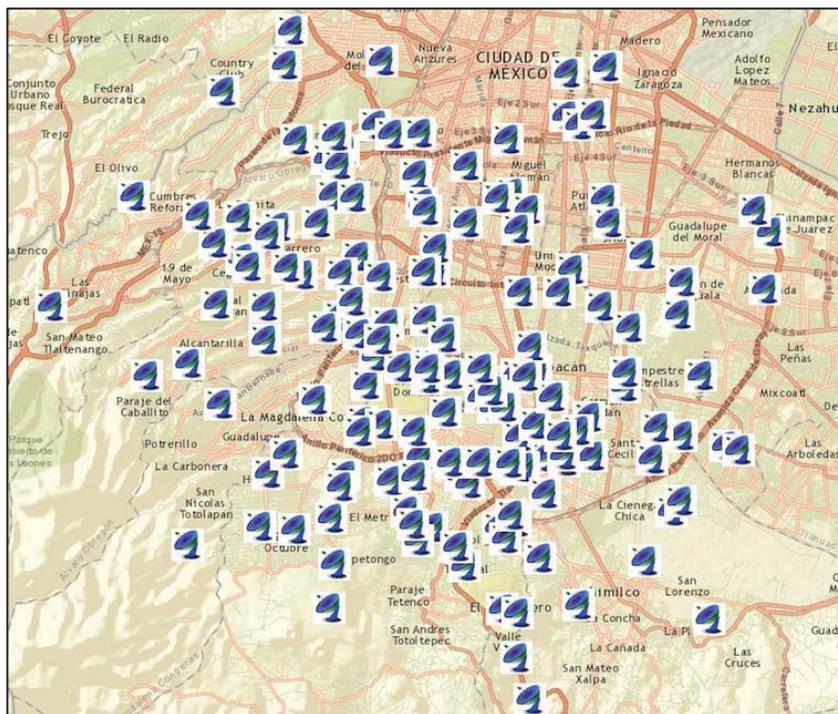


Fig. 4-28. Distribución en un clúster de las estaciones receptoras VSAT para red satelital en banda Ku.

Tipo	Clúster	Mejora	Throughput	Outbound	Inbound (1)	Inbound (2)
ACM DVBS2	185 VSAT	254.49%	215.7524 Mbps	1x216 Mbps	1x155 Mbps	185x128 Kbps
ACM NS3	182 VSAT	258.65%	213.1902 Mbps	1x216 Mbps	1x155 Mbps	182x128 Kbps
VCM DVBS2	160 VSAT	97.59%	215.5379 Mbps	1x216 Mbps	1x155 Mbps	160x128 Kbps
VCM NS3	181 VSAT	80.93%	215.9089 Mbps	1x216 Mbps	1x155 Mbps	181x128 Kbps
CCM DVBS2	199 VSAT	29.15%	215.3270 Mbps	1x216 Mbps	1x155 Mbps	199x128 Kbps
CCM DVBS	199 VSAT	-	215.7554 Mbps	1x216 Mbps	1x155 Mbps	199x128 Kbps

Tabla.4-4. Resumen de cantidades por clúster en la simulación para red satelital en banda Ku.

Tipo	Outbound Total	Inbound Total (1)	Inbound Total (2)
ACM DVBS2	6x216 Mbps	6x155 Mbps	1000x128 Kbps
ACM NS3	6x216 Mbps	6x155 Mbps	1000x128 Kbps
VCM DVBS2	7x216 Mbps	7x155 Mbps	1000x128 Kbps
VCM NS3	6x216 Mbps	6x155 Mbps	1000x128 Kbps
CCM DVBS2	6x216 Mbps	6x155 Mbps	1000x128 Kbps
CCM DVBS	6x216 Mbps	6x155 Mbps	1000x128 Kbps

Tabla.4-5. Resumen de cantidades de enlaces Inbound/Outbound totales en la red satelital en banda Ku.

Como en el caso estudiado de radiodifusión en banda Ku de la sección anterior, al analizar para el 99.9% de disponibilidad del enlace, la atenuación juega un papel importante como se observa en la figura 4-22 en donde los enlaces por cada emplazamiento cae dramáticamente, se puede apreciar en la E_s/N_0 de la figura 4-23 como la separación entre un enlace despejado y un enlace con atenuación por lluvia tienen una separación de atenuación promedio de 7 dB aproximadamente.

En la figura 4-24 se ilustra el comportamiento de cada estación VSAT por clúster en el modo de uso, por ejemplo si se analiza CCM para DVB-S/S2, tienen un valor fijo de 1.08 Mbps, que está bajo el tráfico calculado anteriormente que entregó como resultado de 1.1 Mbps ya considerado *Overhead* del 15%.

Aparentemente esto no afectaría, inclusive aumentaría la cantidad de usuarios en el clúster de 195 usuarios teóricos a 199 usuarios simulados con CCM en DVB-S/S2 y con disponibilidad del 100% de los emplazamientos operacionales y disponibilidad del enlace al 99.9%, lo que es un diseño muy exitoso y económico en lo que a receptores/transmisores individuales VSAT se referiría.

Para los casos de estudio ACM y VCM, vemos que debido a como varía su eficiencia espectral algunos usuarios reciben mayor tasa de bits, esto sin duda lo que genera es una disminución de usuarios por clúster, ya que estaría en el orden de 185 usuarios para ACM y 160 usuarios para VCM, valores que están por debajo del calculado que es de 195 usuarios. Por lo que si se va a desplegar una red con terminales VSAT individuales, los modem bastaría que posean DVB-S2/S con retrocompatibilidad en CCM.

En las figuras 4-25 y 4-26 se comparan ACM y VCM entre DVB-S2 y NS3, y como se observa en el caso de modulación y codificación adaptativa (ACM), no existe mucha variación, de hecho están muy cercanas, ACM NS3 tiene una ligera mejora espectral, lo que tiene como consecuencias tres usuarios menos que ACM DVB-S2. En el modo VCM es distinto, VCM en DVB-S2 está diseñado para recuperarse de manera robusta cuando los enlaces satelitales se ven afectados por el mal tiempo, por esta razón en la figura 4-26 se visualiza como VCM en DVB-S2 tiene una mayor eficacia en recuperación de eficiencia espectral que VCM NS3, esto sin lugar a dudas obliga a que cada estación VSAT reciba una mayor tasa de bits y lógicamente una menor cantidad de usuarios por VSAT.

Sin embargo como se analizó en un principio, para tasas bajas de bits por usuario, el modo CCM soporta muy bien todos los efectos climatológicos, por lo que se usará equipos de modulación y codificación constante, en caso de desplegar usuarios individuales, teniendo en cuenta que para transmisiones profesionales (mayores a 5 Mbps) los codificadores y modulaciones constantes (CCM) ya no están capacitados para operar, por lo que ACM y VCM se vuelven necesarios.

Un debate tecnológico se origina a partir del retorno de datos, en la tabla 4-4, se tiene un resumen de la cantidad de usuario que se integran en un clúster, se proponen dos opciones para canales de retorno de la información.

La opción **Inbound (1)** está analizada para que por cada clúster se tenga un MINIHUB que reciba 216 Mbps de Outbound y retorne 155 Mbps de Inbound al HUB/NOC, entendiéndose que el Outbound está configurado para distribuir la información en todos los clústeres usando la técnica de reúso de frecuencias, mientras que los enlaces Inbound usarán bandas de frecuencia para acceder en modo TDMA al transpondedor satelital.

Cada MINIHUB estará asociado a una estación base para distribuir la información a los usuarios utilizando diferentes tipos de tecnología de radio acceso, pudiendo ser GSM, LTE, CDMA o WLAN en banda libre (ISM).

Dependerá del servicio final que se quiera entregar al usuarios final, y también los costos, cada opción de las mencionadas anteriormente será analizada en el Capítulo 5 para determinar la mejor opción en relación costo/desempeño.

Esto es posible gracias a la gran eficiencia de tecnologías en telecomunicaciones que se encuentran en el mercado, y la alta eficiencia de las redes satelitales como backhaul de datos.

Cada usuario en esta configuración recibirá **1.1 Mbps de bajada y 768 Kbps de subida**, por lo que es un servicio de banda ancha actual y un nicho alto de negocios en telecomunicaciones.

Para la opción **Inbound (2)**, es que cada usuario remoto VSAT acceda con su propio equipo a la recepción y envío de datos, es decir no está ligado a ninguna estación base ni MINIHUB, sino únicamente a la cobertura satelital.

Como se observa en la tabla 4-4, se tiene igual número de enlaces Inbound que usuarios en el clúster, solo que el tener esta opción reduce dramáticamente la velocidad de subida, por el costo de uso del transpondedor, sin embargo en el capítulo 5 se hará una análisis de costo usando esta técnica.

En esta configuración cada usuario recibirá **1.1 Mbps de bajada y enviará 128 Kbps de subida**.

Por el momento la opción de Inbound (1) tiene mejor rendimiento que la opción (2) visto desde el estudio de desempeño en comunicaciones, habrá que estimar en un análisis de costo/desempeño para determinar que opción será la mejor y la más conveniente para cada usuario.

En la tabla 4-5 se muestra como estará la distribución de enlaces en toda la red con 1000 usuarios. En la columna de Outbound total, no se refiere a un enlace por cada clúster, sino los clúster a los que proporcionará información usando reuso de frecuencias.

Para las opciones (1) y (2) funciona perfectamente el enlace, ya que si está en la opción (1) enviará toda la capacidad de datos en una enlace al MINHUB para que este se encargue de distribuir la tasa de bits correspondiente a cada usuario, usando técnicas de radio acceso o terrestres. Mientras que si estuviera la red configurada en la opción (2) el enlace se distribuirá para cada usuario VSAT receptor, es decir realizar una comunicación de tipo Broadcast en el clúster y que cada usuario recepte su paquete y que retorne información en una enlace individual.

Para la columna de Inbound (1) es la cantidad de enlaces en toda la red satelital, un enlace por cada clúster usando MINUHUB, mientras que la columna Inbound (2) es un enlace individual Inbound por cada usuario terminal VSAT.

Para el análisis de retrasos en las comunicaciones, se observa en la figura 4-27 el comportamiento mediante las curvas de retrasos en cada modo de operación y cada vez que aumentan los usuarios, crece el retraso en el clúster, esto lógicamente está en la configuración Inbound (2).

Por la eficiencia espectral para el caso de NS3, se puede observar que al momento de entrar en el modo de operación VCM, existe un rápido incremento del retraso, debido a que se incrementa la tasa de bits por usuario y satura la capacidad del enlace lo que provocará este fenómeno que acarrea un sinnúmero de problemas a la red, desde pérdidas de paquetes, retransmisiones, cuellos de botella y saturación de la red.

Para el caso de VCM en DVB-S2, está más controlado este fenómeno, pero aun así si se nota un ligero incremento a diferencia de ACM en los dos estándares que se mantienen bastante parejos, pero es gracias a que no experimentan cambios abruptos en su eficiencia espectral.

En la figura 4-28, se ilustra un clúster satelital de datos en banda Ku, usando la opción Inbound (2). En el Anexo 3, Tabla A3-5 se tiene el detalle de cada uno de los enlaces para cada emplazamiento, MODCOD y tasa de bits, en tanto que en la tabla A3-6, se tiene el detalle de coordenadas para los terminales VSAT del clúster de la figura 4-28.

Simulación en Banda Ka para enlaces de datos satelital

PIRE=60.5 ;	Pire [dBW] del SATMEX 8 [Eutelsat]
BW=125;	Ancho de Banda Transpondedor Satelital MHz
Frecuencia=20.2;	GHz Banda Ka
ro=0.2;	Roll Off
Pat=0.1;	Pérdidas atmosféricas [dB]
Pgo=1;	Pérdidas por guías de onda [dB]
Pos=-113.8;	Posición orbital SATMEX 8 113.8 W
D=0.98;	Diámetro en [m] antena VSAT
N=15;	0.3% mm/h zona N, intensidad de lluvia, México DF
Port=216;	Portadoras 216 Mbps Máximo por Portadora.
N=1000;	Número de VSAT en la red

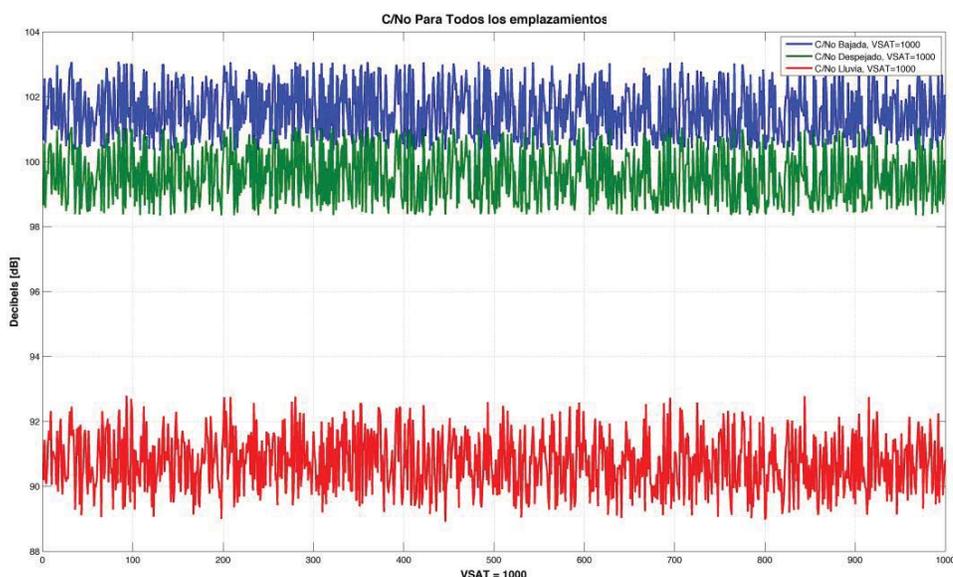


Fig. 4-29. Relación portadora a ruido C/N_0 teórica, despejado con implementación y atenuación por lluvia, respectivamente, para todos los emplazamientos de la red VSAT para transmisión y recepción de datos en la banda Ka.

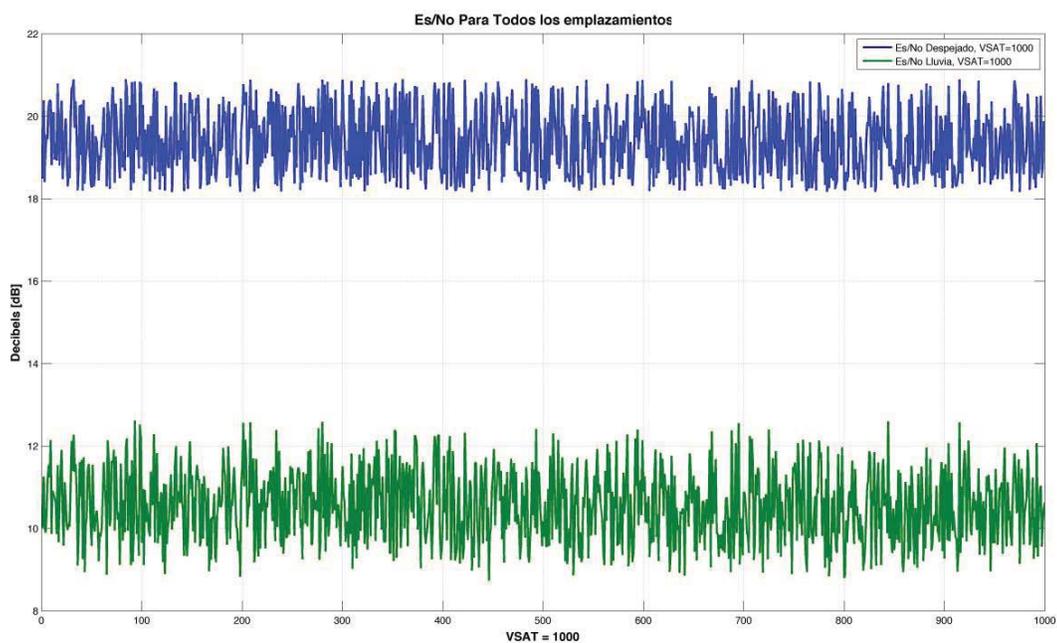


Fig. 4-30. E_s/N_0 despejado y con atenuación por lluvia para todos los emplazamientos de la red de datos satelital en banda Ka.

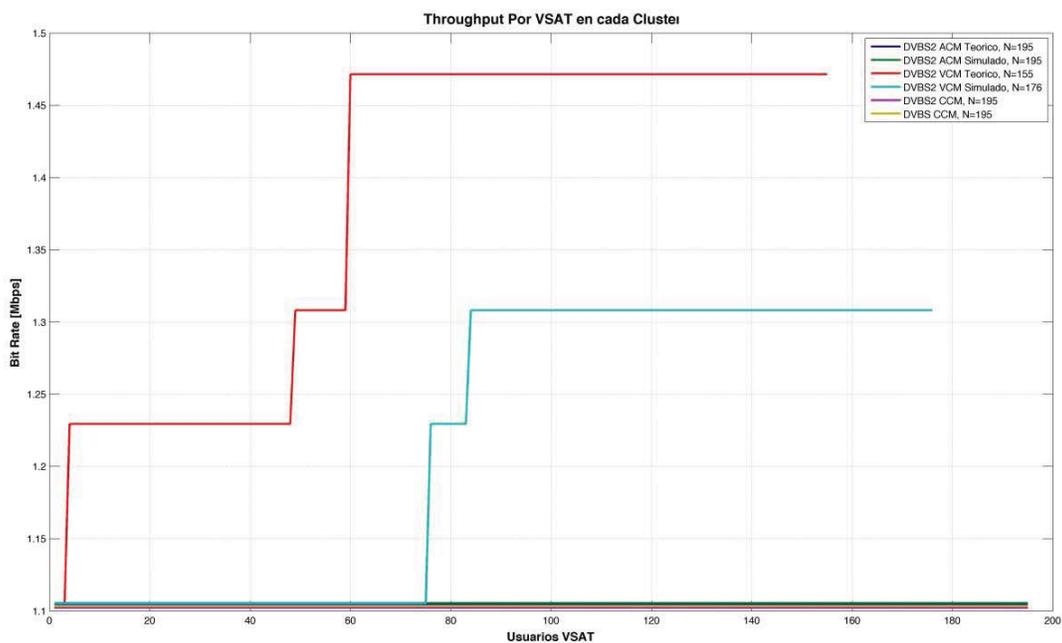


Fig. 4-31. Tasa de bits por usuario en clúster, se analiza de forma ascendente para determinar techo máximo por cada modo, red de datos satelital en banda Ka.

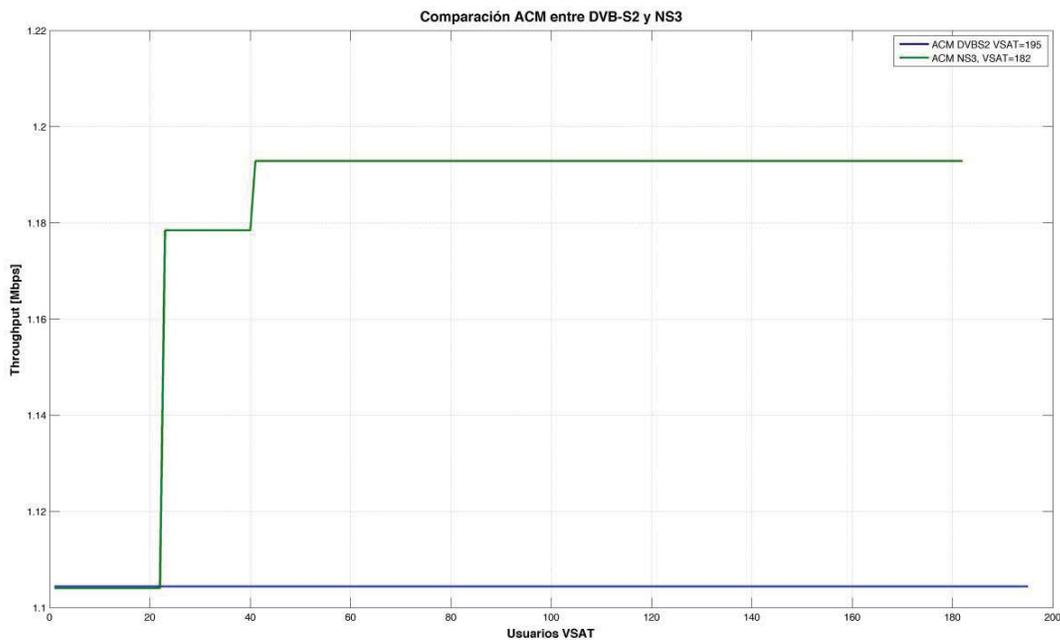


Fig. 4-32. Comparación entre DVB-S2 y NS3 usando ACM en clúster, red de datos satelital en banda Ka.

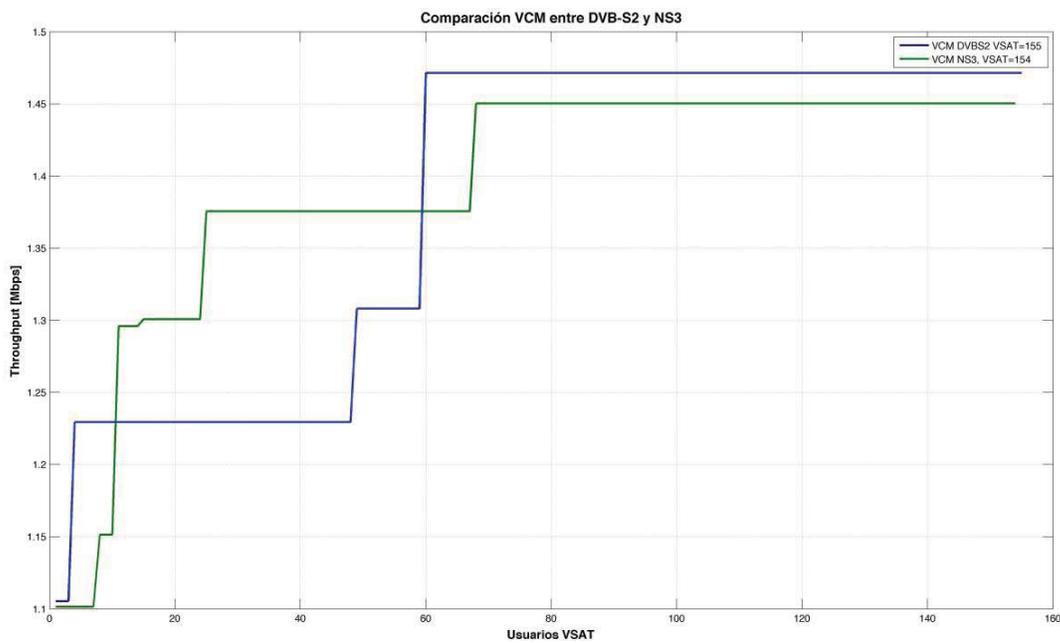


Fig. 4-33. Comparación entre DVB-S2 y NS3 usando VCM en clúster, red de datos satelital en banda Ka.

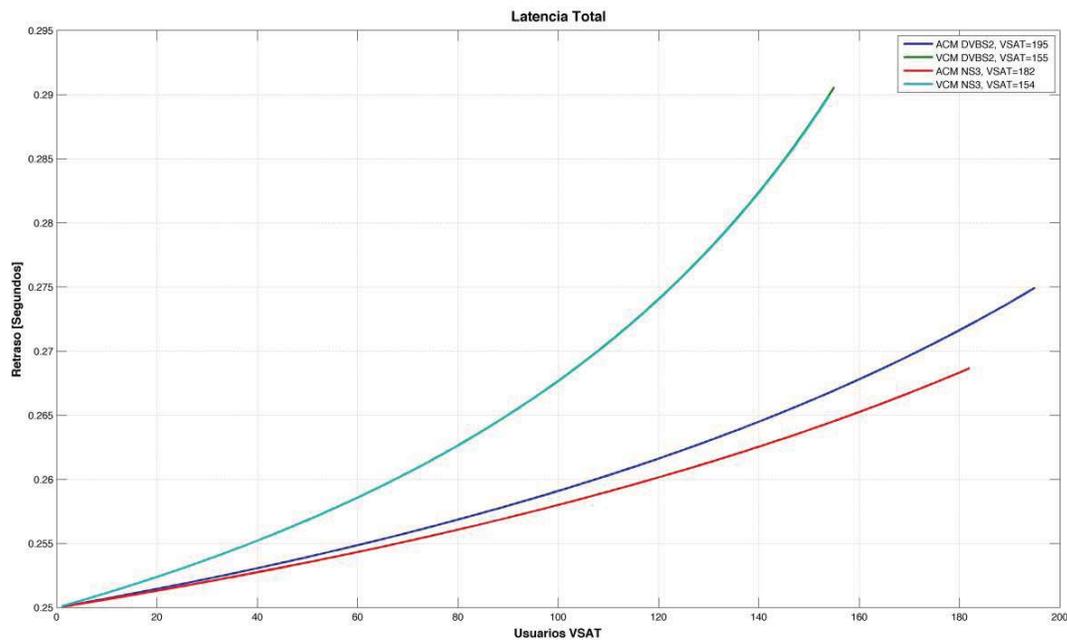


Fig. 4-34. Retraso comparativo DVB-S2 y NS3 usando VCM y ACM para los usuarios por clúster, red de datos satelital en banda Ka.

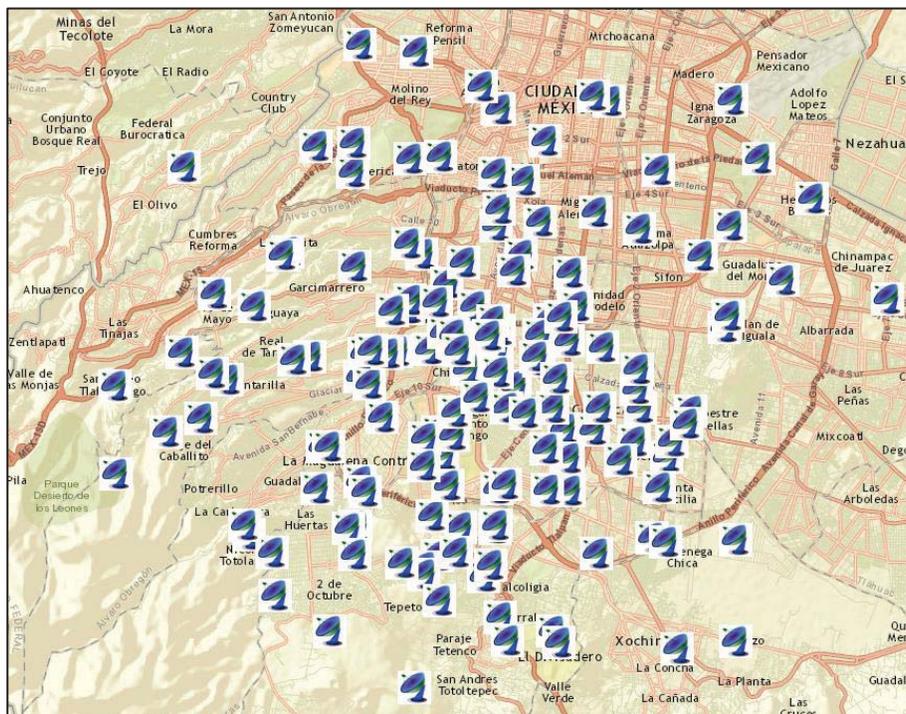


Fig. 4-35. Distribución en un clúster de las estaciones receptoras VSAT para red satelital en banda Ka.

Tipo	Clúster	Mejora	Throughput	Outbound	Inbound (1)	Inbound (2)
ACM DVBS2	195 VSAT	262.40%	215.3622 Mbps	1x216 Mbps	1x155 Mbps	192x128 Kbps
ACM NS3	182 VSAT	300.35%	214.8906 Mbps	1x216 Mbps	1x155 Mbps	182x128 Kbps
VCM DVBS2	155 VSAT	127.44%	214.303 Mbps	1x216 Mbps	1x155 Mbps	155x128 Kbps
VCM NS3	154 VSAT	127.63%	214.688 Mbps	1x216 Mbps	1x155 Mbps	154x128 Kbps
CCM DVBS2	195 VSAT	29.15%	214.9062 Mbps	1x216 Mbps	1x155 Mbps	195x128 Kbps
CCM DVBS	195 VSAT	-	215.1651 Mbps	1x216 Mbps	1x155 Mbps	195x128 Kbps

Tabla.4-6. Resumen de cantidades por clúster en la simulación para red satelital en banda Ka.

Tipo	Outbound Total	Inbound Total (1)	Inbound Total (2)
ACM DVBS2	6x216 Mbps	6x155 Mbps	1000x128 Kbps
ACM NS3	6x216 Mbps	6x155 Mbps	1000x128 Kbps
VCM DVBS2	7x216 Mbps	7x155 Mbps	1000x128 Kbps
VCM NS3	7x216 Mbps	7x155 Mbps	1000x128 Kbps
CCM DVBS2	6x216 Mbps	6x155 Mbps	1000x128 Kbps
CCM DVBS	6x216 Mbps	6x155 Mbps	1000x128 Kbps

Tabla.4-7. Resumen de cantidades de enlaces Inbound/Outbound totales en la red satelital en banda Ka.

Para la banda Ku se analiza para el 99.7% de disponibilidad del enlace, la atenuación juega un papel importante como se observa en la figura 4-29 en donde los enlaces por cada emplazamiento mucho más que en la banda Ku, se puede apreciar en la E_s/N_0 de la figura 4-30 como la separación entre un enlace despejado y un enlace con atenuación por lluvia tienen una separación de atenuación promedio de 9 dB aproximadamente, pero se está estimando con el 0.3% de intensidad de lluvia.

En la figura 4-31 se muestra el comportamiento de cada estación VSAT por clúster en el modo de uso, por ejemplo si se analiza CCM para DVB-S/S2, tienen un valor fijo de 1.10 Mbps, que es el tráfico calculado anteriormente que entregó como resultado de 1.1 Mbps ya considerado *Overhead* del 15%.

Esto implica un uso efectivo del ancho de banda del transpondedor, ya que también aumenta el valor de 18 Mhz en banda Ku pasa a estimarse en 125 MHz, los usuarios calculados y simulados es de 195 con CCM en DVB-S/S2 y con disponibilidad del 100% de los emplazamientos operacionales y disponibilidad del enlace al 99.7%, lo que es un diseño muy exitoso y económico en lo que a receptores/transmisores individuales VSAT se referiría.

Para los casos de estudio ACM y VCM, se observa que debido a como varía su eficiencia espectral algunos usuarios reciben mayor tasa de bits, si se analiza ACM se nota que al no existir atenuación y además un gran PIRE prácticamente está constante su eficiencia espectral, ya que estaría en el orden de 195 usuarios para ACM igual que CCM y 155 usuarios para VCM, valor que están por debajo del calculado que es de 195 usuarios teóricos. Por lo que si se va a desplegar una red con terminales VSAT individuales, los modem bastaría que posean DVB-S2/S con retrocompatibilidad en CCM.

En las figuras 4-32 y 4-33 se comparan ACM y VCM entre DVB-S2 y NS3, y como se observa en el caso de modulación y codificación adaptativa (ACM), existe cierta variación, como se explicó antes, debido ya que para este modo no se toma en cuenta la

atenuación y prácticamente permanece constante para todos los emplazamientos, como se observa en la figura 4-32 en el caso de ACM DVB-S2.

