



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ESTÁNDARES DE TELEVISIÓN DIGITAL
EN LA TRANSMISIÓN POR SATÉLITE EN LAS BANDAS KU Y KA”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

INGENIERÍA ELÉCTRICA

P R E S E N T A

ING. JOSÉ ANTONIO URIBE RAMÍREZ

DIRIGIDA POR

DR. SALVADOR LANDEROS AYALA

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Escalante Ramírez Boris

Secretario: Dr. Matías Maruri José María

Vocal: Dr. Landeros Ayala Salvador

1er. Suplente: Dra. Moumtadi Fátima

2do. Suplente: Dr. Tinoco Magaña Julio César

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

España, Madrid.

TUTOR DE TESIS:

DR. Salvador Landeros Ayala.

FIRMA

DEDICATORIA.

A mis padres, José y Rocio, que siempre me han dado su apoyo incondicional. Por ayudarme a levantarme y encontrar el rumbo a pesar de las adversidades. Son mi modelo a seguir. GRACIAS por apoyarme y creer en mí en todo momento.

A mis hermanos, Ricardo y Carlos, que me ponen los pies en la Tierra, me apoyan y son mis mejores amigos.

A mis amigos, que han fortalecido mi espíritu, con los cuales he vivido incontables experiencias y momentos inolvidables.

A toda la gente que a lo largo de mi vida me ha dado un consejo, y me ha ayudado. GRACIAS.

AGRADECIMIENTOS.

A la UNAM por abrirme las puertas y ayudarme a expandir mis capacidades y horizontes.

A todos los profesores por su conocimiento y experiencia.

A mi tutor el Dr. Salvador Landeros por ayudarme a cumplir mi meta creía muy difícil de alcanzar, así como tenerme paciencia.

Y ayudarme a conocer otro Continente.

Al Dr. Ramón Martínez de la UPM por ampliar mis conocimientos para el desarrollo de esta tesis, y por la oportunidad de conocer otra cultura.

A la Coordinación de Estudios de Posgrado por la oportunidad de continuar mi educación al otorgarme una beca durante el periodo de mi maestría. Así como darme las facilidades para realizar una estancia de investigación en Madrid, España.

INDICE

INDICE DE GRAFICOS.....	- 9 -
OBJETIVO.....	- 14 -
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	- 15 -
INTRODUCCIÓN.....	- 16 -
CAPITULO 1.....	- 17 -
El satélite artificial.....	- 17 -
1.1.1 Definición.....	- 17 -
1.1.2 Sistema de comunicación vía satélite.....	- 18 -
1.1.3 Bandas de frecuencia.....	- 18 -
1.1.4. Transpondedor.....	- 19 -
1.2 Televisión digital.....	- 20 -
1.2.1 Estándares de televisión digital por satélite.....	- 20 -
1.3 Sistema Americano ATSC.....	- 21 -
1.4 Sistema DVB-S.....	- 21 -
1.5 Sistema DVB-S2.....	- 23 -
1.6 SISTEMA ISDB.....	- 27 -
1.7 SISTEMA ABS.....	- 29 -
1.8 Corrección de errores adelantado (FEC).....	- 30 -
1.9 Portadoras Únicas y Múltiples.....	- 31 -
CAPITULO 2.....	- 32 -
ELEMENTOS PARA EL CÁLCULO DE ENLACES.....	- 32 -
2.1 Ángulos de apuntamiento de la antena.....	- 32 -
2.2 Cálculos de Enlace.....	- 34 -
2.2.1 Introducción.....	- 34 -
2.2.2 Efectos de propagación.....	- 36 -
2.2.3 Relación C/NO.....	- 38 -
2.2.4 Enlace Ascendente.....	- 40 -
2.2.5 Intermodulación.....	- 42 -
2.2.6 Enlace Descendente.....	- 44 -
2.2.7 Enlace Total.....	- 45 -
2.3 Satélites Regenerativos.....	- 47 -
CAPITULO 3 LA EVALUACIÓN DE ENLACES.....	- 48 -
3.1 RESULTADOS DE EVALUACIÓN DE LOS ENLACES CON PORTADORA ÚNICA.....	- 48 -

3.2 Resultados en la banda KU.....	- 49 -
3.2.1 Resultados DVB-S en banda KU.	- 50 -
3.2.2 Resultados DVB-S2 en banda KU.	- 51 -
3.2.3 Resultados ABS-S en banda KU.....	- 52 -
3.2.4 Resultados ISDB-S en banda KU.....	- 53 -
3.3 RESULTADOS EN BANDA KA.	- 54 -
3.3.1 Resultados DVB-S en banda KA.	- 55 -
3.3.2 Resultados DVB-S2 en banda KA.	- 56 -
3.3.3 Resultados ABS-S en banda KA.	- 57 -
3.3.4 Resultados ISDB-S en banda KA.....	- 58 -
3.4 RESULTADOS EN BANDA KA EN SATELITES REGENERATIVOS.	- 59 -
3.4.1 Resultados DVB-S en Banda KA en Satélites Regenerativos.	- 60 -
3.4.2 Resultados DVB-S2 en Banda KA en Satélites Regenerativos.	- 61 -
3.4.3 Resultados ABS-S en Banda KA en Satélites Regenerativos.....	- 62 -
3.4.4 Resultados ISDB-S en Banda KA en Satélites Regenerativos.	- 63 -
CAPITULO 4	- 65 -
RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE ENLACES.	- 65 -
4.1 Evaluación de los Enlaces con Portadoras Múltiples.	- 65 -
4.2 RESULTADOS EN LA BANDA KU CON PORTADORAS MÚLTIPLES.	- 66 -
4.2.1 Resultados DVB-S en Banda KU con Portadoras Múltiples.....	- 66 -
4.2.2 Resultados DVB-S2 en Banda KU con Portadoras Múltiples.....	- 67 -
4.2.3 Resultados ABS-S en Banda KU con Portadoras Múltiples.	- 68 -
4.2.4 Resultados ISDB-S en Banda KU con Portadoras Múltiples.	- 68 -
4.3 Resultados en Banda KA con Portadoras Múltiples.	- 70 -
4.3.1 Resultados DVB-S en Banda KA con Portadoras Múltiples.	- 71 -
4.3.2 Resultados DVB-S2 en Banda KA con Portadoras Múltiples.....	- 72 -
4.3.3 Resultados ABS-S en Banda KA con Portadoras Múltiples.	- 73 -
4.3.4 Resultados ISDB-S en Banda KA con Portadoras Múltiples.	- 74 -
4.4 Resultados en Banda KA en Satélites Regenerativos con Portadoras Múltiples.....	- 75 -
4.4.1 Resultados DVB-S en Banda KA en Satélites Regenerativos con Portadoras Múltiples.	- 76 -
4.4.2 Resultados DVB-S2 en Banda KA en Satélites Regenerativos con Portadoras Múltiples.	- 77 -
4.4.3 Resultados ABS-S en Banda KA en Satélites Regenerativos con Portadoras Múltiples.....	- 78 -
4.4.4 Resultados ISDB-S en Banda KA en Satélites Regenerativos con Portadoras Múltiples.....	- 79 -
Resultados.....	- 81 -
5. Gráficas de Resultados.	- 81 -

5.1 Resultados con Portadora Única.	- 81 -
5.1.1 Resultados Banda KU	- 81 -
5.1.1.1 DVB-S en banda KU con Portadora Única.....	- 81 -
5.1.1.2 DVB-S2 en Banda KU con Portadora Única.	- 82 -
5.1.1.3 ABS-S en Banda KU con Portadora Única.	- 83 -
5.1.1.4 ISDB-S en Banda KU con Portadora Única.	- 84 -
5.1.2 Resultados en Banda KA con Portadora Única.	- 85 -
5.1.2.1 DVB-S en Banda KA con Portadora Única.....	- 85 -
5.1.2.2 DVB-S2 en Banda KA con Portadora Única.....	- 86 -
5.1.2.3 ABS-S en Banda KA con Portadora Única.	- 87 -
5.1.2.4 ISDB-S en Banda KA con Portadora Única.	- 88 -
5.1.3 Resultados Banda KA en satélites Regenerativos con Portadora Única.	- 89 -
5.1.3.1 DVB-S en Banda KA en Satélites Regenerativos con Portadora Única.	- 89 -
5.1.3.2 DVB-S2 en Banda KA en Satélites Regenerativos con Portadora Única	- 90 -
5.1.3.3 ABS-S en Banda KA en Satélites Regenerativos con Portadora Única.....	- 91 -
5.1.3.4 ISDB-S en Banda KA en Satélites Regenerativos con Portadora Única.....	- 92 -
5.2 Resultados con Portadoras Múltiples.	- 93 -
5.2.1 Resultados Banda KU con Portadoras Múltiples.	- 93 -
5.2.1.1 DVB-S en Banda KU con Portadoras Múltiples.	- 93 -
5.2.1.2 DVB-S2 en Banda KU con Portadoras Múltiples	- 94 -
5.2.1.3 ABS-S en Banda KU con Portadoras Múltiples.....	- 95 -
5.2.1.4 ISDB-S en Banda KU con Portadoras Múltiples.	- 96 -
5.2.2 Resultados en Banda KA con Portadoras Múltiples.	- 97 -
5.2.2.1 DVB-S en Banda KA con Portadoras Múltiples.	- 97 -
5.2.2.2 DVB-S2 en Banda KA con Portadoras Múltiples.	- 98 -
5.2.2.3 ABS-S en Banda KA con Portadoras Múltiples.....	- 99 -
5.2.2.4 ISDB-S en Banda KA con Portadoras Múltiples.....	- 100 -
5.2.3 Resultados en Banda KA Regenerativo con Portadoras Múltiples.	- 101 -
5.2.3.1 DVB-S en Banda KA Regenerativo con Portadoras Múltiples.....	- 101 -
5.2.3.2 DVB-S2 en Banda KU Regenerativo con Portadoras Múltiples.....	- 102 -
5.2.3.3 ABS-S en Banda KA Regenerativo con Portadoras Múltiples.	- 103 -
5.2.3.4 ISDBS-S en Banda KA Regenerativo con Portadoras Múltiples.	- 104 -
Conclusiones.	- 106 -
Recomendaciones.	- 114 -
Bibliografía	- 118 -

INDICE DE GRAFICOS.

Cuadro 1. Bandas utilizadas en los enlaces vía satélite	19
Figura 2. Capacidad similar de los estándares de TV digital.....	20
Figura 3. Constelación puntos modulación DVB-S2.....	25
Figura 4. Modulación 8PSK con combinación de dos tramas.....	27
Figura 5. Ancho de banda para receptores Móviles.....	27
Figura 6. Transpondedor con una sola Portadora	31
Figura 7. Transpondedor con múltiples Portadoras.....	31
Figura 8. Latitud y Longitud	32
Figura 9. Apuntamiento de la antena con respecto a la elevación y azimut (este-oeste).....	33
Cuadro 10. Angulo de azimut.....	34
Figura 11. Atenuación específica total [UIT-R P.676-6].....	37
Figura 12. Atenuación por lluvia.....	38
Figura 13. Enlace Ascendente	40
Figura 14. Contornos de G/T.....	41
Figura 15. Intermodulación.....	42
Figura 16. Variación de $\left(\frac{C}{N_0}\right)_{inter}$	43
Figura 17. Enlace de Bajada	44
Figura 18. Diferencias entre satélite transparente y satélite regenerativo	46
Figura 19. Enlace Ciudad de México- Satélite – Ciudad de Monterrey.....	48
Tabla 1. Tabla datos para enlace en banda KU.....	49
Tabla 2. Datos del enlace que se repiten en todos los estándares.....	49
Tabla 3. Resultados DVB-S en banda KU	50
Tabla 4. Resultados DVB-S2 en banda KU.....	51
Tabla 5. Resultados ABS-S en banda KU	52
Tabla 6. Resultados ISDB-S en banda KU.....	53
Tabla 7. Margen de Enlace en la Banda KU con una portadora Única	53

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ESTÁNDARES DE TELEVISIÓN DIGITAL EN LA TRANSMISIÓN POR SATÉLITE EN LAS BANDAS KU Y KA

Tabla 8. Tabla de datos para Enlace en banda KA	54
Tabla 9. Parámetros presentes en todos los estándares.....	55
Tabla 10. Resultados DVB-S en banda KA	55
Tabla 11. Resultados DVB-S2 en banda KA	56
Tabla 12. Resultados ABS-S en banda KA	57
Tabla 13. Tabla de datos ISDB-S en banda KA.....	58
Tabla 14. Margen de Enlace en la banda KA	58
Tabla 15. Tabla de datos para enlace en banda KU regenerativo.....	59
Tabla 16. Parámetros usados en los enlaces DVB-S, DVB-S2, ABS-S e ISDB-S.....	60
Tabla 17. Resultados DVB-S en banda KA regenerativo.....	60
Tabla 18. Resultados DVB-S2 en banda KA regenerativo.....	61
Tabla 19. Resultados ABS-S en banda KA regenerativo.....	62
Tabla 20. Resultados ISDB-S en banda KA regenerativo.....	63
Tabla 21. Margen de Enlace en la banda KA en satélite regenerativo	64
Tabla 22. Tabla de datos para enlace en banda KU con portadoras Múltiples	65
Tabla 23. Parámetros comunes en banda KU, con portadoras múltiples.....	65
Tabla 24. Resultados DVB-S en banda KU con portadoras Múltiples	66
Tabla 25. Resultados DVB-S2 en banda KU con portadoras Múltiples	67
Tabla 26. Resultados ABS-S en banda KU con portadoras Múltiples	68
Tabla 27. Resultados ISDB-S en banda KU con portadoras Múltiples	69
Tabla 28. Margen de Enlace en la Banda KU con portadoras múltiples	69
Tabla 29. Tabla de datos para enlace en banda KA con portadoras Múltiples	70
Tabla 30. Datos comunes en todos los estándares en la banda KA con múltiples portadoras.....	71
Tabla 31. Resultados DVB-S en banda KA con portadoras Múltiples	71
Tabla 32. Resultados DVB-S2 en banda KA con portadoras Múltiples	72
Tabla 33. Resultados en ABS-S en banda KA con portadoras Múltiples	73
Tabla 34. Resultados en ISDB-S en banda KA con portadoras Múltiples	74
Tabla 35. Margen de Enlace en banda KA con portadoras múltiples	74

Tabla 36. Tabla de datos para los enlaces en banda KA regenerativo con portadoras múltiples.....	75
Tabla 37. Parámetros comunes en la banda KA con portadoras múltiples en satélites Regenerativos.....	76
Tabla 38. Resultados en DVB-S en banda KA regenerativo con portadoras múltiples.....	76
Tabla 39. Resultados en DVB-S2 en banda KA regenerativo con portadoras Múltiples.....	77
Tabla 40. Resultados ABS-S en banda KA regenerativo con portadoras múltiples.....	78
Tabla 41. Resultados en ISDB-S en banda KA regenerativo con portadoras múltiples.....	79
Tabla 42. Margen de enlace en la banda KA con portadoras múltiples en satélites regenerativos.....	79
Grafica 20. Velocidad Información DVB-S en banda KU	81
Grafica 21. Energía DVB-S en banda KU.....	81
Gráfica 22 Velocidad de Información DVB-S2 en banda KU.....	82
Grafica 23. Energía DVB-S2 en banda KU.....	83
Gráfica 24. Velocidad de Información ABS-S en banda KU.....	83
Gráfica 25. Energía ABS-S en banda KU.....	84
Gráfica 26. Velocidad de Información ISDB-S en banda KU.....	84
Gráfica 27. Energía ISDB-S en banda KU.....	85
Gráfica 28. Velocidad de Información DVB-S en banda KA.....	85
Gráfica 29. Energía DVB-S en banda KA.....	86
Gráfica 30. Velocidad de Información DVB-S2 en banda KA.....	86
Gráfica 31. Energía DVB-S2 en banda KA.....	87
Gráfica 32. Velocidad de Información en el estándar ABS-S en banda KA.....	87
Gráfica 33. Energía en el estándar ABS-S en banda KA.....	88
Gráfica 34. Velocidad de Información ISDB-S en banda KA.....	88
Gráfica 35. Energía ISDB-S en banda KA.....	89
Gráfica 36. Velocidad de Información DVB-S en banda KA regenerativo.....	89
Gráfica 37. Energía DVB-S en banda KA regenerativo.....	90
Gráfica 38. Velocidad de Información DVB-S2 en banda KA regenerativo.....	90
Gráfica 39. Energía DVB-S2 en banda KA regenerativo.....	91
Gráfica 40. Velocidad Información ABS-S en banda KU regenerativo.....	91

Gráfica 41. Energía ABS-S en banda KA regenerativo.....	92
Gráfica 42. Velocidad de Información IDBS-S en banda KA regenerativo.....	92
Gráfica 43. Energía ISDB-S en banda KA regenerativo.....	93
Gráfica 44. Velocidad de Información en DVB-S banda KU con portadoras Múltiples.....	93
Gráfica 45. Energía en DVB-S banda KU con portadoras Múltiples.....	94
Gráfica 46. Velocidad de Información DVB-S2 en banda KU con portadoras Múltiples.....	94
Gráfica 47. Energía DVB-S2 en banda KU con portadoras Múltiples.....	95
Gráfica 48. Velocidad de Información ABS-S en banda KU con portadoras Múltiples.....	95
Gráfica 49. Energía ABS-S en banda KU con portadoras Múltiples.....	96
Gráfica 50. Velocidad de Información en ISDB-S en banda KU con portadoras Múltiples.....	96
Gráfica 51. Energía en ISDB-S en banda KU con portadoras Múltiples.....	97
Gráfica 52. Velocidad de Información en el DVB-S en banda KA con portadoras Múltiples.....	97
Gráfica 53. Energía en el DVB-S en banda KA con portadoras Múltiples.....	98
Gráfica 54. Velocidad de Información en DVB-S2 en banda KA con portadoras Múltiples.....	98
Gráfica 55. Energía en DVB-S2 en banda KA con portadoras Múltiples.....	99
Gráfica 56. Velocidad de Información en ABS-S en banda KA con portadoras Múltiples.....	99
Gráfica 57. Energía en ABS-S en banda KA con portadoras Múltiples.....	100
Gráfica 58. Velocidad de Información en ISDB-S en banda KA con portadoras Múltiples.....	100
Gráfica 59. Energía en ISDB-S en banda KA con portadoras Múltiples.....	101
Gráfica 60. Velocidad de Información en DVB-S en banda KA regenerativo con portadoras Múltiples.....	101
Gráfica 61. Energía en DVB-S en banda KA regenerativo con portadoras múltiples.....	102
Gráfica 62. Velocidad de información en DVB-S2 en banda KA regenerativo con portadoras múltiples.....	102
Gráfica 63. Energía en DVB-S2 en banda KA regenerativo con portadoras múltiples.....	103
Gráfica 64. Velocidad de Información ABS-S en banda KA regenerativo con portadoras múltiples.....	103
Gráfica 65. Energía en ABS-S en banda KA regenerativo con portadoras múltiples.....	104
Gráfica 66. Velocidad de Información en ISDB-S en banda KA regenerativo con portadoras múltiples.....	104
Gráfica 67. Energía en ISDB-S en banda KA regenerativo.....	105
Gráfica 68. Desempeño de los estándares en la banda KU	108

Gráfica 69. Evaluación de los enlaces en la banda KA.....	109
Gráfica 70. Evaluación de los enlaces en la banda KA en satélites regenerativos	110
Gráfica 71. Evaluación de los enlaces en la banda KU con portadoras múltiples	111
Gráfica 72. Evaluación de los enlaces en la banda KA con portadoras múltiples	112
Gráfica 73. Evaluación de los enlaces en la banda KA en satélites regenerativos con portadoras múltiples.....	113
Tabla 37. Tabla de resultados por ancho de banda y potencia	114

OBJETIVO.

Analizar las ventajas y desventajas de los estándares de la televisión digital por satélite y por medio de cálculos de enlace. Mostrar los beneficios que ofrecen en la optimización del ancho de banda de los transpondedores.

Mediante cálculos de enlace demostrar la diferencias al usar una portadora única y una portadora múltiple en un enlace satelital.

Describir las ventajas y desventajas del uso de la banda KA.

Mostrar el comportamiento de los enlaces en satélites regenerativos.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

Debido a la demanda creciente de nuevos servicios de comunicaciones por satélite, es necesario establecer criterios adecuados para aplicar las mejores técnicas en la transmisión de video digital que permitan el uso adecuado del segmento espacial para lograr beneficios económicos.

Se realizará un análisis de los diferentes estándares de televisión Digital Satelital como lo son:

DVB-S

DVB-S2

ISDB-S

ABS-S

Para que en base a los cálculos y resultados se realicen recomendaciones con las mejores alternativas en términos de ancho de banda, en las técnicas de modulación, métodos de corrección de errores (FEC) y en los tamaños de antenas para su utilización en México.

Esto nos permitirá utilizar técnicas que optimicen el ancho de banda y el consumo de potencia de los satélites. También permitirá realizar recomendaciones para satélites con gran potencia y poco ancho de banda, y para satélites con poca potencia y gran ancho de banda.

El encarecimiento del ancho de banda y la amplia competencia en torno a la explotación del espectro radioeléctrico nos impulsa a tener conocimiento de la actualidad y las tendencias de la televisión digital por satélite. Actualmente la banda KU satelital se encuentra cerca de la saturación de frecuencias, por eso es necesario contar con alternativas, una de ellas puede ser la migración a la banda KA.

En banda KA es necesario ampliar los estudios del comportamiento de los enlaces en satélites de última tecnología como son los satélites regenerativos.

INTRODUCCIÓN.

El desarrollo del servicio de televisión digital ha aumentado en las últimas décadas en todo el mundo. La competencia entre los proveedores de cable y satélite es cada vez más pareja, inclusive en algunos sitios la televisión satelital es la única forma de obtener el servicio por ser zonas de difícil acceso.

El desarrollo tecnológico de los estándares de televisión se ha realizado en todas las zonas del mundo, Europa, América y Asia, cada una trabajó para cumplir con características acordes a sus necesidades. Algunas características similares y otras bastante diferentes. Esto permitió la pluralización de la televisión satelital, dando la oportunidad de escoger el estándar idóneo para cada país.

La televisión digital satelital como negocio no solo incluye a los programadores de televisión, el negocio va más lejos que solo el desarrollo de equipo satelital, en general el 50 % del negocio satelital tienen que ver con el servicio de difusión de video satelital.

La COFETEL publicó un reporte sobre la televisión paga en México y la cantidad de suscriptores, el dato que sigue llamando la atención es el incremento de hogares suscritos a servicios de televisión paga en el país en los primeros tres meses de este año elevó el número de suscriptores a 11,58 millones.

En México, según la COFETEL en 2012 el segmento de televisión directa al hogar fue el más dinámico, con un crecimiento de 26,9%. El número de usuarios en este segmento ascendió a 5,98 millones en los primeros tres meses de 2012, mientras que la televisión por cable tuvo un crecimiento de 4,2% y al mes de marzo obtuvo 5,6 millones de suscriptores [1].

Con esto se observa que en México la difusión de televisión digital vía satélite se encuentra en aumento. Por lo anterior, es necesario hacer un uso adecuado de los recursos tecnológicos. En el caso de televisión directa al hogar (DTH), es necesario optimizar el recurso del segmento espacial.

Es por ello que en el presente trabajo se analizan los estándares de televisión satelital que actualmente están en uso, su comportamiento en los diferentes escenarios como son la lluvia en la zona de la estación transmisora y la lluvia en la zona del receptor, de acuerdo a esto se estudia su impacto en el dimensionamiento de las antenas.

También se estudian los resultados en términos de ancho de banda (velocidad) y potencia necesaria para realizar los enlaces.

CAPITULO 1

Los satélites han sido desarrollados y mejorados por décadas con el avance de la exploración del espacio, uno de los progresos más importantes de la humanidad. Tienen diferentes aplicaciones además de telecomunicaciones, y convergen diferentes áreas de ingeniería en su diseño.

Las aplicaciones principales de los satélites de comunicaciones son la radiodifusión o broadcasting, es decir, comunicación masiva y de cobertura extensa. El acceso a telecomunicaciones de zonas remotas sin necesidad de usar múltiples repetidores terrestres. Son aplicaciones que sólo los enlaces vía satélite (enlaces satelitales) realizan, esto quiere decir que el satélite es un repetidor, recibe y transmite señales electromagnéticas cuya posición espacial tiene ciertas ventajas, aunque existan otras tecnologías de transporte, como lo es la fibra óptica, las comunicaciones vía satélite son un sistema único y complementario.

Las telecomunicaciones continúan en crecimiento a nivel mundial; por lo que las comunicaciones vía satélite son un sector rentable económicamente y uno de los pilares de las telecomunicaciones, siendo definido como una vía general de comunicación. Además, existen sistemas de seguridad, de transporte terrestre, marítimo y aéreo entre otros que dependen de los satélites, su uso es esencial para las actividades humanas.

Datos de la COFETEL (Comisión Federal de Telecomunicaciones) revelan que el sector de las telecomunicaciones continúa en crecimiento, y respecto a los servicios vía satélite se tiene que [2]:

El mercado de televisión restringida vía satélite ha crecido en mayor medida que los usuarios de televisión por cable.

La provisión satelital tuvo un repunte debido a la demanda de servicios de voz, datos y televisión.

El satélite artificial.

1.1.1 Definición

Un satélite de comunicaciones es un dispositivo que el ser humano ha creado para ser puesto en órbita en el espacio y establecer comunicación entre estaciones terrenas. En general, los satélites se componen de una carga útil y una plataforma. La carga útil es la parte que realiza la acción por la que fue fabricado el satélite y la plataforma es la estructura que mantiene funcionando al satélite [3].

Para lograr colocar objetos en el espacio se requieren de lanzadores o cohetes, dispositivos que necesitan oponerse al campo gravitatorio del planeta y lograr, con precisión, su colocación en la órbita deseada.

Lo que determina el tiempo de vida de un satélite es el combustible, ya que no se puede recargar debido a la distancia en que se encuentran.

El satélite en un sistema de comunicaciones que tiene una posición después del transmisor y antes del receptor, es decir, es un repetidor del mensaje original, aunque a algunos satélites pueden procesar la información. El bloque correspondiente al satélite incluye un arreglo de transpondedores para cambiar de frecuencia portadora. Para satélites regenerativos, se procesa la información en banda base.

1.1.2 Sistema de comunicación vía satélite

El sistema de comunicación vía satélite se compone básicamente de una estación A en la superficie de la Tierra, la cual va a hacer un enlace con el satélite X, en esta estación se genera la aplicación o información del proveedor del servicio. El satélite X, por otro lado, formará un enlace con otra estación B, en otro punto de la Tierra, la cual recibe y hace uso de la aplicación, además, se puede formar un enlace con el satélite Y.

Una estación terrena es el lugar o instalación en la Tierra que transmite o recibe señales del satélite, es decir la fuente o el destino de la información. El enlace es la transmisión o recepción por medio de ondas radioeléctricas a través del medio, aire o vacío.

Esto es un típico esquema de repetidor, es decir, recibe y retransmite donde se distinguen dos segmentos: el segmento espacial que está compuesto por los satélites, posición orbital, las instalaciones encargadas de mantener en posición, controlar y monitorear al satélite y sus subsistemas, administrar la red, el tráfico y bandas de frecuencia; y el segmento terrestre donde están los dispositivos terminales o estaciones terrenas conectadas a alguna red terrestre de telecomunicaciones [4].

1.1.3 Bandas de frecuencia.

El espectro electromagnético, donde operan las comunicaciones satelitales son determinadas en principio por condiciones físicas que después deben ser reguladas por organizaciones internacionales o gubernamentales.

No toda la radiación se propaga por la atmósfera debido a la ionización, en ciertas gamas de frecuencias es posible que las ondas penetren a la superficie terrestre. De acuerdo a condiciones electromagnéticas, la ionosfera tiene propiedades de material conductor en un determinado ancho de banda actuando como un repetidor natural a frecuencias menores de 30 MHz. Sin embargo las condiciones de la ionósfera como repetidor depende de fenómenos naturales, lo que provoca enlaces poco confiables y con muchas pérdidas. Entonces para evitar el efecto reflector de la ionosfera se usan frecuencias más altas que penetran la ionosfera, donde hay una ventana radioeléctrica por arriba de los 100 MHz y debajo de los 60 GHz, además se evitan efectos como la doble refracción y girofrecuencia (frecuencia de rotación). En frecuencias superiores son posibles los enlaces entre satélites.

El rango de las microondas está incluido en las bandas de radiofrecuencia, concretamente en las de UHF (ultra-high frequency - frecuencia ultra alta) 0,3–3 GHz, SHF (super-high frequency - frecuencia super alta) 3–30 GHz y EHF (extremely-high frequency - frecuencia extremadamente alta) 30–300 GHz. Otras bandas de radiofrecuencia incluyen ondas de menor frecuencia y mayor longitud de onda que las microondas.

Para la investigación nos centramos en las bandas satelitales a utilizar que se encuentran en las frecuencias SHF (Super-High Frequency) Cuadro 1.

Cuadro 1. Bandas utilizadas en los enlaces vía satélite.

Banda	Frecuencia ascendente (GHz)	Frecuencia descendente (GHz)	Problemas
C	5,925 - 6,425	3,7 - 4,2	Interferencia Terrestre
X	7,9 - 8,4	7,25 - 7,75	
	10 – 10.5	10 -10.5	Reservado Gobierno
	10,7-12,5	10,7-12,5	Traslape X y KU
KU	14,0 - 14,5	11,7 - 12,2	Lluvia
KA	27,5 - 30,5	17,7 - 21,7	Lluvia

La banda KU empieza en los 12 GHz, ya que algunos de los traspondedores de la banda KU incluso transmiten por debajo de los 11 GHz, formalmente llamada la banda X en la cual se traslapan con la banda KU. De hecho, los enlaces de bajada usan las bandas KU y X pero la transmisión hacia satélite usa sólo la banda KU. Por esta razón, son llamamos satélites o traspondedores de la banda KU. Es más, también se debe tener presente que no se puede utilizar la banda por completa para el enlace de bajada del satélite. Una parte de la banda tiene que ser reservada para la transmisión hacia satélite, y algunas partes de las bandas están reservadas para el ejército o para los servicios como los radares.

Sin embargo, lo que puede observarse que el espacio para la TV o para los canales de datos son mucho mayores en la banda KA que en el total de las bandas C y KU.

Es por eso que la banda KA está haciéndose más interesante para los proveedores de servicios del satélite.

Un valle (un rango de frecuencias que no se pueden utilizar) aparece alrededor de 22 GHz a causa de la atenuación por el vapor de agua. Todo esto es lo que se debe tener en cuenta, que no se tendría ningún problema agotando las frecuencias de 50 GHz. La atenuación es de menos de 1 el dB. Desgraciadamente esto no es igual en todo el espectro. El vapor que contiene la atmósfera es una cosa, pero la lluvia es otra. La atenuación causada por la lluvia aumenta dramáticamente con la frecuencia.

Por eso la banda KA es más popular para el acceso a alta velocidad a Internet en lugar de para la TV de satélite clásica. Si se utiliza para enviar los datos a o desde la red global, el perder unos paquetes no es un gran problema. Los receptores tienen instrucciones de requerir los datos perdidos y finalmente se tendrá el contenido de la página web como se diseñó originalmente. El retraso de un casi un segundo o aun más largo normalmente no es un problema en la comunicación basada en Internet [5].

1.1.4. Transpondedor.

Un transpondedor o transponder es un tipo de dispositivo utilizado en telecomunicaciones cuyo nombre viene de la fusión de las palabras inglesas Transmitter (Transmisor) y Responder (Contestador/Respondedor). Se designa como transpondedor (o con alguna de las abreviaturas TPDR o TP) a equipos que realizan la función de:

- Recepción, amplificación y remisión en una banda distinta de una señal (estos transpondedores se utilizan en comunicaciones espaciales para adaptar la señal satélite entrante/saliente a la frecuencia de los equipos en banda base).

- Respuesta automática de un mensaje (predeterminado o no) a la recepción de una señal concreta de interrogación.

1.2 Televisión digital.

La televisión digital (o DTV, de sus siglas en inglés: Digital TV) se refiere al conjunto de tecnologías de transmisión y recepción de imagen y sonido, a través de señales digitales. En contraste con la televisión tradicional, que codifica los datos de manera analógica, la televisión digital codifica sus señales de forma binaria, habilitando así la posibilidad de crear vías de retorno, se aumentan los canales, algunos pueden ser usados como canales entre consumidor y productor de contenidos, abriendo la posibilidad de crear aplicaciones interactivas, y la capacidad de transmitir varias señales en un mismo canal asignado, gracias a la diversidad de formatos existentes.

Existen tres normas técnicas definidas: la estadounidense (ATSC), la europea (DVB) y la japonesa (ISDB) y una en surgimiento por parte de China (ABS).

1.2.1 Estándares de televisión digital por satélite.

Los estándares ATSC, DVB, ISDB y ABS transportan flujo de datos que utilizan la plataforma MPEG-2 de muy amplia difusión, de amplias aplicaciones, por esta razón desde el punto de vista teórico permiten puntos de servicios muy similares, tienen la flexibilidad suficiente como para transportar flujo de datos que permiten entregar una diversidad de los servicios.



Figura 2. Capacidad similar de los estándares de TV digital.

Los estándares de televisión satelitales son muy similares en la capa de transporte y soportan 1 programa en HDTV o varios canales SDTV como se ilustra en la figura 2. Difieren en la compresión de la señal de audio, para ello ATSC utiliza el llamado Dolby AC-3, y MPEG-2 para audio es utilizado por DVB-S e ISDB. La principal característica que marca la diferencia entre los tres estándares es el método de modulación que utilizan. Cada uno de los sistemas tiene sus propias ventajas y desventajas.

La Televisión analógica, para la recepción utilizó la premisa de ser lo más simple posible, garantizando la robustez de la señal transmitida, los sistemas ISDB y el DVB también hacen uso de este concepto. Esto es verdad en el uso del intervalo de guarda para combatir los efectos de multitrayecto. El uso del intervalo de guarda tiene una consecuencia en la capacidad efectiva del canal, pues se tiene que guardar una separación mayor entre frecuencias.

En la actualidad existe una gran discusión acerca del método utilizado para modular la información digital a transmitir.

1.3 Sistema Americano ATSC.

ATSC (comité avanzado de los sistemas de la televisión) es el reemplazo digital para el estándar analógico anterior, NTSC. El estándar ATSC fue creado por el comité de dirección avanzado de la televisión. Fue desarrollado para la transmisión de señales HDTV, SDTV a una velocidad de 19.39 Mbps, la difusión de los datos, el audio de varios canales y la difusión basada en los satélites [6].

La señal de video es una señal de alta definición que se comprime con MPEG-2, la señal de audio se comprime con Audio Code 3 AC-3 (Código de audio 3, se compone de 6 canales discretos), existen también servicios interactivos y otras de altas presentaciones denominadas DASE (Digital TV Applications Software Environment) [7].

Se menciona este estándar porque es el único americano, pero no se toma en cuenta en el desarrollo de la tesis porque nunca fue liberado comercialmente. Cuando se concluyó el estándar ATSC-S solo se igualo al estándar DVB-S, y cuando se liberó el estándar DVB-S2 superaba por mucho al ATSC-S, el cual se encontraba en fase de pruebas.

1.4 Sistema DVB-S.

DVB, Familia de estándares Internacionales para Difusión de Video Digital.

Difusión de Video Digital (DVB, Digital Video Broadcasting) es una organización que promueve estándares aceptados internacionalmente de televisión digital, en especial para HDTV y televisión vía satélite, así como para comunicaciones de datos vía satélite.

Principios del DVB.

Todos los procedimientos de codificación de las fuentes de vídeo y audio están basados en los estándares definidos por MPEG. No obstante los estándares MPEG sólo cubren los aspectos y metodologías utilizados en la compresión de las señales de audio y vídeo y los procedimientos de multiplexación y sincronización de estas señales en tramas de programa o de transporte. Una vez definida la trama de transporte es necesario definir los sistemas de modulación de señal que se utilizarán para los distintos tipos de radiodifusión (satélite, cable y terrestre), los tipos de códigos de protección frente a errores y los mecanismos de acceso condicional a los servicios y programas.

El DVB ha elaborado distintos estándares en función de las características del sistema de radiodifusión. Los estándares más ampliamente utilizados en la actualidad son el DVB-S y el DVB-C que contemplan las transmisiones de señales de televisión digital mediante redes de distribución por satélite y cable respectivamente. La transmisión de televisión digital a través de redes de distribución terrestres utilizando los canales UHF convencionales se contempla en el estándar DVB-T, que actualmente se está implantando en la mayor parte de los países europeos. Además de estos estándares también están especificados sistemas para la distribución de señales de televisión digital en redes multipunto, sistemas SMATV (Satellite Master Antenna Televisión). También existen estándares que definen las características de la señalización en el canal de retorno en sistemas de televisión interactiva, la estructura de transmisión de datos para el

cifrado y descifrado de programas de acceso condicional, la transmisión de subtítulos, y la radiodifusión de datos (nuevos canales de teletexto) mediante sistemas digitales.

Transmisión

Los sistemas DVB distribuyen los datos por:

- Satélite
- Cable
- Televisión terrestre
- Televisión satelital para dispositivos portátiles

Estos estándares definen la capa física y la capa de enlace de datos de un sistema de distribución. Los dispositivos interactúan con la capa física a través de una interfaz paralela síncrona (SPI), una interfaz en serie síncrona (SSI) o una interfaz en serie asíncrona (ASI). Todos los datos se transmiten en flujos de transporte MPEG-2.

Estos estándares se diferencian principalmente en los tipos de modulación utilizados, debido a las diferentes restricciones técnicas de la tecnología del momento:

- DVB-S (SHF) utiliza BPSK o QPSK.
- DVB-S2 (SHF) utiliza QPSK, 8PSK, 16APSK o 32APSK en los retransmisores.
- DVB-C (VHF/UHF) utiliza QAM, 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM, 128-QAM o 256-QAM (64-QAM en general)
- DVB-T (VHF/UHF) 16-QAM o 64-QAM (o QPSK) en combinación con COFDM y soporta modulación jerárquica.

Cuando la fase exploratoria había terminado resultó que los organismos de radiodifusión por satélite habían sido los primeros en comprender la promesas de la tecnología DVB para sus negocios futuros y pidieron que el DVB publicara las especificaciones para todos los componentes de la cadena de transmisión de la fuente de codificación de audio y vídeo para las interfaces de un receptor en el hogar. Un área que no querían publicar era lo concerniente a los elementos de acceso. A mitad de los 90's cada vez más miembros de DVB en representación de diversos partes de la cadena de negocios en una multitud de países de todo el mundo había comenzado a formular sus necesidades, y la lista de objetivos que DVB podría lograr, puede ser descrita por las siguientes expectativas:

1) DVB permitirá una multiplicación del número de programas de televisión que pueden ser distribuidos en una canal de transmisión, independientemente de si la transmisión será a través de satélite, de redes de cable o por medio de transmisores terrestres.

2) DVB apoyará la difusión de programas de radio y permitirá la transmisión de datos para el entretenimiento y fines comerciales.

3) DVB hará posible una selección flexible de la imagen y calidad de audio, incluyendo la elección de la televisión de alta definición.

4) Se necesita una codificación segura para su uso como método pago, que se asegurará de que el acceso no autorizado a dichos servicios es extremadamente difícil, si no imposible.

5) Las normas DVB para los canales de interacción entre el espectador y el operador de red o proveedor de contenidos permitirá a todos los servicios interactivos que se presentó.

6) DVB proporcionará un software abierto e interoperable plataforma para la mejora de los servicios como la radiodifusión mejorada, radiodifusión interactiva o incluso el acceso completo a Internet de un receptor de televisión.

7) DVB-T ofrecerá la posibilidad de abordar los receptores en todo tipo de entornos, desde la TV clásica se pone en la sala a través de dispositivos receptores portátiles de TV incorporado en los vehículos.

8) Por otra parte, como una técnica de transmisión de datos, DVB incorporará características típicas de la utilización de la tecnología digital, tales como la estabilidad de la recepción dentro de un área de cobertura claramente definidos, posibilidad de una distribución simple a través de las redes de telecomunicaciones, como un servicio, entre muchos otros, y la posible integración en el mundo de computadoras personales.

En el año 2000, DVB reconsidera sus objetivos y define la visión para los años siguientes de la siguiente manera: "La visión de DVB es crear un entorno de contenido que combina la estabilidad e interoperabilidad del mundo de la radiodifusión con el vigor, la innovación, y la multiplicidad de servicios del mundo de la Internet".

Desde entonces varias soluciones técnicas nuevas son desarrolladas a petición de las organizaciones miembros [8].