Pero en el caso de NS3, al tener más MODCOD y mejor eficiencia espectral, sigue aumentando hasta encontrar su techo, esto implica en una reducción de usuarios en comparación de DVB-S2, bajando hasta 182 usuarios por clúster.

En el modo VCM es distinto, VCM en DVB-S2 está diseñado para recuperarse de manera robusta cuando los enlaces satelitales se ven afectados por el mal tiempo, por esta razón en la figura 4-33 se visualiza como VCM en DVB-S2 tiene una mayor eficacia en recuperación de eficiencia espectral que VCM NS3, esto sin lugar a dudas obliga a que cada estación VSAT reciba una mayor tasa de bits y lógicamente una menor cantidad de usuarios por VSAT en comparación con los usuarios teóricos, consecuentemente entre los dos estándares hay una cierta similitud y es gracias al ancho de banda del transpondedor que NS3 responde mejor que en banda Ku, la cantidad de usuarios es casi igual, 155 para VCM DVB-S2 y 154 para VCM NS3.

Sin embargo como se analizó en un principio, para tasas bajas de bits por usuario, el modo CCM soporta muy bien todos los efectos climatológicos, por lo que se usará equipos de modulación y codificación constante, en caso de desplegar usuarios individuales, teniendo en cuenta que para transmisiones profesionales (mayores a 5 Mbps) los codificadores y modulaciones constantes (CCM) ya no están capacitados para operar, por lo que ACM y VCM se vuelven necesarios y más aún cuando son equipos que operan en banda Ka, donde son más sensibles a los cambios climatológicos.

De manera análoga que en el análisis en banda Ku, se hace ahora con las portadoras Inbound para la red de datos satelital en banda Ka.

La opción **Inbound (1)** está analizada para que por cada clúster se tenga un MINIHUB que reciba 216 Mbps de Outbound y retorne 155 Mbps de Inbound al HUB/NOC, entendiéndose que el Outbound está configurado para distribuir la información en todos los clústeres usando la técnica de reuso de frecuencias, mientras que los enlaces Inbound usarán bandas de frecuencia para acceder en modo TDMA al transpondedor satelital.

Cada MINIHUB estará asociado a una estación base para distribuir la información a los usuarios utilizando diferentes tipos de tecnología de radio acceso, pudiendo ser GSM, LTE, CDMA o WLAN en banda libre (ISM).

Dependerá del servicio final que se quiera entregar al usuarios final, y también los costos, cada opción de las mencionadas anteriormente será analizada en el Capítulo 5 para determinar la mejor opción en relación costo/desempeño.

Esto es posible gracias a la gran eficiencia de tecnologías en telecomunicaciones que se encuentran en el mercado, y la alta eficiencia de las redes satelitales como backhaul de datos.

Cada usuario en esta configuración recibirá **1.1 Mbps de bajada y 768 Kbps de subida**, por lo que es un servicio de banda ancha actual y un nicho alto de negocios en telecomunicaciones.

Para la opción **Inbound (2)**, es que cada usuario remoto VSAT acceda con su propio equipo a la recepción y envío de datos, es decir no está ligado a ninguna estación base ni MINHUB, sino únicamente a la cobertura satelital.

Como se observa en la tabla 4-6, se tiene igual número de enlaces Inbound que usuarios en el clúster, solo que el tener esta opción reduce dramáticamente la velocidad de subida, por el costo de uso del transpondedor, sin embargo en el capítulo 5 se hará un análisis de costo usando esta técnica.

En esta configuración cada usuario recibirá **1.1 Mbps de bajada y enviará 128 Kbps de subida**.

Por el momento la opción de Inbound (1) tiene mejor rendimiento que la opción (2) visto desde el estudio de desempeño en comunicaciones, habrá que estimar en un análisis de costo/desempeño para determinar que opción será la mejor y la más conveniente para cada usuario.

En la tabla 4-7 se muestra como estará la distribución de enlaces en toda la red con 1000 usuarios. En la columna de Outbound total, no se refiere a un enlace por cada clúster, sino los clúster a los que proporcionará información usando reuso de frecuencias.

Para las opciones (1) y (2) funciona perfectamente el enlace, ya que si está en la opción (1) enviará toda la capacidad de datos en una enlace al MINHUB para que este se encargue de distribuir la tasa de bits correspondiente a cada usuario, usando técnicas de radio acceso o terrestres.

Mientras que si estuviera la red configurada en la opción (2) el enlace se distribuirá para cada usuario VSAT receptor, es decir realizar una comunicación de tipo Broadcast en el clúster y que cada usuario recepte su paquete y que retorne información en una enlace individual.

Para la columna de Inbound (1) es la cantidad de enlaces en toda la red satelital, un enlace por cada clúster usando MINHUB, mientras que la columna Inbound (2) es un enlace individual Inbound por cada usuario terminal VSAT.

Para el análisis de retrasos en las comunicaciones, se observa en la figura 4-34 el comportamiento mediante las curvas de los retrasos en cada modo de operación y cada vez que aumentan los usuarios también aumenta el retraso en el clúster, las estaciones remotas están en la configuración Inbound (2).

Debido al ancho de banda del transpondedor en banda Ka, existe una cierta eficacia en el transporte de datos, por lo que se observa que VCM tanto para DVB-S2 y NS3 son muy parecidas, pues tienen la misma tendencia de retraso como se observa en la figura 4-33.

Para ACM al haber mejor eficiencia espectral y un ligero aumento en la tasa de bits, existe un retraso menor, por la velocidad en la transmisión, sin embargo todos estos parámetros se tienen que analizar el momento de realizar el estudio para un mejor rendimiento en la red.

En la figura 4-35, se ilustra un clúster satelital de datos en banda Ka, usando la opción Inbound (2). En el Anexo 3, Tabla A3-7 se tiene el detalle de cada uno de los enlaces para cada emplazamiento, MODCOD y tasa de bits, en tanto que en la tabla A3-8, se tiene el detalle de coordenadas para los terminales VSAT del clúster de la figura 4-35.

4.1.4 Determinación de la eficiencia entre ACM, VCM y CCM para los estándares DVB-S2 y NS3

Para determinar la eficiencia y hacer una comparativa entre los tipos de modo de operación, ACM, VCM y CCM tanto para el estándar DVB-S2 y NS3, se ha realizado un código basado en C++ para MATLAB® en el cual se simula un sistema en el que se va variando el tamaño de la portadora como también el ancho de banda del transpondedor, para analizar punto por punto que es más conveniente para implementar en una red de datos y que también ayude a reducir costos. La finalidad es analizar la cantidad de usuarios factibles por clúster como la eficiencia en porcentaje de throughput entre modos de operación. El código se puede analizar en el Anexo 1.

La simulación empieza por variar el transpondedor para banda Ku desde 18 MHz hasta los 72 MHz, en pasos de 18 MHz, así como la capacidad de la portadora desde 48 Mbps hasta 216 Mbps (Valor máximo asignado por el fabricante) en pasos de 48 Mbps.

Simulación en banda Ku

BW [MHz] TP	PORTADORA [Mbps]	USUARIOS TEORICOS	USUARIOS ACM DVBS2	USUARIOS ACM NS3	USUARIOS VCM DVBS2	USUARIOS VCM NS3	USUARIOS CCM DVBS2	USUARIOS CCM DVBS
18	48	43	41	41	35	40	44	41
18	96	86	82	82	73	79	88	82
18	144	130	123	124	114	121	133	123
18	192	173	165	164	156	160	177	165
18	216	195	184	183	156	183	199	184
36	48	43	39	40	37	37	43	39
36	96	86	78	80	74	68	86	78
36	144	130	118	119	111	111	130	118
36	192	173	157	160	147	135	173	157
36	216	195	177	180	165	152	195	177
54	48	43	36	34	36	38	43	36
54	96	86	73	69	73	76	87	73
54	144	130	108	103	108	114	131	108
54	192	173	145	138	146	153	174	145
54	216	195	165	156	162	171	196	165
72	48	43	39	34	38	37	43	39
72	96	86	77	68	75	69	86	77
72	144	130	117	103	112	104	130	117
72	192	173	154	138	151	147	173	154
72	216	195	175	157	169	157	195	175

Tabla.4-8. Comparación de la cantidad de usuarios por modo de operación variando capacidad de portadora [Mbps] y ancho de banda de transpondedor TP [MHz] en banda Ku.

BW [MHz] TP	PORTADORA [Mbps]	MEJORA EN ACM DVBS2	MEJORA EN ACM NS3	MEJORA EN VCM DVBS2	MEJORA EN VCM NS3	MEJORA EN CCM DVBS2
18	48	254.00	254.74	95.61	82.30	29.15
18	96	252.31	254.41	91.68	84.45	29.15
18	144	253.52	252.36	84.25	79.71	29.15
18	192	253.28	254.87	79.84	81.89	29.15
18	216	256.26	257.78	101.55	79.10	29.15
36	48	194.60	185.75	39.33	40.30	29.15
36	96	197.85	189.03	40.38	41.12	29.15
36	144	197.64	189.92	40.26	40.06	29.15
36	192	197.97	188.27	41.17	41.91	29.15
36	216	197.26	188.20	41.78	42.09	29.15
54	48	157.57	152.03	13.48	7.97	29.15
54	96	153.42	148.49	13.36	8.48	29.15
54	144	159.64	152.55	15.10	9.48	29.15
54	192	157.17	150.61	13.42	8.93	29.15
54	216	154.38	148.90	15.61	9.21	29.15
72	48	124.90	123.26	-7.80	-8.10	29.15
72	96	127.48	127.55	-6.60	-6.60	29.15
72	144	124.75	125.45	-6.60	-6.88	29.15
72	192	126.83	126.00	-6.90	-6.61	29.15
72	216	125.58	123.32	-6.60	-6.90	29.15

Tabla.4-9. Comparación en la mejora en porcentaje por modo de operación variando capacidad de portadora [Mbps] y ancho de banda de transpondedor TP [MHz] en comparación con CCM en DVB-S banda Ku.

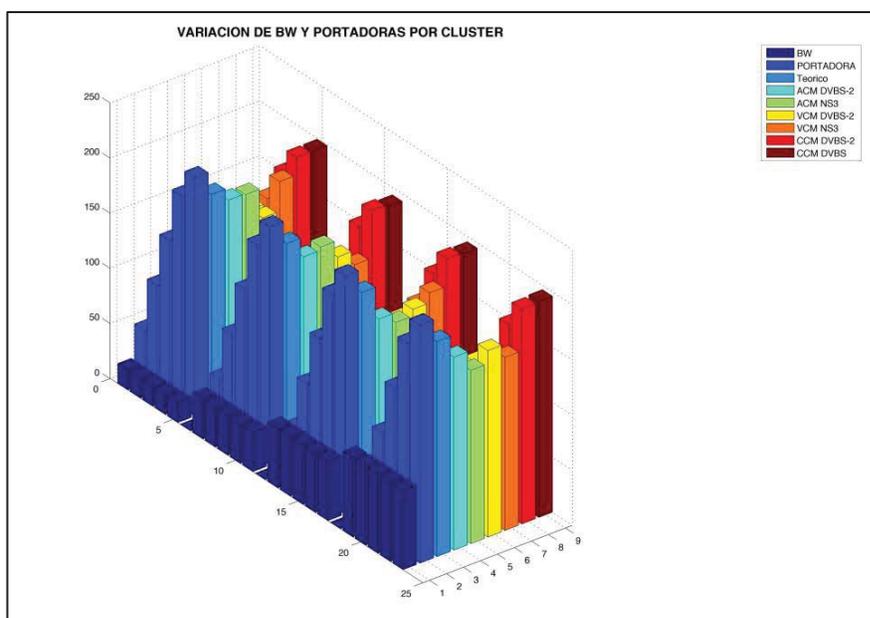


Fig. 4-36. Ilustración a partir de los valores de la tabla 4-8, en donde se varía ancho de banda del transpondedor [MHz] y la capacidad de la portadora [Mbps] en la banda Ku.

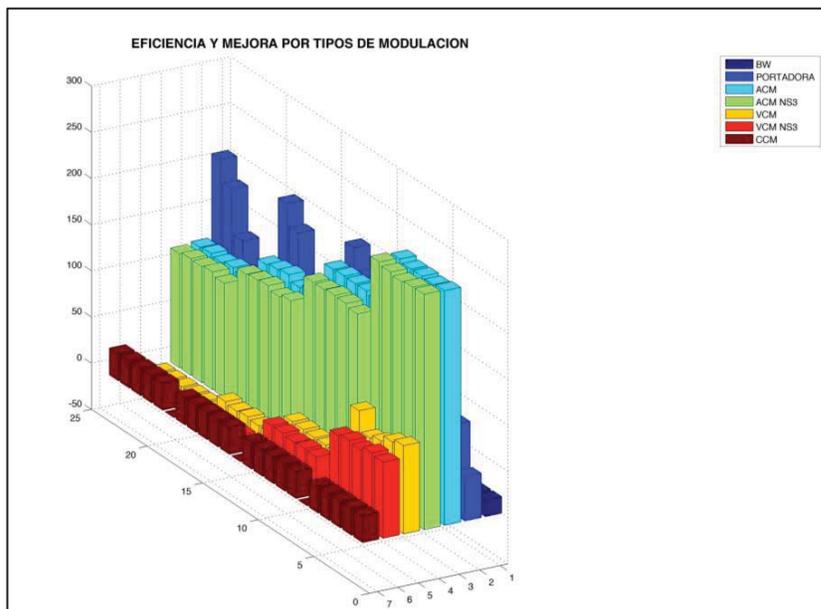


Fig. 4-37. Ilustración a partir de los valores de la tabla 4-9, en donde se varía ancho de banda del transpondedor [MHz] y la capacidad de la portadora [Mbps] para visualizarla mejora entre modos de operación, en la banda Ku.

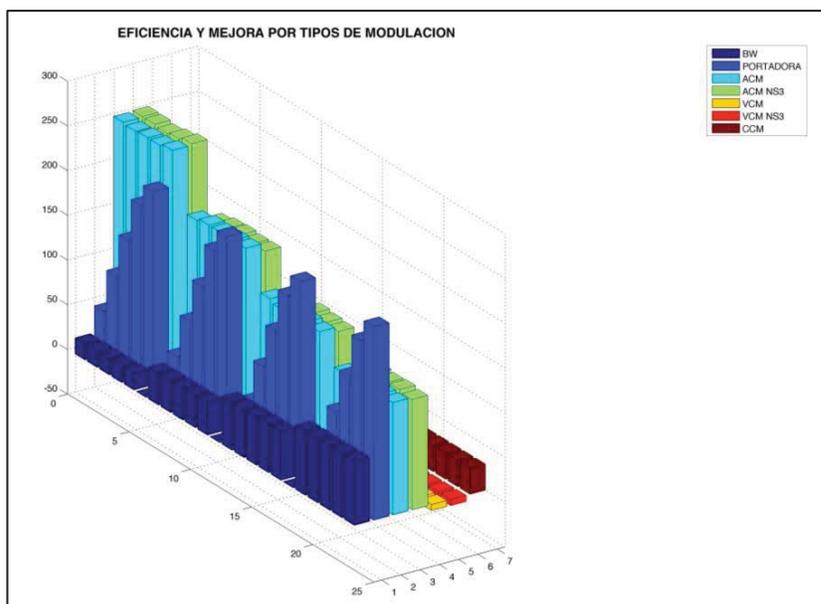


Fig. 4-38. Ilustración a partir de los valores de la tabla 4-9, en donde se varía ancho de banda del transpondedor [MHz] y la capacidad de la portadora [Mbps] para visualizar la mejora entre modos de operación, en la banda Ku.

Como se puede analizar los resultados en la tabla 4-8, se tienen resultados muy buenos en anchos de banda pequeños (18 y 36 MHz) mientras que desciende la cantidad de usuarios a medida de que aumenta el ancho de banda, por la razón de que al aumentar este parámetro, aumenta proporcionalmente la eficiencia espectral e incide para incrementar la tasa de bits en recepción/transmisión por estación remota, por lo que se reducen los usuarios, según se puede observar, es preferible trabajar en anchos de banda pequeños debido a que los equipos están diseñados para operar en esos espacios de banda. Además los costos tanto de equipos y segmento espacial también se reducen, por lo que se recomienda usar 18 MHz de ancho de banda en el transpondedor para operación en banda Ku.

Lo mismo se puede observar en la tabla 4-9, como los rendimientos son muy buenos con anchos de banda de transpondedor entre 18 y 36 MHz, por lo que se aprovecha tales rendimientos para desplegar la red. Al aumentar el ancho de banda del transpondedor solo ACM presenta un buen rendimiento, debido a la eficiencia espectral, el resto cae dramáticamente, pues ya no presenta mejora y operará holgadamente, entonces se determina trabajar en anchos de banda pequeños por eficiencia y menor costo.

En la figura 4-36 es una representación tridimensional de la variación de los parámetros de ancho de banda del transpondedor y la capacidad de la portadora y se puede ver como en cada modo de operación va variando la cantidad de usuarios y los comparamos entre sí para determinar la mejor opción tanto en segmento espacial como en segmento terrestre.

Mientras tanto las figuras 4-37 y 4-38 son la misma representación solo vistos desde diferentes puntos para demostrar que la eficiencia tiende a disminuir a medida de que se aumenta el ancho de banda, por lo que se recomienda trabajar en anchos de banda pequeños para aprovechar el rendimiento de los equipos que trabajan en banda Ku.

Finalmente esto determina mucho el rumbo de que equipos para segmento terrestre se va a obtener para operar y que segmento espacial se va a contratar, por lo que es muy importante el análisis de esta parte, pues sacarle provecho al segmento espacial puede hacer que se reduzca el costo en decenas de miles de dólares y un rendimiento máximo en la gestión de la red, todo esto se podrá analizar de mejor manera en el Capítulo 5.

CAPITULO 5:

ESTUDIO DE COSTOS Y FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACION

5.1. Licencias para operación de red satelital

La licencia debe estar a cargo por la autoridad nacional de telecomunicaciones del país en donde vaya a operar una estación terrena como parte de una red satelital, ya sea un HUB, una estación de control o un VSAT, donde está previsto que se instalen y exploten el servicio.

Una de las grandes preocupaciones de las autoridades es asegurar la compatibilidad entre redes de radio operativas para evitar interferencias que perjudiquen los diferentes sistemas. De esta manera, cualquier operador con licencia dentro de una cierta banda de frecuencia queda establecido e inamovible para no causar interferencia inaceptable a los demás en ese rango de frecuencias y debe protegerse contra la interferencia causada por otros, es decir todos los operadores respetarán la banda asignada por la autoridad nacional de telecomunicaciones.

En el pasado, las autoridades nacionales de telecomunicaciones han solicitado licencias para terminales VSAT de manera individual, además de solicitar una licencia de operador de red. Esto desató un trámite bastante engorroso, para lo que la Comisión Federal de Comunicaciones de Estados Unidos (**FCC**) implementó con éxito fue un enfoque general para la concesión de licencias VSAT operados dentro de los EE.UU, entregando licencias de operación por tiempo limitado, conocidos como “*blanket license*”.

Las VSAT se configuran en base a criterios técnicos (nivel de potencia, frecuencia, etc.) para eliminar el riesgo de interferencia con otras VSAT y de otras redes, por lo que una sola licencia se puede emitir para abarcar un gran número de terminales VSAT pertenecientes a esa red. Este modo de operación con licencia global ha ganado interés entre las autoridades nacionales de telecomunicaciones de todo el mundo, como resultado de lo anterior, los fabricantes de equipamiento satelital tienen que cumplir con las recomendaciones emitidas por organismos de normalización internacionales, como la Unión Internacional de Telecomunicaciones (**ITU**) y el Instituto de Estandarización Europeo de Telecomunicaciones (**ETSI**).

Una licencia por lo general implica el pago de una tasa, que generalmente está dividido en dos partes: un pago único para la licencia de operación y un cargo anual por estación. El procedimiento de concesión de licencias es más simple cuando la red es nacional, ya que una sola autoridad de telecomunicaciones está involucrada. Para las redes transfronterizas, las licencias deben ser obtenidas de las diferentes autoridades nacionales por concepto de las estaciones terrenas a ser instaladas y operadas. Las normas y reglas a menudo difieren de un país a otro, y para facilitar el acceso a estas normativas, los organismos de control de telecomunicaciones de todo el mundo han comenzado a publicar los datos relacionados con la explotación de redes VSAT satelitales en cada uno de sus países, con el único fin de agilizar los trámites de legalización.

5.1.1. El acceso al segmento espacial

Esto se refiere a los procedimientos técnicos que los operadores del satélite solicitan a los operadores de las estaciones terrenas para la transmisión de las portadoras hacia y desde sus transpondedores satelitales.

Muy a menudo estos requisitos se basan en las Recomendaciones del ITU-R, pero algunos operadores satelitales podrán imponer restricciones especiales para el funcionamiento. En cualquier caso, el operador de una red VSAT se ve obligado a cumplir con los requisitos impuestos por el operador de satélites en términos de estación terrena, PIRE máximo, G/T, la estabilidad de frecuencia y el control de la transmisión.

5.1.2. Las regulaciones locales

La instalación de una red VSAT abarca problemas relacionados con la planificación u ordenamiento territorial de ciertas regiones, sean urbanas, rurales y zonas de seguridad para las personas. La VSAT debe cumplir con las regulaciones locales referentes al cuidado del medio ambiente y el menor impacto de contaminación visual, tales como el tamaño del plato de la antena, el color y la forma. Por último, el propietario puede canalizar los cables mediante ductos e instalar antenas montadas en el techo con materiales recomendado para soportar el peso de la antena.

5.2. Estimación del costo para el segmento terrestre

Para realizar la valoración del segmento terrestre, se debe tener en cuenta todos los elementos de red que intervienen en la misma, desde la estación terrena (HUB, NOC, Antena transmisora/receptora), estaciones remotas VSAT, MINIHUB y estaciones base (BS) que son las estaciones que se comunican con los MINIHUB hacia el backhaul satelital. Para aclarar cada uno de los segmentos indicados anteriormente, se irá subdividiendo cada punto y detallando cada elemento que interviene dentro de la operación de los mismos.

5.2.1 Valoración del costo de la estación terrena

En la tabla 5-1, se detalla los componentes que intervienen en un HUB/NOC satelital, donde el costo es muy elevado, sin embargo es un valor casi constante para cualquier red satelital a desplegar, por lo que este será el rubro más fuerte en un proyecto de telecomunicaciones basado en enlaces satelitales.

ESTACIÓN TERRENA (HUB)+NOC [en USD]					
ITEM	MODELO/TIPO/DESCRIPCION	CARACTERÍSTICAS	CANTIDAD	P. UNITARIO	P. TOTAL
1	ANTENA CASSGRAIN SATCOM CON EXTRAS PARA BANDA Ku, Y TRACKING ELECTRÓNICO.[27]	Banda L, S, C, X, Ku/ 13.1 m/63-90 K[Depende Angulo Elevación]/ 100-2000W/Acceso FDMA-TDMA	1	\$332,966.00	\$332,966.00
2	HPA XICOM XTRD-750K, TWT.[28]	Frec= 13.75-14,75GHz/BW=750MHz/G=75dB/P=750W	1	\$70,000.00	\$70,000.00
3	LNA SATCOM LKR12S80.[29]	Frec=10,7-12,75GHz/G=64dB/T=80K/FR=1.1dB	1	\$2,400.00	\$2,400.00
4	MODULADOR NEWTEC® AZIMUTH AZ110+COMPONENTES DE OPERACIÓN.[14]	Portadora de hasta 216 Mbps, DVB-S2, compatible NS3 y retrocompatibilidad DVB-S	1	\$34,145.00	\$34,145.00
5	DEMODULADOR NEWTEC® AZIMUTH AZ910+COMPONENTES DE OPERACIÓN.[15]	Portadora de hasta 155 Mbps, DVB-S2, compatible NS3 y retrocompatibilidad DVB-S	7	\$12,789.00	\$89,523.00
6	CONVERTIDOR DE FRECUENCIA Ku/L, NEWTEC® AZIMUTH AZ730+COMPONENTES DE OPERACIÓN.[30]	Función Up/Down, Frecuencia intermedia Conmutable, Banda L para operación interna en estación terrena	2	\$15,331.00	\$30,662.00

7	NEWTEC® STREAM AGREGATOR AZ810	Operación en NOC de datos	2	\$11,310.00	\$22,620.00
8	NEWTEC® ASI/SPI G.703 CONVERTIDOR AZ820	Operación en NOC de datos	2	\$5,100.00	\$10,200.00
9	NEWTEC® BISS SCRAMBLER AZ840	Operación en NOC de datos	2	\$5,585.00	\$11,170.00
10	NEWTEC® RATE ADAPTER AZ850	Operación en NOC de datos	2	\$4,516.00	\$9,032.00
11	NEWTEC® CONCENTRADOR/DESCONCENTRADOR AZ860	Operación en NOC de datos	2	\$5,950.00	\$11,900.00
12	NEWTEC® MODULATOR REDUNDANCY SWITCH AZ210	Operación en NOC de datos	2	\$4,160.00	\$8,320.00
13	CISCO® ROUTER 891-K9 GbE ^[31]	Operación en NOC de datos	1	\$1,074.86	\$1,074.86
14	CISCO® SWITCH SF300 L2/L3. ^[32]	Operación en NOC de datos	1	\$399.99	\$399.99
15	SISTEMA ELECTRICO, ESTUDIO Y CONSTRUCCIÓN	SISTEMA ELECTRICO DE DISTRIBUCIÓN EN MEDIA Y BAJA TENSIÓN, TRANSFORMADORES Y CANALIZACIÓN, INSTALACIONES INTERNAS	1	\$30,000.00	\$30,000.00
16	CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMA ELECTRICO, ESTUDIO Y CONSTRUCCIÓN	REGULADORES Y VARIADORES DE TENSIÓN, MONITOREO DEL SISTEMA, ARRANCADORES SUAVES TRIFASICOS	1	\$80,000.00	\$80,000.00
17	TERRENOS E INFRAESTRUCTURA CIVIL, ESTUDIO Y CONSTRUCCIÓN	OBRA CIVIL PARA LA ESTACIÓN TERRENA	1	\$100,000.00	\$100,000.00
18	COSTOS INDIRECTOS		1	\$16,888.26	\$16,888.26
				SUBTOTAL*	\$861,301.11
*sin considerar impuestos y por importación de los dispositivos					

Tabla 5-1. Estimación del costo total de una estación terrena para operar en banda Ku.

5.2.2 Valoración del costo de un MINIHUB VSAT

Para estimar el costo de un MINIHUB se debe entender que es un terminal para recibir y transmitir altas tasas de bits, es decir son estaciones para comunicarse con el backhaul satelital en caso de ser distribuidores de datos en estaciones base de tecnología celular especialmente y de última milla usando otras técnicas de acceso. También son usadas para terminales profesionales en caso de redes corporativas y enlaces de contribución.

ESTACIÓN MINIHUB VSAT [en USD]					
ITEM	MODELO/TIPO/DESCRIPCION	CARACTERÍSTICAS	CANTIDAD	P. UNITARIO	P. TOTAL
1	Antena VSAT + Radio 2W ^[17]	Banda C, Ku, Ka/0,98m/230-330K/Tx=41.3dBi/Rx=39,8dBi/FDMA-TDMA, MINIHUB	7	\$1,435.00	\$10,045.00
2	MODEM NEWTEC® AZIMUTH AZ410+COMPONENTES DE OPERACIÓN.[16]	Tasas de hasta 216 Mbps, DVB-S2, compatible NS3 y retrocompatibilidad DVB-S	7	\$28,550.00	\$199,850.00
3	CISCO® SWITCH SF300 L2/L3. ^[32]	Operación en NOC de datos/MINIHUB	7	\$399.99	\$2,799.93
4	INFRAESTRUCTURA PARA ESTACION MINIHUB	INCLUYE ALIMENTACION ELECTRICA Y ADECUACIÓN DE RACK	7	\$5,000.00	\$35,000.00
18	COSTOS INDIRECTOS		1	\$4,953.90	\$4,953.90
				SUBTOTAL*	\$252,648.83
*sin considerar impuestos y por importación de los dispositivos					

Tabla 5-2. Estimación del costo total de las estaciones MINIHUB para operar en banda Ku.

Para dimensionar la cantidad de MINIHUB total en la red, se toma el caso más crítico de dimensionamiento en banda Ku, que sería VCM/DVB-S2 que sirve a 7 clústeres, por lo tanto serían 7 estaciones MINIHUB VSAT, los detalles están en la tabla 4-5, opción Inbound (1). La tabla 5-2 se detalla los componentes y se estima el costo de una estación MINIHUB.

Con 160 usuarios por clúster, a 1.1 Mbps de bajada y 768Kbps de subida para cada cliente subscriptor, y haciendo un cálculo rápido de la capacidad del MINIHUB se tendrá 176Mbps/122.8Mbps totales, por lo que la red está utilizada al 80% del total (216Mbps/155Mbps), por lo que a futuro se puede expandir a más usuarios en la clúster.

5.2.3 Valoración del costo por estación remota VSAT por usuario

La valoración de cada terminal VSAT esta diferenciada en el servicio que se está yendo a distribuir, puesto que el diseño está hecho tanto para radiodifusión como para enlace de datos, por lo que se dividen los costos para cada tipo de servicio, como se tiene a continuación, considerando 1000 clientes para cada servicio. La tabla 5-3 detalla el costo del equipo por estación VSAT para usuario remoto, mientras que la tabla 5-4 estima el costo de un sistema receptor de TV satelital para cada usuario.

COSTO DE LAS ESTACIONES REMOTAS VSAT PARA ENLACE DE DATOS [en USD]					
ITEM	MODELO/TIPO/DESCRIPCION	CARACTERÍSTICAS	CANTIDAD	P. UNITARIO	P. TOTAL
1	ANTENA VSAT+RADIO 1W.	Banda C, Ku, Ka/0,98m/230-330K/Tx=41.3dBi/Rx=39,8dBi/FDMA-TDMA	1000	\$620.05	\$620,050.00
2	MODEM HN700S	Modem para estación remota personal, para uso home/small bussiness	1000	\$329.95	\$329,950.00
				SUBTOTAL*	\$950,000.00
*Sin considerar impuestos por importación de las antenas VSAT					

Tabla 5-3. Estimación del costo total de las estaciones VSAT para enlace de datos en banda Ku.

COSTO DE LAS ESTACIONES REMOTAS VSAT PARA RADIODIFUSION [en USD]					
ITEM	MODELO/TIPO/DESCRIPCION	CARACTERÍSTICAS	CANTIDAD	P. UNITARIO	P. TOTAL
1	ANTENA VSAT RECEPCIÓN DE TV SATELITA 0.74m	Banda Ku Rx=39,8dBi	1000	\$45.00	\$45,000.00
2	DECODIFICADOR DE TV SATELITAL	Decodificador DVB-S2/S	1000	\$97.00	\$97,000.00
				SUBTOTAL*	\$142,000.00
*Sin considerar impuestos por importación de las antenas VSAT					

Tabla 5-4. Estimación del costo total de las estaciones VSAT para TV satelital en banda Ku.