1.5 Sistema DVB-S2.

DVB-S2 es la segunda generación de especificaciones para aplicaciones satélites de banda ancha, desarrollada por el proyecto Digital Video Broadcasting (DVB) en 2003. El sistema está estructurado como un conjunto de herramientas para permitir el uso en los satélites de las siguientes aplicaciones:

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

Se ha determinado en torno a tres conceptos:

- Mejor rendimiento de la transmisión al acercarse al límite de Shannon.
- La flexibilidad total.
- Una complejidad razonable en el receptor.

Baja densidad de códigos de verificación de paridad, en combinación con QPSK, 8PSK, 16APSK, y modulaciones 32APSK para que el sistema funcione correctamente en el satélite de canal no lineal. La estructura de elaboración de la trama, permite la máxima flexibilidad en un sistema versátil y también en las configuraciones de sincronización en el peor de los casos (baja relación señal-ruido). Codificación y modulación adaptativa, cuando se utilizan enlaces de uno a uno, permite la optimización de la parámetros de transmisión para cada usuario, dependiendo de las condiciones del canal. También están disponibles

modos compatibles con versiones anteriores, permitiendo existente DVB-S, los receptores-decodificadores integrados para continuar de trabajo durante el período transitorio.

El sistema DVB-S2, se basa en la modulación QPSK y una corrección previa convolucional de errores (FEC), concatenados con una codificación de Reed-Solomon (El codificador Reed-Solomon toma un bloque de información digital y añade bits redundantes. El decodificador Reed-Solomon procesa cada bloque e intenta corregir los errores y recuperar la información original. El número y tipo de errores que pueden ser corregidos depende de las características del código Reed-Solomon). En la última década, los estudios en el campo de las comunicaciones digitales y, en particular, de las técnicas de corrección de errores han traído un nuevo impulso a las innovaciones tecnológicas. Los resultados de esta tendencia de evolución, junto con el aumento de los operadores y consumidores demandan mayor capacidad y servicios innovadores por satélite [9].

Para poder cubrir todas las áreas de aplicación al mismo tiempo, y mantener el decodificador de un solo chip en la complejidad razonable, DVB-S2 está estructurado como un conjunto de herramientas, por tanto, también permite el uso de los productos de consumo para aplicaciones profesionales. El estándar DVB-S2 ha sido especificado en torno a tres conceptos claves: la mejor calidad de transmisión, la flexibilidad total, y la complejidad del receptor razonable.

Para lograr la mejor compensación rendimiento-complejidad, en cerca de 30% la capacidad de hacerse con el DVB-S, DVB-S2 se beneficia de la evolución reciente de la codificación de canal y modulación. Por aplicaciones interactivas de punto a punto como unidifusión IP, la aprobación de la codificación y modulación adaptativa (ACM), funcionalidad que permite la optimización de los parámetros de transmisión para cada usuario individual en un fotograma por fotograma. Esto resulta en un mayor aumento de la eficiencia de utilización del espectro del DVB-S2 sobre DVB-S, lo que permite la optimización de diseño del segmento espacial, lo que hace posible una reducción drástica en el costo de los servicios basados en IP por satélite. DVB-S2 es tan flexible que puede funcionar en cualquier transpondedor de satélite, con una gran eficiencia del espectro y requisitos asociados SNR. DVB-S2 se adapta a cualquier formato, incluyendo el transporte MPEG.

Codificación FEC

La FEC, junto con la modulación, es el subsistema clave para lograr un desempeño excelente por satélite, en presencia de altos niveles de ruido e interferencias. Se compararon las propuestas de FEC en simulaciones por computadora, para la selección del FEC para DVB-S2, como a través del canal AWGN-paralelo o serie con códigos convolucionales concatenados, códigos de los productos, códigos de baja densidad de verificación de paridad (LDPC)-todas ellas con las técnicas de decodificación "turbo" (es decir, recursiva). Los códigos LDPC son códigos de bloque lineal, se caracterizan por escasa verificación de matrices de paridad, bloque $H_{(N-K)*N}$, donde cada bloque de bits de información K se codifican con una clave de seguridad. Ellos puede ser representados equivalentemente, por el grafico bipartita que conecta cada ecuación de verificación (nodo de verificación) para sus bits participantes (nodos bit, N). El número de aristas adyacentes a un nodo se llama grado de ese nodo.

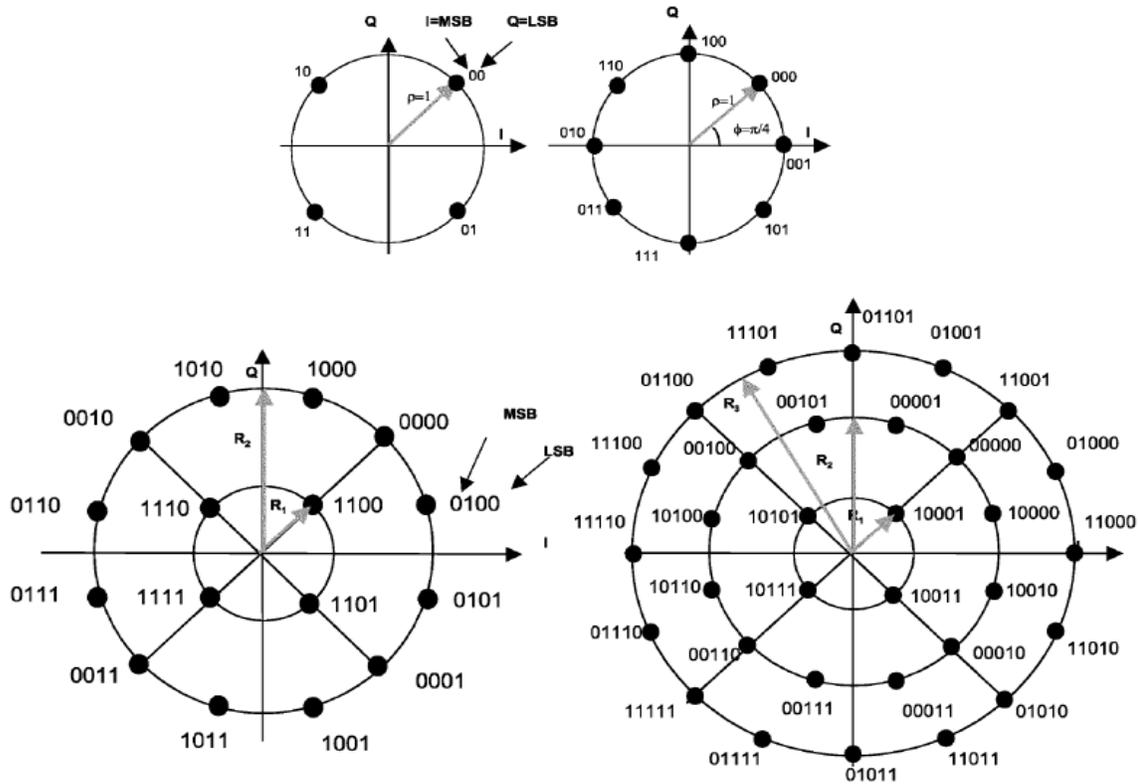


Figura 3. Constelacion puntos modulaci3n DVB-S2.

En la figura se muestran los puntos de las modulaciones en cuadratura QPSK, 8PSK, 16PSK y 32PSK.

A fin de evitar posibles errores en tasas bajas de errores, c3digos concatenados BCH exteriores se introducen, con la misma longitud del bloque que el c3digo de LDPC y una correcci3n de errores con capacidad de 8 a 12 bits, dependiendo del c3digo interno de LDPC de configuraci3n (figura 3). El total del BCH y la longitud del bloque LDPC es de 64 800 bits para las aplicaciones que necesiten retrasos no demasiado cr3ticos, de otro modo se usan 16 200 bits.

Tasas de c3digo de 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 9/8, y 9/ 10 est3n disponibles en funci3n de la constelaci3n seleccionada y la aplicaci3n del sistema. En particular, los tipos de codificaci3n 1/4, 1/3, y 2/5 se han introducido para operar, en combinaci3n con modulaci3n QPSK, en condiciones de enlace excepcionalmente pobres, para la relaci3n se3al-ruido por debajo de 0 dB. Los correcci3n de errores hacia adelante (FEC's por sus siglas en ingles) y modos de modulaci3n son constantes dentro de un marco pero puede ser cambiados en estructuras diferentes, cuando ACM es utilizado, adem3s, la se3al transmitida puede contener una mezcla de los bloques de c3digo normal y bloques cortos. El entrelazado de bits es entonces aplicado a las codificaciones FEC en 8PSK, 16APSK y 32APSK para separar una de la otra, y los bits son asignados a la misma transmisi3n de la se3al. Los requisitos de tasa de error para DVB-S2 son muy estrictos, paquetes de error MPEG TS de 10^{-7} (PER), que corresponde aproximadamente a menos de un paquete err3neo por hora para una velocidad de 5Mb/s. Muestra el excelente rendimiento FEC de DVB-S2 en el canal AWGN para el c3digo de varias tasas de codificaci3n y modulaci3n, con bloques de c3digo FEC de 64 800 bits y menos de 50 iteraciones de

decodificación en el receptor. Bloques código corto, generalmente, dan un rendimiento ligeramente peor, debido a la menor dimensión de la trama.

Los cuatro modos de modulación pueden ser seleccionados para la transmisión de la información QPSK, 8PSK, 16APSK y 32APSK, dependiendo de la zona de aplicación. Al seleccionar la constelación de la modulación y las tasas de codificación, la eficiencia del espectro de 0,5 a 4,5 bits por símbolo están disponibles y pueden ser elegidas dependiendo de la capacidad del transpondedor del satélite utilizado. Constelaciones 16APSK y 32APSK se han optimizado para los transpondedores no lineales mediante la colocación de los puntos en círculos, sin embargo su desempeño es comparable con los de 16QAM o 32QAM respectivamente.

QPSK y 8PSK suelen ser propuesto para aplicaciones de emisión, ya que son modulaciones prácticamente constantes y se puede utilizar en transpondedores de satélites no lineales cerca del punto de saturación de este. El 16APSK y modos 32APSK se dirigen principalmente a aplicaciones profesionales, debido a los mayores requerimientos en términos de SNR disponible, pero pueden también se utilizados para la radiodifusión. Aunque estos modos no son tan eficientes en cuestión de energía como los otros modos, la eficiencia del espectro es mucho mayor. Necesitan para operar en una región casi lineal en el transpondedor del satélite o adoptar métodos avanzados de pre distorsión en la estación del enlace de subida para minimizar el efecto de no linealidad del transpondedor.

Modulación en cuadratura

Para el filtrado en banda base y la modulación en cuadratura, se usa el coseno de la raíz cuadrada del espectro de la señal y del generador de la señal de radiofrecuencia (RF). Hay tres valores permitidos para el factor de atenuación:

- 0.35 como en DVB-S,
- 0.25,
- 0.20 para banda estrecha.

El gran número de receptores DVB-S, ya instalado hace que sea muy difícil para muchos organismos de radiodifusión establecidos pensar en un cambio de la tecnología en favor de DVB-S2.

Durante el periodo de migración se puede requerir compatibilidad con versiones anteriores, permitiendo que los receptores DVB-S continúen operando y los receptores nuevos funcionen con un mínimo de funciones. En el final del proceso de migración, cuando toda la población ha emigrado al receptor DVB-S2, la señal transmitida podría modificarse en el modo de no-retro compatible y así explotar todo el potencial del DVB-S2.

Otra opción para hacer compatible DVB-S2 con versiones anteriores, es enviar dos tramas de MPEG TSs dentro de un solo canal de satélite. El DVB-S2 ofrece compatibilidad con versiones anteriores pero funcionando con el mínimo de funciones y sin utilizar las mejoras sobre su antecesor DVB-S, se pueden implementar una modulación jerárquica, donde dos tramas, la principal HP y la secundaria LP TSS (figura 4) se combinan de forma sincrónica en la modulación a nivel de símbolos en una constelación uniforme 8PSK.

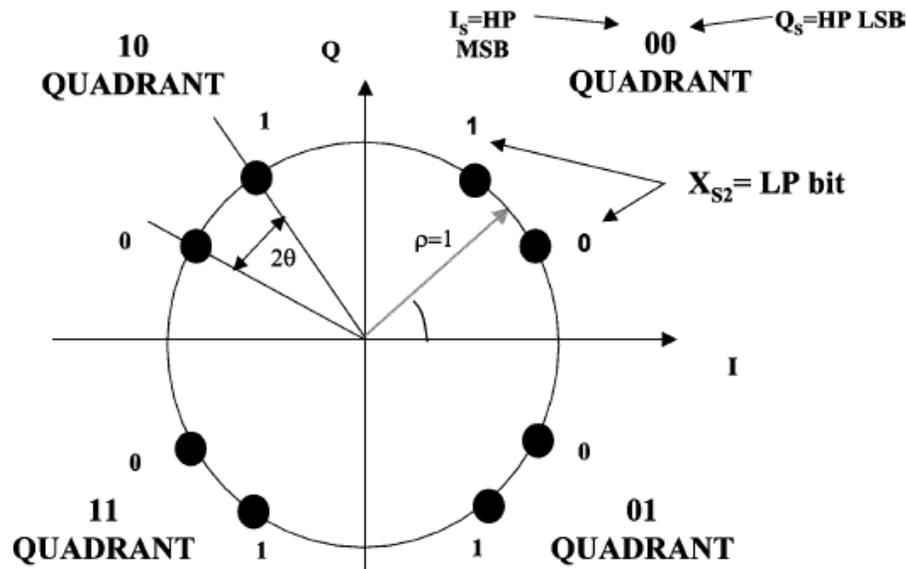


Figura 4. Modulación 8PSK con combinación de dos tramas.

La señal de LP compatible con DVB-S2 es codificada en BCH y LDPC, con tasas de código de LDPC 1/4, 1/3, 1/2, o 3/5. Los dos bits de HP DVB-S definen una constelación QPSK (que puede ocupar cualquier receptor DVB-S convencional). Mientras que el de un solo bit del codificador LDPC del DVB-S2 establece una rotación adicional antes de la transmisión (produce una pequeña degradación en el rendimiento DVB-S en el receptor digital, dependiendo de la amplitud) [10].

1.6 SISTEMA ISDB.

El estándar ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting), ha sido desarrollado en Japón por el grupo DIBEG (Digital Broadcasting Experts Group), es un estándar muy parecido al DVB pero tiene algunas modificaciones. Este sistema fue diseñado para transmitir una señal móvil y fija simultáneamente en 6MHz de ancho de banda. Permite anchos de canal de 6, 7 u 8 MHz, pero en la práctica solo se utilizan 6 MHz, la movilidad es uno de los puntos que se buscaron en este estándar en la versión terrestre (figura 5).

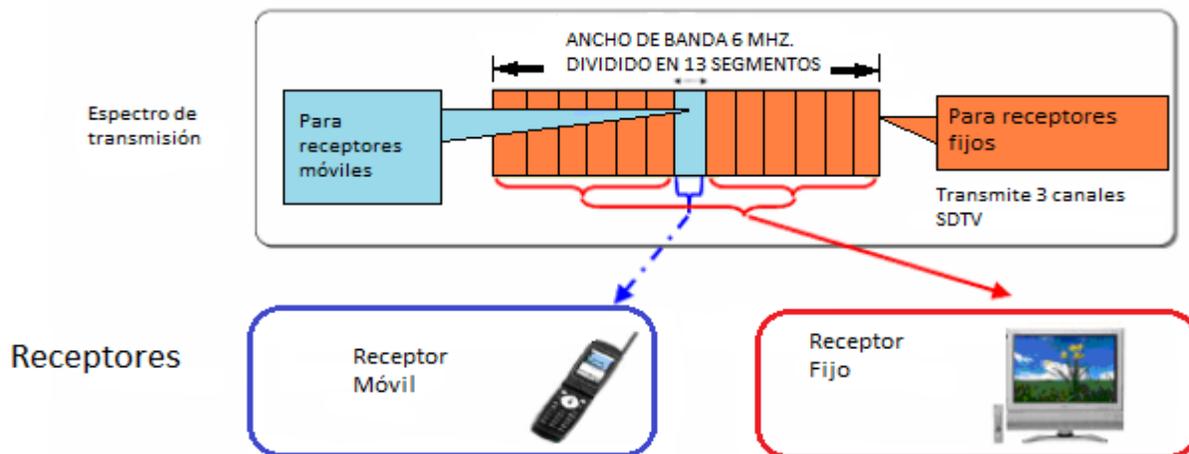


Figura 5. Ancho de banda para receptores Móviles.

En la figura 5 se muestra como está formada la trama en el estándar japonés, permitiendo que tanto dispositivos móviles como fijo capten la señal.

Existen versiones del estándar ISDB para difusión vía satélite (ISDB-S), terrestre aérea (ISDB-T), por cable (ISDB-C) y en la banda de 2,6GHz, todos basados en el sistema de codificación de audio y video MPEG-2, así como en el de transporte y compresión descrito en el estándar MPEG-2, aunque también admite JPEG y MPEG-4.

Japón inicio la difusión digital usando el estándar DVB-S (versión satelital europea) por parte de Perfect TV a finales de 1996, pero no satisfizo los requerimientos de los difusores japoneses como NHK, TBS o Fuji TV. Por tal motivo, la Asociación de Industrias de Radio y Negocios (ARIB), organización que vela por el uso eficiente del espectro en el Japón, fue la encargada del desarrollar el estándar ISDB-S, conjuntamente con NHK. Los requerimientos básicos fueron: la capacidad de manejar televisión en alta definición (HDTV), servicios interactivos y uso eficiente del espectro.

Por limitaciones de capacidad de transpondedor (transmisor-receptor satelital) disponible, consiguieron una eficiencia espectral 1,5 veces mejor que la del DBVS, pudiendo transmitir por un solo transponder dos canales de HDTV, además de otros canales independientes de audio y datos. La difusión comercial de la nueva televisión digital con base en ISDB-S se inició el 1o de diciembre de 2000. En diciembre de 2003, Japón inicio el uso de la versión de difusión televisión digital terrestre con especificación ISDB-T.

Los programas para receptores móviles se transmiten en el mismo espectro que para receptores fijos, ISDB-T tiene capacidad de segmentación en un canal y la capa de segmentos puede operarse independientemente. La televisión digital terrestre para receptores móviles se provee desde Abril 1 del 2006.

Para la radiodifusión terrestre, el sistema ha sido diseñado para tener flexibilidad en la prestación de televisión digital, programación de audio y para ofrecer servicios multimedia; en el cual se pueden integrar una amplia variedad de información de tipo digital tales como video, audio, textos y programas computarizados. Adicionalmente, el sistema permite la transmisión de información por un canal móvil, haciendo posible la recepción de la misma mediante receptores móviles ligeros y compactos. El sistema usa un método de modulación denominado "Transmisión de Banda Segmentada (BST) OFDM", que consiste de un conjunto de bloques de frecuencia comunes básicos, denominados "Segmentos BST".

El espectro de transmisión de televisión consiste de 13 segmentos, sucesivos OFDM, cada segmento tiene un ancho de banda $BW/14$ MHz, donde BW se corresponde con el ancho de banda de un canal normal de televisión analógica terrestre (6, 7 o 8 MHz dependiendo de la región, en México se usan 6 MHz.). En un canal de 6 MHz, un segmento ocupa $6/14 = 428,6$ KHz. de espectro, y por lo tanto siete segmentos ocupan un ancho de banda de $7 \times 6/14 = 3$ MHz

Adicionalmente, las propiedades de modulación OFDM, BST-OFDM proveen transmisión jerárquica por medio del uso de diferentes métodos de modulación de portadoras y tasas de codificación de código interno sobre diferentes segmentos TbS (tramas de transmisión). Cada segmento de datos puede tener su

propio método de protección contra errores (tasas de código interno, profundidad del entrelazado de la codificación) y tipo de modulación (QPSK, 16-QAM o 64-QAM).

Cada segmento puede cumplir un tipo de requerimiento de servicio. Un determinado número de segmentos puede ser combinado con flexibilidad para proveer servicios de banda ancha. Por medio de la transmisión de grupos de segmentos OFDM, con diferentes parámetros de transmisión, se logra la transmisión jerárquica. Cerca de 3 capas de servicios (tres diferentes grupos de segmentos) pueden ser incluidos en un canal de televisión analógico terrestre [11].

El sistema fue desarrollado y probado en canales de 6 MHz pero puede ser escalado a cualquier ancho de banda de canal ($X * BW/14$ MHz) con la correspondiente variación en la capacidad de transporte de datos. La tasa neta de bits para un segmento en un canal de 6 MHz varía entre 280,85 y 1787,28 kbit/seg. Para un canal digital de 5,57 MHz la tasa de datos varía entre 3,65 Mbit/seg y 23,23 Mbit/seg.