5.2.4 Valoración del costo de las estaciones base (BS)

Como parte del estudio, a más de las estaciones MINIHUB se debe incluir las estaciones BS, que son las encargadas de distribuir y recibir la información de cada usuario para enlazarse al MINIHUB, es decir será un punto de acceso (*Access Point*) de comunicaciones al backhaul satelital.

COSTO DE LAS ESTACIONES BASE GSM/LTE PARA BACKHAUL SATELITAL + EQUIPOS PARA USUARIOS [en USD]					
ITEM	MODELO/TIPO/DESCRIPCION	CARACTERÍSTICAS	CANTIDAD	P. UNITARIO	P. TOTAL
1	ESTACIÓN GSM/LTE	Estación equipada para trabajar en red celular GSM/LTE + Torre + Infraestructura Civil	7	\$115,000.00	\$805,000.00
2	MODEM GSM/LTE	Equipos para usuarios GSM/LTE en caso de no disponer de equipo convencional (Smartphone)	1000	\$70.50	\$70,500.00
				SUBTOTAL*	\$875,500.00
*Sin considerar impuestos por importación de las antenas VSAT					

Tabla 5-5. Estimación de estaciones BS GSM/LTE para Backhaul satelital en banda Ku.

COSTO DE LAS ESTACIONES BASE CDMA 450/EVDO PARA BACKHAUL SATELITAL + EQUIPOS PARA USUARIOS					
ITEM	MODELO/TIPO/DESCRIPCION	CARACTERÍSTICAS	CANTIDAD	P. UNITARIO	P. TOTAL
1	ESTACIÓN CDMA/EV-DO ⁹³	Estación equipada para trabajar en red celular CDMA 450Mhz con red de datos EV-DO + Torre + Infraestructura Civil	7	\$54,000.00	\$378,000.00
2	MODEM CDMA/EV-DO	Equipos para usuarios CDMA/EVDO en caso de no disponer de equipo convencional (Smartphone)	1000	\$34.00	\$34,000.00
				SUBTOTAL*	\$412,000.00
*Sin considerar impuestos por importación de las antenas VSAT					

Tabla 5-6. Estimación de estaciones BS CDMA 450/EV-DO para Backhaul satelital en banda Ku.

COSTO DE LAS ESTACIONES BASE 2.4GHz WLAN ISM PARA BACKHAUL SATELITAL + EQUIPOS PARA USUARIOS [en USD]					
ITEM	MODELO/TIPO/DESCRIPCION	CARACTERÍSTICAS	CANTIDAD	P. UNITARIO	P. TOTAL
1	ESTACIÓN 2.4 GHz WLAN	Estación con antenas sectoriales 3x120° MIMO 2x2 2.4 GHz, ISM, L=10Km 17dBi [34] + Torre + Infraestructura Civil	7	\$1,984.00	\$13,888.00
2	TERMINAL CPE	Equipo remoto WLAN 2.4 GHz 8 dBi UBIQUITI [35]	1000	\$52.00	\$52,000.00
				SUBTOTAL*	\$65,888.00
*Sin considerar impuestos por importación de las antenas VSAT					

Tabla 5-7. Estimación de estaciones BS WLAN 2.4 GHz ISM para Backhaul satelital en banda Ku.

⁹³ EV-DO: EVOLUTION-DATA OPTIMIZED: (Estándar para comunicaciones móviles celulares evolucionada de IS-95 o CDMAONE)

La cantidad de estaciones base es igual a la cantidad de MINIHUB de la red, para el caso de este estudio, sería 7 BS, y se estima el costo por tecnología que se considera de punta y de nueva generación para dotar de enlaces de banda ancha a los usuarios finales. Las tablas 5-5, tabla 5-6 y tabla 5-7 estiman los costos de estaciones base para las tecnologías GSM/LTE, CDMA/EV-DO y WLAN 2.4 GHz respectivamente.

5.3. Estimación del costo para el segmento espacial

El costo espacial dependerá exclusivamente de cómo se quiera negociar con el operador satelital, lo más conveniente es que si se va a desplegar una red importante de servicios de telecomunicaciones, pudiendo ser múltiples servicios, como radiodifusión, banda ancha, servicios profesionales y de contribución, lo recomendable es arrendar un transpondedor entero o la cantidad que se requiera por un tiempo establecido, generalmente se renta anualmente.

Esto sin lugar a duda, garantiza un ahorro importante a diferencia de alquilar portadoras de tamaño establecido, generalmente en Kbps y de renta mensual, a continuación se presenta una tabla con valores en donde podremos elegir lo que más convenga a la red de telecomunicaciones a operar. La tabla 5-8 detalla el costo por transpondedor en segmento espacial así como el costo de portadoras dedicadas en caso de usar enlaces Inbound individuales.

COSTO DE RENTA DE SERVICIOS DE SEGMENTO ESPACIAL [en USD]			
Descripción	Costo Mensual	Costo Anual	Para 5 Años
Transpondedor satelital 18 MHz	\$65,000.00	\$780,000.00	\$3,900,000.00
Transpondedor satelital 36 MHz	\$100,000.00	\$1,200,000.00	\$6,000,000.00
Transpondedor satelital 72 MHz	\$175,000.00	\$2,100,000.00	\$10,500,000.00
Portadora 64 Kbps	\$500.00	\$6,000.00	\$30,000.00
Portadora 128 Kbps	\$1,000.00	\$12,000.00	\$60,000.00

Tabla 5-8. Costo de los servicios de segmento espacial, aproximados.

5.4. Comparación de costos en una red satelital para distintas alternativas de configuración para la distribución de los contenidos de información

Con los costos tanto de segmento terrestre y segmento espacial, se va ensamblar las diferentes configuraciones de red y compararlas entre ellas, así se podrá determinar que opción es la más conveniente en relación costo versus desempeño para la red de telecomunicaciones planteada.

La opción (1) se refiere a que la red satelital se segmenta en varios clústeres, un MINIHUB por clúster que envía y recibe grandes paquetes de información y que se usa varios Puntos de Acceso (*Access Point*) de comunicaciones basados en estaciones base (BS) para comunicar a los usuarios finales en redes de acceso por radio en la última milla, basados en GSM/LTE, CDMA/EV-DO o WLAN 2.4 GHz.

La opción (2) es la red satelital basada en terminales remotas VSAT por usuario, es decir cada usuario final tiene una estación remota propia. Los dos opciones anteriores hacen referencia a

enlaces de datos mientras que para radiodifusión, es una sola distribución de red, con terminales de recepción VSAT para todos los usuarios, considerando 1000 usuarios para este servicio, 2000 usuarios entre servicio de datos y radiodifusión.

COSTO DE INVERSIÓN PARA DIFERENTES CONFIGURACIONES DE RED DE TELECOMUNICACIONES BASADO EN BACKHAUL SATELITAL [en USD]					
DESCRIPCION (1)	PRIMER AÑO	SEGUNDO AÑO	TERCER AÑO	CUARTO AÑO	QUINTO AÑO
BACKHAUL SATELITAL +MINIHUB+ULTIMA MILLA GSM/LTE PARA 1000 TERMINALES	\$2,059,449.94	-	-	-	-
EQUIPOS RADIODIFUSIÓN TV 1000 USUARIOS	\$142,000.00	-	-	-	-
MANTENIMIENTO HUB	\$86,130.11	\$86,130.11	\$86,130.11	\$86,130.11	\$86,130.11
SEGMENTO ESPACIAL TRANSPONDER 36 MHz [18 MHz UPLINK/18MHz DOWNLINK]	\$1,200,000.00	\$1,200,000.00	\$1,200,000.00	\$1,200,000.00	\$1,200,000.00
TOTAL	\$3,487,580.05	\$1,286,130.11	\$1,286,130.11	\$1,286,130.11	\$1,286,130.11

Tabla 5-9. Estimación del costo total de segmento terrestre y espacial para 5 años, Backhaul Satelital Ku y última milla GSM/LTE.

COSTO DE INVERSIÓN PARA DIFERENTES CONFIGURACIONES DE RED DE TELECOMUNICACIONES BASADO EN BACKHAUL SATELITAL [en USD]					
DESCRIPCION (1)	PRIMER AÑO	SEGUNDO AÑO	TERCER AÑO	CUARTO AÑO	QUINTO AÑO
BACKHAUL SATELITAL +MINIHUB+ULTIMA MILLA CDMA/EVDO PARA 1000 TERMINALES	\$1,672,949.94	-	-	-	-
EQUIPOS RADIODIFUSIÓN TV 1000 USUARIOS	\$142,000.00	-	-	-	-
MANTENIMIENTO HUB	\$86,130.11	\$86,130.11	\$86,130.11	\$86,130.11	\$86,130.11
SEGMENTO ESPACIAL TRANSPONDER 36 MHz [18 MHz UPLINK/18MHz DOWNLINK]	\$1,200,000.00	\$1,200,000.00	\$1,200,000.00	\$1,200,000.00	\$1,200,000.00
TOTAL	\$3,101,080.05	\$1,286,130.11	\$1,286,130.11	\$1,286,130.11	\$1,286,130.11

Tabla 5-10. Estimación del costo total de segmento terrestre y espacial para 5 años, Backhaul Satelital Ku y última milla CDMA/EV-DO.

COSTO DE INVERSIÓN PARA DIFERENTES CONFIGURACIONES DE RED DE TELECOMUNICACIONES BASADO EN BACKHAUL SATELITAL [en USD]					
DESCRIPCION (1)	PRIMER AÑO	SEGUNDO AÑO	TERCER AÑO	CUARTO AÑO	QUINTO AÑO
BACKHAUL SATELITAL +MINIHUB+ULTIMA MILLA WLAN 2.4 GHz PARA 1000 TERMINALES	\$1,179,837.94	-	-	-	-
EQUIPOS RADIODIFUSIÓN TV 1000 USUARIOS	\$142,000.00	-	-	-	-
MANTENIMIENTO HUB	\$86,130.11	\$86,130.11	\$86,130.11	\$86,130.11	\$86,130.11
SEGMENTO ESPACIAL TRANSPONDER 36 MHz [18 MHz UPLINK/18MHz DOWNLINK]	\$1,200,000.00	\$1,200,000.00	\$1,200,000.00	\$1,200,000.00	\$1,200,000.00
TOTAL	\$2,607,968.05	\$1,286,130.11	\$1,286,130.11	\$1,286,130.11	\$1,286,130.11

Tabla 5-11. Estimación del costo total de segmento terrestre y espacial para 5 años, Backhaul Satelital Ku y última milla WLAN 2.4 GHz.

COSTO DE INVERSIÓN PARA DIFERENTES CONFIGURACIONES DE RED DE TELECOMUNICACIONES BASADO EN BACKHAUL SATELITAL [en USD]					
DESCRIPCION (2)	PRIMER AÑO	SEGUNDO AÑO	TERCER AÑO	CUARTO AÑO	QUINTO AÑO
BACKHAUL SATELITAL + 1000 EQUIPOS VSAT PARA ENLACE DE DATOS	\$1,811,301.11	-	-	-	-
EQUIPOS RADIODIFUSIÓN TV 1000 USUARIOS	\$142,000.00	-	-	-	-
MANTENIMIENTO HUB	\$86,130.11	\$86,130.11	\$86,130.11	\$86,130.11	\$86,130.11
SEGMENTO ESPACIAL PARA 1000 PORTADORAS INBOUND 128 Kbps 1000	\$1,140,000.00	\$1,140,000.00	\$1,140,000.00	\$1,140,000.00	\$1,140,000.00
SEGMENTO ESPACIAL TRANSPONDER 18 MHz	\$780,000.00	\$780,000.00	\$780,000.00	\$780,000.00	\$780,000.00
TOTAL	\$3,959,431.22	\$2,006,130.11	\$2,006,130.11	\$2,006,130.11	\$2,006,130.11

Tabla 5-12. Estimación del costo total de segmento terrestre y espacial para 5 años, Backhaul Satelital Ku con terminales remotos VSAT.

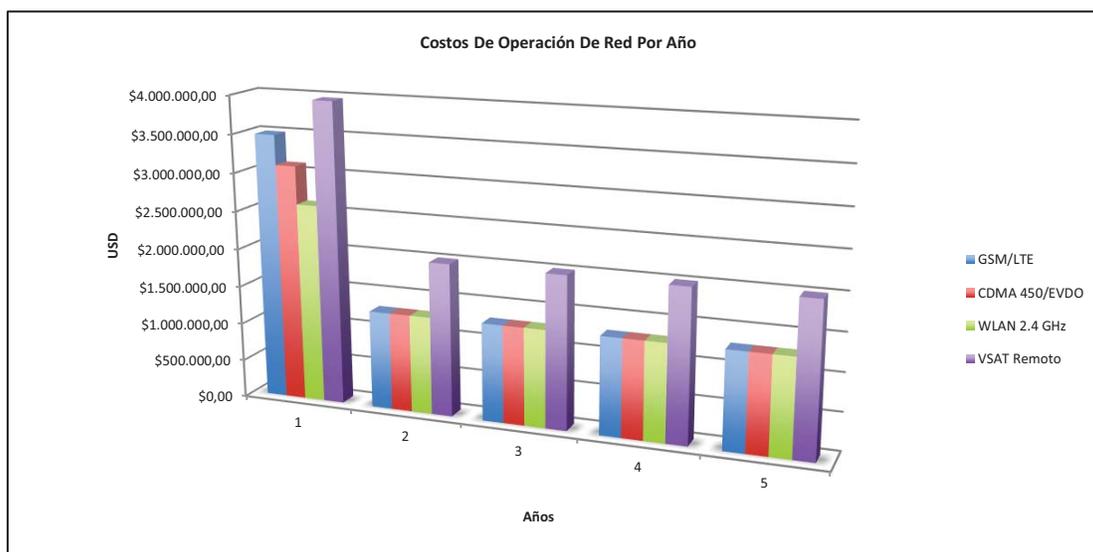


Fig. 5-1. Costos de operación de red para 5 años.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Total	Ahorro
GSM/LTE	\$3,487,580.05	\$1,286,130.11	\$1,286,130.11	\$1,286,130.11	\$1,286,130.11	\$8,632,100.49	27.97%
CDMA/EV-DO	\$3,101,080.05	\$1,286,130.11	\$1,286,130.11	\$1,286,130.11	\$1,286,130.11	\$8,245,600.49	31.19%
WLAN 2.4GHz	\$2,607,968.05	\$1,286,130.11	\$1,286,130.11	\$1,286,130.11	\$1,286,130.11	\$7,752,488.49	35.31%
VSAT Remoto	\$3,959,431.22	\$2,006,130.11	\$2,006,130.11	\$2,006,130.11	\$2,006,130.11	\$11,983,951.66	-

Tabla 5-13. Estimación del costo total de segmento terrestre y espacial para 5 años por cada tecnología, resumen total [en USD].

Las tabla 5-9, tabla 5-10, tabla 5-11 y tabla 5-12 son el costo de la infraestructura terrestre más el segmento espacial para GSM/LTE, CDMA/EV-DO, WLAN 2.4 GHz y VSAT remoto respectivamente, y está resumida en la tabla 5-13.

En la figura 5-1 se puede ilustrar ya de forma precisa, la diferencia en costos entre las diferentes configuraciones que se pueden realizar con una backhaul satelital. Los costos ya son totales e incluyen el costo de segmento terrestre y segmento espacial, no se consideran los costos de licencias de operación.

El costo del HUB/NOC (Tabla 5-1) es elevado, debido a lo delicado de los equipos y la funcionalidad que se le quiera dar, este quizá es el rubro que menos se pueda abaratar y permanece constante casi siempre en todo diseño de red satelital.

Se puede notar por los resultados en la tabla resumen 5-13, que los costos son elevados en el despliegue de estas redes y la inversión inicial debe ser muy alta, es por eso que se ha clasificado por años, donde el primero es el que representa el egreso más fuerte y en donde claramente se diferencia que la opción de usar WLAN a 2.4 GHz en última milla es el más económico cerrando con un ahorro del 35.31% en relación al más caro que es el de terminales remotos VSAT por cliente.

El resto de años los egresos se consideran por mantenimiento del HUB/NOC y pago de uso de transpondedores satelitales.

También existe un ahorro interesante en lo que ha GSM/LTE y CDMA/EV-DO se refiere, el primero porque representa la red móvil más usada en el mundo, en donde las operadoras desean incrementar su cobertura cada vez más y eso incluye zonas de difícil acceso, y en donde una red satelital presenta una solución muy factible en lugares donde la infraestructura terrestre no es posible, sin embargo se debe acotar que esta solución necesariamente debe ser óptima para una operadora ya establecida en el mercado por el alto costo de la concesión de operación en la banda GSM y LTE en el espectro de frecuencia asignada, que son algunos millones de dólares, USD.

Esto es porque si una operadora naciente de servicios quiera ofrecer ese acceso de radio, no es conveniente por el alto costo de la concesión de frecuencia. Esto deja planteado una solución importante para las operadoras celulares que deseen ampliar su cobertura y tener más subscriptores móviles y ganar esa porción del mercado que aún no está atendido.

Lo mismo se puede aplicar para CDMA/EV-DO, considerando que si se realiza con la patente abierta, que opera a 450 MHz, no se necesita pagar a *Qualcomm* por el uso de sus equipos, a diferencia de CDMA 1X/2000 en donde sí se debe pagar por el uso de patente, sin embargo al igual que GSM/LTE también se puede usar la red satelital como backhaul e incrementar su cobertura, solamente que limitada por ancho de banda.

Para operar con CDMA/EV-DO a 450 MHz, también se debe obtener una licencia de operación a solicitar a las autoridades de telecomunicaciones de cada país, en este caso de México. La ventaja es que con esta red se puede ofrecer voz/datos en un área de cobertura de hasta 80 Km dependiendo la zona, por lo que se vuelve muy atractivo especialmente para cubrir zonas de escasos recursos económicos y dar ayuda social a las comunidades aisladas.

Para el caso de terminales remotos VSAT, como se observa en la tabla 5-13, el pago de portadora de retorno resulta muy alto y es de baja capacidad comparada con WLAN, por lo que se incrementa el costo. Sin embargo sigue siendo la solución más adecuada en caso de que exista un único usuario o muy pocos en zonas demasiado aisladas y consecuentemente tengan la posibilidad de pagar la renta mensual por uso de portadoras.

Por lo tanto, con lo dicho anteriormente, este servicio con esos equipos, están destinados a un segmento especial de mercado medio-alto de usuarios, además del alto costo de los terminales VSAT como se puede observar en la tabla 5-3.

La solución más conveniente sin lugar a duda por costo y desempeño, así como la rápida instalación es **con última milla basada en WLAN**, ya que los precios son inmejorables como se muestra en la tabla 5-7 es económico frente a GSM/LTE (Tabla 5-5) y CDMA/EV-DO (Tabla 5-6), quizás lo costoso resulte implementar los MINIHUB VSAT (Tabla 5-2), pero garantizan que con esta tecnología se pueda dotar de banda ancha a los usuarios finales (1.1Mbps/768Kbps), pudiendo tener VoIP/Datos/Video en el mismo terminal.

Con estos terminales se puede acceder a la telemedicina y teleducación en zonas rurales aisladas, por lo que se podría elevar a nivel de proyecto de Estado garantizar de Internet a zonas sin cobertura de telecomunicaciones.

CAPITULO 6: *CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES*

6.1. Conclusiones

Con la realización del presente trabajo se pudo determinar el comportamiento del estándar DVB-S2 frente a diferentes variables que intervienen en una red satelital de datos y de radiodifusión, y para realizar tal propuesta se dispuso de herramientas de programación y se creó un código que permitió demostrar la operatividad del estándar mediante simulaciones.

Se demostró la potencialidad del estándar por medio de su eficiencia espectral, optimizando lo mayor posible el ancho de banda disponible en el transpondedor, y al comparar con los valores teóricos se notó que los valores de umbral obtenidos aumentan entre 0.5 y 1 dB para E_s/N_0 , lo que significa que se debería tener menor atenuación para lograr el mejor MODCOD (modulación y codificación) para cada emplazamiento.

Se comparó también a DVB-S2 con el estándar NS3 perteneciente a NovelSat®, el cual si bien es cierto, posee una mayor variedad de MODCOD y que permitiría una mejor selección de valores de eficiencia espectral según la variación de umbral E_s/N_0 por cada emplazamiento, no hay mayor diferencia con DVB-S2, tanto en rendimiento como en eficiencia espectral, de hecho, en redes con anchos de banda de transpondedor limitados, DVB-S2 se muestra más robusto que NS3, mientras que NS3 tiene un mejor desempeño en anchos de banda de transpondedor más amplios.

Para la realización del estudio de red de telecomunicaciones propuesta, se han emitido algunos criterios que se ha creído importantes para todo diseño de red satelital, y es el análisis de los perfiles de servicio que se quiera ofrecer, para determinar qué tan robusta debe ser la red. Así mismo, el tipo de acceso de los enlaces desde el HUB al Satélite y desde cada VSAT al satélite, esto ayudará a reducir costos en el HUB con un buen criterio de selección del tipo de acceso a usar.

Un criterio importante también es el tipo de asignación de tráfico que se vaya a gestionar desde el NOC (Centro de Operaciones de Red), puede ser fija o de demanda, con la última se gestiona mucho mejor la red y a los usuarios, se necesita una buena operación de Networking en la red y flujos de datos por toda la infraestructura satelital.

Los retrasos en las redes satelitales son de mucha importancia ya que si no se hace un buen análisis la red tiende a la congestión en todo el diseño y volverse inoperable debido a cuellos de botella generados por retransmisiones y pérdida de paquetes, por lo que en esta parte se prestó mucho énfasis para determinar la calidad de las transmisiones entre todas las terminales finales de la red.

El tráfico para los enlaces de datos se basó en estadísticas en el uso de servicios de videoconferencia, VoIP y transacciones de datos, servicios indispensables para el uso de la teleeducación y telemedicina en zonas de muy difícil acceso, por lo que se determinó que 1.1 Mbps es necesario para operar con los perfiles de servicios requeridos, mientras que en el caso de radiodifusión por tema de estudio se conoce que para SDTV (Definición estándar para TV) y compresor AVC (*Advanced Video Coding*) se tiene de tráfico por usuario a 2.2 Mbps, por lo que es un valor estandarizado. Ya con las tasas de bits por usuario se pudo determinar la capacidad de los usuarios dentro de un clúster VSAT, limitado por la capacidad que puede entregar la portadora.

La atenuación por intensidad de lluvia juega un papel muy importante dentro de las comunicaciones inalámbricas y más aún en los enlaces satelitales, y cada vez se hace más importante cada vez que se aumenta la frecuencia, es decir a más alta frecuencia la atenuación es mayor, es por eso que para la banda Ku se determinaron los cálculos para disponibilidad del enlace durante el 99.9% del tiempo mientras que para banda Ka una disponibilidad del 99.7%, basados en las recomendaciones de la ITU-R-P.838.6/P.837.1.

Para las simulaciones del servicio de radiodifusión en banda Ku y Ka, se pudo determinar que en el modo CCM para DVB-S2/S es más robusto en banda Ku (por eso sigue siendo muy usado en la actualidad), en algunos emplazamientos se perdió el enlace, pero están dentro de la operatividad del 95% de los emplazamientos levantados en red, sin embargo para **VCM** (codificación y modulación variable) y **ACM** (codificación y modulación adaptativa), se tuvo una cantidad menor de usuarios dentro del clúster debido a la mejora de la eficiencia espectral, pero una operatividad del 100% de los emplazamientos dentro del grupo VSAT, por lo que en un futuro para ofertar HDTV los modos adaptativo y variables serán muy usados a diferencia de **CCM** (codificación y modulación constante) y ya solo con el estándar DVB-S2, ya que DVB-S no soporta mejoras en espectro y quedaría limitado a grandes tasas de información.

Para la banda Ka en radiodifusión, se encontró ya una mejor disponibilidad en operación de los enlaces en todos los modos de trabajo, lo que derivó en que no se perdió ningún enlace, teniendo una eficiencia del 100%, en parte gracias al ancho de banda del transpondedor disponible (125 MHz) y que el estándar aprovecha totalmente a estas mejoras, e igual que en banda Ku para HDTV, DVB-S saldrá del mercado y entrará totalmente DVB-S2 con VCM/ACM por su versatilidad en eficiencia espectral y capacidad de adaptarse a grandes tasas de transferencia de datos. Por lo que la banda Ka presente un nicho importante en el futuro del negocio de las telecomunicaciones satelitales de nueva generación, donde se ofrecen ya altas tasas de transferencia de datos para múltiples servicios. La portadora tiende a saturarse cuando se usa transpondedores de un bajo ancho de banda, por eso se debe gestionar la transferencia de datos mediante el NOC, frente a la banda Ka que al tener un ancho de banda de transpondedor más grande, no se saturan las portadoras frecuentemente.

Para el caso de estudio con red de datos, sucede lo mismo que en el caso de radiodifusión, solamente que ahora hay que considerar los enlaces de subida ya que la comunicación es en dos vías, sin embargo, al tener una tasa menor de datos comparada con SDTV, la mejoras que presenta DVB-S2 y NS3 con comparación DVB-S es notable, alcanzando valores muy altos, sin duda estas eficiencias disminuyen a medida que se incrementa la tasa de recepción/transmisión de los terminales remotos.

Al igual que en el caso de radiodifusión, los equipos receptores y transmisores trabajarían muy bien con codificación y modulación constante (CCM), la situación cambia si se quiere transmitir y recibir grandes cantidades de información (que superen los 5Mbps) por lo que se vuelve necesario el uso de modulación y codificación tanto adaptativa como variable (ACM y VCM), para asegurar la transmisión desde el origen al destino con la mayor eficiencia espectral posible y que además trate de mitigar los efectos de atenuación especialmente por la lluvia.

De igual manera se comprobó la gran eficiencia que la banda Ka puede ofrecer en un futuro sobre la banda Ku, un gran throughput de distribución de datos, anchos de banda de transpondedor de hasta 500 Mhz, lo que garantiza una distribución de contenidos a gran escala, sin embargo, la atenuación por lluvia seguirá siendo un limitante.

En la figura 6-1, se compara las eficiencias para cada uno de los tipos de modulación y codificación en los que operan los estándares DVB-S/S2 y NS3 en los estudios tanto para radiodifusión y enlace de datos en las bandas de frecuencias de operación satelital Ku y Ka, donde claramente ACM representa una alta mejora en eficiencia espectral en comparación a DVB-S con CCM, lo mismo ocurre para VCM pero en mucho menor porcentaje, pero sin duda es una gran mejora. En la banda Ka al tener más ancho de banda en el transpondedor, permite mejor manejo de la eficiencia espectral, también más capacidad en el transporte de datos por la portadora, por lo que presenta mejoras aún más evidentes especialmente en VCM, por lo que el futuro en telecomunicaciones está en el horizonte para la banda Ka. En lo que a CCM se refiere para DVB-S2 se mantiene fijo tanto en la banda Ka como Ku, siendo este modo de operación el ganador para operar tanto en radiodifusión con SDTV a 2.2 Mbps y enlace de datos a 1.1 Mbps/768Kbps, por su eficiencia, si trabajamos con MINIHUB para enlaces de contribución y profesionales, los enlaces serán de capacidad 216Mbps/155Mbps con modos ACM/VCM en DVB-S2.

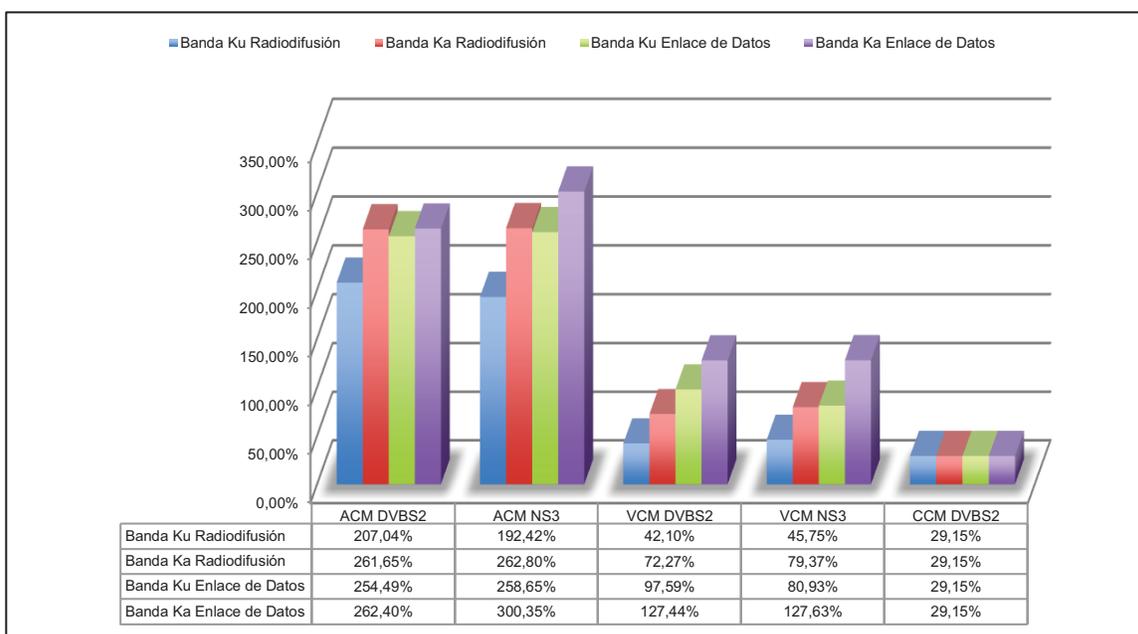


Fig. 6-1. Porcentaje de mejora de los modos de operación ACM/VCM/CCM para DVB-S2 y NS3 en comparación con DVB-S para las bandas Ku y Ka.

En el caso de enlaces de contribución, enlaces corporativos, enlaces transfronterizos, ISP (Proveedor de servicios de Internet), etc., es recomendable usar estaciones remotas MINIHUB, que se interconecten a estaciones base (BS: *Base Stations*) que sirvan como puntos de acceso, AP (*Access Point*) entre las redes a las que se van a distribuir los contenidos (red de usuarios) y el backhaul satelital (Donde el MINIHUB es el nexo entre el backhaul satelital y la estación base), lo que convierte en una solución muy flexible para alternativas de ofrecer servicios finales de telecomunicaciones en zonas donde las infraestructura terrestre no ha llegado aún o en pocas palabras donde resulta imposible construir un red terrestre, situación que las redes satelitales no adolecen.

Estas estaciones base al ser puntos de acceso por radio para enviar y recibir los contenidos hacia y desde los usuarios finales, (RAN: *Radio Access Network*), pueden usar tecnologías de tipo celular como GSM/LTE, CDMA/EV-DO o WLAN 2.4 GHz, pudiendo entregar a un usuario final hasta 1.1 Mbps/768 Kbps de enlace de datos de bajada/subida respectivamente.

Esta primera opción es muy útil especialmente para empresas operadoras de telefonía celular que quieran prestar sus servicios a zonas de difícil acceso, usando la red satelital como backhaul de datos, garantizando un servicio de alta calidad y de fácil expansión con retorno a mediano plazo.