1.7 SISTEMA ABS.

El estándar chino ABS-S (Sistema Avanzado de Radiodifusión por Satélite) de nueva generación. El nuevo sistema utiliza una tasa de información variable y un tamaño constante de código LDPC permiten que las aplicaciones por satélite suministradas para el sistema DVB-S2 incluyendo: televisión y radiodifusión, interactividad (por ejemplo, acceso a Internet), servicios profesionales, tales como enlaces de la televisión por contribución digital por satélite y la recopilación de noticias. El nuevo sistema utiliza la estructura de trama variable para poder trabajar con los modos adoptados por el estándar DVB-S2, para simplificar aún más la complejidad de la implementación. Un prototipo del sistema ha sido implementado para probar el protocolo. Los resultados de las pruebas de laboratorio así como de los ensayos de campo demuestran ventajas significativas en el rendimiento del nuevo sistema de radiodifusión por encima del sistema DVB-S, y casi el mismo el rendimiento como la segunda generación de la radiodifusión por satélite sistema DVB-S2.

La Academia de Ciencias de la Radiodifusión (SARFT), en China se encuentra actualmente desarrollando el Sistema Avanzado de Radiodifusión por satélite (ABS-S), con casi el mismo rendimiento y una menor complejidad en comparación con el sistema DBV-S2. Bajo esta iniciativa se diseñó ABS-S, un sistema sencillo basado en LDPC.

En comparación con el actual estándar de DVB-S2, ABS-S ofrece las ventajas siguientes:

- 1) No hay códigos BCH, lo que reduce la complejidad dramáticamente.
- 2) Bajo costo de implementación debido a tramas de menor tamaño.
- 3) Mejor rendimiento de sincronización (debido a la optimización la estructura de la trama).
- 4) Elaboración mucho más simplificada de la estructura de la trama.
- 5) Mezcla de CCM (modo continuo), VCM (modo variable) y ACM (modo asíncrono) sin ningún problema.

ABS-S tiene las siguientes características:

- 1) No tiene modo piloto de señal de alta calidad pero si tiene modo piloto para la señal de ruido debido a los componentes de RF de bajo costo.
- 2) Potente FEC que emplea LDPC.
- 3) Las tasas variables de código y modulaciones QPSK/8PSK/16APSK/32APSK para diferentes aplicaciones.
- 4) Tres factores de atenuación progresiva conformación de pulsos (Roll Off), 0,2, 0,25 o 0,35.
- 5) ACM (modo asíncrono) para aplicaciones de Internet.

Las aplicaciones de ABS-S son:

- 1) Televisión directa al hogar, incluyendo televisión digital de alta definición (HDTV).
- 2) Servicio Interactivos.
- 3) Servicio de Noticias Satelitales (Satélite Digital News Gathering, DSNG).
- 4) Servicio de Internet de 2 vías.

ABS-S es capaz de soportar servicios interactivos en el receptor digital de los consumidores (IRD), computadoras personales y otros dispositivos con comunicación por satélite de dos vías.

ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA.

ABS-S es un sistema de transmisión para la radiodifusión directa de aplicaciones satelitales. Se define los múltiples esquemas de codificación y modulación, el formato de la trama y la señalización de la capa física. El sistema especifica modulaciones múltiples y esquemas de codificación para ser compatible con diferentes configuraciones de transmisión vía satélite. El sistema de transmisión se define como una serie de bloques funcionales que toman los paquetes de transporte MPEG como datos genéricos, el formato de la señal en Bloques FEC, codifica cada bloque en LDPC, inserta los bit de sincronización y de encabezado, el tamaño de pulso de la señal empaquetada con un filtro de CRR y se aumenta la señal hasta una frecuencia de radio.

Con la tasa de bit de error ($PER < 7.10$) la comunicación puede mantenerse si la señal a ruido recibida más la interferencia está por encima del umbral requerido [12].

1.8 Corrección de errores adelantado (FEC).

El receptor utiliza los bits de redundancia para corregir los errores de la transmisión y reconstruir el mensaje original.

FEC: Forward Error Correction, este sistema elimina los retrasos debidos a la retransmisión y los requerimientos de sistemas de memoria involucrados en las técnicas de transmisión.

Entre sus ventajas están: que no se requiere un canal de retransmisión, se trabaja con una eficiencia de transmisión constante, el retraso total del sistema es constante.

Como desventajas están, la eficiencia de tasa de transmisión moderada, que permite al emplearse códigos más poderosos. Presenta dificultad en la selección del código de corrección, la confiabilidad de los datos recibidos es altamente sensitiva a cualquier degradación de las condiciones de canal [13].

1.9 Portadoras Únicas y Múltiples.

Es una práctica común en la transmisión de televisión digital utilizar el esquema de transmisión de una sola portadora o bien el de utilizar varias portadoras en un mismo transpondedor.

En el primer caso se ocupa el total del ancho de banda del transpondedor por una sola portadora (figura 6). Se utiliza el amplificador en estado de saturación, tanto del satélite como de las estaciones terrenas.

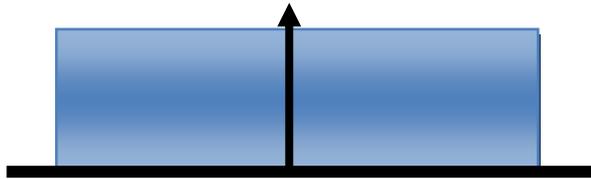


Figura 6. Transpondedor con una sola Portadora.

En el segundo caso (figura 7), la transmisión simultánea de varias frecuencias con espectros no superpuestos. El formato de la distribución de la portadora depende de la

- distorsión de la señal
- de la interferencia de canales adyacentes
- de la intermodulación de los amplificadores

Las desventajas son, una utilización ineficiente del ancho de banda, debido a la utilización de back-off's en el amplificador del satélite, así como de bandas de guarda entre los espectros de las portadoras.

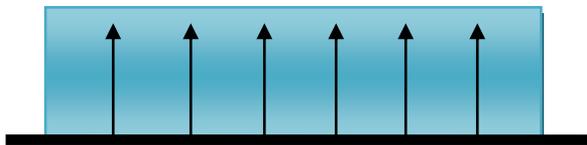


Figura 7. Transpondedor con múltiples Portadoras.

Por lo anterior, el análisis se realiza para comparar el desempeño de los estándares con portadora única y portadoras múltiples. Así como las diferencias de usar portadoras múltiples en banda KU, banda KA, banda KA en satélites regenerativos.

CAPITULO 2

ELEMENTOS PARA EL CÁLCULO DE ENLACES.

2.1 Ángulos de apuntamiento de la antena

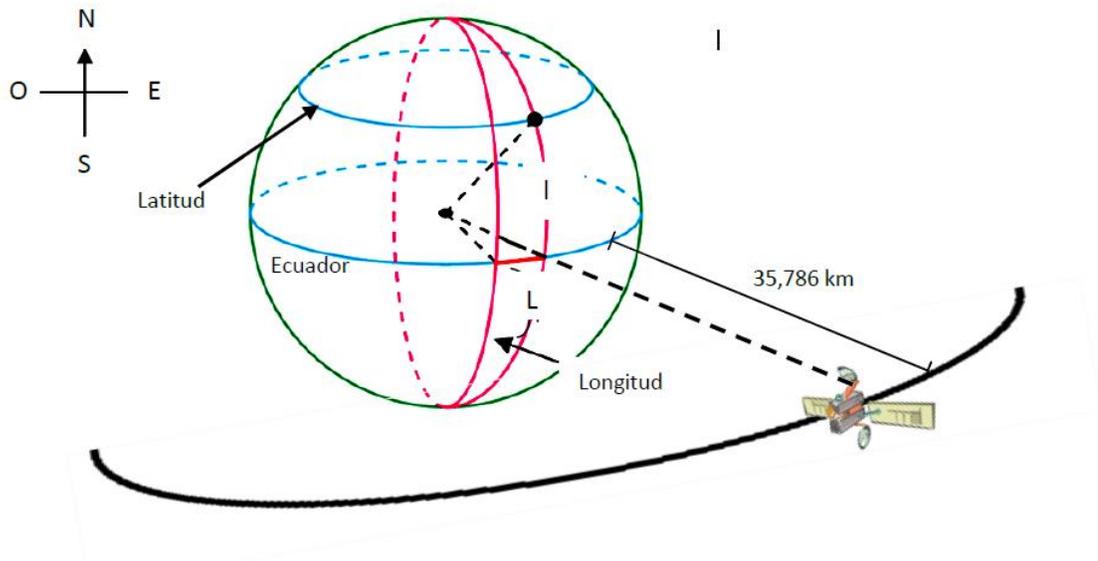


Figura 8. Latitud y Longitud.

Debido a que las antenas de las estaciones terrenas son de alta directividad, es decir, con un ancho de haz pequeño, tienen que ser apuntadas debidamente hacia el satélite, esto evitará tener pérdidas debido al desperdicio de potencia radiada hacia otros puntos. Los parámetros que determinan la posición de la antena en Tierra son dos ángulos que dependen de la posición del satélite y de la localización de la estación terrena en el planeta. Aunque existen otros sistemas de coordenadas y apuntamiento, estos son más comunes y se encuentran como parámetros en los programas de cómputo.

Las coordenadas geográficas de cualquier lugar de la Tierra se definen por altura, longitud y latitud (figura 8). La altura es la diferencia del suelo en un lugar respecto al nivel del mar. Las longitudes son líneas imaginarias o meridianos que van de polo a polo, la línea base es el meridiano de Greenwich, se miden con el ángulo L y varía de 0° a 180° Este u Oeste. Las latitudes son circunferencias imaginarias paralelas a la línea del Ecuador y se miden con el ángulo I que varía de 0° a 90° Norte o Sur.

Para el caso de satélites geoestacionarios (GEO), como se encuentran en el plano ecuatorial, se conocen sus posiciones por grados Este u Oeste siendo la referencia de 0° el meridiano de Greenwich. Se puede entender que los satélites GEO tienen una latitud de 0° , y al ser constante no es relevante en cálculos.

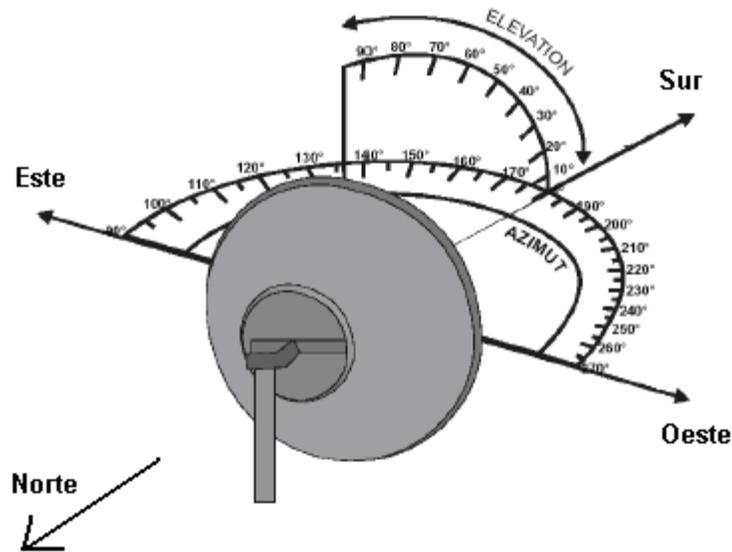


Figura 9. Apuntamiento de la antena con respecto a la elevación y azimut (este-oeste).

Una vez localizando la estación terrena, se obtienen los siguientes ángulos de apuntamiento para la antena; elevación y azimut. Estos ángulos tienen efectos para los cálculos de enlaces Figura 9.

El ángulo de elevación, denominado como θ , es el que está formado entre el horizonte local y el eje de la línea de vista entre el satélite y la estación terrena.

El ángulo de azimut, denominado como φ , se mide en dirección horaria y se forma entre la línea que une a la estación con el Norte y la proyección horizontal de la línea de vista hacia el satélite figura 10.

Las siguientes fórmulas son resultado de un proceso de uso de relaciones trigonométricas que concluye en lo siguiente:

Para el ángulo de elevación.

$$\theta = \text{angtan} \left[\frac{(\cos l)(\cos \Delta L) - \frac{Re}{h}}{\sin[\text{angcos}(\cos l)(\cos \Delta L)]} \right]$$

Donde:

l = latitud de la estación terrestre.

ΔL = valor absoluto de la diferencia de longitudes de la estación terrena y el satélite.

Re = radio de la tierra = 6,378 km.

h = radio de la órbita = 35,786 km + 6,378 km = 42,164 km.

Para el ángulo de azimut.

$$\phi' = \text{ang tan} \left[\frac{\tan \Delta L}{\text{sen } l} \right]$$

Se debe considerar el hemisferio y en qué dirección en relación al satélite.

Cuadro 10. Angulo de azimut.

UBICACIÓN	VALOR DE AZIMUT ϕ
Hemisferio Norte Oeste del satélite	$\Phi = 180^\circ - \phi'$
Hemisferio Norte Este del satélite	$\Phi = 180^\circ + \phi'$
Hemisferio Sur Oeste del satélite	$\Phi = \phi'$
Hemisferio Sur Este de satélite	$\Phi = 360^\circ + \phi'$

El propósito de estos cálculos es que se tenga lo más aproximado al alineamiento ideal, es decir, que el eje de máxima ganancia de la antena del satélite coincida con el eje de máxima ganancia de la antena de la estación terrena.

2.2 Cálculos de Enlace

El cálculo de enlaces es cuantificar el desempeño de un enlace vía satélite. Se requiere saber con cuanta potencia y qué tamaño de antenas se requiere para que sea suficiente y no se desperdicie por excesos con el fin de obtener tasas de información apropiadas.

2.2.1 Introducción

Las partes del enlace satelital punto a punto son: la estación terrena transmisora, el satélite, la estación terrena receptora, este esquema sirve de base para una configuración de múltiples receptores. Entre estaciones terrenas y el satélite se forman los enlaces, que son la radiación de energía a través del canal.

El transmisor amplifica la señal para ser radiada por la antena, en el canal se tendrá un declive de la potencia y el receptor debe amplificarla sin introducir ruido.

Las variables que limitan un enlace vía satélite, son la potencia y el ruido, descrito por el teorema de la capacidad de canal de Shannon-Hartley, que es la máxima tasa de información que podemos transmitir en determinado ancho de banda.

$$R \leq C = W \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

DONDE:

R= Tasa de transmisión [bits/s]

C=Capacidad de canal [bits/s]

W= Ancho de banda [Hz]

$S/N = 10 \log_{10}$ [Potencia de la señal recibida/ Potencia de Ruido] dB. Señal de ruido.

La desigualdad de Shannon marca un límite, resultado de la teoría de la información, en la cual indica hasta cuantos bits por segundo por hertzio, [bps/Hz], se pueden transmitir y cuanta probabilidad de error habrá usando determinada potencia con determinado ruido. Esto se define de acuerdo a la modulación ya que es la forma de onda que se propaga adecuadamente por el medio de transmisión. Una vez elegida la modulación, se tienen dos opciones para optimizar el sistema: aumentar la potencia o disminuir el ruido mediante la reducción de la temperatura física del sistema.

Para comunicaciones digitales se tiene:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{N} \left(\frac{W}{R} \right)$$

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{2^{\frac{R}{W}} - 1}{\frac{R}{W}}$$

DONDE:

$E_b = S * (1/R)$ [Energía por bit (J)]

$N_0 = N/W$ [Densidad espectral de la potencia del ruido (W/Hz)]

R/W = Eficiencia espectral (bps/Hz)

S: Potencia de la señal (W)

N: Potencia del ruido (W)

Para medir la relación señal a ruido, lo que se toma en cuenta es la relación en decibeles de la potencia de la señal portadora y la del ruido. La señal moduladora, se denomina con la letra C (carrier). Es la cantidad de energía por unidad de tiempo o el área bajo la curva de la función que representa a la señal. El ruido es una señal no deseada de diferentes fuentes, es una variable aleatoria, el ruido térmico es un proceso con función de probabilidad Gaussiana que se suma a la señal transmitida y que su densidad espectral es constante en el ancho de banda, blanco, se conoce también como ruido Gaussiano blanco aditivo (AWGN), se designa con la letra N (noise).

$$\frac{C}{N} = 10 \log \left[\frac{\text{Potencia de Portadora recibida}}{\text{Potencia de ruido}} \right]$$

Lo que se desea de un enlace es que con el mínimo uso de recursos, se obtenga el máximo beneficio, es decir, mínima potencia, óptima tasa de bits. Tomando en cuenta que el diseño de satélites tiene como consecuencia que la potencia y las antenas que usan son parámetros fijos, el resultado del cálculo de enlaces nos dirá qué elementos se pueden modificar en el segmento terrestre. También las frecuencias son

asignadas por lo que los parámetros para ajustar un adecuado enlace se reducen al tamaño de las antenas y potencia de las estaciones terrenas.

2.2.2 Efectos de propagación

La energía radiada al tener interacción con el medio sufre de efectos que afectan la transmisión de ondas. Una onda se compone por amplitud, frecuencia, fase y polarización. Estos parámetros pueden ser modificados al propagarse. La atenuación o disminución de la amplitud de la señal es el principal problema. Caracterizar al medio por el cual las ondas se propagan es útil para poder contrarrestar estos efectos. Las pérdidas más significativas se describen a continuación:

- Pérdidas por espacio libre (Free Space Loss)

El canal es un medio con pérdidas, entonces la solución de la ecuación de onda da como resultado una disminución exponencial de la amplitud de la onda a través del espacio, además la potencia recibida está relacionada con el área de la antena receptora, como densidad de flujo de potencia, watts por unidad de área. La relación de potencia recibida y transmitida está dada por:

$$p_r = p_t g_t g_r \left(\frac{\lambda}{4\pi R_s} \right)^2$$

Dónde:

p_r = potencia recibida

p_t = potencia transmisión

g_t = ganancia de transmisión

g_r = ganancia de recepción

R_s = Rango espacial, distancia entre la estación terrena y el satélite.

λ = Longitud de Onda.

Entonces se define como pérdidas del espacio libre:

$$L_{FSL} = 20 \log \left(\frac{4\pi R_s}{\lambda} \right) \quad [dB]$$

Esta ecuación quiere decir que en un enlace mientras sea más largo o distante, habrá más pérdidas, como también al usar frecuencias muy grandes. El rango espacial, R_s , varía de acuerdo a la latitud de la estación terrena y se relaciona con los ángulos de apuntamiento de la antena terrestre.

- Absorción atmosférica

La absorción es la atenuación debido a la irreversible conversión de energía radioeléctrica a calor. Un segmento del rango espacial ocupa una parte de la tropósfera, 11 km de altura, donde las condiciones no son exactamente de vacío y donde se producen fenómenos meteorológicos que afectan el enlace. Las frecuencias utilizadas pueden coincidir con frecuencias de resonancia de algunos gases atmosféricos figura

11, la del vapor de agua 22.2 GHz, y del oxígeno (aire seco) 60 GHz, esto trae como consecuencia que la energía se convierta en calor, es decir, que sea absorbida, reduciendo la potencia de la onda radioeléctrica.

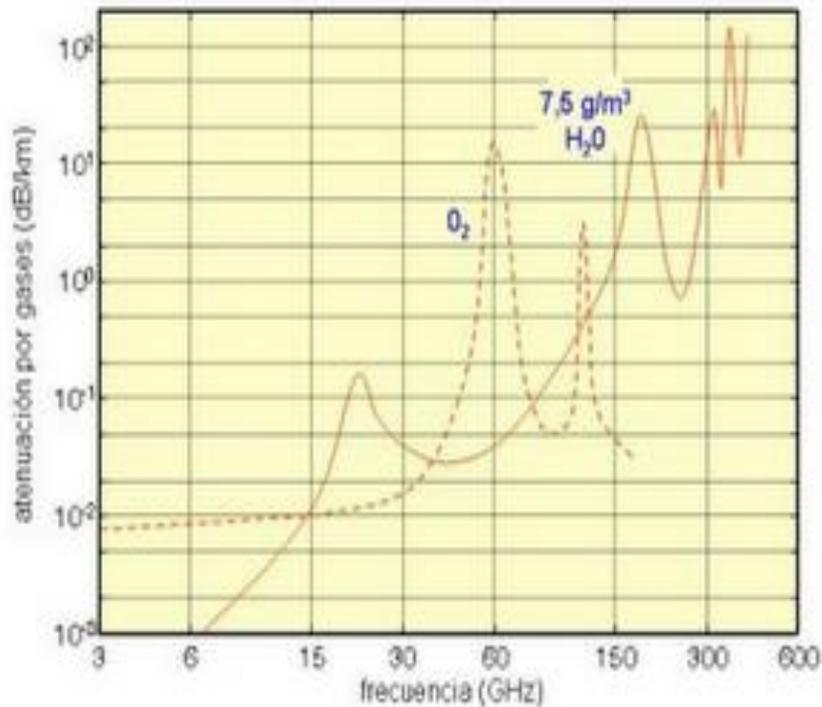


Figura 11. Atenuación específica total [UIT-R P.676-6].