Una segunda opción se deriva, usando como terminales remotos VSAT, es decir no hay necesidad de usar canales de retorno terrestres, sino el mismo terminal VSAT que incluye un módem que se encarga de subir y descargar la información proveniente del satélite, esto acarrea consecuencias en los costos elevados por concepto de usar portadoras dedicadas para este fin, teniendo una transmisión de 1.1Mbps/128Kbps para el estudio realizado, la tasa de subida disminuye porque a medida de que aumenta la tasa de la portadora Inbound, el costo también se incrementa.

Se hicieron análisis comparativos para determinar el ancho de banda de transpondedor que sería más conveniente usar para el estudio, determinando que al rentar un transpondedor completo de 36MHz deviene que es la solución más eficiente en banda Ku, ya que los equipos con CCM han demostrado ser robustos y han respondido a los efectos de lluvia con 100% de disponibilidad en todos los emplazamientos, con disponibilidad del enlace al 99,9%, de igual forma si se incrementan las tasas de transferencia de datos, los modos de operación ACM y VCM, también responden de manera excelente y confiable, mostrando una efectividad y alta eficiencia espectral a la hora de transportar datos.

Al transpondedor se lo divide en 18 MHz para Uplink y 18MHz para Downlink, con las simulaciones se dispone para los enlaces de subida y de bajada, tasas de 216Mbps/155Mbps para portadoras Outbound/Inbound desde el HUB al satélite con el uso MINIHUB por clúster como una primera opción, se puede determinar que un usuario final podrá tener un servicio de 1.1Mbps/768Kbps, que resulta un servicio atractivo para ofrecer paquetes de Internet banda ancha, este resultado es completamente funcional para la última milla de cada usuario final.

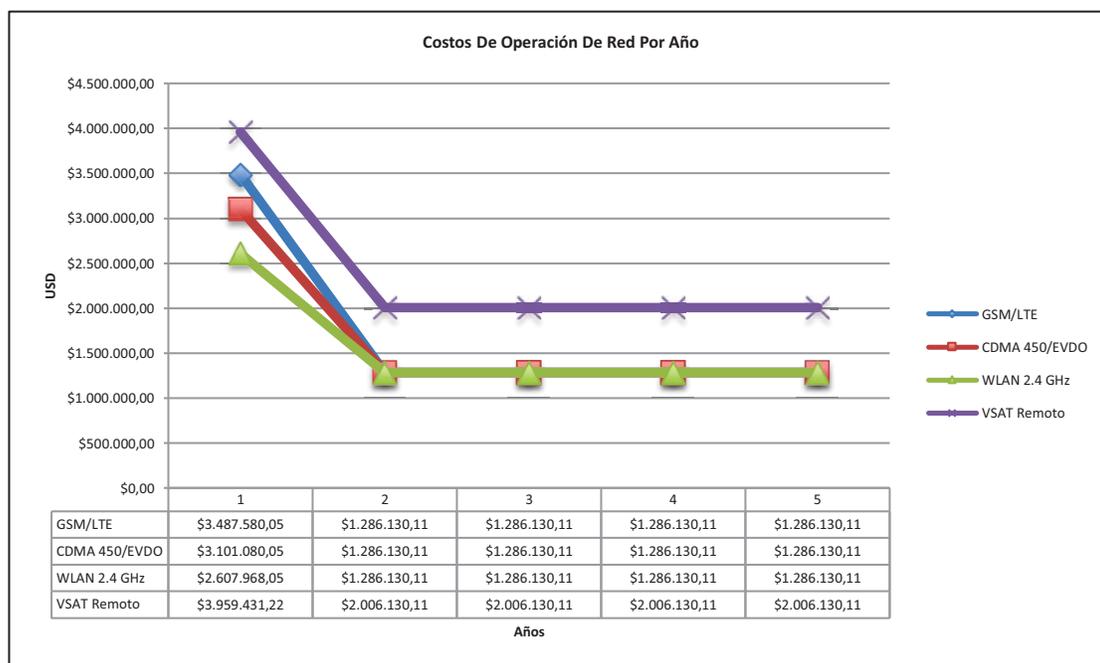


Fig. 6-2. Costos de operación de red para 5 años, comparación de tecnologías de puntos de acceso final y VSAT remoto.

Se hace una comparación de costos tanto de segmento espacial como de segmento terrestre en la figura 6-2 se observa el comportamiento económico para 5 años entre las tecnologías que usan MINIHUB por clúster y distribuyen los contenidos mediante tres tecnologías de puntos de acceso inalámbrico (GSM/LTE, CDMA/EV-DO y WLAN 2.4 GHz) y de estaciones remotas VSAT por usuario, en donde las inversiones al primer año son elevadas por el despliegue de toda la infraestructura pero en los siguientes años se estabilizan los costos, ya que solo se egresan pagos por concepto de mantenimiento técnico del HUB y el pago del arriendo del segmento espacial, y se ve claramente que WLAN 2.4 GHz es la solución más económica de entre todas las analizadas.

Finalmente la decisión del tipo de acceso quedará a cargo de la empresa a la que se quiera prestar el servicio **satelital, puesto que si es una operadora de celular, lo más lógico sería usar los puntos de acceso celular con backhaul satelital en zonas de acceso limitado**, ya que poseen la concesión para la explotación comercial en la banda de frecuencias para GSM/LTE o CDMA/EV-DO.

Si es una operadora ISP, podría usar un MINIHUB y una estación base con WLAN a 2.4 GHz como punto de acceso para enlazar con radios a cada usuario, debido a lo económico del sistema y lo rápido que se despliega una red de éstas características, además no se paga licencia de operación, lo que lo vuelve una solución muy factible en la mayoría de casos y supera por mucho a construir infraestructura terrestre como fibra, cable coaxial, ADSL para la distribución de última milla de contenidos.

WLAN 2.4 GHz con Backhaul Satelital es una solución conveniente para comunidades rurales en las que se quiera desplegar un red con acceso a Internet como parte de programas gubernamentales o proyectos internacionales de cooperación para el desarrollo de los pueblos, ofreciendo varios servicios especiales como VoIP y videoconferencia, ya que se pueden reducir costos por concepto de infraestructura de red de hasta el 35% frente a opciones más costosas como la de instalar usuarios finales con equipos terminales VSAT, que resulta exorbitante pagar el equipo a personas de escasos recursos y más aún pagar el servicio mensualmente y solo por concepto de equipos el usuario que usa acceso WLAN se ahorra hasta en el 95% del costo de un equipo VSAT completo.

VSAT para enlace de datos es una opción que está dirigida a personas o a grupos de sectores económicos más estables y empresas con necesidades de estar conectados a redes privadas todo el tiempo como: mineras, plataformas petroleras, islas, ecoturismo, etc., y que no requieran grandes tasas de información más que la conexión de un sistema banda ancha tradicional.

6.2. Recomendaciones

En miras del futuro en redes satelitales de nueva generación en México y en toda Latinoamérica, considerando que es de los continentes más lluviosos del mundo, debe comprometer a la comunidad científica y académica el generar modelos de atenuación por lluvia propios de cada región basándose con estadísticas de cada zona para garantizar la disponibilidad de los enlaces satelitales en banda Ku y Ka.

La banda Ka, (20GHz/28GHz), es mucho más sensible que la banda Ku en lo que atenuación por lluvia se refiere, por lo que se recomienda urgentemente disponer de mejores modelos de atenuación que los que sugiere la ITU. Por el momento se sugiere diseñar enlaces satelitales al 0.3% de intensidad de lluvia, es decir con una disponibilidad del 99.7% del tiempo anual.

Una recomendación también es proponer la creación de nuevos algoritmos que ayuden a mejorar la distribución del ancho de banda del transpondedor, es decir, la gestión actual es repartir equitativamente el ancho de banda del transpondedor por número de usuarios o número de portadoras, sin embargo cuando se usa modos de operación en VCM y ACM habrán portadoras o usuarios que al tener mejor eficiencia espectral recibirán mayor tasa, por lo que se estará desperdiciando la capacidad asignada, situación que si se dispone de algoritmos que varíen la asignación del ancho de banda del transpondedor en función de la incremento o decremento de la eficiencia espectral, garantiza el uso eficiente del segmento espacial, ya que aparte de costoso, es escaso y limitado.

Con la aparición de nuevas tecnologías satelitales, como el caso de NovelSat ® y su estándar NS3 (competidor directo de DVB-S2 estándar perteneciente a ETSI), de la cual se autodenominan ya de tercera generación, es necesario empezar a sugerir la posibilidad de analizar el funcionamiento de los equipos con esta tecnología de manera teórica primero, puesto que una familia de esta marca comercial la DUET NS3 ® usa tecnología de cancelación de eco en la transmisión, lo que quiere decir que por ese mismo canal de comunicaciones se puede usar como canal de recepción, es decir una canal full duplex de comunicación, ahorrando costos por uso de ancho de banda de transpondedor, lo que al año para una empresa de telecomunicaciones significa un ahorro impresionante de algunas decenas de miles de dólares, lo que sin duda revolucionaría a la industria de las comunicaciones satelitales como a las operadoras que prestan el servicio.

Finalmente, el estudio presentado en este trabajo de tesis recomienda el uso de enlace de datos para usuarios finales con acceso WLAN a 2.4 GHz con backhaul satelital para aminorar costos en la última milla, sin embargo es preciso destacar que existen un sinnúmero de posibilidades de configurar un red de comunicaciones usando como backhaul a una red satelital, que por ahora opera en banda Ku, pero en el futuro, cuando éstas operen en banda Ka se tendrá grandes capacidades de transferencia de datos, que sin duda aumentan cada día más.

Las diversas configuraciones de red engloban la posibilidad de prestar el servicio de backhaul de datos basado en redes satelitales, a operadores de telefonía y datos de tipo celular, lo que abre nichos de oportunidad de negocios en sociedades con demanda de subscriptores de banda ancha que día a día siguen en aumento, especialmente en regiones como Latinoamérica, donde no se ha llegado a un techo en la demanda de este tipo de servicio.

Así como también la necesidad de estar conectados siempre, y que se ha vuelto una necesidad del mundo moderno y de cerrar esa brecha digital existente entre regiones y zonas cada vez más aisladas, creando una red de apoyo a comunidades rurales mediante convenios internacionales y/o gubernamentales para llegar con servicios como la telemedicina y la teleeducación y favorecer al progreso de nuestros pueblos, por lo que las soluciones satelitales jugarán definitivamente un papel protagónico para el desarrollo comunitario de todos los pueblos.

BIBLIOGRAFÍA

Referencias bibliográficas

- [1] **VARIOS**, “*Handbook On Satellite Communications (HSC)*”, Third Edition., ITU, John Wiley & Sons, Ltd., 1998.
- [2] **Maral, G.**, “*VSAT Networks*”, Second Edition, John Wiley & Sons, Ltd., 2003.
- [3] **ETSI**, “*Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel Coding and Modulation for 11/12 GHz satellite services*” European Telecommunications Standards Institute, 1997. EN 300 421 V1.1.12 (1997-08).
- [4] **ETSI**, “*Digital Video Broadcasting (DVB); User guidelines for the second generation System for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications*”. European Telecommunications Standards Institute, 2005. TR 102 376 V1.1.1 (2005-02).
- [5] **Martínez Rodríguez-Osorio, Ramón**, “*Sistemas de comunicaciones por satélite, DVB-S y DVB-S2*”, ETSIT, Universidad Politécnica de Madrid, Curso 2008-09.
- [6] **ETSI**, “*Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel Coding and Modulation Systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2)*” European Telecommunications Standards Institute, 2005. EN 302 307 V1.3.1 (2013-03).
- [7] **Uribe, José**, “*Análisis comparativo de los estándares de televisión digital en la transmisión por satélite en las bandas Ku y Ka*”, Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería, UNAM, 2013.
- [8] **Breynaert, D., D'Oreya M.**, “*Analysis of the bandwidth efficiency of DVB-S2 in a typical data distribution network*”, White Paper, Newtec ®, CCBN2005, Beijing, 2005.
- [9] **ETSI**, “*Digital Video Broadcasting (DVB-RCS); Return Channel Satellite*” European Telecommunications Standards Institute, 2000. EN 301 790.
- [10] **ETSI**, “*Digital Video Broadcasting (DVB-RCS2); Return Channel Satellite for Second Generation (DVB-S2)*” European Telecommunications Standards Institute, 2011. EN 301 790, TS 301 545-1 (OSL, overview), EN 301 545-2 (LLS, lower layers) and TS 301 545-3 (HLS, higher layers).
- [11] **ETSI**, “*Digital Video Broadcasting (DVB-RCS2+M); Return Channel Satellite for Second Generation for mobility extensions (DVB-S2)*”. European Telecommunications Standards Institute, 2012. EN 301 790, TS 301 545-1 (OSL, overview), EN 301 545-2 (LLS, lower layers) and TS 301 545-3 (HLS, higher layers).
- [12] **NovelSat**, “*NovelSat System Performance Technology Overview NS3*”, Version 1.1., USA: Newton, MA. 02459, July 2014.
- [13] **EUTELSAT**, “*Connecting Latin America, The Continental United States & Hawaii EUTELSAT 113 West A*”, SAT_EUT_113_WA_2P_EN_0914, datasheet.
- [14] **NEWTEC**, “*AZ110 Broadcast Satellite Modulator*”, Newtec ®, Azimuth Product Family, Brochure.R4/09. 2009.
- [15] **NEWTEC**, “*AZ910 DSGN and Contribution Demodulator*”, Newtec ®, Azimuth Product Family, Brochure.R4/09. 2009.
- [16] **NEWTEC**, “*AZ410 Broadcast Satellite Modem*”, Newtec ®, Azimuth Product Family, Brochure.R4/09. 2009.
- [17] **SKYWARE GLOBAL**, “*Sistema de Antena Clase III de recepción y transmisión en Banda Ku*”, Skyware Global, Especificaciones Técnicas, 1315 Industrial Park Drive, Smithfield, NC., 276577, USA, 2013.

- [18] **UIT**, *“Características de la precipitación para establecer modelos de propagación”*, Rec. UIT-R PN.837-1 (Cuestión UIT-R 201/3), 1992-1994.
- [19] **UIT**, *“Características de la precipitación para establecer modelos de propagación”*, Rec. UIT-R PN.837-6 (02/2012).
- [20] **UIT**, *“Modelo de la atenuación específica debida a la lluvia para los métodos de predicción”*, Rec. UIT-R PN.838-3 (Cuestión UIT-R 201/3), 1992-1999-2003-2005.
- [21] **UIT**, *“Modelo predictivo para establecer la altura de la lluvia”*, Rec. UIT-R PN.839-3 (Cuestión UIT-R 201/3), 1992-1997-1999-2001.
- [22] **NovelSat**, *“NovelSat NS3 IP Networking”*, Version 1.1., USA: Newton, MA. 02459, July 2014.
- [23] **HUGHES**, *“High-Quality Rural Wireless Services with Optimized IP Radio Access And Satellite Backhaul Solution”*, White Paper, Hughes Networks Systems, MD., 20876 USA., Nov. 2012.
- [24] **UBIQUITI**, *“Nano Station M, Nano Station Loco M”*, Datasheet, Ubiquiti Networks, JLRR062113, 2012-2013.
- [25] **HUGHES**, *“HX Multi-Star Mesh Feature”*, Hughes Networks Systems, MD., 20876 USA., Jun. 2008.
- [26] **NEWTEC**, *“DVB-S2 Variable Rate L-Band Satellite Demodulator NTC/2263/xF”*, Newtec ®, Azimuth Product Family, 2006.
- [27] **SATCOM**, *“Model 13.1m Cassegrain Antenna”*, Datasheet, General Dynamics, SATCOM Technologies, 2008.
- [28] **COMTECH**, *“High Power Amplifier HPA, 750W Ku-Band XTRD-750K”*, Datasheet/Technical Specifications, COMTECH, XICOM Technology, 2013.
- [29] **SATCOM**, *“Ku-Band Low Noise Amplifiers LK-12000 Series”*, Datasheet, General Dynamics, SATCOM Technologies, 2009.
- [30] **NEWTEC**, *“AZ730 Up & Down-Converter”*, Newtec ®, Azimuth Product Family, Brochure.R1/09. 2008.
- [31] **CISCO**, *“Cisco 890 Series Integrated Services Routers”*, Datasheet, C78-519930-10, Cisco® 2014.
- [32] **CISCO**, *“Cisco 300 Series Small Business Services Switches”*, Datasheet, C78-610061-07, Cisco® 2014.
- [33] **HUGHES**, *“HN7000S Satellite Modem”*, Datasheet, HUGHES ®, 11717, MD 20876, USA., 2008.
- [34] **UBIQUITI**, *“airMAX Omni Next-Gen 2x2 Dual Polarity MIMO Omni Antenna and Sectorial Antenna”*, Datasheet, Ubiquiti Networks, RR101112, 2012.
- [35] **LANDEROS, Salvador**, *“Diapositivas de la asignatura de Comunicaciones Satelitales”*, Posgrado de Ingeniería, Telecomunicaciones, 2014.

**ANEXO 1:
CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN
EN MATLAB ®**


```
%Tablas para eficiencia espectral DVBS2 TEORICO
```

```
DVB_S2T=[...  
{'QPSK 1/4'},0.490243,-2.35;  
{'QPSK 1/3'},0.656448,-1.24;  
{'QPSK 2/5'},0.789412,-0.30;  
{'QPSK 1/2'},0.988858,1.00;  
{'QPSK 3/5'},1.188304,2.23;  
{'QPSK 2/3'},1.322253,3.10;  
{'QPSK 3/4'},1.487473,4.03;  
{'QPSK 4/5'},1.587196,4.68;  
{'QPSK 5/6'},1.654663,5.18;  
{'8PSK 3/5'},1.779991,5.50;  
{'QPSK 8/9'},1.766451,6.20;  
{'QPSK 9/10'},1.788612,6.42;  
{'8PSK 2/3'},1.980636,6.62;  
{'8PSK 3/4'},2.228124,7.91;  
{'16APSK 2/3'},2.637201,8.97;  
{'8PSK 5/6'},2.478562,9.35;  
{'16APSK 3/4'},2.966728,10.21;  
{'8PSK 8/9'},2.646012,10.69;  
{'8PSK 9/10'},2.679207,10.98;  
{'16APSK 4/5'},3.165623,11.03;  
{'16APSK 5/6'},3.300184,11.61;  
{'32APSK 3/4'},3.703295,12.73;  
{'16APSK 8/9'},3.523143,12.89;  
{'16APSK 9/10'},3.567342,13.13;  
{'32APSK 4/5'},3.951571,13.64;  
{'32APSK 5/6'},4.119540,14.28;  
{'32APSK 8/9'},4.397854,15.69;  
{'32APSK 9/10'},4.453027,16.05;];
```

```
%Tablas para eficiencia espectral DVBS2 SIMULADO
```

```
DVB_S2S=[...  
{'QPSK 2/5'},0.789412,0.50;  
{'QPSK 1/2'},0.988858,1.00;  
{'QPSK 3/5'},1.188304,2.80;  
{'QPSK 2/3'},1.322253,3.50;  
{'QPSK 3/4'},1.487473,4.35;  
{'QPSK 4/5'},1.587196,4.85;  
{'QPSK 5/6'},1.654663,5.40;  
{'QPSK 8/9'},1.766451,6.70;  
{'8PSK 3/5'},1.779991,7.00;  
{'8PSK 2/3'},1.980636,7.45;  
{'8PSK 3/4'},2.228124,8.60;  
{'8PSK 5/6'},2.478562,10.30;  
{'8PSK 8/9'},2.637201,10.50;  
{'16APSK 2/3'},2.646012,11.50;  
{'16APSK 3/4'},2.966728,11.75;  
{'16APSK 4/5'},3.165623,12.05;  
{'16APSK 5/6'},3.300184,13.00;  
{'16APSK 8/9'},3.523143,14.15;];
```

```
%Tabla para DVBS2 Y CCM
```

```
DVB_S2CCM=[...  
{'QPSK 4/5'},1.587,5.18;  
{'QPSK 4/5'},1.587,5.18;  
{'QPSK 4/5'},1.587,5.18;  
{'QPSK 4/5'},1.587,5.18;  
{'QPSK 4/5'},1.587,5.18;];
```

```
%Tabla para DVBS Y CCM
```

```
DVB_SCCM=[...  
{'QPSK 2/3'},1.228758,5.39;  
{'QPSK 2/3'},1.228758,5.39;  
{'QPSK 2/3'},1.228758,5.39;  
{'QPSK 2/3'},1.228758,5.39;  
{'QPSK 2/3'},1.228758,5.39;];
```

```
%Calculos de BR y MODCOD con LLUVIA TEORICO
```

```
j=1;  
n=nv;  
  
mediaEsNo=mean(Es_No_L);  
Es_No_L_Media=mediaEsNo.*ones(1,n);  
  
ENDVBS2T_L=ones(1,n);  
EEDVBS2T_L=ones(1,n);  
MCDVBS2T_L=(ones(1,n));  
  
for i=1:1:n;  
    if Es_No_L(1,i)<Es_No_L_Media(1,i);  
        Es_No_L_Media(1,i)=Es_No_L(1,i);  
    else  
        end  
end  
  
for i=1:1:n;  
    while Es_No_L_Media(1,i)>=cell2mat(DVB_S2T(j,3));  
        j=j+1;  
        if j==28;  
            DVB_S2T(29,3)={100};  
        else  
            end  
        end  
  
        if j==1  
            EEDVBS2T_L(1,i)=cell2mat(DVB_S2T(1,2));  
            MCDVBS2T_L(1,i)={'Sin Enlace'};  
        else
```

```

        EEDVBS2T_L(1,i)=cell2mat(DVB_S2T(j-1,2));
        MCDVBS2T_L(1,i)=DVB_S2T(j-1,1);
        j=1;
    end
end

%Cálculo de Número de Usuarios por Clúster VSAT TEORICO VCM DVBS2
Usuarios=round((M_baud/1e6)/(Trafico/min(EEDVBS2T_L)));
n=Usuarios;
o=n; %Analizar con overhead
o_vcm=o;
BR_L=(M_baud/1e6)/n.*EEDVBS2T_L(1:n);
TR_VCM=BR_L;
m=sum(BR_L)/Port;
Usuarios=floor(n/m);
n=Usuarios;
U_VCM_T=n;
BR_L=(M_baud/1e6)/o.*EEDVBS2T_L(1:n); %Con Overhead Llenar Portadora
%BR_L=(M_baud/1e6)/n.*EEDVBS2T_L(1:n); %Sin Overhead

%TABLAS DE RESULTADOS PARA VISUALIZACIÓN LLUVIA TEORICO VCM
DL_C_No=C_No(1:n)';
VSAT=1:1:n;
VSAT=VSAT(1:n)';
ModCodT_L=MCDVBS2T_L(1:n)';
EsNoL=Es_No_L(1:n)';
Atenuacion=Ate(1:n)';
BitRate_L=BR_L';

Tabla_Teorica_VCM=dataset(VSAT,DL_C_No,Atenuacion,EsNoL,BitRate_L,...
    ModCodT_L);
export(Tabla_Teorica_VCM,'file','VCM DVBS2_teorica.xls');

%*****
%Calculos de BR y MODCOD con LLUVIA SIMULADO VCM

j=1;
n=nv;
ENDVBS2S_L=ones(1,n);
EEDVBS2S_L=ones(1,n);
MCDVBS2S_L={ones(1,n)};
for i=1:1:n;
    while Es_No_L_Media(1,i)>=cell2mat(DVB_S2S(j,3));
        j=j+1;
        if j==18;
            DVB_S2S(19,3)={100};
        else
            end
        end
    end

    if j==1
        EEDVBS2S_L(1,i)=cell2mat(DVB_S2S(1,2));
        MCDVBS2S_L(1,i)={'Sin Enlace'};
    else
        EEDVBS2S_L(1,i)=cell2mat(DVB_S2S(j-1,2));
        MCDVBS2S_L(1,i)=DVB_S2S(j-1,1);
        j=1;
    end
end

end

%Cálculo de Número de Usuarios por Clúster VSAT SIMULADA VCM
Usuarios=round((M_baud/1e6)/(Trafico/min(EEDVBS2S_L)));
n=Usuarios;
o=n; %Analizar con overhead
BR_L_S=(M_baud/1e6)/n.*EEDVBS2S_L(1:n);
m=sum(BR_L_S)/Port;
Usuarios=floor(n/m);
n=Usuarios;
U_VCM_S=n;
BR_L_S=(M_baud/1e6)/o.*EEDVBS2S_L(1:n); %Con Overhead Llenar Portadora
%BR_L_S=(M_baud/1e6)/n.*EEDVBS2S_L(1:n); %Sin Overhead

%TABLAS DE RESULTADOS PARA VISUALIZACIÓN LLUVIA SIMULADA VCM
DL_C_No=C_No(1:n)';
VSAT=1:1:n;
VSAT=VSAT(1:n)';
ModCodS_L=MCDVBS2S_L(1:n)';
EsNoL=Es_No_L(1:n)';
Atenuacion=Ate(1:n)';
BitRate_S_L=BR_L_S';

Tabla_Simulada_VCM=dataset(VSAT,DL_C_No,Atenuacion,EsNoL,BitRate_S_L,...
    ModCodS_L);
export(Tabla_Simulada_VCM,'file','VCM DVBS2_simulada.xls');
%disp(['Throughput Portadora VCM Simulada = ',num2str(sum(BR_L_S))]);

%plot(1:U_VCM_T,BR_L,1:U_VCM_S,BR_L_S);
%axis auto;
%grid on;

%*****
%* * * * *
%* * * * * ACM DVBS2 TEORICO Y SIMULADO * * * * *
%* * * * *
%*****

%Calculos de BR y MODCOD DESPEJADO TEORICO DVBS2
j=1;
n=nv;
ENDVBS2T_D=ones(1,n);

```

```

EEDVBS2T_D=ones(1,n);
MCDVBS2T_D={ones(1,n)};
for i=1:1:n;
    while Es_No_D(1,i)>=cell2mat(DVB_S2T(j,3));
        j=j+1;
        if j==28;
            DVB_S2T(29,3)={100};
        else
            end
        end
    end

    if j==1
        EEDVBS2T_D(1,i)=cell2mat(DVB_S2T(1,2));
        MCDVBS2T_D(1,i)={'Sin Enlace'};
    else
        EEDVBS2T_D(1,i)=cell2mat(DVB_S2T(j-1,2));
        MCDVBS2T_D(1,i)=DVB_S2T(j-1,1);
        j=1;
    end
end

end

%Cálculo de Número de Usuarios por Clúster VSAT TEORICO ACM DVBS2

Usuarios=round((M_baud/1e6)/(Trafico/min(EEDVBS2T_D)));
n=Usuarios;
o=n; %Analizar con overhead
o_acm=o;
BR_D=(M_baud/1e6)/n.*EEDVBS2T_D(1:n);
TR_ACM=BR_D;
m=sum(BR_D)/Port;
Usuarios=floor(n/m);
n=Usuarios;
U_ACM_T=n;
BR_D=(M_baud/1e6)/o.*EEDVBS2T_D(1:n); %Con Overhead Llenar Portadora
%BR_D=(M_baud/1e6)/n.*EEDVBS2T_D(1:n); %Sin Overhead

%TABLAS DE RESULTADOS PARA VISUALIZACIÓN TEORICO ACM DVBS2
DL_C_No=C_No(1:n)';
VSAT=1:1:n;
VSAT=VSAT(1:n)';
ModCodT_D=MCDVBS2T_D(1:n)';
EsNoD=Es_No_D(1:n)';
BitRate_D=BR_D';

Tabla_Teorica_ACM=dataset(VSAT,DL_C_No,EsNoD,BitRate_D,ModCodT_D);
export(Tabla_Teorica_ACM,'file','ACMDVBS2_teorica.xls');
%disp(['Throughput Portadora ACM Teórico = ',num2str(sum(BR_D))]);

%*****
%Calculos de BR y MODCOD DESPEJADO SIMULADO ACM
j=1;
n=hv;
EEDVBS2S_D=ones(1,n);
EEDVBS2S_D=ones(1,n);
MCDVBS2S_D={ones(1,n)};
for i=1:1:n;
    while Es_No_D(1,i)>=cell2mat(DVB_S2S(j,3));
        j=j+1;
        if j==18;
            DVB_S2S(19,3)={100};
        else
            end
        end
    end

    if j==1
        EEDVBS2S_D(1,i)=cell2mat(DVB_S2S(1,2));
        MCDVBS2S_D(1,i)={'Sin Enlace'};
    else
        EEDVBS2S_D(1,i)=cell2mat(DVB_S2S(j-1,2));
        MCDVBS2S_D(1,i)=DVB_S2S(j-1,1);
        j=1;
    end
end

end

%Cálculo de Número de Usuarios por Clúster VSAT TEORICO SIMULADO ACM DVBS2

Usuarios=round((M_baud/1e6)/(Trafico/min(EEDVBS2S_D)));
n=Usuarios;
o=n; %Analizar con overhead
BR_D_S=(M_baud/1e6)/n.*EEDVBS2S_D(1:n);
m=sum(BR_D_S)/Port;
Usuarios=floor(n/m);
n=Usuarios;
U_ACM_S=n;
BR_D_S=(M_baud/1e6)/o.*EEDVBS2S_D(1:n); %Con Overhead Llenar Portadora
%BR_D_S=(M_baud/1e6)/n.*EEDVBS2S_D(1:n); %Sin Overhead

%TABLAS DE RESULTADOS PARA VISUALIZACIÓN LLUVIA SIMULADA ACM DVBS2
DL_C_No=C_No(1:n)';
VSAT=1:1:n;
VSAT=VSAT(1:n)';
ModCodS_D=MCDVBS2S_D(1:n)';
EsNoD=Es_No_D(1:n)';
BitRate_S_D=BR_D_S';

Tabla_Simulada_ACM=dataset(VSAT,DL_C_No,EsNoD,BitRate_S_D,ModCodS_D);
export(Tabla_Simulada_ACM,'file','ACMDVBS2_simulada.xls');
%disp(['Throughput Portadora ACM Simulado = ',num2str(sum(BR_D_S))]);

%*****
%*

```

```

%*          * * * * * CCM DVBS2 TEORICO          *
%*          *** ** * * * * *                    *
%*****

%Calculos de BR y MODCOD con LLUVIA TEORICO DVBS2 CCM
j=1;
n=nv;
nousuarios=ones(1,n);
EEDVBS2CCM=ones(1,n);
MCDVBS2CCM={ones(1,n)};
for i=1:1:n;
    while Es_No_L(1,i)>=cell2mat(DVB_S2CCM(j,3));
        j=j+1;
        if j==5;
            DVB_S2CCM(6,3)={100};
        else
            end
        end
    if j==1
        EEDVBS2CCM(1,i)=cell2mat(DVB_S2CCM(1,2));
        MCDVBS2CCM(1,i)={'Sin Enlace'};
        nousuarios(1,i)=0;
    else
        EEDVBS2CCM(1,i)=cell2mat(DVB_S2CCM(j-1,2));
        MCDVBS2CCM(1,i)=DVB_S2CCM(j-1,1);
        j=1;
    end
end

%Cálculo de Número de Usuarios por Clúster VSAT TEORICO CCM DVBS2
Usuarios=round((M_baud/1e6)/(Trafico/min(EEDVBS2CCM)));
n=Usuarios;
o=n; %Analizar con overhead
o_s2ccm=o;
BR_S2CCM=(M_baud/1e6)/n.*EEDVBS2CCM(1:n);
TR_S2CCM=BR_S2CCM;
m=sum(BR_S2CCM)/Port;
Usuarios=floor(n/m);
n=Usuarios;
U_CCM_S2=n;
BR_S2CCM=(M_baud/1e6)/o.*EEDVBS2CCM(1:n); %Con Overhead Llenar Portadora
%BR_L=(M_baud/1e6)/n.*EEDVBS2T_L(1:n); %Sin Overhead

u_off=0;
for i=1:1:U_CCM_S2;
    if nousuarios(1,i)==0;
        u_off=u_off+1;
    else
        end
end
U_CCM_S2=U_CCM_S2-u_off;

%TABLAS DE RESULTADOS PARA VISUALIZACIÓN LLUVIA TEORICO CCM DVBS2
DL_C_No=C_No(1:n)';
VSAT=1:1:n;
VSAT=VSAT(1:n)';
ModCodCCM_S2=MCDVBS2CCM(1:n)';
EsNoL=Es_No_L(1:n)';
Atenuacion=Ate(1:n)';
BitRate_CCM_S2=BR_S2CCM';

Tabla_S2_CCM=dataset(VSAT,DL_C_No,Atenuacion,EsNoL,BitRate_CCM_S2,...
    ModCodCCM_S2);
export(Tabla_S2_CCM,'file','CCMDVBS2.xls');
%disp(['Throughput Portadora CCM DVBS2 = ',num2str(sum(BR_S2CCM))]);

%*****
%*          * * * * * CCM DVBS TEORICO          *
%*          *** ** * * * * *                    *
%*****

%Calculos de BR y MODCOD con LLUVIA TEORICO DVBS CCM
i=1;
j=1;
n=nv;
ENDVBS2CCM=ones(1,n);
EEDVBS2CCM=ones(1,n);
MCDVBS2CCM={ones(1,n)};
for i=1:1:n;
    while Es_No_L(1,i)>=cell2mat(DVB_S2CCM(j,3));
        j=j+1;
        if j==5;
            DVB_S2CCM(6,3)={100};
        else
            end
        end
    if j==1
        %j=2;
        EEDVBS2CCM(1,i)=cell2mat(DVB_S2CCM(1,2));
        MCDVBS2CCM(1,i)={'Sin Enlace'};
        nousuarios(1,i)=0;
    else
        EEDVBS2CCM(1,i)=cell2mat(DVB_S2CCM(j-1,2));
        MCDVBS2CCM(1,i)=DVB_S2CCM(j-1,1);
        j=1;
    end
end
end

```

```

%Cálculo de Número de Usuarios por Clúster VSAT TEORICO CCM DVBS

Usuarios=round((M_baud/1e6)/(Trafico/min(EEDVBSCCM)));
n=Usuarios;
o=n; %Analizar con overhead
o_sccm=o;
BR_SCCM=((M_baud/1e6)/n).*EEDVBSCCM(1:n);
TR_SCCM=BR_SCCM;
m=sum(BR_SCCM)/Port;
Usuarios=floor(n/m);
n=Usuarios;
U_CCM_S=n;
BR_SCCM=((M_baud/1e6)/o).*EEDVBSCCM(1:n); %Con Overhead Llenar Transpon.
%BR_L=((M_baud/1e6)/n).*EEDVBS2T_L(1:n); %Sin Overhead

u_off=0;
for i=1:U_CCM_S;
    if nusuarios(1,i)==0;
        u_off=u_off+1;
    else
        end
end
end
U_CCM_S=U_CCM_S-u_off;

%TABLAS DE RESULTADOS PARA VISUALIZACIÓN LLUVIA TEORICO CCM DVBS
DL_C_No=C_No(1:n)';
VSAT=1:1:n;
VSAT=VSAT(1:n)';
ModCodCCM_S=MCDVBSCCM(1:n)';
EsNoL=Es_No_L(1:n)';
Atenuacion=Ate(1:n)';
BitRate_CCM_S=BR_SCCM';

Tabla_S_CCM=dataset(VSAT,DL_C_No,Atenuacion,EsNoL,ModCodCCM_S,...
    BitRate_CCM_S);
export(Tabla_S_CCM,'file','CCMDVBS.xls');

%*****
%* * * * *
%* * * * *
%* * * * *
%* * * * *
%* * * * *
%*****

NS3=[...
{'QPSK 1/4'},0.46,-2.60;
{'QPSK 1/3'},0.61,-1.34;
{'QPSK 2/5'},0.73,-0.31;
{'QPSK 13/30'},0.80,0.05;
{'QPSK 7/15'},0.86,0.49;
{'QPSK 1/2'},0.92,0.92;
{'QPSK 8/15'},0.98,1.32;
{'QPSK 17/30'},1.04,1.76;
{'QPSK 3/5'},1.10,2.05;
{'8PSK 2/5'},1.10,2.37;
{'QPSK 19/30'},1.17,2.49;
{'QPSK 2/3'},1.23,2.81;
{'8PSK 13/30'},1.19,2.81;
{'8PSK 7/15'},1.29,3.25;
{'QPSK 32/45'},1.31,3.38;
{'8PSK 1/2'},1.38,3.79;
{'QPSK 3/4'},1.38,3.93;
{'8PSK 8/15'},1.47,4.37;
{'QPSK 4/5'},1.48,4.52;
{'16APSK 2/5'},1.46,4.68;
{'8PSK 17/30'},1.56,4.80;
{'16APSK 13/30'},1.59,5.00;
{'QPSK 5/6'},1.54,5.02;
{'8PSK 3/5'},1.66,5.29;
{'16APSK 7/15'},1.71,5.45;
{'8PSK 19/30'},1.75,5.90;
{'QPSK 8/9'},1.64,5.94;
{'16APSK 1/2'},1.83,5.95;
{'QPSK 9/10'},1.66,6.11;
{'32APSK 2/5'},1.83,6.16;
{'8PSK 2/3'},1.84,6.26;
{'16APSK 8/15'},1.96,6.39;
{'32APSK 13/30'},1.99,6.54;
{'16APSK 17/30'},2.08,6.94;
{'8PSK 32/45'},1.97,6.98;
{'32APSK 7/15'},2.14,7.15;
{'16APSK 3/5'},2.20,7.54;
{'8PSK 3/4'},2.07,7.70;
{'16APSK 19/30'},2.33,8.03;
{'32APSK 1/2'},2.29,8.03;
{'32APSK 8/15'},2.45,8.47;
{'16APSK 2/3'},2.45,8.50;
{'8PSK 4/5'},2.21,8.64;
{'32APSK 17/30'},2.60,9.14;
{'8PSK 5/6'},2.31,9.28;
{'16APSK 32/45'},2.61,9.35;
{'32APSK 3/5'},2.76,9.78;
{'16APSK 3/4'},2.76,9.95;
{'32APSK 19/30'},2.91,10.36;
{'8PSK 8/9'},2.46,10.55;
{'16APSK 4/5'},2.94,10.70;
{'8PSK 9/10'},2.49,10.74;
{'32APSK 2/3'},3.07,10.92;
{'16APSK 5/6'},3.07,11.36;
{'32APSK 32/45'},3.27,11.63;
{'32APSK 3/4'},3.45,12.43;
{'16APSK 8/9'},3.28,12.59;

```



```

                NS3(71,3)={100};
            else
            end
        end

        if j==1
            EE_NS3_D(1,i)=cell2mat(NS3(1,2));
            MC_NS3_D(1,i)={'Sin Enlace'};
        else
            EE_NS3_D(1,i)=cell2mat(NS3(j-1,2));
            MC_NS3_D(1,i)=NS3(j-1,1);
            j=1;
        end
    end

    %Cálculo de Número de Usuarios por Clúster VSAT TEORICO ACM NS3

    Usuarios=round((M_baud/1e6)/(Trafico/min(EE_NS3_D)));
    n=Usuarios;
    o=n; %Analizar con overhead
    o_acm_ns3=o;
    BR_NS3_D=((M_baud/1e6)/n).*EE_NS3_D(1:n);
    TR_NS3_ACM=BR_NS3_D;
    m=sum(BR_NS3_D)/Port;
    Usuarios=floor(n/m);
    n=Usuarios;
    U_ACM_NS3=n;
    BR_NS3_D=((M_baud/1e6)/o).*EE_NS3_D(1:n); %Con Overhead Llenar Portadora
    %BR_D=((M_baud/1e6)/n).*EEDVBS2_T_D(1:n); %Sin Overhead

    %TABLAS DE RESULTADOS PARA VISUALIZACIÓN TEORICO ACM NS3
    DL_C_No=C_No(1:n);
    VSAT=1:1:n;
    VSAT=VSAT(1:n);
    ModCodT_D=MC_NS3_D(1:n);
    EsNoD=Es_No_D(1:n);
    BitRate_D=BR_NS3_D;

    Tabla_NS3_ACM=dataset(VSAT,DL_C_No,EsNoD,ModCodT_D,BitRate_D);
    export(Tabla_NS3_ACM,'file','ACM_NS3.xls');

    %*****
    %*****
    %* GRAFICAS DIVERSAS
    %*
    %*****
    plot(1:U_ACM_T,sort(BR_D),1:U_ACM_S,sort(BR_D_S),1:U_VCM_T,sort(BR_L),...
        1:U_VCM_S,sort(BR_L_S),1:U_CCM_S2,sort(BR_S2CCM(1:U_CCM_S2)),...
        1:U_CCM_S,sort(BR_SCCM(1:U_CCM_S)), 'linewidth', 2);
    legend(['DVBS2 ACM Teorico',' N=',num2str(U_ACM_T)],...
        ['DVBS2 ACM Simulado',' N=',num2str(U_ACM_S)],...
        ['DVBS2 VCM Teorico',' N=',num2str(U_VCM_T)],...
        ['DVBS2 VCM Simulado',' N=',num2str(U_VCM_S)],...
        ['DVBS2 CCM',' N=',num2str(U_CCM_S2)],...
        ['DVBS CCM',' N=',num2str(U_CCM_S)]);

    title('Throughput Por VSAT en cada Cluster','FontSize',14,'FontWeight',...
        'bold','Color','k');
    xlabel('Usuarios VSAT','FontSize',12,'FontWeight','bold',...
        'Color','k');
    ylabel('Bit Rate [Mbps]','FontSize',12,'FontWeight','bold','Color','k');

    axis auto;
    grid on;

    TR_ACM=sum(TR_ACM);
    TR_NS3_ACM=sum(TR_NS3_ACM);
    TR_VCM=sum(TR_VCM);
    TR_NS3_VCM=sum(TR_NS3_VCM);
    TR_S2CCM=sum(TR_S2CCM);
    TR_SCCM=sum(TR_SCCM);

    mccm=((TR_S2CCM/TR_SCCM)-1)*100;
    mvcm=((TR_VCM/TR_SCCM)-1)*100;
    macm=((TR_ACM/TR_SCCM)-1)*100;
    macm_ns3=((TR_NS3_ACM/TR_SCCM)-1)*100;
    mvcm_ns3=((TR_NS3_VCM/TR_SCCM)-1)*100;

    y=[mccm,mvcm_ns3,mvcm,macm_ns3,macm];

    figure(2);
    n=nv;
    plot(1:n,C_No,1:n,C_No_D,1:n,C_No_L,'linewidth',2);
    legend(['C/No Bajada',' VSAT=',num2str(n)],...
        ['C/No Despejado',' VSAT=',num2str(n)],...
        ['C/No Lluvia',' VSAT=',num2str(n)]);

    title('C/No Para Todos los emplazamientos','FontSize',14,'FontWeight',...
        'bold','Color','k');
    xlabel(['VSAT = ',num2str(nv)], 'FontSize',12,'FontWeight','bold',...
        'Color','k');
    ylabel('Decibels [dB]','FontSize',12,'FontWeight','bold','Color','k');

    axis auto;
    grid on;

    figure(3);
    n=nv;
    plot(1:n,Es_No_D,1:n,Es_No_L,'linewidth',2);
    legend(['Es/No Despejado',' VSAT=',num2str(n)],...
        ['Es/No Lluvia',' VSAT=',num2str(n)]);

```

```

title('Es/No Para Todos los emplazamientos','FontSize',14,'FontWeight',...
'bold','Color','k');
xlabel(['VSAT = ',num2str(nv)],'FontSize',12,'FontWeight','bold',...
'Color','k');
ylabel('Decibels [dB]','FontSize',12,'FontWeight','bold','Color','k');

axis auto;
grid on;

figure(4);
plot(1:1:U_VCM_T,sort(BR_L),1:1:U_VCM_NS3,sort(BR_NS3_L),'linewidth',2);

legend(['VCM DVBS2',' VSAT=',num2str(U_VCM_T)],...
['VCM NS3',' VSAT=',num2str(U_VCM_NS3)]);

title('Comparación VCM entre DVB-S2 y NS3','FontSize',14,'FontWeight',...
'bold','Color','k');
xlabel('Usuarios VSAT','FontSize',12,...
'FontWeight','bold','Color','k');
ylabel('Throughput [Mbps]','FontSize',12,'FontWeight','bold','Color','k');

grid on;
axis auto;

figure(5);
plot(1:1:U_ACM_T,sort(BR_D),1:1:U_ACM_NS3,sort(BR_NS3_D),'linewidth',2);

legend(['ACM DVBS2',' VSAT=',num2str(U_ACM_T)],...
['ACM NS3',' VSAT=',num2str(U_ACM_NS3)]);

title('Comparación ACM entre DVB-S2 y NS3','FontSize',14,'FontWeight',...
'bold','Color','k');
xlabel('Usuarios VSAT','FontSize',12,...
'FontWeight','bold','Color','k');
ylabel('Throughput [Mbps]','FontSize',12,'FontWeight','bold','Color','k');

grid on;
axis auto;

% figure(6);
% TotalU=max([U_CCM_S2,U_ACM_T,U_ACM_S,U_VCM_T,U_VCM_S,U_CCM_S]);
%
% semilogy(cumsum(BR_D),1:U_ACM_T,cumsum(BR_D_S),1:U_ACM_S,cumsum(BR_L),...
% 1:U_VCM_T,cumsum(BR_L_S),1:U_VCM_S,cumsum(BR_S2CCM(1:U_CCM_S2))),...
% 1:U_CCM_S2,cumsum(BR_SCCM),1:U_CCM_S,'linewidth',2);
%
% %Port.*ones(1,TotalU),1:1:TotalU,'linewidth',2);
%
% legend(['DVBS2 ACM Teorico',' N=',num2str(U_ACM_T)],...
% ['DVBS2 ACM Simulado',' N=',num2str(U_ACM_S)],...
% ['DVBS2 VCM Teorico',' N=',num2str(U_VCM_T)],...
% ['DVBS2 VCM Simulado',' N=',num2str(U_VCM_S)],...
% ['DVBS2 CCM',' N=',num2str(U_CCM_S2)],...
% ['DVBS CCM',' N=',num2str(U_CCM_S)]);
%
% title('Throughput Total por Cluster','FontSize',14,'FontWeight',...
% 'bold','Color','k');
% xlabel('Bit Rate [Mbps]','FontSize',12,'FontWeight','bold',...
% 'Color','k');
% ylabel('Usuarios VSAT','FontSize',12,'FontWeight','bold','Color','k');
%
% axis auto;
% grid on;

%*****
%* LATENCIA Y RETARDO TOTAL TDMA POR CLUSTER
%*
%*****

%Despejado

N_1=1:1:U_ACM_T;
TDMA_ACM=0.250+(1./((2*sum(TR_ACM*1e6)./(N_1.*8100.*8)))-(1/tps));

N_2=1:1:U_VCM_T;
TDMA_VCM=0.250+(1./((2*sum(TR_VCM*1e6)./(N_2.*8100.*8)))-(1/tps));

N_3=1:1:U_ACM_NS3;
TDMA_ACMNS3=0.250+(1./((2*sum(TR_NS3_ACM*1e6)./(N_3.*8100.*8)))-(1/tps));

N_4=1:1:U_VCM_NS3;
TDMA_VCMNS3=0.250+(1./((2*sum(TR_NS3_VCM*1e6)./(N_4.*8100.*8)))-(1/tps));

figure(7);
plot(N_1,TDMA_ACM,N_2,TDMA_VCM,N_3,TDMA_ACMNS3,N_4,TDMA_VCMNS3,'linewidth',2);

legend(['ACM DVBS2',' VSAT=',num2str(U_ACM_T)],...
['VCM DVBS2',' VSAT=',num2str(U_VCM_T)],...
['ACM NS3',' VSAT=',num2str(U_ACM_NS3)],...
['VCM NS3',' VSAT=',num2str(U_VCM_NS3)]);

title('Latencia Total','FontSize',14,'FontWeight',...
'bold','Color','k');
xlabel('Usuarios VSAT','FontSize',12,'FontWeight','bold','Color','k');
ylabel('Retraso [Segundos]','FontSize',12,'FontWeight','bold','Color','k');

grid on;
axis auto;

%*****
%* COSTO TOTAL
%*

```

```

%*****

%*****
%*  TABLAS FINALES
%*
%*****

iconFilename = fullfile('vsat.jpg');
wmmarker(Lat(1:U_VCM_T),Lon(1:U_VCM_T),'Icon',iconFilename)

%Usuarios que dependen del BW y no del transpondedor

o_acm=floor(o_acm);
o_vcm=floor(o_vcm);
o_s2ccm=floor(o_s2ccm);
o_sccm=floor(o_sccm);
o_acm_ns3=floor(o_acm_ns3);
o_vcm_ns3=floor(o_vcm_ns3);

CL_ACM=ceil(nv/U_ACM_T);      %CLUSTER en ACM DVBS2
CL_VCM=ceil(nv/U_VCM_T);     %CLUSTER en VCM DVBS2
CL_S2CCM=ceil(nv/U_CCM_S2);  %CLUSTER en CCM DVBS2
CL_SCCM=ceil(nv/U_CCM_S);    %CLUSTER en CCM DVBS
CL_ACM_NS3=ceil(nv/U_ACM_NS3); %CLUSTER en ACM NS3
CL_VCM_NS3=ceil(nv/U_VCM_NS3); %CLUSTER en VCM NS3

Tipo={'ACM DVBS2';'ACM NS3';'VCM DVBS2';'VCM NS3';'CCM DVBS2';'CCM DVBS2';
VSATxClusterTotal={ [num2str(U_ACM_T), ' VSAT']; [num2str(U_ACM_NS3), ...
' VSAT']; [num2str(U_VCM_T), ' VSAT']; [num2str(U_VCM_NS3), ' VSAT']; ...
[num2str(U_CCM_S2), ' VSAT']; [num2str(U_CCM_S), ' VSAT']; ...
VSATxClusterEE={ [num2str(o_acm), ' VSAT']; [num2str(o_acm_ns3), ' VSAT']; ...
[num2str(o_vcm), ' VSAT']; [num2str(o_vcm_ns3), ' VSAT']; ...
[num2str(o_s2ccm), ' VSAT']; [num2str(o_sccm), ' VSAT']; ...

Mejora={ [num2str(macm), '%']; [num2str(macm_ns3), '%']; [num2str(mvcm), '%']; ...
[num2str(mvcm_ns3), '%']; [num2str(mccm), '%']; '_____']; ...

Throughput={ [num2str(sum(BR_D)), ' Mbps']; [num2str(sum(BR_NS3_D)), ...
' Mbps']; [num2str(sum(BR_L)), ' Mbps']; [num2str(sum(BR_NS3_L)), ...
' Mbps']; [num2str(sum(BR_S2CCM)), ' Mbps']; [num2str(sum(BR_SCCM)), ...
' Mbps']; ...

IB_X_MiniHUB={ [num2str(CL_ACM), 'x', num2str(Port), ' Mbps']; ...
[num2str(CL_ACM_NS3), 'x', num2str(Port), ' Mbps']; [num2str(CL_VCM), ...
'x', num2str(Port), ' Mbps']; [num2str(CL_VCM_NS3), 'x', ...
num2str(Port), ' Mbps']; [num2str(CL_S2CCM), 'x', num2str(Port), ...
' Mbps']; [num2str(CL_SCCM), 'x', num2str(Port), ' Mbps']; ...

IB_X_US_HUGHES={ [num2str(nv), 'x', num2str(128), ' Kbps']; ...
[num2str(nv), 'x', num2str(128), ' Kbps']; [num2str(nv), ...
'x', num2str(128), ' Kbps']; [num2str(nv), 'x', ...
num2str(128), ' Kbps']; [num2str(nv), 'x', num2str(128), ...
' Kbps']; [num2str(nv), 'x', num2str(128), ' Kbps']; ...

% Outbound={ [num2str(CL_ACM), 'x', num2str(Port), ' Mbps']; ...
% [num2str(CL_ACM_NS3), 'x', num2str(Port), ' Mbps']; [num2str(CL_VCM), ...
% 'x', num2str(Port), ' Mbps']; [num2str(CL_VCM_NS3), 'x', ...
% num2str(Port), ' Mbps']; [num2str(CL_S2CCM), 'x', num2str(Port), ...
% ' Mbps']; [num2str(CL_SCCM), 'x', num2str(Port), ' Mbps']; ...

Outbound={ [num2str(1), 'x', num2str(Port), ' Mbps']; ...
[num2str(1), 'x', num2str(Port), ' Mbps']; [num2str(1), ...
'x', num2str(Port), ' Mbps']; [num2str(1), 'x', ...
num2str(Port), ' Mbps']; [num2str(1), 'x', num2str(Port), ...
' Mbps']; [num2str(1), 'x', num2str(Port), ' Mbps']; ...

Resumen=table(VSATxClusterTotal, VSATxClusterEE, Mejora, Throughput, ...
Outbound, IB_X_MiniHUB, IB_X_US_HUGHES, 'RowNames', Tipo);

resumen=dataset(Tipo, VSATxClusterTotal, VSATxClusterEE, Mejora, Throughput, ...
Outbound, IB_X_MiniHUB, IB_X_US_HUGHES);
export(resumen, 'file', 'resumen.xls');
%clc;
disp(['VSAT recomendadas por CLUSTER = ', num2str(US_CL)]);
disp(['CLUSTER totales en la red = ', num2str(CL)]);
disp(Resumen);

Latitud_N=Lat(1:U_VCM_T);
Longitud_W=Lon(1:U_VCM_T);
Elevacion=El(1:U_VCM_T);
Azimuth=Az(1:U_VCM_T);
VSAT=1:1:U_VCM_T;
VSAT=VSAT';

Coordenadas=dataset(VSAT, Latitud_N, Longitud_W, Elevacion, Azimuth);
beep;
export(Coordenadas, 'file', 'coordenadas.xls');
%clear all;

```

**ANEXO 2:
DIAGRAMA DE ENLACE
SATELITAL EN SIMULINK®**

MODELO COMPLETO DE ENLACE SATELITAL EN SIMULINK®

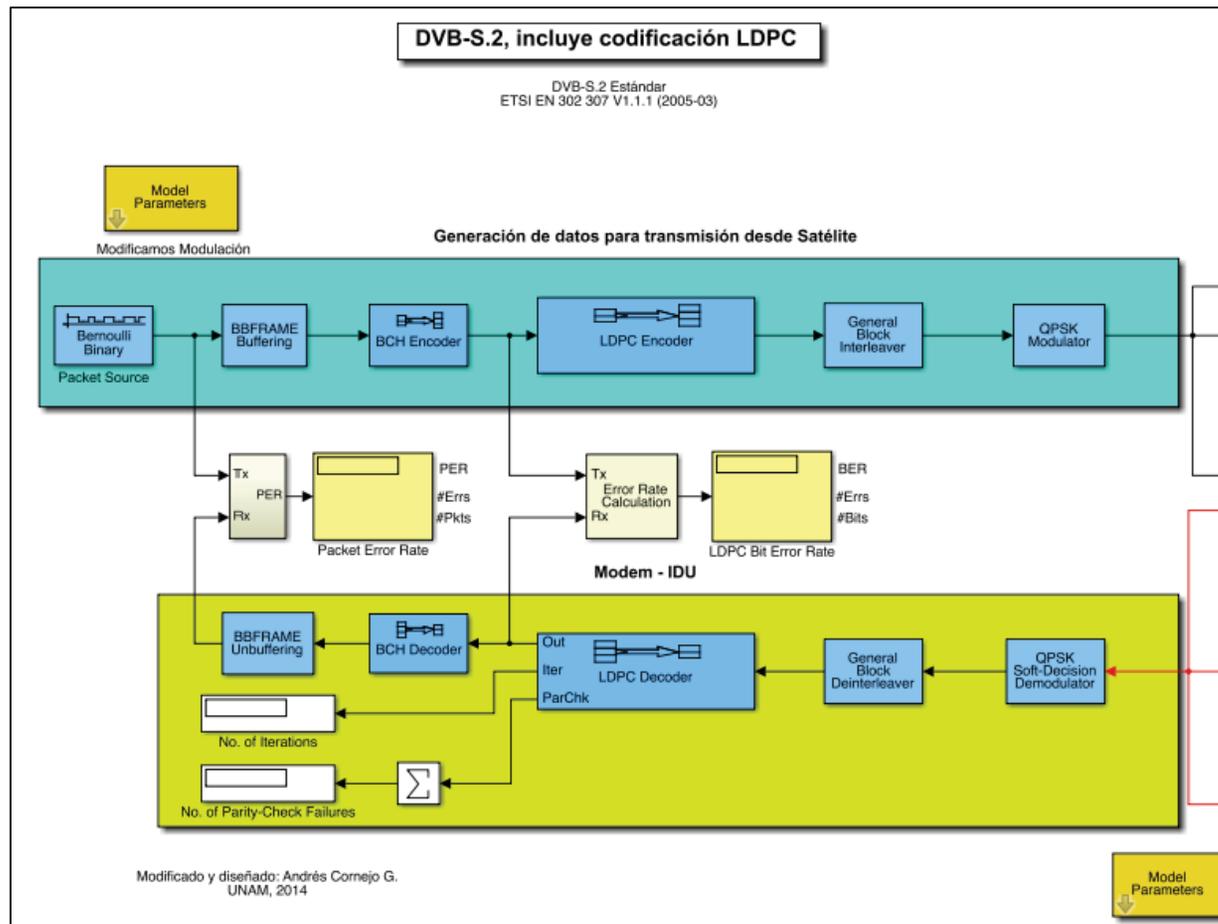


Fig. A2.-1. Modelo Simulink®, DVB-S2 con codificación LDPC, codificador y decodificador.

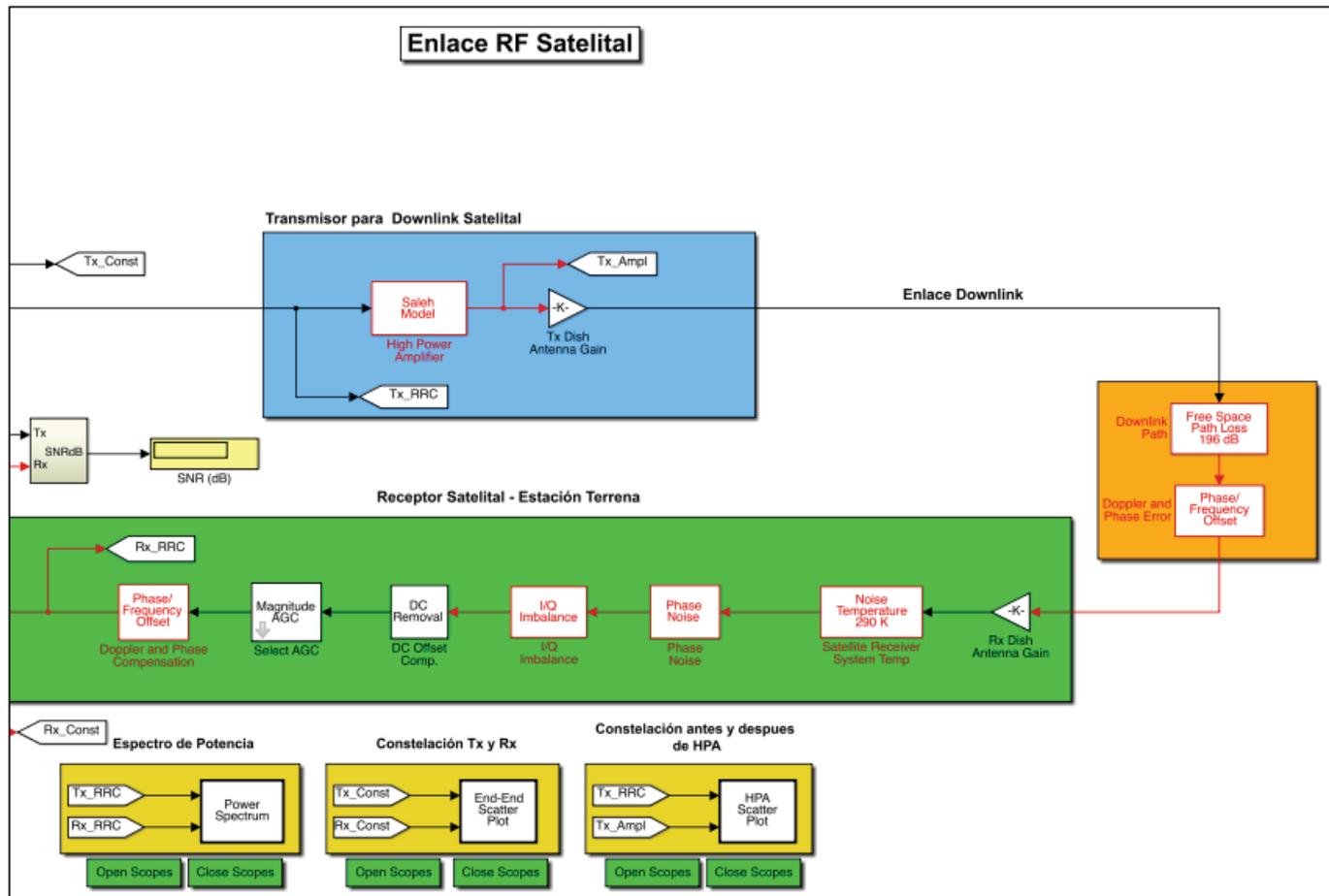


Fig. A2.-2 Modelo Simulink®, Enlace satelital, incluye Transmisor Satelital y el receptor VSAT + Enlace Espacial.