- Atenuación por lluvia.

El fenómeno meteorológico más significativo en las pérdidas es la lluvia, para banda KA puede haber pérdidas de hasta 20 [dB]. Se calcula con el producto de atenuación específica y la longitud que abarca la lluvia.

$$L_{lluvia} = (\gamma)(Distancia\ equivalente\ a\ través\ de\ la\ lluvia)$$

$$\gamma = k R^\alpha \text{ [dB/km]}$$

Dónde:

γ = Atenuación específica [dB/km]

k y α = son constantes que dependen de la frecuencia y polarización.

R = Intensidad de Lluvia. [14]

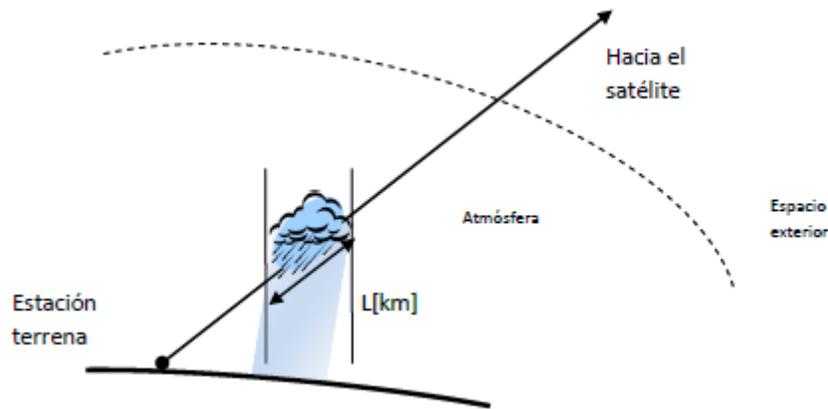


Figura 12. Atenuación por lluvia.

Se tienen valores para determinadas zonas del planeta para tomar en cuenta las pérdidas que la lluvia pueda provocar. Así que, la atenuación puede variar de acuerdo a la localización geográfica de la estación terrena, por lo que hay mapas de contornos de intensidad de lluvia (figura 12). Estos efectos dependen principalmente de la frecuencia, localización y de las condiciones climatológicas. La atenuación por nubes y niebla no es significativa.

- Retardo y latencia

El tiempo que tarda en llegar una señal de la estación transmisora al satélite, o viceversa, se le conoce como retardo. Las ondas viajan a la velocidad de la luz, $C=3 \times 10^8$ m/s, por lo que el retardo se calcula como:

$$t = \frac{R_s}{C}$$

Para el viaje redondo se denomina latencia, es decir transmisión y recepción. El retardo es una desventaja para la órbita geoestacionaria, ya que es considerable, el tiempo de subida y bajada promedio es de 0.125s ya que depende de las latitudes de las estaciones.

- Otros

El cambio de frecuencia debido al movimiento de la fuente de radiación se conoce efecto Doppler. Este efecto no afecta a los enlaces GEO en servicios fijos debido a la propiedad de tener una línea de vista fija para los satélites en la órbita geoestacionaria

Las longitudes de onda utilizadas en enlaces vía satélite son comparables con partículas como la lluvia nieve o granizo por lo que las señales pueden ser refractadas y cambiar la dirección de propagación.

El centelleo troposférico son fluctuaciones rápidas que suceden en los primeros kilómetro de altura causando irregularidades en amplitud y fase de la señal.

2.2.3 Relación C/N0

La relación portadora a densidad de ruido, C/N0, es el parámetro principal para el diseño de enlaces, de su valor requerido se obtendrán los valores de potencia requerida y tamaño de antenas, por consecuencia el costo en las estaciones terrenas. Tomando en cuenta el límite de Shannon para las tasas de velocidades, el

ruido en el sistema, pérdidas, potencias, tamaños de las antenas, se tiene la ecuación básica de un enlace de un sistema de comunicaciones digitales:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{P G_t G_r}{L_l L_{FSL} L_a k T_s R}$$

Dónde:

$\frac{E_b}{N_0}$ = relación de energía por bit a densidad de ruido.

P= potencia de transmisión en Watts.

L_l = pérdidas en la línea de transmisión.

G_t = ganancia de la antena transmisora.

G_r = ganancia de la antena receptora.

L_{FSL} = pérdidas en el espacio libre.

L_a = pérdida por trayecto

k = Constante de Boltzman= $1.380 \times 10^{-23} \frac{J}{K}$

T_s = Temperatura física del sistema (°K)

R = Tasa de bits en bps.

En decibeles [dB] se tiene

$$\frac{E_b}{N_0} = P + G_t + G_r - L_l - L_{FSL} - L_a + 228.6 - 10 \log T_s - 10 \log R$$

Además la relación portadora a densidad de ruido en [dBHz]

$$\frac{C}{N_0} = \frac{E_b}{N_0} + 10 \log R$$

Y la relación portadora a ruido en [dB]

$$\frac{C}{N} = \frac{E_b}{N_0} + 10 \log R - 10 \log W \text{ (dB)}$$

W: ancho de banda del ruido en el receptor [Hz].

Se definen dos parámetros importantes, el primero es la potencia isotrópica radiada efectiva, PIRE13, es el producto de la potencia del transmisor, P, las pérdidas de las líneas de transmisión hacia la antena, Ll, y la ganancia de la antena transmisora, Gt, en [dBW]:

$$PIRE = P - LI + G_t$$

El segundo es la relación Gr/Ts, o figura de mérito que es la sensibilidad de la estación receptora, donde Gr y Ts están calculados en el mismo punto y en [dB/K] es:

$$Gr/Ts = Gr + 10 \log Ts$$

Este parámetro se debe al patrón de radiación y ganancia de la antena receptora.

Todos los amplificadores de un dispositivo de microondas producen ruido interno. La temperatura de ruido, T , es la temperatura equivalente, T_e , a la que hay que elevar una resistencia a la entrada del amplificador ideal (que no produce ruido) para tener la misma potencia de ruido, P_N , con un amplificador real, la cual es función de la temperatura y del ancho de banda.

2.2.4 Enlace Ascendente.

La señal de información debe pasar por los procesos de digitalización, codificación (compresión y cifrado), modulación (FSK, PSK o QAM) y amplificación. Cuando es radiada por el medio tiene pérdidas en la amplitud y se añade ruido, por lo tanto la sensibilidad del satélite debe ser capaz de recibir la señal. Figura 13.

Los parámetros que intervienen en el enlace ascendente son el PIRE de la estación terrena transmisora, las pérdidas de propagación, y la figura de mérito del satélite.

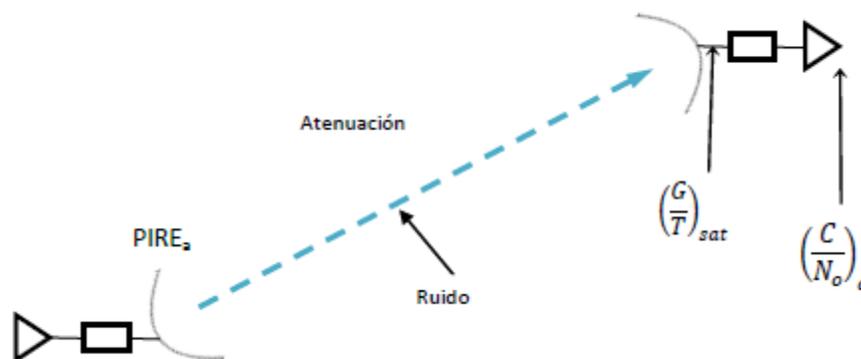


Figura 13. Enlace Ascendente.

Se describe el proceso del enlace ascendente como:

Se genera una señal de alta potencia y se radia hacia el satélite.

La señal es atenuada durante el trayecto y se introduce ruido de distintas fuentes.

El receptor tiene una sensibilidad para recibir señales pequeñas, sin embargo el nivel de la señal contiene ruido agregado, contrarrestando la calidad de la señal.

Como resultado se tiene:

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_{asc} = P_t G_{ant\ TX} \frac{1}{L_{prop}} \left(\frac{G}{T}\right)_{sat} \frac{1}{k}$$

$G_{ant\ TX}$ = Ganancia de la antena transmisora.

Esta expresión en decibelios:

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_{asc} = PIRE_a - L_{prop} + \left(\frac{G}{T}\right)_{sat} - 10 \log k$$

Dónde:

$\left(\frac{C}{N_0}\right)_{asc}$ = relación $\frac{C}{N_0}$ ascendente en (dBHz)

$PIRE_a$ = PIRE estación Transmisora en dBW

L_{prop} = Pérdidas (db)

$\left(\frac{G}{T}\right)_{sat}$ = Figura de merito del satélite

G= ganancia de la antena transmisora

T = temperatura del ruido inducido

K= constante de Boltzman

L_{prop} = L espacio libre + L absorción + L polarización + L desapuntamiento +...

En las pérdidas por propagación se pueden incluir diferentes tipos de pérdidas, sin embargo, las más significativas son las de espacio libre, lluvia y absorción.

Los contornos G/T son zonas donde se tiene el mismo valor de G/T y resumen información de la antena receptora del satélite, amplificador de bajo ruido y otros dispositivos del satélite Figura 14. EL fabricante debe calcular el valor de este parámetro y proporcionarlo.

Se muestra un ejemplo de contornos aproximados de G/T en la banda C para el satélite Satmex 5.

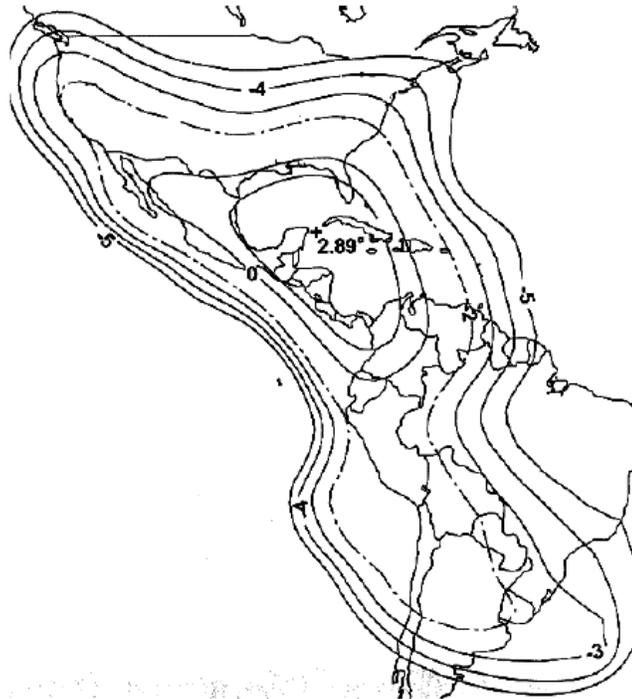


Figura 14. Contornos de G/T.

Fenómenos meteorológicos, como la lluvia, no son eventos constantes, entonces conviene usar un margen, para que cuando ocurran estos, no afecte de forma irremediable el enlace. Por esto, se añade un parámetro, μ_a , que es el margen para el enlace ascendente.

Para simplificar el cálculo del enlace se define la densidad de flujo de saturación del satélite, proporcionado por los fabricantes del satélite, como:

$$F_s = \frac{PIRE_{asc}}{4\pi R_s} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

O utilizando logaritmos:

$$F_s = PIRE_{asc} - 10 \log(4\pi R_s) \left[\frac{dBW}{m^2} \right]$$

El valor de F_s indica con que valor de PIRE, las estaciones terrenas deben transmitir para saturar al transpondedor.

Tomando en cuenta cielo despejado (sin lluvia) y despreciando pérdidas por absorción atmosférica, apuntamiento, despolarización, se obtiene:

$$\left(\frac{C}{N_0} \right)_{asc} = F_s - 20 \log f + \left(\frac{G}{T} \right)_{sat} - 207.5 - m_a \text{ [dBHz]}$$

Dónde:

f = frecuencia ascendente en GHz

F_s = PIRE (Del Ingles EIRP, Equivalent Isotropic Radiated Power)

$\left(\frac{G}{T} \right)_{sat}$ = figura de mérito del satélite.

m_a = margen aceptable para el enlace, también llamado MI o margen de implementación.

Esta expresión implica sólo introducir la frecuencia del enlace de subida y el dato de densidad de flujo de saturación, la figura de mérito son dados por el fabricante del satélite y estimar un margen aceptable.

2.2.5 Intermodulación

Una vez que la señal es recibida por el satélite, esta debe ser amplificada, en algunos casos la señal es procesada y cambiar de portadora. En esta etapa se introduce ruido térmico y ruido de los dispositivos no lineales del satélite. A este último ruido se le conoce como ruido de intermodulación, debido al uso de múltiples portadoras moduladas, f_1 y f_2 , y sus respectivas componentes armónicas en la frecuencia o términos de alto grado, que están alrededor de la portadora.

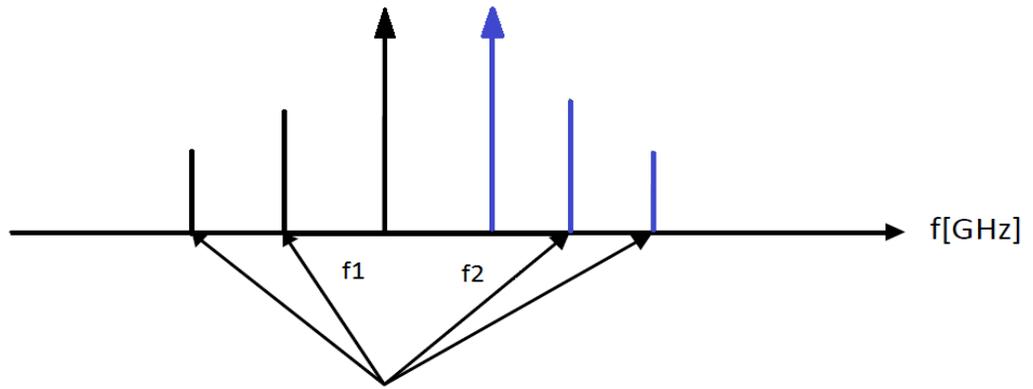


Figura 15. Intermodulación.

Las armónicas de la portadora en f2 son ruido para la portadora en f1 y viceversa. Mientras más grande sea el orden de las armónicas, menor es su amplitud. Con más portadoras en el transpondedor existe más ruido de intermodulación Figura 15.

El valor de relación portadora a ruido $\left(\frac{C}{N}\right)_{inter}$, en la etapa del satélite es definido como:

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{inter} = \frac{p_s}{n_{inter}}$$

Dónde:

p_s : Potencia del transmisor del satélite

n_{inter} : Ruido de intermodulación generado por el transpondedor.

Nótese que en esta expresión, se trata de la potencia de ruido en Watts, es decir, no se trata de la densidad espectral de potencia. Su cálculo es complicado, pero este es realizado por los fabricantes y proporcionado como dato para el diseñador de enlaces. Sin embargo existen curvas para poder estimarlo de acuerdo al número de portadoras y del back-off de entrada. Figura 16.

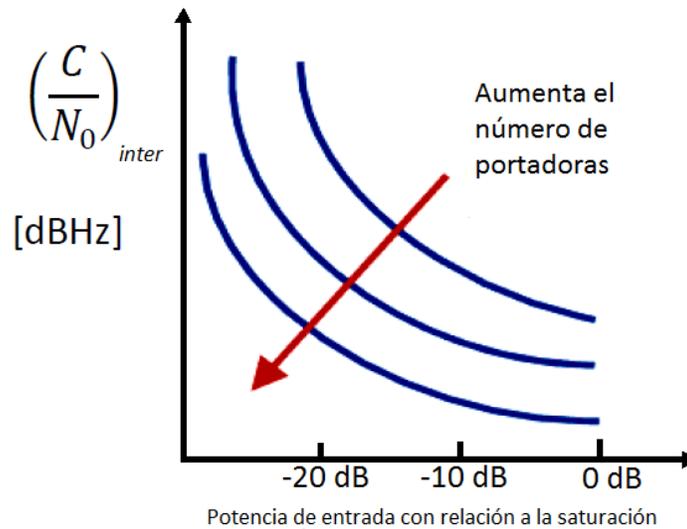


Figura 16. Variación de $\left(\frac{C}{N_0}\right)_{inter}$

El uso de anchos de banda estrechos ayuda a evitar problemas de intermodulación. Afecta más al acceso múltiple por frecuencia. Este fenómeno ocurre también en las estaciones terrenas que transmiten o reciben más de una portadora.

Es común introducir un parámetro denominado back-off (BO), el cual significa para el caso de la entrada de un sistema (BOe), una atenuación de la señal al nivel de punto de operación del amplificador, y para el caso de la salida (BOs), significa disminuir la señal de salida, ya que esta contiene el ruido amplificado. Incluir este parámetro en los cálculos disminuye el efecto del ruido de intermodulación en el enlace, ya que el punto de operación de los amplificadores se encuentra en la zona lineal.

2.2.6 Enlace Descendente

La señal después de ser convertida a una portadora con frecuencia menor que la portadora de subida, es transmitida a una estación terrena, la cual puede variar en dimensiones con respecto a la transmisora, además, las condiciones climáticas y geográficas serán distintas. Figura 17. El satélite utiliza amplificadores de bajo ruido.

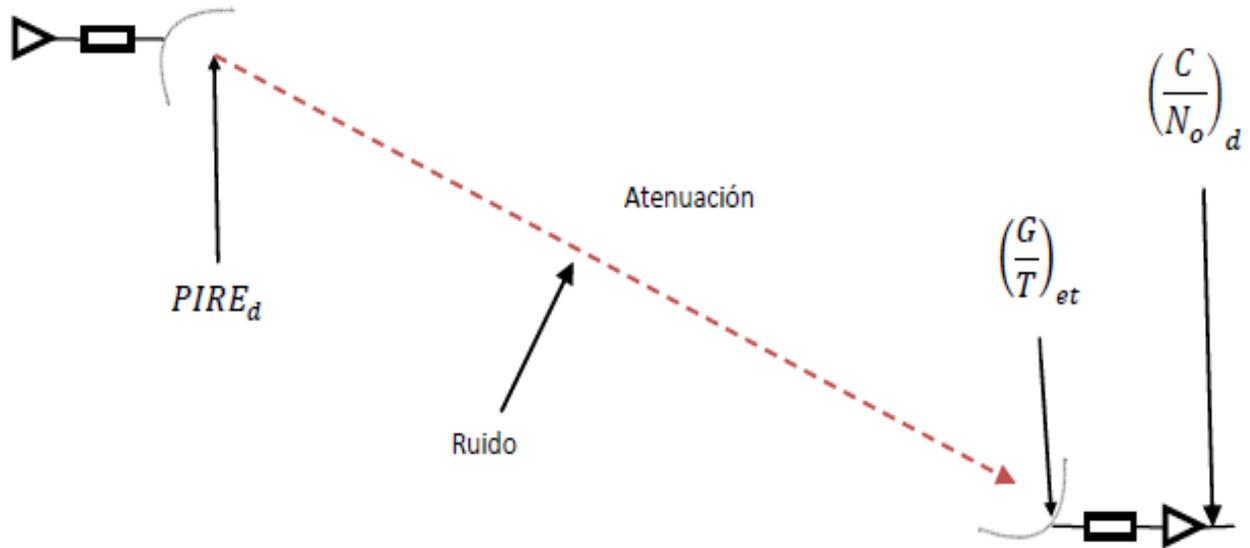


Figura 17. Enlace de Bajada.