**ANEXO 3:
RESUMEN DE PARÁMETROS
PARA CADA ESTACIÓN VSAT,
EN BANDA Ku y BANDA Ka**

ENLACES DISPONIBLES PARA RADIODIFUSIÓN EN BANDA Ku

VSAT	C/N ₀ [dBHz]	Atenuación 99.9% disponibilidad	Es/N ₀ [dB] desp.	Es/N ₀ [dB] 99.9%	VCM DVB-S2		ACM DVB-S2		VCM NS3		ACM NS3		CCM DVB-S2		CCM DVB-S	
					MODCOD	Bit Rate*	MODCOD	Bit Rate*	MODCOD	Bit Rate*	MODCOD	Bit Rate*	MODCOD	Bit Rate*	MODCOD	Bit Rate*
1	87.55	7.23	13.79	6.56	QPSK 9/10	2.44	32APSK 4/5	2.58	32APSK 13/30	2.71	64APSK 2/3	2.50	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
2	86.89	7.61	13.12	5.52	8PSK 3/5	2.43	16APSK 8/9	2.30	16APSK 7/15	2.33	16APSK 9/10	2.26	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
3	87.48	6.78	13.72	6.94	QPSK 9/10	2.44	32APSK 4/5	2.58	32APSK 13/30	2.71	64APSK 2/3	2.50	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
4	87.54	7.60	13.78	6.18	8PSK 3/5	2.43	32APSK 4/5	2.58	32APSK 2/5	2.50	64APSK 2/3	2.50	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
5	86.53	7.75	12.77	5.03	QPSK 4/5	2.16	32APSK 3/4	2.42	QPSK 5/6	2.10	64APSK 19/30	2.37	Sin Enlace	-	Sin Enlace	-
6	86.78	7.47	13.02	5.55	8PSK 3/5	2.43	16APSK 8/9	2.30	16APSK 7/15	2.33	16APSK 9/10	2.26	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
7	87.33	7.22	13.57	6.35	QPSK 8/9	2.41	16APSK 9/10	2.33	8PSK 2/3	2.51	64APSK 2/3	2.50	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
8	87.03	7.21	13.27	6.06	8PSK 3/5	2.43	16APSK 9/10	2.33	16APSK 1/2	2.50	16APSK 9/10	2.26	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
9	88.39	7.45	14.63	7.17	QPSK 9/10	2.44	32APSK 5/6	2.69	32APSK 13/30	2.71	64APSK 32/45	2.67	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
10	86.73	7.25	12.97	5.72	8PSK 3/5	2.43	16APSK 8/9	2.30	16APSK 7/15	2.33	16APSK 9/10	2.26	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
11	86.53	7.79	12.77	4.98	QPSK 4/5	2.16	32APSK 3/4	2.42	8PSK 17/30	2.13	64APSK 19/30	2.37	Sin Enlace	-	Sin Enlace	-
12	87.25	7.37	13.49	6.12	8PSK 3/5	2.43	16APSK 9/10	2.33	QPSK 9/10	2.26	64APSK 2/3	2.50	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
13	87.32	7.44	13.56	6.11	8PSK 3/5	2.43	16APSK 9/10	2.33	QPSK 9/10	2.26	64APSK 2/3	2.50	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
14	86.68	7.64	12.92	5.28	QPSK 5/6	2.26	16APSK 8/9	2.30	QPSK 5/6	2.10	16APSK 9/10	2.26	QPSK 4/5	2.16	Sin Enlace	-
15	86.43	6.97	12.67	5.69	8PSK 3/5	2.43	16APSK 5/6	2.15	16APSK 7/15	2.33	16APSK 8/9	2.24	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
16	87.65	7.44	13.89	6.45	QPSK 9/10	2.44	32APSK 4/5	2.58	16APSK 8/15	2.67	64APSK 2/3	2.50	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
17	87.47	7.22	13.71	6.49	QPSK 9/10	2.44	32APSK 4/5	2.58	16APSK 8/15	2.67	64APSK 2/3	2.50	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
18	87.47	7.66	13.71	6.05	8PSK 3/5	2.43	32APSK 4/5	2.58	16APSK 1/2	2.50	64APSK 2/3	2.50	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
19	87.06	6.81	13.30	6.49	QPSK 9/10	2.44	16APSK 9/10	2.33	16APSK 8/15	2.67	16APSK 9/10	2.26	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
20	88.22	7.15	14.46	7.31	QPSK 9/10	2.44	32APSK 5/6	2.69	32APSK 13/30	2.71	64APSK 32/45	2.67	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
21	88.29	6.85	14.53	7.68	QPSK 9/10	2.44	32APSK 5/6	2.69	32APSK 13/30	2.71	64APSK 32/45	2.67	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
22	89.03	7.12	15.27	8.15	QPSK 9/10	2.44	32APSK 5/6	2.69	32APSK 13/30	2.71	32APSK 8/9	2.80	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
23	87.95	7.05	14.19	7.14	QPSK 9/10	2.44	32APSK 4/5	2.58	32APSK 13/30	2.71	64APSK 32/45	2.67	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
24	88.10	7.80	14.34	6.54	QPSK 9/10	2.44	32APSK 5/6	2.69	32APSK 13/30	2.71	64APSK 32/45	2.67	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
25	86.65	6.78	12.89	6.11	8PSK 3/5	2.43	32APSK 3/4	2.42	16APSK 1/2	2.50	16APSK 9/10	2.26	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
26	88.86	7.54	15.10	7.55	QPSK 9/10	2.44	32APSK 5/6	2.69	32APSK 13/30	2.71	64APSK 3/4	2.82	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
27	88.24	7.24	14.48	7.24	QPSK 9/10	2.44	32APSK 5/6	2.69	32APSK 13/30	2.71	64APSK 32/45	2.67	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
28	86.68	6.97	12.92	5.94	8PSK 3/5	2.43	16APSK 8/9	2.30	QPSK 8/9	2.24	16APSK 9/10	2.26	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
29	87.81	7.73	14.05	6.32	QPSK 8/9	2.41	32APSK 4/5	2.58	8PSK 2/3	2.51	64APSK 32/45	2.67	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
30	86.56	7.66	12.80	5.14	QPSK 4/5	2.16	32APSK 3/4	2.42	QPSK 5/6	2.10	64APSK 19/30	2.37	Sin Enlace	-	Sin Enlace	-
31	86.79	7.39	13.03	5.63	8PSK 3/5	2.43	16APSK 8/9	2.30	16APSK 7/15	2.33	16APSK 9/10	2.26	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
32	88.29	7.49	14.53	7.04	QPSK 9/10	2.44	32APSK 5/6	2.69	32APSK 13/30	2.71	64APSK 32/45	2.67	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
33	87.14	7.60	13.38	5.77	8PSK 3/5	2.43	16APSK 9/10	2.33	16APSK 7/15	2.33	64APSK 2/3	2.50	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
34	86.60	7.38	12.84	5.45	QPSK 5/6	2.26	32APSK 3/4	2.42	16APSK 7/15	2.33	64APSK 19/30	2.37	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
35	87.15	7.65	13.38	5.73	8PSK 3/5	2.43	16APSK 9/10	2.33	16APSK 7/15	2.33	64APSK 2/3	2.50	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
36	88.39	7.28	14.63	7.36	QPSK 9/10	2.44	32APSK 5/6	2.69	32APSK 13/30	2.71	64APSK 32/45	2.67	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
37	87.17	6.78	13.41	6.63	QPSK 9/10	2.44	16APSK 9/10	2.33	32APSK 13/30	2.71	64APSK 2/3	2.50	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
38	87.76	7.53	14.00	6.47	QPSK 9/10	2.44	32APSK 4/5	2.58	16APSK 8/15	2.67	32APSK 5/6	2.62	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
39	87.58	7.58	13.82	6.25	QPSK 8/9	2.41	32APSK 4/5	2.58	32APSK 2/5	2.50	64APSK 2/3	2.50	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
40	88.43	6.91	14.67	7.76	QPSK 9/10	2.44	32APSK 5/6	2.69	32APSK 13/30	2.71	64APSK 32/45	2.67	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
41	88.29	7.49	14.53	7.04	QPSK 9/10	2.44	32APSK 5/6	2.69	32APSK 13/30	2.71	64APSK 32/45	2.67	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30

42	86.98	7.83	13.22	5.40	QPSK 5/6	2.26	16APSK 9/10	2.33	8PSK 3/5	2.26	16APSK 9/10	2.26	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
43	87.10	6.94	13.34	6.40	QPSK 8/9	2.41	16APSK 9/10	2.33	16APSK 8/15	2.67	64APSK 2/3	2.50	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
44	88.01	7.49	14.25	6.76	QPSK 9/10	2.44	32APSK 4/5	2.58	32APSK 13/30	2.71	64APSK 32/45	2.67	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
45	88.36	6.97	14.60	7.63	QPSK 9/10	2.44	32APSK 5/6	2.69	32APSK 13/30	2.71	64APSK 32/45	2.67	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
46	88.74	7.19	14.98	7.79	QPSK 9/10	2.44	32APSK 5/6	2.69	32APSK 13/30	2.71	64APSK 3/4	2.82	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
47	86.92	7.13	13.16	6.04	8PSK 3/5	2.43	16APSK 9/10	2.33	16APSK 1/2	2.50	16APSK 9/10	2.26	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
48	87.39	7.59	13.63	6.04	8PSK 3/5	2.43	16APSK 9/10	2.33	16APSK 1/2	2.50	64APSK 2/3	2.50	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
49	88.17	7.80	14.41	6.61	QPSK 9/10	2.44	32APSK 5/6	2.69	32APSK 13/30	2.71	64APSK 32/45	2.67	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
50	87.70	7.77	13.94	6.17	8PSK 3/5	2.43	32APSK 4/5	2.58	32APSK 2/5	2.50	64APSK 2/3	2.50	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
51	87.05	7.26	13.29	6.03	8PSK 3/5	2.43	16APSK 9/10	2.33	16APSK 1/2	2.50	16APSK 9/10	2.26	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
52	87.89	7.71	14.12	6.42	QPSK 8/9	2.41	32APSK 4/5	2.58	16APSK 8/15	2.67	64APSK 32/45	2.67	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
53	86.69	6.91	12.93	6.02	8PSK 3/5	2.43	16APSK 8/9	2.30	16APSK 1/2	2.50	16APSK 9/10	2.26	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
54	86.69	7.61	12.93	5.31	QPSK 5/6	2.26	16APSK 8/9	2.30	8PSK 3/5	2.26	16APSK 9/10	2.26	QPSK 4/5	2.16	Sin Enlace	-
55	86.43	7.23	12.67	5.43	QPSK 5/6	2.26	16APSK 5/6	2.15	8PSK 3/5	2.26	16APSK 8/9	2.24	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
56	86.63	7.08	12.87	5.79	8PSK 3/5	2.43	32APSK 3/4	2.42	16APSK 7/15	2.33	16APSK 9/10	2.26	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
57	87.33	6.83	13.57	6.73	QPSK 9/10	2.44	16APSK 9/10	2.33	32APSK 13/30	2.71	64APSK 2/3	2.50	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
58	86.55	6.94	12.79	5.85	8PSK 3/5	2.43	32APSK 3/4	2.42	16APSK 7/15	2.33	64APSK 19/30	2.37	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
59	87.62	6.85	13.86	7.01	QPSK 9/10	2.44	32APSK 4/5	2.58	32APSK 13/30	2.71	64APSK 2/3	2.50	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
60	87.63	7.79	13.87	6.08	8PSK 3/5	2.43	32APSK 4/5	2.58	16APSK 1/2	2.50	64APSK 2/3	2.50	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
61	88.93	7.43	15.17	7.74	QPSK 9/10	2.44	32APSK 5/6	2.69	32APSK 13/30	2.71	64APSK 3/4	2.82	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
62	87.62	6.86	13.86	7.00	QPSK 9/10	2.44	32APSK 4/5	2.58	32APSK 13/30	2.71	64APSK 2/3	2.50	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
63	86.63	7.47	12.87	5.40	QPSK 5/6	2.26	32APSK 3/4	2.42	8PSK 3/5	2.26	16APSK 9/10	2.26	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
64	87.01	6.77	13.25	6.48	QPSK 9/10	2.44	16APSK 9/10	2.33	16APSK 8/15	2.67	16APSK 9/10	2.26	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
65	87.09	7.23	13.33	6.10	8PSK 3/5	2.43	16APSK 9/10	2.33	16APSK 1/2	2.50	64APSK 2/3	2.50	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
66	88.92	7.23	15.15	7.93	QPSK 9/10	2.44	32APSK 5/6	2.69	32APSK 13/30	2.71	64APSK 3/4	2.82	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
67	87.47	7.30	13.71	6.41	QPSK 8/9	2.41	32APSK 4/5	2.58	16APSK 8/15	2.67	64APSK 2/3	2.50	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
68	87.05	7.79	13.28	5.50	QPSK 5/6	2.26	16APSK 9/10	2.33	16APSK 7/15	2.33	16APSK 9/10	2.26	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
69	87.03	7.75	13.26	5.52	8PSK 3/5	2.43	16APSK 9/10	2.33	16APSK 7/15	2.33	16APSK 9/10	2.26	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
70	86.74	7.34	12.98	5.64	8PSK 3/5	2.43	16APSK 8/9	2.30	16APSK 7/15	2.33	16APSK 9/10	2.26	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
71	86.67	7.80	12.91	5.10	QPSK 4/5	2.16	16APSK 8/9	2.30	QPSK 5/6	2.10	16APSK 9/10	2.26	Sin Enlace	-	Sin Enlace	-
72	86.50	7.74	12.74	5.00	QPSK 4/5	2.16	32APSK 3/4	2.42	16APSK 13/30	2.17	64APSK 19/30	2.37	Sin Enlace	-	Sin Enlace	-
73	88.98	7.17	15.22	8.05	QPSK 9/10	2.44	32APSK 5/6	2.69	32APSK 13/30	2.71	32APSK 8/9	2.80	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
74	86.95	7.28	13.19	5.91	8PSK 3/5	2.43	16APSK 9/10	2.33	8PSK 19/30	2.39	16APSK 9/10	2.26	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
75	87.50	7.56	13.74	6.18	8PSK 3/5	2.43	32APSK 4/5	2.58	32APSK 2/5	2.50	64APSK 2/3	2.50	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
76	88.85	7.07	15.09	8.02	QPSK 9/10	2.44	32APSK 5/6	2.69	32APSK 13/30	2.71	64APSK 3/4	2.82	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
77	88.30	6.81	14.54	7.73	QPSK 9/10	2.44	32APSK 5/6	2.69	32APSK 13/30	2.71	64APSK 32/45	2.67	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
78	88.34	7.73	14.57	6.85	QPSK 9/10	2.44	32APSK 5/6	2.69	32APSK 13/30	2.71	64APSK 32/45	2.67	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
79	88.82	7.33	15.06	7.73	QPSK 9/10	2.44	32APSK 5/6	2.69	32APSK 13/30	2.71	64APSK 3/4	2.82	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
80	88.94	7.61	15.18	7.57	QPSK 9/10	2.44	32APSK 5/6	2.69	32APSK 13/30	2.71	64APSK 3/4	2.82	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
81	88.22	6.96	14.46	7.49	QPSK 9/10	2.44	32APSK 5/6	2.69	32APSK 13/30	2.71	64APSK 32/45	2.67	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
82	87.72	7.07	13.96	6.89	QPSK 9/10	2.44	32APSK 4/5	2.58	32APSK 13/30	2.71	64APSK 2/3	2.50	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
83	87.48	7.05	13.72	6.67	QPSK 9/10	2.44	32APSK 4/5	2.58	32APSK 13/30	2.71	64APSK 2/3	2.50	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
84	87.11	7.71	13.35	5.64	8PSK 3/5	2.43	16APSK 9/10	2.33	16APSK 7/15	2.33	64APSK 2/3	2.50	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
85	88.89	7.31	15.13	7.82	QPSK 9/10	2.44	32APSK 5/6	2.69	32APSK 13/30	2.71	64APSK 3/4	2.82	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
86	87.20	6.81	13.44	6.63	QPSK 9/10	2.44	16APSK 9/10	2.33	32APSK 13/30	2.71	64APSK 2/3	2.50	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30

87	87.02	7.64	13.26	5.62	8PSK 3/5	2.43	16APSK 9/10	2.33	16APSK 7/15	2.33	16APSK 9/10	2.26	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
88	86.43	7.04	12.67	5.63	8PSK 3/5	2.43			16APSK 7/15	2.33	16APSK 8/9	2.24	QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
89	87.93	7.41	14.17	6.76	QPSK 9/10	2.44							QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
90	86.44	6.84	12.68	5.84	8PSK 3/5	2.43							QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
91	87.64	7.47	13.88	6.41									QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
92	88.29	6.96	14.53	7.57									QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
93	87.28	7.67	13.52	5.85									QPSK 4/5	2.16	QPSK 2/3	2.30
94	88.91	6.97	15.15	8.18									QPSK 4/5	2.16		
95	88.21	7.45	14.45	7.00									QPSK 4/5	2.16		
96	88.03	7.27	14.27	6.99									QPSK 4/5	2.16		
97	88.82	6.77	15.06	8.28									QPSK 4/5	2.16		
98	89.13	7.60	15.37	7.77									QPSK 4/5	2.16		
99	88.46	7.23	14.70	7.47									QPSK 4/5	2.16		

*Bit Rate: su unidad está en Mbit/sec, [Mbps].

Tabla A3-1. Enlaces para cada emplazamiento, MODCOD y tasa de bits respectivo para cada estación, banda Ku.

COORDENADAS PARA CADA EMPLAZAMIENTO EN BANDA Ku

VSAT	Latitud N	Longitud W	Elevación	Azimuth	VSAT	Latitud N	Longitud W	Elevación	Azimuth
1	19.25979049	-99.17165604	61.89795277	141.6457561	46	19.29415621	-99.1226303	61.83368655	141.5960817
2	19.32230625	-99.19214508	61.85514278	141.7734263	47	19.29593188	-99.21262493	61.89286662	141.777653
3	19.3027482	-99.04736556	61.77490968	141.4588156	48	19.35819991	-99.17924999	61.81390033	141.7974605
4	19.33181167	-99.25734643	61.89039356	141.9166443	49	19.37028933	-99.19649006	61.81453475	141.8484888
5	19.34217656	-99.15898861	61.81477224	141.7349798	50	19.31748695	-99.15191999	61.8323705	141.6866942
6	19.28219383	-99.20567361	61.9006353	141.7447087	51	19.30824068	-99.17639442	61.8572702	141.7225521
7	19.30126373	-99.04086386	61.77183597	141.4438844	52	19.44437006	-99.12119715	61.69665787	141.8010681
8	19.27319107	-99.23522689	61.92872941	141.7911663	53	19.36166454	-99.15711849	61.79584667	141.7582401
9	19.33041672	-99.16448513	61.82913774	141.7296148	54	19.40161733	-99.28483373	61.84533359	142.067914
10	19.32640243	-99.1383702	61.81514456	141.6721337	55	19.29629346	-99.23981851	61.91085981	141.8324191
11	19.32480107	-99.04021071	61.7501435	141.4753238	56	19.25130096	-99.25203177	61.95991599	141.7942962
12	19.30423315	-99.14873925	61.842224	141.6619692	57	19.34749033	-99.15446398	61.80690456	141.7333444
13	19.2883579	-99.17095037	61.87160755	141.6840978	58	19.3512718	-99.14578134	61.79762069	141.7213257
14	19.29461912	-99.26324812	61.9281484	141.8769039	59	19.35837893	-99.22116464	61.84194202	141.8811878
15	19.33337895	-99.16216698	61.8248893	141.7291101	60	19.34555709	-99.09071558	61.76559608	141.6041317
16	19.37438886	-99.21719503	61.82473314	141.8953944	61	19.36467896	-99.13247669	61.77649683	141.7134592
17	19.37767041	-99.22839662	61.82927694	141.9222529	62	19.43482988	-99.13657628	61.71566009	141.8184345
18	19.33472032	-99.23480693	61.87260033	141.8756718	63	19.27776144	-99.16674894	61.87836461	141.6609999
19	19.3368295	-99.21967723	61.86050777	141.8484131	64	19.26128167	-99.17395559	61.89815772	141.6524121
20	19.27538434	-99.24894005	61.93597974	141.8216055	65	19.29742572	-99.16858283	61.86179489	141.6919861
21	19.35880667	-99.18337379	61.81612706	141.8065059	66	19.40824769	-99.19553916	61.77942907	141.8989777
22	19.30731113	-99.17052933	61.85415372	141.7095879	67	19.32231196	-99.08612967	61.78351439	141.562787
23	19.39204592	-99.10891426	61.73580773	141.7045527	68	19.28234298	-99.10981783	61.83569384	141.5542057
24	19.42879807	-99.16081893	61.73743721	141.8582567	69	19.35250491	-99.2229429	61.848472	141.8766121
25	19.35258832	-99.15096199	61.79992236	141.733443	70	19.34371125	-99.12785641	61.79236959	141.6752506
26	19.29118725	-99.15374822	61.85742099	141.6538019	71	19.32480401	-99.10675319	61.79521853	141.6071443
27	19.367421	-99.1427232	61.78092359	141.7376004	72	19.3595088	-99.19571553	61.82379823	141.8320453

28	19.34477757	-99.17844438	61.82553115	141.7772822	73	19.35192508	-99.18314174	61.82221332	141.7965238
29	19.38308459	-99.2275518	61.82378984	141.9280404	74	19.36192764	-99.22668244	61.84242771	141.8970934
30	19.33255234	-99.18067077	61.83811725	141.7647803	75	19.38674808	-99.13742798	61.75983612	141.7538033
31	19.37778316	-99.17677337	61.79446683	141.819605	76	19.28665293	-99.13199712	61.84681344	141.6042543
32	19.26714617	-99.1632704	61.88562299	141.6393036	77	19.35898312	-99.18679363	61.81826962	141.8135564
33	19.3310756	-99.06696959	61.7626157	141.5369963	78	19.31943312	-99.16492051	61.83938454	141.7152498
34	19.35557483	-99.21309614	61.83906269	141.8612288	79	19.35046879	-99.13970213	61.79424626	141.7081366
35	19.39150201	-99.20047222	61.79795245	141.8857056	80	19.40311736	-99.18149426	61.77464934	141.8639627
36	19.34193693	-99.16895625	61.82171128	141.754471	81	19.3757652	-99.12677747	61.76260778	141.7174818
37	19.32784601	-99.10047947	61.78822238	141.5989218	82	19.31514961	-99.12827701	61.8185107	141.6364672
38	19.38509779	-99.1780498	61.78868849	141.8322464	83	19.38780552	-99.12330845	61.74935866	141.7272418
39	19.30409095	-99.18284205	61.86538198	141.729629	84	19.38681763	-99.17036082	61.78195367	141.8193304
40	19.37358222	-99.16356344	61.78938307	141.7875316	85	19.21570497	-99.11568935	61.89989029	141.4729071
41	19.2908159	-99.12727411	61.83985106	141.6006607	86	19.39615098	-99.1369428	61.75098511	141.7658268
42	19.35814798	-99.08201264	61.74832011	141.6043376	87	19.30195121	-99.16579054	61.85580979	141.6927153
43	19.3820517	-99.21426394	61.81580321	141.9001328	88	19.34704341	-99.15368194	61.80678208	141.731171
44	19.32564527	-99.16728868	61.83535334	141.7285766	89	19.28837559	-99.20326547	61.89340658	141.7484971
45	19.40374543	-99.22361767	61.80237182	141.9486883	90	19.29824297	-99.1165929	61.82590359	141.5897752

Tabla A3-2. Coordenadas para cada emplazamiento en radiodifusión en banda Ku.

ENLACES DISPONIBLES PARA RADIODIFUSIÓN EN BANDA Ka

VSAT	C/N ₀ [dBHz]	Atenuación 99.7% disponibilidad	E _s /N ₀ [dB] desp.	E _s /N ₀ [dB] 99.7%	VCM DVB-S2		ACM DVB-S2		VCM NS3		ACM NS3		CCM DVB-S2		CCM DVB-S	
					MODCOD	Bit Rate*	MODCOD	Bit Rate	MODCOD	Bit Rate*	MODCOD	Bit Rate*	MODCOD	Bit Rate*	MODCOD	Bit Rate*
1	98.13	8.46	15.95	7.49	8PSK 2/3	2.46	32APSK 8/9	2.20	32APSK 7/15	2.56	32APSK 9/10	2.21	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
2	98.85	8.74	16.67	7.93	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	8PSK 3/4	2.48	64APSK 4/5	2.34	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
3	98.10	9.24	15.92	6.68	8PSK 2/3	2.46	32APSK 8/9	2.20	32APSK 13/30	2.38	32APSK 9/10	2.21	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
4	100.17	8.69	17.99	9.30	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
5	100.19	8.59	18.01	9.43	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
6	99.62	8.65	17.44	8.79	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
7	98.13	8.34	15.96	7.62	8PSK 2/3	2.46	32APSK 8/9	2.20	16APSK 3/5	2.63	32APSK 9/10	2.21	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
8	98.85	9.21	16.67	7.46	8PSK 2/3	2.46	32APSK 9/10	2.23	32APSK 7/15	2.56	64APSK 4/5	2.34	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
9	99.60	8.59	17.42	8.83	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
10	100.51	8.23	18.33	10.10	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
11	99.09	8.46	16.92	8.45	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
12	99.60	9.04	17.42	8.39	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
13	98.51	9.12	16.33	7.21	8PSK 2/3	2.46	32APSK 9/10	2.23	32APSK 7/15	2.56	64APSK 4/5	2.34	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
14	98.16	9.03	15.98	6.96	8PSK 2/3	2.46	32APSK 8/9	2.20	16APSK 17/30	2.49	32APSK 9/10	2.21	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
15	100.08	9.09	17.91	8.82	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
16	98.70	8.23	16.53	8.29	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 4/5	2.34	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
17	99.40	8.30	17.22	8.91	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
18	98.08	8.55	15.91	7.36	8PSK 2/3	2.46	32APSK 8/9	2.20	32APSK 7/15	2.56	32APSK 9/10	2.21	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
19	98.27	8.93	16.09	7.17	8PSK 2/3	2.46	32APSK 9/10	2.23	32APSK 7/15	2.56	64APSK 4/5	2.34	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
20	100.51	9.41	18.33	8.91	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
21	99.45	9.32	17.27	7.95	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	8PSK 3/4	2.48	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21

22	98.43	8.50	16.25	7.75	8PSK 2/3	2.46	32APSK 9/10	2.23	8PSK 3/4	2.48	64APSK 4/5	2.34	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
23	100.07	9.17	17.89	8.72	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
24	99.71	9.04	17.53	8.49	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
25	100.47	9.28	18.30	9.02	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
26	98.31	8.53	16.13	7.60	8PSK 2/3	2.46	32APSK 9/10	2.23	16APSK 3/5	2.63	64APSK 4/5	2.34	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
27	99.89	8.50	17.71	9.22	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
28	98.33	8.86	16.15	7.28	8PSK 2/3	2.46	32APSK 9/10	2.23	32APSK 7/15	2.56	64APSK 4/5	2.34	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
29	97.93	8.54	15.75	7.21	8PSK 2/3	2.46	32APSK 8/9	2.20	32APSK 7/15	2.56	32APSK 9/10	2.21	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
30	98.57	9.12	16.39	7.27	8PSK 2/3	2.46	32APSK 9/10	2.23	32APSK 7/15	2.56	64APSK 4/5	2.34	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
31	99.73	9.08	17.55	8.47	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
32	98.97	9.09	16.80	7.70	8PSK 2/3	2.46	32APSK 9/10	2.23	8PSK 3/4	2.48	64APSK 4/5	2.34	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
33	98.12	9.32	15.94	6.62	8PSK 2/3	2.46	32APSK 8/9	2.20	32APSK 13/30	2.38	32APSK 9/10	2.21	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
34	100.46	9.10	18.28	9.18	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
35	100.03	8.79	17.85	9.06	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
36	99.14	8.27	16.96	8.69	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
37	100.02	8.28	17.84	9.56	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
38	98.20	9.13	16.03	6.90	8PSK 2/3	2.46	32APSK 8/9	2.20	32APSK 13/30	2.38	32APSK 9/10	2.21	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
39	100.60	9.06	18.42	9.36	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 8/9	2.61	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
40	98.18	8.88	16.00	7.12	8PSK 2/3	2.46	32APSK 8/9	2.20	8PSK 32/45	2.36	32APSK 9/10	2.21	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
41	98.95	8.22	16.77	8.55	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 4/5	2.34	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
42	99.39	8.29	17.22	8.92	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
43	98.25	8.37	16.07	7.70	8PSK 2/3	2.46	32APSK 9/10	2.23	8PSK 3/4	2.48	64APSK 4/5	2.34	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
44	100.33	9.23	18.16	8.93	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
45	98.12	8.58	15.95	7.37	8PSK 2/3	2.46	32APSK 8/9	2.20	32APSK 7/15	2.56	32APSK 9/10	2.21	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
46	98.60	9.26	16.42	7.16	8PSK 2/3	2.46	32APSK 9/10	2.23	32APSK 7/15	2.56	64APSK 4/5	2.34	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
47	97.90	8.73	15.73	7.00	8PSK 2/3	2.46	32APSK 8/9	2.20	8PSK 32/45	2.36	32APSK 9/10	2.21	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
48	99.72	8.54	17.55	9.00	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
49	99.48	8.43	17.30	8.87	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
50	100.19	8.85	18.01	9.16	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
51	99.70	9.42	17.52	8.09	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
52	99.49	9.29	17.32	8.03	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
53	98.68	8.67	16.50	7.83	8PSK 2/3	2.46	32APSK 9/10	2.23	8PSK 3/4	2.48	64APSK 4/5	2.34	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
54	100.04	8.83	17.86	9.02	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
55	99.12	8.49	16.94	8.45	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
56	99.92	8.74	17.75	9.01	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
57	98.19	8.87	16.01	7.15	8PSK 2/3	2.46	32APSK 8/9	2.20	8PSK 32/45	2.36	32APSK 9/10	2.21	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
58	99.69	8.59	17.51	8.92	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
59	99.32	9.06	17.14	8.09	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
60	97.92	8.55	15.74	7.19	8PSK 2/3	2.46	32APSK 8/9	2.20	32APSK 7/15	2.56	32APSK 9/10	2.21	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
61	99.36	9.22	17.18	7.97	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	8PSK 3/4	2.48	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
62	98.08	8.41	15.90	7.49	8PSK 2/3	2.46	32APSK 8/9	2.20	32APSK 7/15	2.56	32APSK 9/10	2.21	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
63	98.67	8.86	16.50	7.64	8PSK 2/3	2.46	32APSK 9/10	2.23	16APSK 3/5	2.63	64APSK 4/5	2.34	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
64	98.60	8.34	16.42	8.07	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 4/5	2.34	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
65	99.39	8.57	17.21	8.64	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
66	98.92	9.09	16.74	7.65	8PSK 2/3	2.46	32APSK 9/10	2.23	16APSK 3/5	2.63	64APSK 4/5	2.34	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21

67	98.75	8.97	16.57	7.60	8PSK 2/3	2.46	32APSK 9/10	2.23	16APSK 3/5	2.63	64APSK 4/5	2.34	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
68	99.22	8.71	17.04	8.33	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
69	99.23	8.94	17.05	8.11	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
70	98.96	9.38	16.79	7.41	8PSK 2/3	2.46	32APSK 9/10	2.23	32APSK 7/15	2.56	64APSK 4/5	2.34	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
71	98.14	9.35	15.97	6.61	QPSK 9/10	2.22	32APSK 8/9	2.20	32APSK 13/30	2.38	32APSK 9/10	2.21	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
72	98.10	8.93	15.92	6.99	8PSK 2/3	2.46	32APSK 8/9	2.20	8PSK 32/45	2.36	32APSK 9/10	2.21	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
73	99.91	9.37	17.73	8.36	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
74	98.18	8.39	16.00	7.61	8PSK 2/3	2.46	32APSK 8/9	2.20	16APSK 3/5	2.63	32APSK 9/10	2.21	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
75	98.69	8.94	16.51	7.57	8PSK 2/3	2.46	32APSK 9/10	2.23	16APSK 3/5	2.63	64APSK 4/5	2.34	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
76	98.88	8.65	16.70	8.05	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 4/5	2.34	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
77	98.70	8.48	16.52	8.04	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 4/5	2.34	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
78	100.47	9.33	18.29	8.96	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
79	98.43	8.85	16.25	7.40	8PSK 2/3	2.46	32APSK 9/10	2.23	32APSK 7/15	2.56	64APSK 4/5	2.34	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
80	99.29	8.97	17.11	8.14	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23	32APSK 1/2	2.74	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
81	99.26	9.31	17.08	7.77	8PSK 2/3	2.46	32APSK 9/10	2.23	8PSK 3/4	2.48	64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
82	99.57	8.91	17.39	8.48	8PSK 3/4	2.76	32APSK 9/10	2.23			64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
83	98.95	9.33	16.78	7.44			32APSK 9/10	2.23			64APSK 4/5	2.34	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
84	98.26	8.68	16.08	7.40			32APSK 9/10	2.23			64APSK 4/5	2.34	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
85	99.16	8.80	16.98	8.18			32APSK 9/10	2.23			64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
86	98.97	8.23	16.79	8.56			32APSK 9/10	2.23			64APSK 4/5	2.34	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
87	99.67	9.11	17.49	8.38			32APSK 9/10	2.23			64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
88	98.08	9.45	15.90	6.45			32APSK 8/9	2.20			32APSK 9/10	2.21	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
89	98.55	9.35	16.38	7.02			32APSK 9/10	2.23			64APSK 4/5	2.34	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
90	98.05	8.91	15.88	6.97			32APSK 8/9	2.20			32APSK 9/10	2.21	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
91	100.02	9.21	17.84	8.63			32APSK 9/10	2.23			64APSK 5/6	2.44	QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
92	98.12	9.10	15.94	6.84			32APSK 8/9	2.20					QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
93	98.58	8.50	16.40	7.90			32APSK 9/10	2.23					QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
94	98.49	8.37	16.32	7.94			32APSK 9/10	2.23					QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
95	99.40	8.91	17.22	8.31			32APSK 9/10	2.23					QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
96	98.76	8.51	16.58	8.07			32APSK 9/10	2.23					QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21
97	98.80	8.47	16.62	8.15			32APSK 9/10	2.23					QPSK 4/5	2.20	QPSK 2/3	2.21

*Bit Rate: su unidad está en Mbit/sec, [Mbps]

Tabla A3-3. Enlaces para cada emplazamiento, MODCOD y tasa de bits respectivo para cada estación, banda Ka.

COORDENADAS PARA CADA EMPLAZAMIENTO EN BANDA Ka

VSAT	Latitud N	Longitud W	Elevación	Azimuth	VSAT	Latitud N	Longitud W	Elevación	Azimuth
1	19.3286601	-99.22500007	61.87150553	141.8477165	42	19.42745156	-99.07356328	61.67988992	141.6834128
2	19.38677831	-99.2537063	61.83798248	141.9853055	43	19.40158012	-99.09399601	61.71710611	141.6881583
3	19.31716356	-99.13086973	61.81844058	141.6444129	44	19.353696	-99.19762146	61.83035612	141.8278015
4	19.33385549	-99.10227064	61.78399764	141.610813	45	19.3543246	-99.19458302	61.82774046	141.8226204
5	19.28394298	-99.13207801	61.84931984	141.6006451	46	19.26261006	-99.25593913	61.95228776	141.817838
6	19.27911317	-99.20810563	61.90506892	141.7452765	47	19.31010015	-99.18532391	61.86160982	141.7429117
7	19.34866075	-99.24683995	61.86802474	141.9189713	48	19.35759481	-99.06965534	61.74046056	141.5790986
8	19.26465688	-99.14852903	61.87790237	141.6065056	49	19.28641542	-99.21209531	61.90113951	141.7633806

9	19.37061905	-99.16392464	61.79231368	141.7841536	50	19.33357257	-99.11565583	61.79330437	141.6369761
10	19.37320686	-99.18817404	61.80629186	141.8359658	51	19.36391052	-99.13944274	61.78189244	141.7262284
11	19.35811693	-99.13355062	61.78316632	141.7065095	52	19.42363206	-99.22503874	61.78524566	141.9789044
12	19.30640871	-99.17698209	61.85932694	141.7211791	53	19.27147582	-99.15737863	61.87771912	141.6336054
13	19.41866398	-99.04233648	61.66675359	141.6095401	54	19.31052811	-99.09851935	61.80255806	141.5709841
14	19.32587239	-99.16440771	61.83320366	141.7231604	55	19.36434118	-99.14023438	61.78203615	141.7283965
15	19.34354313	-99.12094569	61.78785381	141.661299	56	19.31569471	-99.06067763	61.77224882	141.5031715
16	19.38437181	-99.15619098	61.77463218	141.7877875	57	19.36226864	-99.218219	61.8364293	141.8806921
17	19.35556148	-99.10001615	61.76283251	141.6364337	58	19.30239595	-99.18462023	61.86811807	141.730817
18	19.26797831	-99.14625992	61.8733615	141.6066178	59	19.35181528	-99.14173588	61.79439876	141.7140411
19	19.36335934	-99.15964082	61.7960102	141.7655984	60	19.3230462	-99.24684579	61.89129835	141.8835382
20	19.32501588	-99.17650527	61.84214099	141.7460436	61	19.29471356	-99.17031625	61.86542237	141.6916681
21	19.2592519	-99.20207673	61.91899956	141.7056266	62	19.34710453	-99.13798563	61.7961354	141.7000673
22	19.31893886	-99.19705894	61.86150864	141.7785462	63	19.3382942	-99.19044854	61.83949943	141.7922004
23	19.30347047	-99.13426242	61.83312807	141.6321357	64	19.23298353	-99.10585809	61.87761043	141.4775212
24	19.30932303	-99.15735394	61.84343471	141.6861683	65	19.33673481	-99.14302269	61.8089288	141.6957049
25	19.27274323	-99.24162747	61.93344953	141.8033267	66	19.32673963	-99.20613429	61.86054733	141.8074421
26	19.36845216	-99.19340054	61.81412376	141.8397991	67	19.2713325	-99.17516134	61.88987204	141.6688039
27	19.36296565	-99.19794261	61.8221595	141.8412594	68	19.33422708	-99.13470607	61.80558409	141.6757064
28	19.26744345	-99.08597226	61.83299021	141.486136	69	19.39528106	-99.17149641	61.77503817	141.8332712
29	19.3366021	-99.12140699	61.79444919	141.6525923	70	19.37988275	-99.15446519	61.77754062	141.7781562
30	19.32747247	-99.15967552	61.82856041	141.7159671	71	19.28577573	-99.15306716	61.86185955	141.6449232
31	19.30985195	-99.20727913	61.87663818	141.7863116	72	19.38495191	-99.16874611	61.78255956	141.8135436
32	19.35615645	-99.2372883	61.85479713	141.9102716	73	19.31655483	-99.16560367	61.84245358	141.7126157
33	19.32286967	-99.1717687	61.84089132	141.7336415	74	19.33747358	-99.19280172	61.84182905	141.79575
34	19.33613848	-99.14529415	61.81100241	141.6993919	75	19.33019676	-99.18982022	61.84642022	141.7797323
35	19.34050657	-99.12009	61.79002472	141.6553916	76	19.36141274	-99.11564828	61.76809626	141.67554
36	19.31639006	-99.1401035	61.82538138	141.6616843	77	19.32034716	-99.11968093	61.80799464	141.626614
37	19.43761408	-99.18379098	61.74486373	141.9160457	78	19.318319	-99.15290845	61.83228442	141.6898141
38	19.32556098	-99.23187517	61.87894511	141.8571397	79	19.28688062	-99.17118374	61.87310322	141.6825089
39	19.32212023	-99.18400257	61.84982197	141.7569534	80	19.34138507	-99.2074287	61.84812964	141.8303039
40	19.29165823	-99.15409626	61.85722984	141.6551489	81	19.31806783	-99.16595423	61.8413193	141.7154122
41	19.32831761	-99.21323839	61.86389949	141.8237885	82	19.2912972	-99.15541785	61.85845002	141.6572757

Tabla A3-4. Coordenadas para cada emplazamiento en radiodifusión en banda Ka.

ENLACES DISPONIBLES PARA ENLACES DE DATOS EN BANDA Ku.

VSAT	C/N ₀ [dBHz]	Atenuación 99.9% disponibilidad	Es/N ₀ [dB] desp.	Es/N ₀ [dB] 99.9%	VCM DVB-S2		ACM DVB-S2		VCM NS3		ACM NS3		CCM DVB-S2		CCM DVB-S	
					MODCOD	Bit Rate*	MODCOD	Bit Rate*	MODCOD	Bit Rate*	MODCOD	Bit Rate	MODCOD	Bit Rate*	MODCOD	Bit Rate*
1	91.01	7.47	17.24	9.78	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
2	89.32	7.65	15.56	7.90	8PSK 2/3	1.10	32APSK 5/6	1.10	8PSK 3/4	1.11	32APSK 9/10	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
3	91.33	6.77	17.57	10.80	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
4	89.05	7.26	15.29	8.03	8PSK 3/4	1.24	32APSK 5/6	1.10	32APSK 1/2	1.23	32APSK 8/9	1.10	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
5	89.51	6.97	15.75	8.78	8PSK 3/4	1.24	32APSK 8/9	1.18	8PSK 4/5	1.18	32APSK 9/10	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
6	90.65	7.55	16.89	9.34	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08

7	91.42	7.57	17.65	10.08	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
8	91.23	6.88	17.47	10.59	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
9	88.85	7.55	15.09	7.54	8PSK 2/3	1.10	32APSK 5/6	1.10	32APSK 7/15	1.15	64APSK 3/4	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
10	91.19	6.77	17.43	10.67	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
11	91.18	7.23	17.42	10.19	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
12	89.08	7.50	15.32	7.82	8PSK 2/3	1.10	32APSK 5/6	1.10	8PSK 3/4	1.11	32APSK 8/9	1.10	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
13	89.83	7.61	16.07	8.46	8PSK 3/4	1.24	32APSK 9/10	1.19	32APSK 1/2	1.23	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
14	91.52	7.69	17.76	10.07	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
15	89.15	7.23	15.39	8.16	8PSK 3/4	1.24	32APSK 5/6	1.10	32APSK 1/2	1.23	32APSK 8/9	1.10	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
16	91.30	7.57	17.54	9.98	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
17	91.45	7.76	17.69	9.93	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
18	91.19	7.38	17.43	10.05	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
19	90.66	7.43	16.90	9.48	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
20	88.85	6.78	15.09	8.31	8PSK 3/4	1.24	32APSK 5/6	1.10	32APSK 1/2	1.23	64APSK 3/4	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
21	89.01	6.85	15.25	8.40	8PSK 3/4	1.24	32APSK 5/6	1.10	32APSK 1/2	1.23	32APSK 8/9	1.10	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
22	90.40	7.80	16.64	8.85	8PSK 3/4	1.24	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
23	89.44	7.08	15.68	8.60	8PSK 3/4	1.24	32APSK 5/6	1.10	16APSK 2/3	1.31	32APSK 9/10	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
24	90.71	7.14	16.95	9.81	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
25	91.01	6.78	17.25	10.47	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
26	90.22	6.81	16.46	9.65	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
27	88.88	6.81	15.12	8.31	8PSK 3/4	1.24	32APSK 5/6	1.10	32APSK 1/2	1.23	64APSK 3/4	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
28	90.39	7.26	16.63	9.37	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
29	90.24	7.48	16.48	8.99	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
30	90.23	6.96	16.47	9.51	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
31	90.53	7.35	16.77	9.41	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
32	91.14	7.60	17.38	9.78	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
33	91.05	7.23	17.29	10.06	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
34	91.40	7.02	17.64	10.62	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
35	88.99	6.92	15.23	8.31	8PSK 3/4	1.24	32APSK 5/6	1.10	32APSK 1/2	1.23	32APSK 8/9	1.10	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
36	89.27	7.03	15.50	8.48	8PSK 3/4	1.24	32APSK 5/6	1.10	32APSK 8/15	1.31	32APSK 8/9	1.10	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
37	88.94	7.23	15.18	7.95	8PSK 3/4	1.24	32APSK 5/6	1.10	8PSK 3/4	1.11	64APSK 3/4	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
38	88.90	7.50	15.14	7.64	8PSK 2/3	1.10	32APSK 5/6	1.10	16APSK 3/5	1.18	64APSK 3/4	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
39	91.51	6.76	17.75	10.99	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
40	89.38	7.50	15.62	8.12	8PSK 3/4	1.24	32APSK 5/6	1.10	32APSK 1/2	1.23	32APSK 9/10	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
41	89.97	7.34	16.21	8.87	8PSK 3/4	1.24	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
42	91.49	7.32	17.73	10.41	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
43	91.31	7.36	17.55	10.20	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
44	91.33	7.81	17.57	9.76	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
45	90.32	7.28	16.56	9.27	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
46	90.32	7.28	16.56	9.28	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
47	89.07	7.39	15.31	7.92	8PSK 3/4	1.24	32APSK 5/6	1.10	8PSK 3/4	1.11	32APSK 8/9	1.10	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
48	91.52	7.29	17.76	10.47	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
49	90.95	7.27	17.19	9.92	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
50	90.44	7.50	16.68	9.18	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
51	90.09	7.03	16.33	9.29	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08

52	90.91	7.27	17.15	9.89	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
53	90.82	7.67	17.06	9.40	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
54	89.79	7.72	16.03	8.31	8PSK 3/4	1.24	32APSK 8/9	1.18	32APSK 1/2	1.23	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
55	89.10	7.54	15.34	7.80	8PSK 2/3	1.10	32APSK 5/6	1.10	8PSK 3/4	1.11	32APSK 8/9	1.10	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
56	90.06	6.76	16.30	9.53	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
57	90.25	7.60	16.49	8.90	8PSK 3/4	1.24	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
58	89.07	7.14	15.31	8.17	8PSK 3/4	1.24	32APSK 5/6	1.10	32APSK 1/2	1.23	32APSK 8/9	1.10	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
59	89.77	7.25	16.00	8.75	8PSK 3/4	1.24	32APSK 8/9	1.18	8PSK 4/5	1.18	32APSK 9/10	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
60	91.45	7.22	17.69	10.47	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
61	91.49	7.57	17.73	10.16	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
62	89.72	7.64	15.96	8.32	8PSK 3/4	1.24	32APSK 8/9	1.18	32APSK 1/2	1.23	32APSK 9/10	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
63	90.77	6.88	17.01	10.13	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
64	89.14	7.48	15.38	7.90	8PSK 2/3	1.10	32APSK 5/6	1.10	8PSK 3/4	1.11	32APSK 8/9	1.10	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
65	88.92	6.86	15.16	8.29	8PSK 3/4	1.24	32APSK 5/6	1.10	32APSK 1/2	1.23	64APSK 3/4	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
66	89.35	7.48	15.59	8.11	8PSK 3/4	1.24	32APSK 5/6	1.10	32APSK 1/2	1.23	32APSK 9/10	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
67	90.21	7.54	16.45	8.90	8PSK 3/4	1.24	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
68	89.64	6.97	15.88	8.91	8PSK 3/4	1.24	32APSK 8/9	1.18	8PSK 4/5	1.18	32APSK 9/10	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
69	91.27	7.00	17.51	10.51	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
70	89.05	7.65	15.29	7.65	8PSK 2/3	1.10	32APSK 5/6	1.10	16APSK 3/5	1.18	32APSK 8/9	1.10	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
71	89.11	6.83	15.35	8.52	8PSK 3/4	1.24	32APSK 5/6	1.10	16APSK 2/3	1.31	32APSK 8/9	1.10	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
72	89.42	7.39	15.66	8.28	8PSK 3/4	1.24	32APSK 5/6	1.10	32APSK 1/2	1.23	32APSK 9/10	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
73	90.88	6.99	17.12	10.14	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
74	90.66	7.07	16.90	9.83	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
75	91.55	6.96	17.79	10.83	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
76	89.86	7.53	16.10	8.57	8PSK 3/4	1.24	32APSK 9/10	1.19	16APSK 2/3	1.31	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
77	90.75	7.64	16.99	9.35	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
78	88.94	7.27	15.18	7.91	8PSK 3/4	1.24	32APSK 5/6	1.10	8PSK 3/4	1.11	64APSK 3/4	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
79	90.06	7.57	16.30	8.73	8PSK 3/4	1.24	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
80	89.79	7.22	16.03	8.81	8PSK 3/4	1.24	32APSK 8/9	1.18	8PSK 4/5	1.18	32APSK 9/10	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
81	89.36	7.33	15.60	8.27	8PSK 3/4	1.24	32APSK 5/6	1.10	32APSK 1/2	1.23	32APSK 9/10	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
82	89.27	7.18	15.51	8.33	8PSK 3/4	1.24	32APSK 5/6	1.10	32APSK 1/2	1.23	32APSK 8/9	1.10	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
83	89.32	7.11	15.56	8.45	8PSK 3/4	1.24	32APSK 5/6	1.10	32APSK 1/2	1.23	32APSK 9/10	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
84	89.44	7.69	15.68	8.00	8PSK 3/4	1.24	32APSK 5/6	1.10	8PSK 3/4	1.11	32APSK 9/10	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
85	90.02	7.09	16.26	9.17	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
86	89.92	6.87	16.16	9.29	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
87	91.35	6.87	17.59	10.72	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
88	90.66	7.81	16.90	9.08	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
89	90.47	6.77	16.71	9.94	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
90	89.15	7.13	15.39	8.26	8PSK 3/4	1.24	32APSK 5/6	1.10	32APSK 1/2	1.23	32APSK 8/9	1.10	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
91	90.96	6.77	17.20	10.43	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
92	90.61	6.84	16.85	10.01	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
93	89.94	6.95	16.18	9.23	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
94	91.10	6.80	17.34	10.54	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
95	91.11	6.83	17.35	10.52	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
96	90.94	7.48	17.18	9.70	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08

97	89.44	7.39	15.68	8.28	8PSK 3/4	1.24	32APSK 5/6	1.10	32APSK 1/2	1.23	32APSK 9/10	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
98	91.26	7.64	17.50	9.86	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
99	89.01	7.70	15.24	7.55	8PSK 2/3	1.10	32APSK 5/6	1.10	16APSK 3/5	1.18	32APSK 8/9	1.10	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
100	91.44	6.95	17.68	10.73	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
101	89.35	7.32	15.59	8.27	8PSK 3/4	1.24	32APSK 5/6	1.10	32APSK 1/2	1.23	32APSK 9/10	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
102	89.64	6.87	15.88	9.01	16APSK 2/3	1.47	32APSK 8/9	1.18	8PSK 4/5	1.18	32APSK 9/10	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
103	89.85	7.28	16.09	8.81	8PSK 3/4	1.24	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
104	90.23	7.55	16.47	8.92	8PSK 3/4	1.24	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
105	89.43	7.20	15.67	8.46	8PSK 3/4	1.24	32APSK 5/6	1.10	32APSK 1/2	1.23	32APSK 9/10	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
106	89.29	6.99	15.53	8.54	8PSK 3/4	1.24	32APSK 5/6	1.10	16APSK 2/3	1.31	32APSK 9/10	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
107	91.03	7.80	17.27	9.48	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
108	89.48	7.14	15.72	8.58	8PSK 3/4	1.24	32APSK 8/9	1.18	16APSK 2/3	1.31	32APSK 9/10	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
109	90.10	7.68	16.34	8.66	8PSK 3/4	1.24	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
110	90.19	7.46	16.43	8.97	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
111	89.53	7.60	15.77	8.17	8PSK 3/4	1.24	32APSK 8/9	1.18	32APSK 1/2	1.23	32APSK 9/10	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
112	88.92	7.59	15.16	7.57	8PSK 2/3	1.10	32APSK 5/6	1.10	16APSK 3/5	1.18	64APSK 3/4	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
113	91.00	7.14	17.24	10.10	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
114	89.10	7.74	15.34	7.60	8PSK 2/3	1.10	32APSK 5/6	1.10	16APSK 3/5	1.18	32APSK 8/9	1.10	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
115	90.74	7.09	16.98	9.89	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
116	89.33	7.72	15.57	7.85	8PSK 2/3	1.10	32APSK 5/6	1.10	8PSK 3/4	1.11	32APSK 9/10	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
117	89.85	7.53	16.09	8.56	8PSK 3/4	1.24	32APSK 9/10	1.19	16APSK 2/3	1.31	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
118	90.85	6.99	17.09	10.10	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
119	90.78	6.77	17.02	10.25	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
120	90.18	7.79	16.42	8.62	8PSK 3/4	1.24	32APSK 9/10	1.19	16APSK 2/3	1.31	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
121	90.73	7.61	16.97	9.36	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
122	89.63	7.58	15.87	8.29	8PSK 3/4	1.24	32APSK 8/9	1.18	32APSK 1/2	1.23	32APSK 9/10	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
123	91.40	7.04	17.64	10.60	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
124	90.05	7.06	16.29	9.23	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
125	90.72	7.24	16.96	9.72	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
126	91.22	7.57	17.46	9.89	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
127	89.12	7.68	15.36	7.68	8PSK 2/3	1.10	32APSK 5/6	1.10	16APSK 3/5	1.18	32APSK 8/9	1.10	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
128	90.98	6.83	17.22	10.39	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
129	89.34	7.47	15.58	8.11	8PSK 3/4	1.24	32APSK 5/6	1.10	32APSK 1/2	1.23	32APSK 9/10	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
130	91.25	7.00	17.49	10.49	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
131	90.22	7.15	16.46	9.31	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
132	89.28	7.03	15.52	8.49	8PSK 3/4	1.24	32APSK 5/6	1.10	32APSK 8/15	1.31	32APSK 8/9	1.10	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
133	90.00	7.03	16.24	9.21	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
134	88.93	7.32	15.16	7.84	8PSK 2/3	1.10	32APSK 5/6	1.10	8PSK 3/4	1.11	64APSK 3/4	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
135	90.14	7.73	16.38	8.65	8PSK 3/4	1.24	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
136	90.00	7.35	16.24	8.89	8PSK 3/4	1.24	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
137	90.45	7.23	16.69	9.46	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
138	90.15	7.64	16.39	8.75	8PSK 3/4	1.24	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
139	91.38	6.91	17.61	10.71	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
140	90.73	7.69	16.97	9.28	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
141	91.41	7.32	17.65	10.33	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08

142	91.05	7.37	17.29	9.92	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
143	89.93	7.17	16.17	9.00	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
144	89.75	6.85	15.98	9.13	16APSK 2/3	1.47	32APSK 8/9	1.18	8PSK 4/5	1.18	32APSK 9/10	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
145	91.31	7.22	17.55	10.33	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
146	90.11	7.59	16.35	8.76	8PSK 3/4	1.24	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
147	89.20	7.24	15.44	8.20	8PSK 3/4	1.24	32APSK 5/6	1.10	32APSK 1/2	1.23	32APSK 8/9	1.10	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
148	90.42	6.93	16.65	9.72	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
149	89.22	7.27	15.46	8.19	8PSK 3/4	1.24	32APSK 5/6	1.10	32APSK 1/2	1.23	32APSK 8/9	1.10	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
150	88.95	7.59	15.19	7.60	8PSK 2/3	1.10	32APSK 5/6	1.10	16APSK 3/5	1.18	64APSK 3/4	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
151	89.16	7.81	15.40	7.59	8PSK 2/3	1.10	32APSK 5/6	1.10	16APSK 3/5	1.18	32APSK 8/9	1.10	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
152	89.30	7.62	15.54	7.92	8PSK 3/4	1.24	32APSK 5/6	1.10	8PSK 3/4	1.11	32APSK 9/10	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
153	89.51	7.47	15.75	8.28	8PSK 3/4	1.24	32APSK 8/9	1.18	32APSK 1/2	1.23	32APSK 9/10	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
154	91.35	6.76	17.59	10.82	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
155	91.39	6.81	17.63	10.82	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
156	90.37	7.54	16.61	9.07	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
157	90.97	7.00	17.21	10.21	16APSK 2/3	1.47	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
158	89.74	6.96	15.98	9.03	16APSK 2/3	1.47	32APSK 8/9	1.18	8PSK 4/5	1.18	32APSK 9/10	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
159	89.96	7.48	16.20	8.72	8PSK 3/4	1.24	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
160	90.05	7.41	16.29	8.88	8PSK 3/4	1.24	32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
161	90.82	6.96	17.06	10.11			32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
162	90.36	6.82	16.60	9.78			32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
163	90.16	6.81	16.40	9.59			32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
164	90.31	7.70	16.55	8.85			32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
165	91.44	6.79	17.68	10.88			32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
166	90.21	7.80	16.45	8.65			32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
167	89.06	7.71	15.30	7.60			32APSK 5/6	1.10	16APSK 3/5	1.18	32APSK 8/9	1.10	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
168	90.21	7.06	16.45	9.38			32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
169	89.65	7.45	15.89	8.44			32APSK 8/9	1.18	32APSK 1/2	1.23	32APSK 9/10	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
170	89.59	7.16	15.83	8.67			32APSK 8/9	1.18	8PSK 4/5	1.18	32APSK 9/10	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
171	90.34	6.80	16.58	9.77			32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
172	89.14	7.27	15.38	8.12			32APSK 5/6	1.10	32APSK 1/2	1.23	32APSK 8/9	1.10	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
173	90.29	6.82	16.53	9.71			32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
174	89.68	7.26	15.91	8.66			32APSK 8/9	1.18	8PSK 4/5	1.18	32APSK 9/10	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
175	89.08	7.03	15.32	8.29			32APSK 5/6	1.10	32APSK 1/2	1.23	32APSK 8/9	1.10	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
176	89.55	7.51	15.79	8.27			32APSK 8/9	1.18	32APSK 1/2	1.23	32APSK 9/10	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
177	90.60	7.73	16.84	9.12			32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 5/6	1.23	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
178	90.18	7.67	16.42	8.75			32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
179	90.54	7.32	16.78	9.46			32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
180	89.10	6.91	15.34	8.43			32APSK 5/6	1.10	32APSK 1/2	1.23	32APSK 8/9	1.10	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
181	90.21	6.78	16.45	9.67			32APSK 9/10	1.19	8PSK 4/5	1.18	64APSK 4/5	1.18	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
182	89.64	7.73	15.88	8.14			32APSK 8/9	1.18			32APSK 9/10	1.11	QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
183	89.20	7.04	15.44	8.40			32APSK 5/6	1.10					QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
184	90.75	7.71	16.99	9.28			32APSK 9/10	1.19					QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
185	89.30	7.08	15.54	8.46			32APSK 5/6	1.10					QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08
186	91.51	7.07		10.68									QPSK 4/5	1.08	QPSK 2/3	1.08

27	19.32868972	-99.08310793	61.77570213	141.5656535	107	19.33106456	-99.18449029	61.84204097	141.7703222
28	19.3865745	-99.14721706	61.76658986	141.7730023	108	19.27590988	-99.17853481	61.88800616	141.6818904
29	19.22546157	-99.14084128	61.90814114	141.5365488	109	19.29899835	-99.14292204	61.84303108	141.6431316
30	19.3286505	-99.26989614	61.90169687	141.937345	110	19.3183922	-99.14963405	61.83000677	141.6834058
31	19.40812011	-99.19309122	61.77790045	141.8939306	111	19.40472097	-99.20659639	61.79005921	141.9161276
32	19.36698203	-99.10280419	61.75437925	141.6577762	112	19.31303409	-99.19107361	61.86282789	141.7584338
33	19.32081105	-99.21342421	61.87083617	141.8137577	113	19.40823587	-99.12446585	61.73162282	141.7577488
34	19.32047002	-99.14934526	61.82792987	141.6857148	114	19.28124135	-99.18037473	61.88441987	141.6929694
35	19.31940947	-99.24519668	61.89349219	141.875208	115	19.29947991	-99.14341556	61.84292881	141.6447818
36	19.280309	-99.15156105	61.86578942	141.6343236	116	19.31108717	-99.12474002	61.81979551	141.6238012
37	19.3028535	-99.12010682	61.82411104	141.6031612	117	19.26955778	-99.102223	61.84210261	141.521325
38	19.32172093	-99.15728422	61.83215726	141.7032349	118	19.29080074	-99.1356862	61.84555661	141.6173542
39	19.37569229	-99.22559214	61.82919065	141.913931	119	19.31084949	-99.19827017	61.86966099	141.7697404
40	19.36577874	-99.23793474	61.84648835	141.9248557	120	19.29655111	-99.17977732	61.87014608	141.7130562
41	19.38589576	-99.20746184	61.80774113	141.8918881	121	19.31210579	-99.09807154	61.80082827	141.572288
42	19.39519392	-99.16211591	61.76880491	141.8145046	122	19.34387787	-99.2100387	61.84762387	141.8389552
43	19.3732556	-99.2290269	61.83371165	141.9174149	123	19.35069579	-99.30225247	61.90335284	142.0325316
44	19.33773391	-99.1406	61.8063882	141.6922763	124	19.33088699	-99.17527263	61.83598753	141.7517289
45	19.32546953	-99.19601123	61.85487959	141.785512	125	19.37928252	-99.25260619	61.84406108	141.9727716
46	19.37717115	-99.21249213	61.81904562	141.8898653	126	19.40351761	-99.14848983	61.7520819	141.7989211
47	19.41882201	-99.24439126	61.80259197	142.0108606	127	19.42734907	-99.22347291	61.7808159	141.9808993
48	19.25467372	-99.20870959	61.92762743	141.7124823	128	19.34167645	-99.19878001	61.84204258	141.8134763
49	19.40560402	-99.17790869	61.76998126	141.860261	129	19.28328091	-99.20779632	61.90108187	141.7504521
50	19.28176935	-99.14582689	61.86058927	141.6249514	130	19.35981216	-99.19156853	61.82073179	141.8242079
51	19.279702	-99.22011447	61.9126352	141.7700497	131	19.30499312	-99.07061462	61.78865404	141.5079736
52	19.41114738	-99.12879984	61.73190325	141.7703636	132	19.34046874	-99.16969612	61.82354111	141.7539092
53	19.35839492	-99.08929733	61.75302274	141.6191128	133	19.35505097	-99.13087314	61.78413654	141.6969484
54	19.28025292	-99.17390993	61.88094781	141.6787212	134	19.38343333	-99.17740654	61.78976608	141.8286686
55	19.28552095	-99.09325819	61.8215994	141.5257685	135	19.30063289	-99.14788474	61.84490611	141.6552687
56	19.33272726	-99.25583681	61.88896025	141.9142671	136	19.29409364	-99.16139097	61.85995449	141.6730452
57	19.2933155	-99.20476253	61.8899377	141.7583431	137	19.30935337	-99.13052279	61.82527508	141.6328787
58	19.3845786	-99.11584698	61.74724932	141.7079806	138	19.32363607	-99.15388565	61.82812795	141.6991337
59	19.40329629	-99.21964286	61.8001125	141.9401494	139	19.28066804	-99.2319204	61.91971794	141.7949547
60	19.43819356	-99.22110275	61.76936539	141.9910927	140	19.40532007	-99.18762565	61.77677074	141.8791963
61	19.36223729	-99.12675724	61.77484915	141.6987262	141	19.38094264	-99.17579659	61.79094268	141.8220266
62	19.37876813	-99.23882929	61.83528393	141.9445728	142	19.28425936	-99.14700828	61.85913485	141.6307644
63	19.30280962	-99.17811112	61.86335035	141.7184301	143	19.35057993	-99.11682026	61.77869613	141.6628627
64	19.37058759	-99.24717105	61.84831908	141.9499249	144	19.31067552	-99.17982001	61.85737516	141.7327509
65	19.38143712	-99.14153811	61.7674206	141.7546257	145	19.30115454	-99.16785044	61.85792254	141.695708
66	19.3152721	-99.12107753	61.8135316	141.6223405	146	19.36915581	-99.17241067	61.79935642	141.7990051
67	19.29860146	-99.14597961	61.84545739	141.6486584	147	19.36088698	-99.2045724	61.82850666	141.8515902
68	19.32750941	-99.17566872	61.83931646	141.7478356	148	19.42849742	-99.19057779	61.75770241	141.9169973
69	19.31701993	-99.16926585	61.84450381	141.7205474	149	19.25572545	-99.12455709	61.86974451	141.5464012
70	19.37727533	-99.16226626	61.78515995	141.790057	150	19.34500279	-99.18884092	61.83233125	141.798288
71	19.3614188	-99.17322912	61.80692533	141.7899346	151	19.32817294	-99.1424507	61.81629729	141.6826972

72	19.30188963	-99.09990075	61.81130427	141.5617173	152	19.30099767	-99.15782945	61.85129593	141.6755524
73	19.26872635	-99.20684002	61.9136299	141.7283096	153	19.33987724	-99.19157066	61.83881941	141.796627
74	19.39551065	-99.2054808	61.79767692	141.9012077	154	19.3616157	-99.17614947	61.80871376	141.7960163
75	19.34002272	-99.23025812	61.86472612	141.8739349	155	19.35204257	-99.20060533	61.83386495	141.8314573
76	19.34257036	-99.16974345	61.82166777	141.7569142	156	19.25296005	-99.14493329	61.88604939	141.5830559
77	19.34740978	-99.20530181	61.84123035	141.8344037	157	19.42485827	-99.12826356	61.71910989	141.7882054
78	19.37418987	-99.05995392	61.71888998	141.5828841	158	19.41156637	-99.11931031	61.72512989	141.7521188
79	19.35617235	-99.06173396	61.73638525	141.5614466	159	19.34377861	-99.10737372	61.77846916	141.6346959
80	19.31380644	-99.19764411	61.86655751	141.7725947	160	19.33074921	-99.15726202	61.82396266	141.7157109

Tabla A3-6. Coordenadas para cada emplazamiento en red satelital de datos en banda Ku.