La ecuación general para el enlace descendente, de manera homóloga a la del ascendente en [dBHz]:

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_{desc} = PIRE_a - L_{prop} + \left(\frac{G}{T}\right)_{est\ ter} - 10 \log k$$

Dónde:

$\left(\frac{C}{N_0}\right)_{desc}$ = relación portadora a densidad de ruido descendente

PIRE des = PIRE del satélite

$(G/T)_{est\ ter}$ = figura de mérito de la estación receptora

K = constante de Boltzman

2.2.7 Enlace Total

Ya se han descrito las principales etapas de un enlace vía satélite, enlace ascendente, descendente y el efecto de la intermodulación en el transpondedor. Para tener un parámetro que tiene implícita información de todo el trayecto de la señal, se tiene la relación portadora a densidad de ruido total. Significa, que tan grande es la potencia de la señal de información con respecto a la densidad de ruido. Se calcula de la siguiente forma:

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_t = 10 \log \left[\frac{1}{a \log \left(\frac{C}{N_0}\right)_a} + \frac{1}{a \log \left(\frac{C}{N_0}\right)_i} + \frac{1}{a \log \left(\frac{C}{N_0}\right)_d} \right]^{-1}$$

Dónde:

$\left(\frac{C}{N_0}\right)_a$ = resultado del enlace ascendente.

$\left(\frac{C}{N_0}\right)_i$ = resultado de la intermodulación del enlace.

$\left(\frac{C}{N_0}\right)_d$ = resultado de enlace descendente.

Es igual al recíproco de la suma de los recíprocos de cada relación portadora a densidad de ruido. Esta es una forma aceptada debido a que se hacen estimaciones en los márgenes respecto a cada enlace, sin embargo, estrictamente se deben tomar en cuenta más relaciones e interferencias de diferente índole como se puede apreciar en la siguiente ecuación:

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_t = 10 \log \left[\frac{1}{a \log \left(\frac{C}{N_0}\right)_a} + \frac{1}{a \log \left(\frac{C}{N_0}\right)_{intermod}} + \frac{1}{a \log \left(\frac{C}{N_0}\right)_d} + \frac{1}{a \log \left(\frac{C}{X}\right)_{interferencia}} \right]^{-1}$$

Esta expresión es útil para sistemas que tengan un disponibilidad muy buena, la disponibilidad es la relación entre el tiempo en determinado intervalo que el sistema se encuentra funcionando entre el total del tiempo del intervalo. Puede haber distintas interferencias: entre satélites, entre estaciones terrenas, un satélite interfiriendo con otra estación terrena. Además la intermodulación ocurre en las estaciones terrenas y en el satélite. Para el caso de satélites GEO, la más significativa es la interferencia entre satélites debido a la saturación de la órbita geoestacionaria.

Con esta ecuación de la relación total portadora a densidad de ruido se obtienen las demás relaciones y los parámetros de cada una. Del valor requerido, se substituye y se calculan los valores. El diseño del satélite arroja parámetros fijos en el diseño del enlace, es decir, el satélite es construido en base a tener su mejor desempeño en cuanto a potencia y costo, y durante el diseño del enlace estos parámetros difícilmente cambian. En algunos casos el patrón de radiación se pueden modificar o la potencia del satélite puede ser controlada por telemetría.

El valor requerido se obtiene de la tasa de datos deseada, R, la energía por bit (relacionada con el valor de BER, Bit Error Rate) y un margen de implementación (MI):

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_{requerido} = \frac{E_b}{N_0} + 10 \log R + MI$$

Los parámetros que podemos modificar físicamente, son el tamaño de la antena y el nivel de potencia, las frecuencias así como las ubicaciones de las estaciones terrenas son asignadas, y los efectos de propagación son inherentes a la naturaleza.

2.3 Satélites Regenerativos.

El satélite regenerativo, es lo más moderno en satélites actualmente. La principal diferencia con los satélites tradicionales es que cuentan con equipo de procesado a bordo. Esto quiere decir que cuenta con el equipo necesario para demodular una señal y remodular la misma para reenviarla.

Con el repetidor regenerativo, las señales de banda base, que han modulado la portadora del enlace ascendente, están disponibles en la salida del demodulador y estas señales se utilizan para modular la portadora de enlace descendente.

La frecuencia del enlace ascendente es cambiada para el enlace descendente utilizando un oscilador local, en un satélite transparente se obtiene por medio de modulación de una portadora nueva. Figura 18.

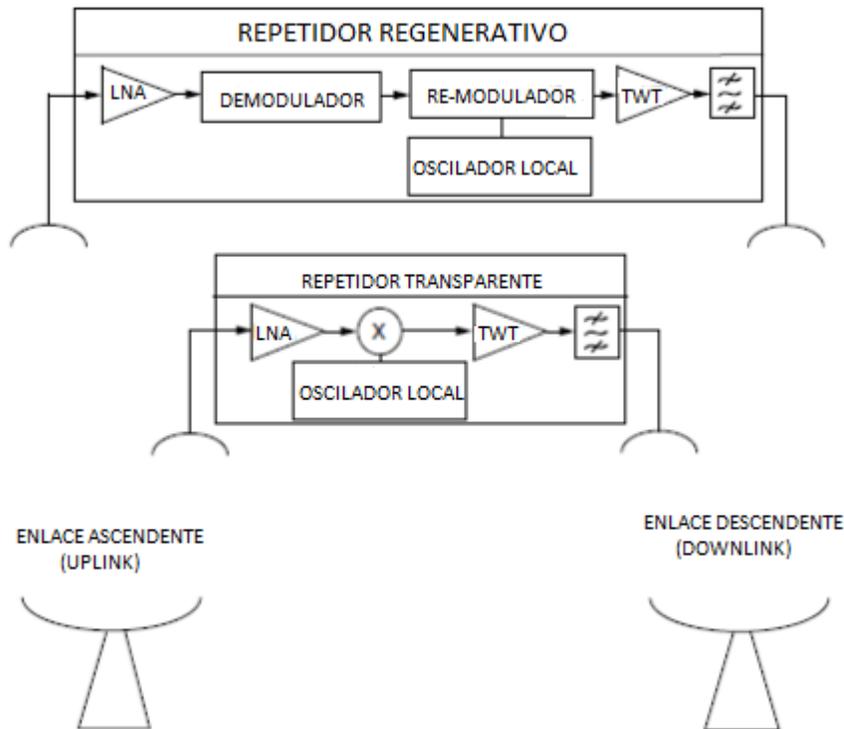


Figura 18. Diferencias entre satélite transparente y satélite regenerativo.

Asumimos que la probabilidad de error a la salida del demodulador está dada por tablas teóricas que provee el fabricante, es decir, no existe una degradación debido a la filtración o no linealidades.

Para un repetidor transparente el valor de $(E_b = N_0)T$ está determinada por la probabilidad de bit de error especificado para el enlace. El desempeño requerido se obtiene para un conjunto de valores de $E_b = N_0$ de enlace ascendente y del $E_b = N_0$ del enlace descendente con una ecuación combinada.

Para un repetidor regenerativo, mediante la combinación de la probabilidad de bit de error ascendente y una probabilidad de bit de error descendente, muestra una probabilidad de bit de error constante con los correspondientes de valores de $E_b = N_0$ ascendente ó del $E_b = N_0$ descendente.

CAPITULO 3 LA EVALUACIÓN DE ENLACES.

Para conocer el comportamiento de los cuatro estándares de televisión satelital (DVB-S, DVB-S2, ABS-S e ISDB-S), se los realizaron cálculos de enlace en los escenarios que se presentan en un enlace satelital, como puede ser que las condiciones sean ideales y no exista lluvia en el lugar de la estación transmisora, así como cielo también despejado en la zona de la estación receptora. También tomando en cuenta el peor escenario posible como es lluvia en ambos lados del enlace.

Para poder hacer estos cálculos se investigaron parámetros satelitales necesarios.

Los cálculos de enlace se realizaron con todos los estándares, con todas las modulaciones permitidas por cada estándar y los FEC's permitidos.

3.1 RESULTADOS DE EVALUACIÓN DE LOS ENLACES CON PORTADORA ÚNICA.

Para la realización del análisis consideraremos dos ciudades de la República Mexicana, La ciudad de México y la ciudad de Monterrey, las cuales son las más importantes del país económicamente hablando.

Se considera la posición orbital donde actualmente se encuentra el satélite SATMEX 5, que en breve será cambiado por el satélite SATMEX 8.

El análisis se realiza para comparar el desempeño de los estándares con portadora única y portadoras múltiples. Así como las diferencias de usar portadoras múltiples en banda KU, banda KA, banda KA en satélites regenerativos.

En la figura 19 permite observar la posición del satélite en la posición orbital W116, con respecto a la Ciudad de México y la ciudad de Monterrey.

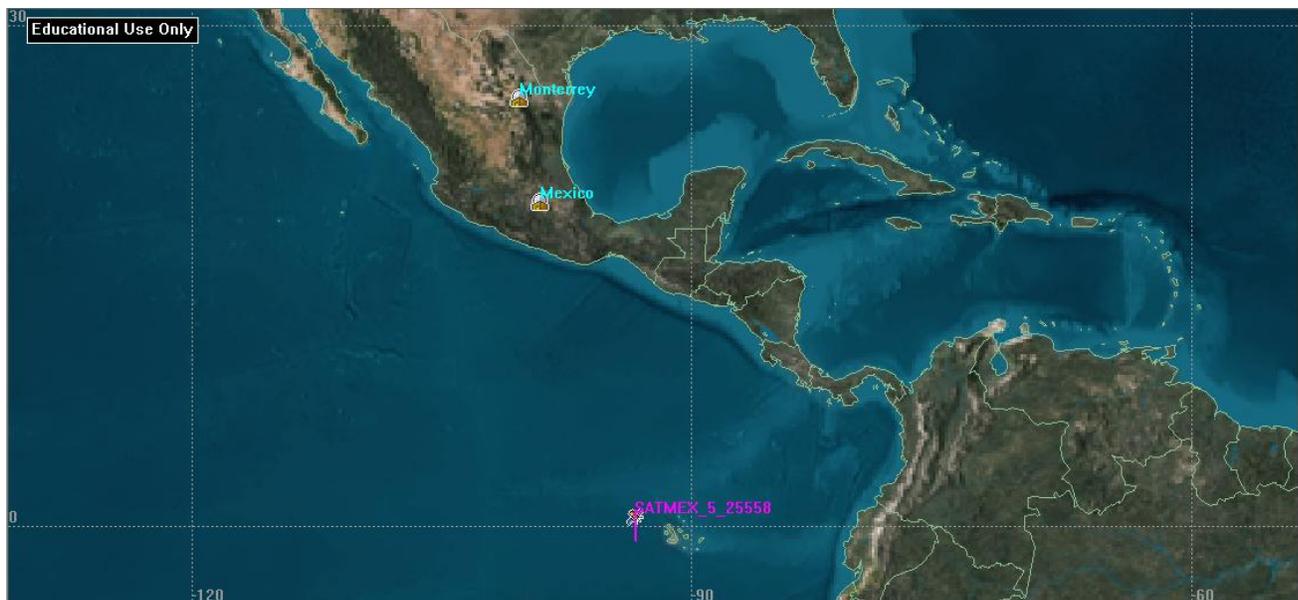


Figura 19. Enlace Ciudad de México- Satélite – Ciudad de Monterrey.

3.2 Resultados en la banda KU.

En la tabla de datos se muestra los datos necesarios tomados en cuenta para la realización de los cálculos de los cuatro estándares DVB-S, DVB-S2, ABS-S, ISDB-S en la banda KU.

En todos los cálculos de enlace se utilizó una PIRE de la estación Transmisora de 80 dB en todos los escenarios y todos los estándares, fue un parámetro que se mantuvo fijo.

Tabla 1 .Tabla datos para enlace en banda KU.

DATOS DE LA PORTADORA					
Estándar	DVB-S, DVB-S2, ABS-S, ISDB-S				
Symbol Rate	Variable	KBaud			
Modulación:	Variable				
F.E.C.:	Variable				
Tasa De Datos	58071	Kbps			
Roll-off:	0.35				
Eb/No:	3.75	dB			
Relación E/R BER:	10 ⁻⁷				
Ancho de Banda Requerido	36000	kHz			
Ancho de Banda Asignado:	36000	kHz			
DATOS DEL SATÉLITE		SATMEX 8			
Posición del satélite	116.8	W			
Ancho de banda del Transpondedor:	36	MHz			
	Enlace Ascendente		Enlace Descendente		
Banda de Operación:	14-14.5	GHz	11.7-12.2	GHz	
Frecuencia Central del TP	14.04	GHz	11.74	GHz	
Polaridad:	Vertical		Horizontal		
DATOS DE ESTACION TERRENA		Transmisor		Receptor	
Localidad	México D.F., México		Monterrey, Nuevo León		
Latitud:	19.4	N	25.67	N	
Longitud:	99.14	W	100.3	W	
Disponibilidad Ascendente.:	99.8	%	99.8	%	
Disponibilidad Descendente.:	99.8	%	99.8	%	
Diámetro de Antena:	7	m	0.9	m	
Ganancia de Antena Tx:	58.03	dBi	40.21	dBi	
Ganancia de Antena Rx:	56.48	dBi	38.66	dBi	
Temperatura de la Antena Rx	30	K	30	K	
Temperatura Total del Sistema:	190	K	152	K	
Figura de Merito Satélite (G/T):	3.36	dB/K	3.88	dB/K	
PIRE en saturación del Transpondedor:	51.02	dBW	50.58	dBW	

La tabla 1, muestra los datos necesarios para la realización de los enlaces, los parámetros de la estación transmisora y receptora, así como la posición orbital.

Tabla 2. Datos del enlace que se repiten en todos los estándares.

ENLACE ASCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
-------------------	-----------------	-------------------	--------------------	--------------------	--

Azimut E/T Transmisora	223.79	223.79	223.79	223.79	°
Elevación E/T Transmisora	59.61	59.61	59.61	59.61	°
Disponibilidad	99.80	99.80	99.80	99.80	%
PIRE estación transmisora	80.00	80.00	80.00	80.00	dBW
Perdidas por Espacio Libre	206.64	206.64	206.64	206.64	dB
Perdidas misceláneas	1.00	1.00	1.00	1.00	dB
Margen de Lluvia	0.00	6.30	0.00	6.30	dB
ENLACE DESCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Azimut E/T Receptora	214.36	214.36	214.36	214.36	°
Elevación E/T Receptora	54.79	54.79	54.79	54.79	°
Disponibilidad	99.80	99.80	99.80	99.80	%
P.I.R.E. en saturación Transpondedor	51.02	44.72	51.02	44.72	dBW
Perdidas por Espacio Libre	205.15	205.15	205.15	205.15	dB
Perdidas misceláneas	1.00	1.00	1.00	1.00	dB
Margen de Lluvia	0.00	0.00	1.30	1.30	dB
G/T de la E/T Receptora	16.84	16.84	16.84	16.84	dB/K

En la tabla 2 se muestran los datos que se repiten en todos los enlaces en la banda ku.

3.2.1 Resultados DVB-S en banda KU.

Evaluación del Enlace Estándar DVB-S, Banda KU, Modulación QPSK, FEC 1/2. Se muestra en la modulación QPSK para tener una mejor muestra, ya que los diferentes estándares permiten esta modulación y un FEC de ½.

El estándar DVB-S solo permite dos modulaciones, BPSK y QPSK. Y permite FEC's desde ½ a 9/10.

Tabla 3. Resultados DVB-S en banda KU.

ENLACE ASCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Ascendente	104.32	98.02	104.32	98.02	dBHz
Relación C/N Ascendente	25.37	19.07	25.37	19.07	dB
ENLACE DESCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Descendente	90.51	84.21	89.21	82.91	dBHz
Relación C/N Descendente	11.57	5.27	10.27	3.97	dB
MARGEN DE ENLACE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/N Total Sistema	11.15	4.87	9.95	3.67	dB
Relación C/N Requerida	5.83	5.83	5.83	5.83	dB
MARGEN DEL ENLACE:	5.32	-0.96	4.13	-2.16	dB

En la tabla 3 se puede observar que los enlaces con condiciones de lluvia descendente con una modulación de QPSK y FEC de $\frac{1}{2}$ y con lluvia en ambos lados no se logran enlazar. En el escenario de condiciones sin lluvia en ambos lados y sin lluvia en el receptor el nivel para lograr los enlaces es satisfactorio. Esto con una disponibilidad del 99.80 %. Para realizar un enlace exitoso bajo cualquier condición se debe de optar por una modulación QPSK pero con un FEC de $\frac{2}{3}$, a $\frac{9}{10}$.

3.2.2 Resultados DVB-S2 en banda KU.

Evaluación del Enlace Estándar DVB-S2, Banda KU, Modulación QPSK, FEC 1/2. Se muestra en la modulación QPSK para tener una mejor muestra, ya que los diferentes estándares permiten esta modulación y un FEC de $\frac{1}{2}$.

El estándar DVB-S2 permite

- QPSK con FEC $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{5}$, $\frac{1}{2}$;
- 8PSK con FEC's desde $\frac{1}{2}$ a $\frac{9}{10}$;
- 16APSK con FEC's desde $\frac{1}{2}$ a $\frac{9}{10}$;
- 32APSK con FEC's desde $\frac{1}{2}$ a $\frac{9}{10}$;

Tabla 4. Resultados DVB-S2 en banda KU.

ENLACE ASCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Ascendente	104.32	98.02	104.32	98.02	dBHz
Relación C/N Ascendente	25.37	19.07	25.37	19.07	dB
ENLACE DESCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Descendente	90.11	83.81	88.81	82.51	dBHz
Relación C/N Descendente	11.17	4.87	9.87	3.57	dB
MARGEN DE ENLACE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/N Total del Sistema	10.66	4.36	9.48	3.18	dB
Relación C/N Requerida	5.83	5.83	5.83	5.83	dB
MARGEN DEL ENLACE:	4.83	-1.47	3.66	-2.64	dB

El comportamiento con el estándar DVB-S2 mantiene las características de DVB-S, en condiciones de lluvia tanto en el área del transmisor y lluvia en ambos lados los niveles para enlace caen haciendo imposible la comunicación (tabla 4). Sin lluvia el enlace se realiza sin contratiempos así como en el escenario de que llueva en el área del transmisor pero sin lluvia en el enlace descendente. En este estándar para tener

realizar un enlace aun en condiciones de lluvia en ambos lados se pueden utilizar una modulación 8PSK con FEC de 2/3 a 9/10, 16APSK de 1/2 a 9/10, 32APSK de 2/5, 1/2 hasta 9/10.

3.2.3 Resultados ABS-S en banda KU.

Evaluación del Enlace Estándar ABS-S, Banda KU, Modulación QPSK, FEC 1/2. Se muestra en la modulación QPSK para tener una mejor muestra, ya que los diferentes estándares permiten esta modulación y un FEC de 1/2.

El estándar ABS-S permite

- QPSK con FEC's desde 1/2 a 9/10;
- 8PSK con FEC's 3/5, 2/3, 3/4, 5/6, 13/15 y 9/10;
- 16APSK con FEC's 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 13/15 y 9/10;
- 32APSK con FEC's 3/4, 4/5, 5/6, 13/15 y 9/10;

Tabla 5. Resultados ABS-S en banda KU.

ENLACE ASCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Ascendente	104.32	98.02	104.32	98.02	dBHz
Relación C/N Ascendente	25.71	19.41	25.71	19.41	dB
ENLACE DESCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Descendente	90.51	84.21	89.21	82.91	dBHz
Relación C/N Descendente	11.90	5.60	10.60	4.30	dB
MARGEN DE ENLACE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/N Total del Sistema	11.71	5.43	10.46	4.17	dB
Relación C/N Requerida	5.83	5.83	5.83	5.83	dB
MARGEN DEL ENLACE:	5.88	-0.40	4.63	-1.65	dB

En el caso del estándar ABS-S en la banda KU sin lluvia y con solo lluvia ascendente los enlaces se realizan sin problema, hasta con holgura. Pero en condiciones de lluvia ascendente y lluvia en ambos lados los parámetros se encuentran por debajo del mínimo para un enlace exitoso (Tabla 5). Para realizar el enlace en cualquier condición, aún con lluvia en ambos lados se puede optar por una modulación QPSK 3/4, 5/6, 13/15 y 9/10. O también se puede optar por cualquiera de las tres modulaciones restantes con cualquier FEC.

3.2.4 Resultados ISDB-S en banda KU.

Evaluación del Enlace Estándar ISDB-S, Banda KU, Modulación QPSK, FEC 1/2. Se muestra en la modulación QPSK para tener una mejor muestra, ya que los diferentes estándares permiten esta modulación y un FEC de 1/2.

El estándar ISDB-S permite

- QPSK con FEC's 1/16, 1/14, 1/8, 1/2, 2/3, 7/8;
- 16QAM con FEC's 1/16, 1/14, 1/8, 1/2, 2/3, 7/8;
- 32QAM con FEC's 1/16, 1/14, 1/8, 1/2, 2/3, 7/8;

Tabla 6. Resultados ISDB-S en banda KU.

ENLACE ASCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Ascendente	104.32	98.02	104.32	98.02	dBHz
Relación C/N Ascendente	25.71	19.41	25.37	19.41	dB
ENLACE DESCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Descendente	90.51	84.21	88.56	82.91	dBHz
Relación C/N Descendente	11.90	5.60	9.62	4.30	dB
MARGEN DE ENLACE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/N Total del Sistema	11.01	4.93	7.02	3.80	dB
Relación C/N Requerida	5.83	5.83	5.83	5.83	dB
MARGEN DEL ENLACE:	5.18	-0.89	1.19	-2.03	dB

El comportamiento con el estándar ISDB-S mantiene las características de DVB-S, en condiciones de lluvia tanto en el área del transmisor y lluvia en ambos lados los niveles para enlace caen haciendo imposible la comunicación. Sin lluvia el enlace se realiza sin contratiempos así como en el escenario de que llueva en el área del transmisor pero sin lluvia en el enlace descendente Tabla 6.

En este estándar para tener realizar un enlace aún en condiciones de lluvia en ambos lados se pueden utilizar una modulación QPSK con un único FEC de 7/8, 16QAM con FEC de 1/2, 2/3 Y 7/8; 32QAM con FEC de 1/2, 2/3 Y 7/8.

Tabla 7. Margen de Enlace en la Banda KU con una portadora Única.

BANDA KU		CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
DVB-	MARGEN DEL ENLACE:	5.32	-0.96	4.13	-2.16	dB

S						
DVB-S2	MARGEN DEL ENLACE:	4.83	-1.47	3.66	-2.64	dB
ABS-S	MARGEN DEL ENLACE:	5.88	-0.40	4.63	-1.65	dB
ISDB-S	MARGEN DEL ENLACE:	5.18	-0.89	1.19	-2.03	dB

En la tabla 7 permite observar que en los escenarios de cielo despejado y lluvia descendente con las condiciones de energía propuestas, se pueden hacer ajustes disminuyendo la energía necesaria para realizar un enlace exitoso. Sabemos que 3 db es la mitad de la energía, la tabla nos permite ver que los estándares DVB-S, DVB-S2 y ABS-S permiten ahorros energeticos en los dos escenarios antes mencionados, y el estandar ISDB-S solo permite ahorros en condiciones de cielo despejado.

3.3 RESULTADOS EN BANDA KA.

En la tabla de datos se muestra los datos necesarios tomados en cuenta para la realización de los cálculos de los cuatro estándares DVB-S, DVB-S2, ABS-S, ISDB-S en la banda KU. El único cambio que se hizo en banda KA con respecto a banda KU fue disminuir las antenas receptoras de 90 cm de diámetro a 0.7 m.

Tabla 8. Tabla de datos para Enlace en banda KA.

DATOS DE LA PORTADORA					
Estándar	DVB-S, DVB-S2, ABS-S, ISDB-S				
Symbol Rate	Variable		KBaud		
Modulación:	Variable				
F.E.C.:	Variable				
Tasa De Datos	58071		Kbps		
Roll-off:	0.35				
Eb/No:	3.75		dB		
Relación E/R BER:	10 ⁻⁷				
Ancho de Banda Requerido	36000		kHz		
Ancho de Banda Asignado:	36000		kHz		
DATOS DEL SATÉLITE		SATMEX 8			
Posición del satélite	116.8		W		
Ancho de banda del Transpondedor:	36		MHz		
	Enlace Ascendente		Enlace Descendente		
Banda de Operación:	29.5 - 30	GHz	19.7 - 20.2	GHz	
Frecuencia Central del TP	29.7	GHz	19.7	GHz	
Polaridad:	Vertical		Horizontal		
DATOS DE ESTACION TERRENA		Transmisor		Receptor	
Localidad	México D.F., México		Monterrey, Nuevo León		
Latitud:	19.4	N	25.67	N	
Longitud:	99.14	W	100.3	W	
Disponibilidad Ascendente.:	99.00	%	99.00	%	
Disponibilidad Descendente.:	99.00	%	99.00	%	
Diámetro de Antena:	7	m	0.7	m	
Ganancia de Antena Tx:	64.54	dBi	44.54	dBi	
Ganancia de Antena Rx:	60.97	dBi	40.97	dBi	
Temperatura de la Antena Rx	30	K	30	K	
Temperatura Total del Sistema:	350	K	280	K	
Figura de Merito Satélite (G/T):	16.00	dB/K	16.00	dB/K	
PIRE en saturación del Transpondedor:	54	dBW	54	dBW	

En la tabla 8 se muestran los datos para la realización de los enlaces en la banda KA en todos los estándares.

Tabla 9. Parámetros presentes en todos los estándares.

ENLACE ASCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Azimut E/T Transmisora	223.79	223.79	223.79	223.79	°
Elevación E/T Transmisora	59.61	59.61	59.61	59.61	°
Disponibilidad	99.00	99.00	99.00	99.00	%
PIRE estación transmisora	80.00	80.00	80.00	80.00	dBW
Perdidas por Espacio Libre	213.15	213.15	213.15	213.15	dB
Perdidas misceláneas	1.00	1.00	1.00	1.00	dB
Margen de Lluvia	0.00	9.40	0.00	9.40	dB
ENLACE DESCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Azimut E/T Receptora	214.36	214.36	214.36	214.36	°
Elevación E/T Receptora	54.79	54.79	54.79	54.79	°
Disponibilidad	99.00	99.00	99.00	99.00	%
P.I.R.E. en saturación Transpondedor	54.00	44.60	54.00	44.60	dBW
Perdidas por Espacio Libre	209.65	209.65	209.65	209.65	dB
Perdidas misceláneas	1.00	1.00	1.00	1.00	dB
Margen de Lluvia	0.00	0.00	2.70	2.70	dB
G/T de la E/T Receptora	16.50	16.50	16.50	16.50	dB/K

La tabla 9 nos muestra los parámetros usados en todos los estándares de la banda KA.

3.3.1 Resultados DVB-S en banda KA.

Evaluación del Enlace Estándar DVB-S, Banda KA, Modulación QPSK, FEC 1/2. Se muestra en la modulación QPSK para tener una mejor muestra, ya que los diferentes estándares permiten esta modulación y un FEC de ½.

El estándar DVB-S solo permite dos modulaciones, BPSK y QPSK. Y permite FEC's desde ½ a 9/10.

Tabla 10. Resultados DVB-S en banda KA.

ENLACE ASCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Ascendente	110.45	101.05	110.45	101.05	dBHz
Relación C/N Ascendente	34.06	24.66	34.06	24.66	dB
ENLACE DESCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	

Relación C/No Descendente	88.66	79.26	85.96	76.56	dBHz
Relación C/N Descendente	12.27	2.87	9.57	0.17	dB
MARGEN DE ENLACE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/N Total Sistema	11.94	2.69	9.47	-0.01	dB
Relación C/N Requerida	5.83	5.83	5.83	5.83	dB
MARGEN DEL ENLACE:	6.12	-3.14	3.64	-5.83	dB

En la tabla de resultados 10 se puede observar que en la banda KA se conserva el comportamiento de la banda KU solo que se acentúa. Los enlaces con condiciones de lluvia descendente con una modulación de QPSK y FEC de $\frac{1}{2}$ y con lluvia en ambos lados no se logran realizar. En el escenario de condiciones sin lluvia en ambos lados y sin lluvia descendente los enlaces son satisfactorios. Esto con una disponibilidad del 99.80 %. A diferencia de la banda KU, en banda KA no es posible garantizar los enlaces en escenarios de lluvia debido a que la banda KA es más susceptible de atenuación por lluvia.

3.3.2 Resultados DVB-S2 en banda KA.

Evaluación del Enlace Estándar DVB-S2, Banda KA, Modulación QPSK, FEC 1/2. Se muestra en la modulación QPSK para tener una mejor muestra, ya que los diferentes estándares permiten esta modulación y un FEC de $\frac{1}{2}$.

El estándar DVB-S2 permite

- QPSK con FEC $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{5}$, $\frac{1}{2}$;
- 8PSK con FEC's desde $\frac{1}{2}$ a $\frac{9}{10}$;
- 16APSK con FEC's desde $\frac{1}{2}$ a $\frac{9}{10}$;
- 32APSK con FEC's desde $\frac{1}{2}$ a $\frac{9}{10}$;

Tabla 11. Resultados DVB-S2 en banda KA.

ENLACE ASCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Ascendente	110.45	101.05	110.45	101.05	dBHz
Relación C/N Ascendente	31.84	22.44	31.84	22.44	dB
ENLACE DESCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Descendente	88.66	79.26	85.96	76.56	dBHz
Relación C/N Descendente	10.05	0.65	7.35	-2.05	dB
MARGEN DE ENLACE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/N Total del Sistema	9.84	0.44	7.23	-2.17	dB
Relación C/N Requerida	5.83	5.83	5.83	5.83	dB

MARGEN DEL ENLACE:	4.01	-5.39	1.41	-7.99	dB
---------------------------	------	-------	------	-------	----

En los resultados de la tabla 11 se puede observar que en la modulación QPSK $\frac{1}{2}$, el comportamiento se mantiene funcionando solo los enlaces en escenarios sin lluvia y sin poder realizar los enlaces con lluvia.

En el peor escenario que es lluvia en ambos lados del enlace no es posible realizar el enlace, pero en el escenario de lluvia ascendente y descendente sin lluvia se puede realizar con una modulación 16APSK con FEC's 7/8, 8/9 y 9/10, 32APSK con FEC de $\frac{3}{4}$ a 9/10.

3.3.3 Resultados ABS-S en banda KA.

Evaluación del Enlace Estándar ABS-S, Banda KA, Modulación QPSK, FEC 1/2. Se muestra en la modulación QPSK para tener una mejor muestra, ya que los diferentes estándares permiten esta modulación y un FEC de $\frac{1}{2}$.

El estándar ABS-S permite

- QPSK con FEC's desde $\frac{1}{2}$ a 9/10;
- 8PSK con FEC's 3/5, 2/3, $\frac{3}{4}$, 5/6, 13/15 y 9/10;
- 16APSK con FEC's 2/3, $\frac{3}{4}$, 4/5, 5/6, 13/15 y 9/10;
- 32APSK con FEC's $\frac{3}{4}$, 4/5, 5/6, 13/15 y 9/10;

Tabla 12. Resultados ABS-S en banda KA.

ENLACE ASCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Ascendente	110.45	101.05	110.45	101.05	dBHz
Relación C/N Ascendente	31.84	22.44	31.84	22.44	dB
ENLACE DESCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Descendente	88.66	79.26	85.96	76.56	dBHz
Relación C/N Descendente	10.05	0.65	7.35	-2.05	dB
MARGEN DE ENLACE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/N Total del Sistema	9.84	0.44	7.23	-2.17	dB
Relación C/N Requerida	5.83	5.83	5.83	5.83	dB
MARGEN DEL ENLACE:	4.01	-5.39	1.41	-7.99	dB

Una vez más los resultados del estándar ABS-S en la banda KA es posible realizar los enlaces sin lluvia en ambos lados, y con lluvia solo en el receptor tabla 12. En condiciones en las que llueve en el transmisor no

importa si llueve o no en el enlace de bajada no es posible realizarlo. Con lluvia en ambos lados no es posible realizar el enlace con ningún tipo de modulación permitida, y en condiciones de lluvia ascendente se puede realizar el enlace con 2 modulaciones como lo son 16APSK con los FEC's 13/15 y 9/10; así como con la modulación 32APSK con cualquier FEC permitido.

3.3.4 Resultados ISDB-S en banda KA.

Evaluación del Enlace Estándar ISDB-S, Banda KA, Modulación QPSK, FEC 1/2. Se muestra en la modulación QPSK para tener una mejor muestra, ya que los diferentes estándares permiten esta modulación y un FEC de 1/2.

El estándar ISDB-S permite

- QPSK con FEC's 1/16, 1/14, 1/8, 1/2, 2/3, 7/8;
- 16QAM con FEC's 1/16, 1/14, 1/8, 1/2, 2/3, 7/8;
- 32QAM con FEC's 1/16, 1/14, 1/8, 1/2, 2/3, 7/8.

Tabla 13. Tabla de datos ISDB-S en banda KA.

ENLACE ASCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Ascendente	110.45	101.05	110.45	101.05	dBHz
Relación C/N Ascendente	31.51	22.44	31.84	22.44	dB
ENLACE DESCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Descendente	88.66	79.26	85.96	76.56	dBHz
Relación C/N Descendente	9.71	0.65	7.35	-2.05	dB
MARGEN DE ENLACE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/N Total del Sistema	9.34	0.32	7.14	-2.23	dB
Relación C/N Requerida	5.83	5.83	5.83	5.83	dB
MARGEN DEL ENLACE:	3.51	-5.50	1.32	-8.06	dB

Los resultados de la tabla 13 es posible realizar los enlaces sin lluvia en ambos lados, y con lluvia solo en el receptor. Los FEC's más protegidos como 1/16 y 1/14 aun cuando se encuentran los FEC's permitidos por el estándar en la banda KA no funcionan para realizar enlaces en ningún escenario. En condiciones en las que llueve en el transmisor no importa si llueve o no en el enlace de bajada no es posible realizarlo. Con lluvia en ambos lados no es posible realizar el enlace con ningún tipo de modulación permitida, y en condiciones de lluvia ascendente se puede realizar el enlace con una modulación 16QAM con dos FEC's 2/3 y 7/8.

Tabla 14. Margen de Enlace en la banda KA.

BANDA KA	CIELO	LLUVIA	LLUVIA	LLUVIA	
----------	-------	--------	--------	--------	--

		DESPEJADO	ASCENDENTE	DESCENDENTE	AMBOS LADOS	
DVB-S	MARGEN DEL ENLACE:	6.12	-3.14	3.64	-5.83	dB
DVB-S2	MARGEN DEL ENLACE:	4.01	-5.39	1.41	-7.99	dB
ABS-S	MARGEN DEL ENLACE:	4.01	-5.39	1.41	-7.99	dB
ISDB-S	MARGEN DEL ENLACE:	3.51	-5.50	1.32	-8.06	dB

La tabla 14 nos enseña que en cuestión de margen de enlace en la banda se logran con la energía propuesta tanto en la estación terrestre como en el satélite, permitiendo para la realización del enlace en condiciones de cielo despejado y lluvia descendente se pudiera ahorrar energía. Sabemos que 3 dB equivalen a la mitad de la potencia, por lo tanto en condición de cielo despejado se puede trabajar a la mitad de la potencia teniendo así ahorros.

3.4 RESULTADOS EN BANDA KA EN SATELITES REGENERATIVOS.

En la tabla de datos se muestra los datos necesarios tomados en cuenta para la realización de los cálculos de los cuatro estándares DVB-S, DVB-S2, ABS-S, ISDB-S en la banda KA regenerativo.

Tabla 15. Tabla de datos para enlace en banda KU regenerativo.

DATOS DE LA PORTADORA			
Estándar	DVB-S, DVB-S2, ABS-S, ISDB-S		
Symbol Rate	Variable	KBaud	
Modulación:	BPSK, QPSK		
F.E.C.:	Variable		
Tasa De Datos	58071	Kbps	
Roll-off:	0.35		
Eb/No:	3.75	dB	
Relación E/R BER:	10 ⁻⁷		
Ancho de Banda Requerido	36000	kHz	
Ancho de Banda Asignado:	36000	kHz	
DATOS DEL SATÉLITE			
Posición del satélite	116.8	W	
Ancho de banda del Transpondedor:	36	MHz	
	Enlace Ascendente		Enlace Descendente
Banda de Operación:	29.5 - 30	GHz	19.7 - 20.2 GHz
Frecuencia Central del TP	29.7	GHz	19.7 GHz
Polaridad:	Vertical		Horizontal
DATOS DE ESTACION TERRENA			
	Transmisor		Receptor
Localidad	México D.F., México		Monterrey, Nuevo León
Latitud:	19.4	N	25.67 N
Longitud:	99.14	W	100.3 W
Disponibilidad Ascendente.:	99.00	%	99.00 %
Disponibilidad Descendente.:	99.00	%	99.00 %
Diámetro de Antena:	7	m	0.7 m
Ganancia de Antena Tx:	64.54	dBi	44.54 dBi
Ganancia de Antena Rx:	60.97	dBi	40.97 dBi
Temperatura de la Antena Rx	30	K	30 K
Temperatura Total del Sistema:	350	K	280 K
Figura de Merito Satélite (G/T):	16.00	dB/K	16.00 dB/K

PIRE en saturación del Transpondedor:	54	dBW	54	dBW
---------------------------------------	----	-----	----	-----

En la banda KA, la tabla 15 muestra los parámetros necesarios para el enlace, mostrando los cambios de la frecuencia, temperatura de operación y tamaño de las antenas.

Tabla 16. Parámetros usados en los enlaces DVB-S, DVB-S2, ABS-S e ISDB-S.

ENLACE ASCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Azimut E/T Transmisora	223.79	223.79	223.79	223.79	°
Elevación E/T Transmisora	59.61	59.61	59.61	59.61	°
Disponibilidad	99.00	99.00	99.00	99.00	%
PIRE estación transmisora	80.00	80.00	80.00	80.00	dBW
Perdidas por Espacio Libre	213.15	213.15	213.15	213.15	dB
Perdidas misceláneas	1.00	1.00	1.00	1.00	dB
Margen de Lluvia	0.00	9.40	0.00	9.40	dB
ENLACE DESCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Azimut E/T Receptora	214.36	214.36	214.36	214.36	°
Elevación E/T Receptora	54.79	54.79	54.79	54.79	°
Disponibilidad	99.00	99.00	99.00	99.00	%
P.I.R.E. en saturación Transpondedor	54.00	54.00	54.00	54.00	dBW
Perdidas por Espacio Libre	209.65	209.65	209.65	209.65	dB
Perdidas misceláneas	1.00	1.00	1.00	1.00	dB
Margen de Lluvia	0.00	0.00	2.70	2.70	dB
G/T de la E/T Receptora	16.50	16.50	16.50	16.50	dB/K

En la tabla 16 se muestran los parámetros usados en todos los estándares.

3.4.1 Resultados DVB-S en Banda KA en Satélites Regenerativos.

Evaluación del Enlace Estándar DVB-S, Banda KA en satélites regenerativos, Modulación QPSK, FEC 1/2. Se muestra en la modulación QPSK para tener una mejor muestra, ya que los diferentes estándares permiten esta modulación y un FEC de ½.

El estándar DVB-S solo permite dos modulaciones, BPSK y QPSK. Y permite FEC's desde ½ a 9/10.

Tabla 17. Resultados DVB-S en banda Ka regenerativo.

ENLACE ASCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Ascendente	110.45	101.05	110.45	101.05	dBHz
Relación C/N Ascendente	34.06	24.66	34.06	24.66	dB
ENLACE DESCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS	

				LADOS	
Relación C/No Descendente	88.66	88.66	85.96	85.96	dBHz
Relación C/N Descendente	12.27	12.27	9.57	9.57	dB
MARGEN DE ENLACE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/N Total Sistema	12.15	11.39	9.50	9.07	dB
Relación C/N Requerida	5.83	5.83	5.83	5.83	dB
MARGEN DEL ENLACE:	6.32	5.56	3.68	3.24	dB

Como muestran los resultados de la tabla 17 en la banda KA al utilizar un satélite regenerativo los enlaces se logran sin ningún problema, a diferencia de los satélites tradicionales. Aún en condiciones del peor escenario con lluvia en ambos lados se pueden realizar los enlaces con la modulación BPSK con FEC's de 4/5 hasta 9/10; así como con la modulación QPSK con cualquier FEC.

3.4.2 Resultados DVB-S2 en Banda KA en Satélites Regenerativos.

Evaluación del Enlace Estándar DVB-S2, Banda KA en Satélites Regenerativos, Modulación QPSK, FEC 1/2. Se muestra en la modulación QPSK para tener una mejor muestra, ya que los diferentes estándares permiten esta modulación y un FEC de ½.

Evaluación del Enlace Estándar DVB-S2, Banda KA, Modulación QPSK, FEC 1/2. Se muestra en la modulación QPSK para tener una mejor muestra, ya que los diferentes estándares permiten esta modulación y un FEC de ½.