ENLACES DISPONIBLES PARA ENLACES DE DATOS EN BANDA Ka

VSAT	C/N ₀ [dBHz]	Atenuación 99.7% disponibilidad	E _s /N ₀ [dB] desp.	E _s /N ₀ [dB] 99.7%	VCM DVB-S2		ACM DVB-S2		VCM NS3		ACM NS3		CCM DVB-S2		CCM DVB-S	
					MODCOD	Bit Rate*	MODCOD	Bit Rate*	MODCOD	Bit Rate*	MODCOD	Bit Rate*	MODCOD	Bit Rate*	MODCOD	Bit Rate*
1	100.67	8.46	18.49	10.02	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	16APSK 3/4	1.38	64APSK 8/9	1.18	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
2	102.56	9.13	20.38	11.25	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
3	100.58	8.35	18.41	10.05	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	16APSK 3/4	1.38	64APSK 8/9	1.18	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
4	101.38	9.30	19.20	9.90	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	32APSK 3/5	1.38	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
5	101.72	9.22	19.55	10.33	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	16APSK 3/4	1.38	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
6	101.62	8.25	19.45	11.20	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
7	102.41	8.70	20.24	11.54	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
8	102.57	9.15	20.39	11.24	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
9	102.55	8.23	20.37	12.14	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
10	101.00	8.95	18.82	9.87	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	32APSK 3/5	1.38	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
11	101.74	8.64	19.56	10.92	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
12	102.27	9.28	20.10	10.81	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
13	101.14	8.23	18.96	10.73	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
14	101.51	8.71	19.33	10.62	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
15	101.11	9.06	18.93	9.87	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	32APSK 3/5	1.38	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
16	102.97	9.26	20.79	11.53	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
17	101.30	9.46	19.13	9.67	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	16APSK 32/45	1.30	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
18	100.99	8.27	18.81	10.54	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
19	102.08	8.57	19.91	11.34	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
20	102.55	8.47	20.37	11.90	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
21	100.66	8.32	18.48	10.16	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	16APSK 3/4	1.38	64APSK 8/9	1.18	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
22	100.97	9.21	18.79	9.58	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	16APSK 32/45	1.30	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
23	101.80	8.50	19.62	11.12	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
24	102.12	9.29	19.94	10.65	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
25	101.28	9.00	19.10	10.10	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	16APSK 3/4	1.38	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
26	100.48	8.34	18.31	9.97	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	16APSK 3/4	1.38	64APSK 5/6	1.10	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
27	100.70	8.41	18.52	10.11	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	16APSK 3/4	1.38	64APSK 8/9	1.18	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
28	100.68	8.45	18.50	10.05	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	16APSK 3/4	1.38	64APSK 8/9	1.18	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
29	102.09	8.93	19.92	10.99	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
30	102.87	8.57	20.69	12.12	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10

31	102.88	9.31	20.70	11.40	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
32	103.07	8.62	20.89	12.27	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
33	101.90	8.35	19.73	11.38	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
34	102.54	8.80	20.36	11.56	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
35	101.62	8.68	19.44	10.77	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
36	100.39	9.10	18.21	9.11	16APSK 2/3	1.31	32APSK 9/10	1.10	8PSK 4/5	1.10	64APSK 5/6	1.10	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
37	100.92	8.84	18.74	9.91	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	32APSK 3/5	1.38	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
38	102.44	8.66	20.26	11.60	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
39	101.25	8.29	19.07	10.78	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
40	102.46	8.62	20.29	11.66	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
41	100.38	8.94	18.20	9.26	16APSK 2/3	1.31	32APSK 9/10	1.10	32APSK 17/30	1.30	64APSK 5/6	1.10	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
42	102.57	8.67	20.39	11.72	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
43	100.55	9.43	18.37	8.95	8PSK 3/4	1.11	32APSK 9/10	1.10	8PSK 4/5	1.10	64APSK 5/6	1.10	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
44	101.20	8.99	19.02	10.03	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	16APSK 3/4	1.38	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
45	101.34	8.91	19.16	10.25	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	16APSK 3/4	1.38	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
46	101.95	8.34	19.77	11.43	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
47	102.18	8.44	20.00	11.56	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
48	101.26	8.28	19.08	10.80	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
49	100.54	8.40	18.36	9.96	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	16APSK 3/4	1.38	64APSK 5/6	1.10	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
50	100.46	8.70	18.28	9.58	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	16APSK 32/45	1.30	64APSK 5/6	1.10	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
51	101.97	8.25	19.80	11.55	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
52	100.48	8.22	18.31	10.09	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	16APSK 3/4	1.38	64APSK 5/6	1.10	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
53	100.67	8.56	18.49	9.93	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	32APSK 3/5	1.38	64APSK 8/9	1.18	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
54	101.69	9.23	19.51	10.29	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	16APSK 3/4	1.38	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
55	101.57	8.96	19.39	10.43	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
56	101.13	8.93	18.96	10.03	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	16APSK 3/4	1.38	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
57	100.63	9.24	18.45	9.21	16APSK 2/3	1.31	32APSK 9/10	1.10	32APSK 17/30	1.30	64APSK 8/9	1.18	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
58	101.22	9.14	19.04	9.90	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	32APSK 3/5	1.38	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
59	101.11	9.13	18.94	9.80	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	32APSK 3/5	1.38	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
60	101.63	9.42	19.45	10.02	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	16APSK 3/4	1.38	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
61	101.81	8.82	19.63	10.81	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
62	102.39	8.61	20.21	11.60	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
63	101.42	8.26	19.25	10.98	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
64	101.62	8.96	19.44	10.48	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
65	100.48	9.43	18.30	8.88	8PSK 3/4	1.11	32APSK 9/10	1.10	8PSK 4/5	1.10	64APSK 5/6	1.10	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
66	102.52	8.20	20.34	12.14	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
67	102.15	8.41	19.97	11.56	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
68	100.42	8.19	18.25	10.06	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	16APSK 3/4	1.38	64APSK 5/6	1.10	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
69	101.69	9.26	19.51	10.25	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	16APSK 3/4	1.38	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
70	102.40	8.59	20.23	11.64	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
71	102.89	9.13	20.71	11.58	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
72	102.36	8.27	20.18	11.91	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
73	100.57	8.44	18.39	9.95	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	16APSK 3/4	1.38	64APSK 5/6	1.10	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
74	102.48	8.56	20.30	11.74	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
75	101.87	9.12	19.69	10.58	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10

76	101.43	9.04	19.25	10.22	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	16APSK 3/4	1.38	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
77	101.12	8.56	18.94	10.38	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
78	100.68	9.38	18.50	9.12	16APSK 2/3	1.31	32APSK 9/10	1.10	8PSK 4/5	1.10	64APSK 8/9	1.18	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
79	102.61	8.85	20.43	11.58	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
80	102.00	9.25	19.82	10.57	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
81	100.94	9.06	18.76	9.71	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	16APSK 32/45	1.30	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
82	101.31	8.45	19.13	10.68	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
83	100.86	8.76	18.68	9.92	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	32APSK 3/5	1.38	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
84	103.07	8.95	20.90	11.95	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
85	102.87	8.51	20.70	12.18	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
86	101.19	9.07	19.02	9.95	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	32APSK 3/5	1.38	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
87	101.62	8.52	19.45	10.93	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
88	102.45	8.99	20.27	11.28	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
89	100.39	9.09	18.21	9.11	16APSK 2/3	1.31	32APSK 9/10	1.10	8PSK 4/5	1.10	64APSK 5/6	1.10	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
90	103.00	9.18	20.83	11.65	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
91	100.67	9.29	18.49	9.20	16APSK 2/3	1.31	32APSK 9/10	1.10	32APSK 17/30	1.30	64APSK 8/9	1.18	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
92	100.57	8.58	18.39	9.81	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	32APSK 3/5	1.38	64APSK 5/6	1.10	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
93	103.02	8.23	20.84	12.62	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
94	101.64	8.67	19.46	10.79	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
95	101.37	9.33	19.19	9.87	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	32APSK 3/5	1.38	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
96	101.67	9.17	19.49	10.32	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	16APSK 3/4	1.38	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
97	100.92	9.40	18.74	9.34	16APSK 2/3	1.31	32APSK 9/10	1.10	8PSK 5/6	1.15	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
98	103.01	8.31	20.83	12.52	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
99	102.96	8.56	20.79	12.23	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
100	101.20	9.37	19.03	9.65	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	16APSK 32/45	1.30	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
101	102.45	9.32	20.27	10.96	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
102	100.62	9.33	18.45	9.11	16APSK 2/3	1.31	32APSK 9/10	1.10	8PSK 4/5	1.10	64APSK 8/9	1.18	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
103	101.85	8.73	19.67	10.94	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
104	100.78	8.45	18.60	10.16	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	16APSK 3/4	1.38	64APSK 8/9	1.18	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
105	101.63	8.83	19.45	10.62	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
106	101.98	9.47	19.80	10.34	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	16APSK 3/4	1.38	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
107	101.15	9.06	18.97	9.91	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	32APSK 3/5	1.38	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
108	100.36	8.37	18.19	9.81	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	32APSK 3/5	1.38	64APSK 5/6	1.10	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
109	102.18	8.62	20.00	11.38	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
110	100.98	8.23	18.81	10.58	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
111	101.68	8.92	19.50	10.59	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
112	102.85	8.39	20.67	12.28	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
113	100.66	8.82	18.48	9.66	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	16APSK 32/45	1.30	64APSK 8/9	1.18	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
114	102.27	8.93	20.09	11.16	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
115	102.78	8.78	20.61	11.83	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
116	100.83	9.01	18.66	9.64	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	16APSK 32/45	1.30	64APSK 8/9	1.18	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
117	101.72	8.90	19.54	10.65	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
118	100.40	8.38	18.23	9.84	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	32APSK 3/5	1.38	64APSK 5/6	1.10	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
119	101.59	8.53	19.41	10.88	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
120	101.64	8.74	19.46	10.72	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10

121	100.73	9.37	18.55	9.19	16APSK 2/3	1.31	32APSK 9/10	1.10	32APSK 17/30	1.30	64APSK 8/9	1.18	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
122	101.53	8.27	19.35	11.09	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
123	100.38	9.30	18.20	8.90	8PSK 3/4	1.11	32APSK 9/10	1.10	8PSK 4/5	1.10	64APSK 5/6	1.10	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
124	102.43	9.18	20.25	11.07	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
125	101.19	9.40	19.02	9.62	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	16APSK 32/45	1.30	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
126	100.95	8.70	18.77	10.07	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	16APSK 3/4	1.38	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
127	100.93	8.55	18.75	10.20	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	16APSK 3/4	1.38	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
128	101.80	8.83	19.63	10.80	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
129	102.17	8.68	19.99	11.31	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
130	100.35	8.20	18.17	9.97	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	16APSK 3/4	1.38	64APSK 5/6	1.10	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
131	101.16	8.21	18.98	10.77	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
132	101.13	8.77	18.95	10.18	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	16APSK 3/4	1.38	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
133	102.99	9.33	20.82	11.49	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
134	102.98	8.81	20.80	11.99	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
135	100.98	8.53	18.80	10.27	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	16APSK 3/4	1.38	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
136	101.59	8.56	19.41	10.85	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
137	101.40	8.33	19.22	10.89	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
138	101.14	8.34	18.96	10.62	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
139	102.70	8.76	20.52	11.76	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
140	101.36	8.51	19.18	10.67	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
141	101.83	9.26	19.65	10.39	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
142	100.37	8.85	18.19	9.34	16APSK 2/3	1.31	32APSK 9/10	1.10	8PSK 5/6	1.15	64APSK 5/6	1.10	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
143	102.50	9.00	20.32	11.32	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
144	101.05	9.21	18.87	9.66	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	16APSK 32/45	1.30	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
145	100.75	9.24	18.58	9.34	16APSK 2/3	1.31	32APSK 9/10	1.10	8PSK 5/6	1.15	64APSK 8/9	1.18	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
146	100.42	8.42	18.24	9.82	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	32APSK 3/5	1.38	64APSK 5/6	1.10	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
147	102.25	8.64	20.08	11.44	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
148	102.76	8.47	20.58	12.11	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
149	102.26	9.12	20.08	10.96	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
150	102.58	9.12	20.40	11.28	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
151	101.16	9.05	18.98	9.93	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	32APSK 3/5	1.38	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
152	102.17	9.23	19.99	10.76	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
153	101.09	9.25	18.91	9.66	8PSK 5/6	1.23	32APSK 9/10	1.10	16APSK 32/45	1.30	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
154	102.62	9.16	20.44	11.28	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10	32APSK 19/30	1.45	64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
155	102.27	8.56	20.09	11.54	16APSK 3/4	1.47	32APSK 9/10	1.10			64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
156	102.70	9.35	20.52	11.17			32APSK 9/10	1.10			64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
157	101.97	8.60	19.80	11.20			32APSK 9/10	1.10			64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
158	100.42	8.68	18.24	9.57			32APSK 9/10	1.10			64APSK 5/6	1.10	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
159	100.54	8.65	18.36	9.71			32APSK 9/10	1.10			64APSK 5/6	1.10	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
160	101.70	8.44	19.52	11.09			32APSK 9/10	1.10			64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
161	101.22	9.29	19.04	9.75			32APSK 9/10	1.10			64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
162	101.89	8.44	19.71	11.27			32APSK 9/10	1.10			64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
163	101.56	8.54	19.38	10.84			32APSK 9/10	1.10			64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
164	101.40	8.70	19.23	10.53			32APSK 9/10	1.10			64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
165	100.51	8.76	18.34	9.57			32APSK 9/10	1.10			64APSK 5/6	1.10	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10

166	102.62	9.46	20.44	10.98			32APSK 9/10	1.10			64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
167	100.54	9.39	18.36	8.96			32APSK 9/10	1.10			64APSK 5/6	1.10	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
168	101.43	9.01	19.25	10.24			32APSK 9/10	1.10			64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
169	100.74	9.31	18.56	9.25			32APSK 9/10	1.10			64APSK 8/9	1.18	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
170	101.24	8.79	19.07	10.28			32APSK 9/10	1.10			64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
171	101.24	8.84	19.06	10.22			32APSK 9/10	1.10			64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
172	102.05	9.03	19.87	10.84			32APSK 9/10	1.10			64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
173	100.75	9.26	18.57	9.31			32APSK 9/10	1.10			64APSK 8/9	1.18	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
174	100.59	9.23	18.41	9.18			32APSK 9/10	1.10			64APSK 8/9	1.18	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
175	101.02	8.54	18.84	10.30			32APSK 9/10	1.10			64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
176	101.37	8.67	19.19	10.52			32APSK 9/10	1.10			64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
177	102.47	9.29	20.29	11.00			32APSK 9/10	1.10			64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
178	101.34	8.62	19.17	10.55			32APSK 9/10	1.10			64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
179	101.41	8.71	19.23	10.53			32APSK 9/10	1.10			64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
180	101.46	8.60	19.28	10.68			32APSK 9/10	1.10			64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
181	102.64	8.52	20.47	11.95			32APSK 9/10	1.10			64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
182	102.03	8.42	19.85	11.43			32APSK 9/10	1.10			64APSK 9/10	1.19	QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
183	102.29	8.82	20.12	11.29			32APSK 9/10	1.10					QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
184	101.49	9.27	19.31	10.04			32APSK 9/10	1.10					QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
185	100.68	8.90	18.51	9.61			32APSK 9/10	1.10					QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
186	102.43	8.26	20.25	11.99			32APSK 9/10	1.10					QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
187	102.53	9.07	20.36	11.29			32APSK 9/10	1.10					QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
188	100.48	8.55	18.31	9.75			32APSK 9/10	1.10					QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
189	101.23	8.39	19.05	10.67			32APSK 9/10	1.10					QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
190	101.24	8.52	19.06	10.54			32APSK 9/10	1.10					QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
191	102.24	9.02	20.07	11.05			32APSK 9/10	1.10					QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
192	102.01	8.35	19.83	11.49			32APSK 9/10	1.10					QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
193	102.40	9.45	20.22	10.77			32APSK 9/10	1.10					QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
194	100.76	8.53	18.58	10.05			32APSK 9/10	1.10					QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10
195	101.16	9.02	18.98	9.97			32APSK 9/10	1.10					QPSK 4/5	1.10	QPSK 2/3	1.10

*Bit Rate: su unidad está en Mbit/sec, [Mbps]

Tabla A3-7. Enlaces para cada emplazamiento, MODCOD y tasa de bits respectivo para cada estación, banda Ka.

COORDENADAS PARA CADA ESTACIÓN EN ENLACE DE DATOS, BANDA Ka

VSAT	Latitud N	Longitud W	Elevacion	Azimuth	VSAT	Latitud N	Longitud W	Elevacion	Azimuth
1	19.3882236	-99.16851832	61.77943797	141.8176085	79	19.29837394	-99.18923433	61.87487685	141.7344228
2	19.36434853	-99.1428592	61.78379978	141.7336201	80	19.37876014	-99.10117331	61.74261467	141.6708401
3	19.34151895	-99.2132171	61.85190392	141.8420253	81	19.35258744	-99.14480721	61.79577138	141.7212119
4	19.30904776	-99.14527637	61.83552465	141.6617716	82	19.29438335	-99.21681465	61.89709536	141.7838593
5	19.30915296	-99.21305951	61.88116738	141.7968664	83	19.33023641	-99.18204535	61.84114375	141.7643073
6	19.2946303	-99.1801308	61.87212513	141.7110918	84	19.29432334	-99.16880307	61.86475379	141.6881141
7	19.27953648	-99.17246551	61.88062067	141.6748489	85	19.34387352	-99.12223637	61.7884266	141.6643187
8	19.3392507	-99.20992798	61.85174898	141.83233	86	19.34265104	-99.16806242	61.82046126	141.7536821
9	19.33176521	-99.1211484	61.7986528	141.645371	87	19.34765415	-99.15553535	61.80747871	141.735701

10	19.26280182	-99.22303757	61.92993136	141.7523846	88	19.35271671	-99.18189277	61.820654	141.7951335
11	19.37947986	-99.19285844	61.80374938	141.8539544	89	19.28388788	-99.19929705	61.89479705	141.7343506
12	19.29520458	-99.21434712	61.89468721	141.7800779	90	19.35664428	-99.09359201	61.75751025	141.6251989
13	19.31647786	-99.11255819	61.80667811	141.6071035	91	19.33158665	-99.16513149	61.82851353	141.7325221
14	19.33843897	-99.29326866	61.90848265	141.9976206	92	19.37339541	-99.14417257	61.77648586	141.7487416
15	19.35889678	-99.15084123	61.79412349	141.7419348	93	19.34031502	-99.25675781	61.88227096	141.9272331
16	19.42421184	-99.16816883	61.74654108	141.8665433	94	19.34250791	-99.26130734	61.88333345	141.939353
17	19.36251193	-99.19713248	61.82202621	141.8390189	95	19.34382229	-99.17799522	61.82609474	141.7750658
18	19.31721009	-99.18577342	61.85546767	141.7536704	96	19.40614422	-99.27069922	61.8317501	142.0459108
19	19.25709785	-99.10887559	61.85787301	141.5171649	97	19.27199931	-99.18692321	61.89721536	141.6931604
20	19.34974344	-99.19027671	61.82899766	141.8077079	98	19.31974035	-99.22545144	61.8799059	141.8362597
21	19.44182129	-99.19438389	61.74815016	141.9428991	99	19.44406675	-99.21308038	61.75864723	141.9831919
22	19.3289677	-99.2059745	61.85841823	141.8102106	100	19.3065722	-99.15172539	61.84212378	141.6711553
23	19.39339052	-99.16749054	61.77405825	141.8226982	101	19.36316026	-99.14195865	61.78426926	141.7301873
24	19.38244332	-99.19713403	61.80393419	141.8665576	102	19.35859722	-99.16960395	61.80704201	141.7788211
25	19.2915572	-99.11716452	61.83233752	141.5816129	103	19.28326964	-99.17000314	61.87557594	141.6751383
26	19.32832371	-99.26511096	61.8987797	141.9273296	104	19.35204675	-99.18282395	61.82188891	141.7960597
27	19.37531746	-99.21465769	61.82218457	141.8916205	105	19.32491926	-99.13655607	61.81526199	141.666472
28	19.32136148	-99.11082645	61.80108836	141.6104476	106	19.33065703	-99.10457373	61.78844908	141.6109435
29	19.42410786	-99.16739244	61.74611361	141.8648572	107	19.32430001	-99.27644579	61.91005001	141.9444168
30	19.40866357	-99.0823525	61.70283334	141.674881	108	19.32322957	-99.18262163	61.84788506	141.7557421
31	19.37129566	-99.07443151	61.73129995	141.6075326	109	19.30575276	-99.21122102	61.88301285	141.7884837
32	19.32420773	-99.18762777	61.85037344	141.7670659	110	19.29546341	-99.16853033	61.86353691	141.6891553
33	19.42705864	-99.09110693	61.69207979	141.7175974	111	19.35493376	-99.18548407	61.82106157	141.8053486
34	19.40206468	-99.15958369	61.76086717	141.8189538	112	19.34074624	-99.1485006	61.8089923	141.7121497
35	19.31133573	-99.29287536	61.93286825	141.959331	113	19.26282165	-99.14983033	61.88044357	141.606538
36	19.29025774	-99.11293224	61.830647	141.5714023	114	19.35428648	-99.1823351	61.81952803	141.7981858
37	19.35085054	-99.16791552	61.81292851	141.7647429	115	19.33169746	-99.13430033	61.80760066	141.6713928
38	19.32523792	-99.14595725	61.82132355	141.6855949	116	19.28622283	-99.21468501	61.90306055	141.7682783
39	19.43130738	-99.17310374	61.74341465	141.8861213	117	19.33043009	-99.1818267	61.84082074	141.7641405
40	19.39225813	-99.13569223	61.75367152	141.7579687	118	19.34768226	-99.22969319	61.85739025	141.8834044
41	19.32136827	-99.12295677	61.80928551	141.6345351	119	19.35986175	-99.14703377	61.79068133	141.7357049
42	19.40446128	-99.21530163	61.79613983	141.9331065	120	19.34954569	-99.180832	61.82281561	141.7886342
43	19.24524567	-99.19526299	61.92708353	141.6725329	121	19.36448812	-99.18786568	61.81399638	141.8233022
44	19.40438694	-99.16891528	61.76503811	141.8407024	122	19.30780126	-99.18432047	61.86301667	141.7377232
45	19.36495282	-99.19659922	61.81945201	141.8413312	123	19.38809311	-99.09148766	61.72762462	141.664552
46	19.4265374	-99.13126781	61.71960961	141.796479	124	19.37900702	-99.23857103	61.83489344	141.9443874
47	19.28589114	-99.18760771	61.88509151	141.7138408	125	19.36535207	-99.04013537	61.71346278	141.5314452
48	19.28255552	-99.19212655	61.89116478	141.7182079	126	19.31626034	-99.14483091	61.82869292	141.6708994
49	19.34849947	-99.21169826	61.84454557	141.8486572	127	19.33021078	-99.15886746	61.82553393	141.7181568
50	19.29267478	-99.24937347	61.92057739	141.8464806	128	19.28659715	-99.13539866	61.84916562	141.6109365
51	19.3385104	-99.16209166	61.82018796	141.7360711	129	19.30710977	-99.11502414	61.8168214	141.5989849
52	19.30622996	-99.14443868	61.83750971	141.6561931	130	19.37411373	-99.1627391	61.78834578	141.7866275
53	19.28030635	-99.19220794	61.89325787	141.7152434	131	19.40934833	-99.186587	61.77241481	141.8826831
54	19.37043071	-99.18466541	61.80645003	141.8251472	132	19.31977876	-99.22319886	61.87835464	141.8318196

55	19.41274689	-99.22750704	61.79679817	141.9688386	133	19.33485101	-99.17457145	61.83192111	141.7558266
56	19.40876908	-99.19649763	61.77959932	141.9016037	134	19.37682054	-99.1790843	61.79689565	141.822872
57	19.38006164	-99.2366976	61.83267732	141.942106	135	19.29534116	-99.25085733	61.91915544	141.8531448
58	19.34927216	-99.20108886	61.83670459	141.8285876	136	19.4142826	-99.15216012	61.74478671	141.8210574
59	19.38936604	-99.15406681	61.76867224	141.7904647	137	19.40536715	-99.1150626	61.72788517	141.7351405
60	19.33157515	-99.14994414	61.81827519	141.7023076	138	19.30814578	-99.16543403	61.84995756	141.7006075
61	19.27361768	-99.24100687	61.93223793	141.8033024	139	19.31920246	-99.15179403	61.83073165	141.6888243
62	19.35564459	-99.16748882	61.80829415	141.7705292	140	19.25903112	-99.14793816	61.88259218	141.5974935
63	19.42812437	-99.13664057	61.72178632	141.8093256	141	19.34677531	-99.23482986	61.86166709	141.8923968
64	19.30666723	-99.16790616	61.85296616	141.7034738	142	19.36196325	-99.20251074	61.82614276	141.8489714
65	19.36314329	-99.17551123	61.80689829	141.7968592	143	19.41364295	-99.21511026	61.78766695	141.9453748
66	19.36302607	-99.24786724	61.85565961	141.940873	144	19.32700717	-99.10602591	61.79273339	141.6087593
67	19.30668972	-99.22723113	61.89294845	141.8217173	145	19.36697314	-99.26070285	61.86068582	141.9719484
68	19.38700035	-99.12143651	61.74882576	141.7224153	146	19.31404275	-99.19217038	61.8626529	141.7620176
69	19.35438073	-99.15432744	61.80056753	141.7426129	147	19.34948202	-99.20910496	61.84190881	141.8448486
70	19.28711131	-99.18130855	61.87973279	141.7029894	148	19.3156355	-99.12771795	61.81769296	141.6360314
71	19.33746029	-99.12235119	61.7943103	141.6556566	149	19.39653285	-99.0649048	61.70202802	141.6235892
72	19.34633443	-99.15439248	61.80790388	141.7316015	150	19.35405782	-99.17076207	61.81193877	141.7748436
73	19.32217974	-99.19164382	61.85491962	141.7722525	151	19.35046753	-99.13347809	61.79004652	141.6957734
74	19.3790934	-99.16028562	61.78217708	141.7886323	152	19.34882374	-99.27131608	61.8843104	141.968081
75	19.28689744	-99.24203064	61.92087726	141.8237943	153	19.29094594	-99.08978597	61.81434323	141.5264322
76	19.34849983	-99.20407978	61.8394186	141.8334772	154	19.36016154	-99.09234703	61.75348598	141.6276036
77	19.25946804	-99.08990909	61.84286507	141.4828258	155	19.25968435	-99.16462845	61.89329566	141.6316163
78	19.26707199	-99.16688374	61.8881337	141.6463929					

Tabla A3-8. Coordenadas para cada emplazamiento en red satelital de datos en banda Ka.

ÍNDICE DE FÓRMULAS

Ec. (2.1). Cálculo de E_b/N_0	30
Ec. (2.2). Cálculo de C/N_0	30
Ec. (2.3). Cálculo de E_s/N_0	30
Ec. (3.1). Distribución exponencial de paquetes, FDMA.....	42
Ec. (3.2). Distribución constante de paquetes, FDMA.....	42
Ec. (3.3). Distribución exponencial de paquetes, TDMA.....	43
Ec. (3.4). Distribución constante de paquetes, TDMA.....	43
Ec. (3.5). Distancia de la estación remota al satélite.....	45
Ec. (3.6). Cálculo para determinar la elevación de la antena.....	45
Ec. (3.7). Cálculo para determinar el Azimuth de la antena.....	45
Ec. (3.8). Cálculo para pérdida total por trayectoria en enlace de bajada.....	47
Ec. (3.9). Cálculo para pérdida por trayectoria.....	47
Ec. (3.10). Cálculo para pérdida por apuntamiento.....	47
Ec. (3.11). Cálculo para determinar la relación portadora a ruido descendente.....	47
Ec. (3.12). Cálculo para determinar la ganancia de la antena receptora, (lineal).....	47
Ec. (3.13). Cálculo para determinar la ganancia de la antena receptora, (dB).....	47
Ec. (3.14). Cálculo para determinar la temperatura del sistema.....	47
Ec. (3.15). Cálculo para determinar la figura de mérito, G/T	47
Ec. (3.16). Cálculo para determinar la potencia de recepción total.....	48
Ec. (3.17). Cálculo para determinar la atenuación específica por lluvia.....	48
Ec. (3.18). Cálculo para determinar la distancia que recorre el enlace RF en lluvia.....	48
Ec. (3.19). Cálculo para determinar la atenuación total por lluvia.....	48