El estándar DVB-S2 permite

- QPSK con FEC ½, 1/3, 2/5, ½;
- 8PSK con FEC's desde ½ a 9/10;
- 16APSK con FEC's desde ½ a 9/10;
- 32APSK con FEC's desde ½ a 9/10;

Tabla 18. Resultados DVB-S2 en banda Ka regenerativo.

ENLACE ASCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Ascendente	110.45	104.15	110.45	104.15	dBHz
Relación C/N Ascendente	31.51	25.21	31.51	25.21	dB
ENLACE DESCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Descendente	86.91	86.91	85.61	85.61	dBHz
Relación C/N Descendente	7.97	7.97	6.67	6.67	dB
MARGEN DE ENLACE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	

Relación C/N Total del Sistema	7.66	7.31	6.44	6.17	dB
Relación C/N Requerida	5.83	5.83	5.83	5.83	dB
MARGEN DEL ENLACE:	1.87	1.48	0.61	0.34	dB

En el estándar DVB-S2 en un satélite regenerativo utilizando la modulación QPSK con los FEC's 2/5 y 1/2 se pueden realizar enlaces exitosos aún en escenarios con lluvia en ambos lados tabla 18. Utilizando 8PSK solo el FEC 1/4 es ineficaz en condiciones de lluvia en ambos lados, los demás FEC's son capaces de lograr enlaces exitosos. El resto de las modulaciones con cualquier FEC permite la realización de los enlaces.

3.4.3 Resultados ABS-S en Banda KA en Satélites Regenerativos.

Evaluación del Enlace Estándar ABS-S, Banda KA, Modulación QPSK, FEC 1/2. Se muestra en la modulación QPSK para tener una mejor muestra, ya que los diferentes estándares permiten esta modulación y un FEC de 1/2.

El estándar ABS-S permite

- QPSK con FEC's desde 1/2 a 9/10;
- 8PSK con FEC's 3/5, 2/3, 1/4, 5/6, 13/15 y 9/10;
- 16APSK con FEC's 2/3, 1/4, 4/5, 5/6, 13/15 y 9/10;
- 32APSK con FEC's 1/4, 4/5, 5/6, 13/15 y 9/10;

Tabla 19. Resultados ABS-S en banda KA regenerativo.

ENLACE ASCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación Ascendente C/No	110.45	104.15	110.45	104.15	dBHz
Relación Ascendente C/N	31.51	25.21	31.51	25.21	dB
ENLACE DESCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación Descendente C/No	86.91	86.91	85.61	85.61	dBHz
Relación Descendente C/N	7.97	7.97	6.67	6.67	dB
MARGEN DE ENLACE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/N Total del Sistema	7.51	7.18	6.33	6.07	dB
Relación Requerida C/N	5.83	5.83	5.83	5.83	dB
MARGEN DEL ENLACE:	1.73	1.35	0.50	0.24	dB

En tabla 19 el caso del estándar ABS-S solo el FEC 1/4 en la modulación QPSK no permite un enlace exitoso en condiciones de lluvia descendente y lluvia en ambos lados. El resto de los FEC's en QPSK permiten lograr los

enlaces. El resto de las modulaciones con cualquier FEC al utilizar satélites regenerativos permiten hacer enlaces exitosos.

3.4.4 Resultados ISDB-S en Banda KA en Satélites Regenerativos.

Evaluación del Enlace Estándar ISDB-S, Banda KA, Modulación QPSK, FEC 1/2. Se muestra en la modulación QPSK para tener una mejor muestra, ya que los diferentes estándares permiten esta modulación y un FEC de 1/2.

El estándar ISDB-S permite

- QPSK con FEC's 1/16, 1/14, 1/8, 1/2, 2/3, 7/8;
- 16QAM con FEC's 1/16, 1/14, 1/8, 1/2, 2/3, 7/8;
- 32QAM con FEC's 1/16, 1/14, 1/8, 1/2, 2/3, 7/8.

Tabla 20. Resultados ISDB-S en banda KA regenerativo.

ENLACE ASCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Ascendente	110.45	101.05	110.45	101.05	dBHz
Relación C/N Ascendente	31.84	22.44	31.84	22.44	dB
ENLACE DESCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Descendente	88.66	88.66	85.96	85.96	dBHz
Relación C/N Descendente	10.05	10.05	7.35	7.35	dB
MARGEN DE ENLACE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/N Total del Sistema	9.93	9.17	7.28	6.85	dB
Relación C/N Requerida	5.83	5.83	5.83	5.83	dB
MARGEN DEL ENLACE:	4.10	3.34	1.46	1.03	dB

En cuestión del estandar ISDB-S el desempeño tabla 20 en un satélite regenerativo para hacer un enlace exitoso se puede usar las tres modulaciones permitidas del estandar (QPSK, 16AQM y 32QAM) con FEC's de 1/2, 2/3 y 7/8.

Tabla 21. Margen de Enlace en la banda KA en satélite regenerativo.

BANDA KA, SATELITE REGENERATIVO		CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
DVB-S	MARGEN DEL ENLACE:	6.32	5.56	3.68	3.24	dB
DVB-S2	MARGEN DEL ENLACE:	1.87	1.48	0.61	0.34	dB
ABS-S	MARGEN DEL ENLACE:	1.73	1.35	0.50	0.24	dB
ISDB-S	MARGEN DEL ENLACE:	4.10	3.34	1.46	1.03	dB

En cuestion de energía la tabla 21 enseña que con cielo despejado y con lluvia descendente se pueden hacer ajustes para ahorrar la mitad de la potencia en todos los estandares estudiados. El estandar DVBD-S permite en cualquier situacion ahorrar energia todo gracias al uso de un satélite regenerativo.

CAPITULO 4

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE ENLACES.

4.1 Evaluación de los Enlaces con Portadoras Múltiples.

En la tabla 22 se muestra los datos necesarios tomados en cuenta para la realización de los cálculos de los cuatro estándares DVB-S, DVB-S2, ABS-S, ISDB-S en la banda KU, con portadoras múltiples. La diferencia entre portadoras múltiples y portadora única es que para los cálculos se necesita utilizar un Back-Off en la potencia utilizada.

Tabla 22. Tabla de datos para enlace en banda Ku con portadoras Múltiples.

DATOS DE LA PORTADORA					
Estándar	DVB-S, DVB-S2, ABS-S, ISDB-S				
Symbol Rate	Variable	KBaud			
Modulación:	BPSK, QPSK				
F.E.C.:	Variable				
Tasa De Datos	6000	Kbps			
Roll-off:	0.35				
Eb/No:	3.75	dB			
Relación E/R BER:	10 ⁻⁷				
Ancho de Banda Requerido	6000	kHz			
Ancho de Banda Asignado:	36000	kHz			
DATOS DEL SATÉLITE		SATMEX 8			
Posición del satélite	116.8	W			
Ancho de banda del Transpondedor:	36	MHz			
	Enlace Ascendente	Enlace Descendente			
Banda de Operación:	14-14.5	GHz	11.7-12.2	GHz	
Frecuencia Central del TP	14.04	GHz	11.74	GHz	
Polaridad:	Vertical		Horizontal		
DATOS DE ESTACION TERRENA		Transmisor		Receptor	
Localidad	México D.F., México		Monterrey, Nuevo León		
Latitud:	19.4	N	25.67	N	
Longitud:	99.14	W	100.3	W	
Disponibilidad Ascendente.:	99.8	%	99.8	%	
Disponibilidad Descendente.:	99.8	%	99.8	%	
Diámetro de Antena:	7	m	0.9	m	
Ganancia de Antena Tx:	58.03	dBi	40.21	dBi	
Ganancia de Antena Rx:	56.48	dBi	38.66	dBi	
Temperatura de la Antena Rx	30	K	30	K	
Temperatura Total del Sistema:	190	K	152	K	
Figura de Merito Satélite (G/T):	3.36	dB/K	3.88	dB/K	
PIRE en saturación del Transpondedor:	51.02	dBW	50.58	dBW	

Tabla 23. Parametros comunes en banda ku, con portadoras múltiples.

ENLACE ASCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	

Azimut E/T Transmisora	223.79	223.79	223.79	223.79	°
Elevación E/T Transmisora	59.61	59.61	59.61	59.61	°
Disponibilidad	99.80	99.80	99.80	99.80	%
PIRE estación transmisora	72.50	72.50	72.50	72.50	dBW
Perdidas por Espacio Libre	206.64	206.64	206.64	206.64	dB
Perdidas misceláneas	1.00	1.00	1.00	1.00	dB
Margen de Lluvia	0.00	6.30	0.00	6.30	dB
ENLACE DESCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Azimut E/T Receptora	214.36	214.36	214.36	214.36	°
Elevación E/T Receptora	54.79	54.79	54.79	54.79	°
Disponibilidad	99.80	99.80	99.80	99.80	%
P.I.R.E. en saturación Transpondedor	45.58	39.28	45.58	39.28	dBW
Perdidas por Espacio Libre	205.15	205.15	205.15	205.15	dB
Perdidas misceláneas	1.00	1.00	1.00	1.00	dB
Margen de Lluvia	0.00	0.00	1.30	1.30	dB
G/T de la E/T Receptora	16.84	16.84	16.84	16.84	dB/K

En la tabla 23 se muestran los parametros que se ocupan para los calculos de enlaces de todos los estandares en la banda ku al utilizar portadoras múltiples.

4.2 RESULTADOS EN LA BANDA KU CON PORTADORAS MÚLTIPLES.

4.2.1 Resultados DVB-S en Banda KU con Portadoras Múltiples.

Evaluación del Enlace Estándar DVB-S, Banda KU, Modulación QPSK, FEC 1/2. Se muestra en la modulación QPSK para tener una mejor muestra, ya que los diferentes estándares permiten esta modulación y un FEC de ½.

El estándar DVB-S solo permite dos modulaciones, BPSK y QPSK. Y permite FEC's desde ½ a 9/10.

Tabla 24. Resultados DVB-S en banda Ku con portadoras Multiples.

ENLACE ASCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Ascendente	96.82	90.52	96.82	90.52	dBHz
Relación C/N Ascendente	30.28	23.98	30.28	23.98	dB
ENLACE DESCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Descendente	85.07	78.77	83.77	77.47	dBHz
Relación C/N Descendente	18.54	12.24	17.24	10.94	dB
MARGEN DE ENLACE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS	

				LADOS	
Relación C/N Total Sistema	17.88	11.61	16.74	10.47	dB
Relación C/N Requerida	3.75	3.75	3.75	3.75	dB
MARGEN DEL ENLACE:	14.13	7.86	12.99	6.72	dB

En la tabla 24 se puede observar que se logran los enlaces sin problema en todas las condiciones con una disponibilidad del 99.80 %. Para escenarios con lluvia en ambos lados solo en BPSK ¼ y BPSK 1/3 no es posible realizar los enlaces. El resto de los FEC's permiten los enlaces. En QPSK cualquier FEC permite el enlace.

4.2.2 Resultados DVB-S2 en Banda KU con Portadoras Múltiples.

Evaluación del Enlace Estándar DVB-S2, Banda KU, Modulación QPSK, FEC 1/2. Se muestra en la modulación QPSK para tener una mejor muestra, ya que los diferentes estándares permiten esta modulación y un FEC de ½.

El estándar DVB-S2 permite

- QPSK con FEC ½, 1/3, 2/5, ½;
- 8PSK con FEC's desde ½ a 9/10;
- 16APSK con FEC's desde ½ a 9/10;
- 32APSK con FEC's desde ½ a 9/10;

Tabla 25. Resultados DVB-S2 en banda Ku con portadoras Múltiples.

ENLACE ASCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Ascendente	89.32	83.02	89.32	83.02	dBHz
Relación C/N Ascendente	20.57	14.27	20.57	14.27	dB
ENLACE DESCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Descendente	85.11	78.81	83.81	77.51	dBHz
Relación C/N Descendente	16.36	10.06	15.06	8.76	dB
MARGEN DE ENLACE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/N Total del Sistema	14.35	8.05	13.48	7.18	dB
Relación C/N Requerida	3.75	3.75	3.75	3.75	dB
MARGEN DEL ENLACE:	10.60	4.30	9.73	3.43	dB

El estándar DVB-S2 en la tabla 25 muestra que es el sistema más versátil, al utilizar portadoras múltiples a pesar de la disminución de la potencia se logran los enlaces en cualquier escenario.

4.2.3 Resultados ABS-S en Banda KU con Portadoras Múltiples.

Evaluación del Enlace Estándar ABS-S, Banda KU, Modulación QPSK, FEC 1/2. Se muestra en la modulación QPSK para tener una mejor muestra, ya que los diferentes estándares permiten esta modulación y un FEC de ½.

El estándar ABS-S permite

- QPSK con FEC's desde ½ a 9/10;
- 8PSK con FEC's 3/5, 2/3, ¾, 5/6, 13/15 y 9/10;
- 16APSK con FEC's 2/3, ¾, 4/5, 5/6, 13/15 y 9/10;
- 32APSK con FEC's ¾, 4/5, 5/6, 13/15 y 9/10;

Tabla 26. Resultados ABS-S en banda Ku con portadoras Múltiples.

ENLACE ASCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Ascendente	86.82	80.52	86.82	80.52	dBHz
Relación C/N Ascendente	18.07	11.77	18.07	11.77	dB
ENLACE DESCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Descendente	85.07	80.07	78.77	78.77	dBHz
Relación C/N Descendente	16.32	11.32	10.02	10.02	dB
MARGEN DE ENLACE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/N Total del Sistema	11.00	6.42	8.61	5.96	dB
Relación C/N Requerida	3.75	3.75	3.75	3.75	dB
MARGEN DEL ENLACE:	7.25	2.67	4.86	2.21	dB

De la tabla 26 se observa que los enlaces son exitosos. El único FEC que no logra realizar los enlaces en la modulación BPSK es ¼, el resto permiten el enlace. En la modulación QPSK todos los FEC's permiten los enlaces.

4.2.4 Resultados ISDB-S en Banda KU con Portadoras Múltiples.

Evaluación del Enlace Estándar ISDB-S, Banda KU, Modulación QPSK, FEC 1/2. Se muestra en la modulación QPSK para tener una mejor muestra, ya que los diferentes estándares permiten esta modulación y un FEC de ½.

El estándar ISDB-S permite

- QPSK con FEC's 1/16, 1/14, 1/8, ½, 2/3, 7/8;
- 16QAM con FEC's 1/16, 1/14, 1/8, ½, 2/3, 7/8;
- 32QAM con FEC's 1/16, 1/14, 1/8, ½, 2/3, 7/8.

Tabla 27. Resultados ISDB-S en banda Ku con portadoras Múltiples.

ENLACE ASCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Ascendente	96.82	98.02	104.32	98.02	dBHz
Relación C/N Ascendente	28.07	19.07	25.37	19.07	dB
ENLACE DESCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Descendente	87.15	89.86	88.56	88.56	dBHz
Relación C/N Descendente	18.40	10.92	9.62	9.62	dB
MARGEN DE ENLACE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/N Total del Sistema	16.88	7.17	7.02	6.57	dB
Relación C/N Requerida	3.75	5.83	5.83	5.83	dB
MARGEN DEL ENLACE:	13.13	1.34	1.19	0.75	dB

En la tabla 27, los resultados se logran los enlaces sin problemas, en QPSK los FEC's 1/16, 1/14 y 1/8 son los que no permiten la realización del enlace, los demás FEC's permiten el enlace en cualquier escenario. En la modulación 16QAM con un FEC 1/16 no permite un enlace exitoso con lluvia en ambos lados.

Tabla 28. Margen de Enlace en la Banda KU con portadoras múltiples.

BANDA KU, PORTADORAS MÚLTIPLES		CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
DVB-S	MARGEN DEL ENLACE:	14.13	7.86	12.99	6.72	dB
DVB-S2	MARGEN DEL ENLACE:	10.60	4.30	9.73	3.43	dB
ABS-S	MARGEN DEL ENLACE:	7.25	2.67	4.86	2.21	dB
ISDB-S	MARGEN DEL ENLACE:	13.13	1.34	1.19	0.75	dB

El margen de enlace en la banda ku, al usar portadoras múltiples es positivo tabla 28. Se logran de manera exitosa todos los enlaces, los estándares DVB-S y DVB-S2 permitirían ahorrar energía en cualquier escenario, podrían funcionar con la mitad de la potencia en escenarios de lluvia ascendente y lluvia a ambos lados. Con cielo despejado y lluvia descendente los ahorros de energía pueden ser aun mayores. El estándar ABS-S permitiría usar la mitad de la potencia con cielo despejado y con lluvia descendente, pero con lluvia

ascendente y a ambos lados se ocuparía la energía propuesta. En cuestión del ISDB-S permite ahorrar energía solo en condiciones de cielo despejado.

4.3 Resultados en Banda KA con Portadoras Múltiples.

En la tabla de datos se muestra los datos necesarios tomados en cuenta para la realización de los cálculos de los cuatro estándares DVB-S, DVB-S2, ABS-S, ISDB-S en la banda KA, con portadoras múltiples. La diferencia entre portadoras múltiples y portadora única es que para los cálculos se necesita utilizar un Back-Off en la potencia utilizada.

Tabla 29. Tabla de datos para enlace en banda Ka con portadoras Múltiples.

DATOS DE LA PORTADORA		DVB-S, DVB-S2, ABS-S, ISDB-S			
Estándar	Variable	KBaud			
Symbol Rate	Variable				
Modulación:	Variable				
F.E.C.:	Variable				
Tasa De Datos	6000	Kbps			
Roll-off:	0.35				
Eb/No:	3.75	dB			
Relación E/R BER:	10 ⁻⁷				
Ancho de Banda Requerido	6000	kHz			
Ancho de Banda Asignado:	36000	kHz			
DATOS DEL SATÉLITE		SATMEX 8			
Posición del satélite	116.8	W			
Ancho de banda del Transpondedor:	36	MHz			
	Enlace Ascendente	Enlace Descendente			
Banda de Operación:	21.5 - 22 GHz	18.7 - 19.2	GHz		
Frecuencia Central del TP	21.7 GHz	18.7	GHz		
Polaridad:	Vertical	Horizontal			
DATOS DE ESTACION TERRENA		Transmisor		Receptor	
Localidad	México D.F., México	Monterrey, Nuevo León			
Latitud:	19.4 N	25.67	N		
Longitud:	99.14 W	100.3	W		
Disponibilidad Ascendente.:	99.00 %	99.00	%		
Disponibilidad Descendente.:	99.00 %	99.00	%		
Diámetro de Antena:	7 m	0.7	m		
Ganancia de Antena Tx:	61.81 dBi	41.81	dBi		
Ganancia de Antena Rx:	60.52 dBi	40.52	dBi		
Temperatura de la Antena Rx	30 K	30	K		
Temperatura Total del Sistema:	350 K	280	K		
Figura de Merito Satélite (G/T):	16.00 dB/K	16.00	dB/K		
PIRE en saturación del Transpondedor:	54 dBW	54	dBW		

La tabla 29 muestra los datos necesarios propuestos para realizar los enlaces en la banda KA.

Tabla 30. Datos comunes en todos los estándares en la banda KA con múltiples portadoras.

ENLACE ASCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Azimut E/T Transmisora	223.79	223.79	223.79	223.79	°
Elevación E/T Transmisora	59.61	59.61	59.61	59.61	°
Disponibilidad	99.00	99.00	99.00	99.00	%
PIRE estación transmisora	72.50	72.50	72.50	72.50	dB W
Perdidas por Espacio Libre	210.43	210.43	210.43	210.43	dB
Perdidas misceláneas	1.00	1.00	1.00	1.00	dB
Margen de Lluvia	0.00	9.40	0.00	9.40	dB
ENLACE DESCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Azimut E/T Receptora	214.36	214.36	214.36	214.36	°
Elevación E/T Receptora	54.79	54.79	54.79	54.79	°
Disponibilidad	99.00	99.00	99.00	99.00	%
P.I.R.E. en saturación Transpondedor	49.00	39.60	49.00	39.60	dB W
Perdidas por Espacio Libre	209.19	209.19	209.19	209.19	dB
Perdidas misceláneas	1.00	1.00	1.00	1.00	dB
Margen de Lluvia	0.00	0.00	2.70	2.70	dB

Como podemos ver en la tabla 30, estos parámetros son comunes y usados en el análisis de todos los estándares.

4.3.1 Resultados DVB-S en Banda KA con Portadoras Múltiples.

Evaluación del Enlace Estándar DVB-S, Banda KA, Modulación QPSK, FEC 1/2. Se muestra en la modulación QPSK para tener una mejor muestra, ya que los diferentes estándares permiten esta modulación y un FEC de ½.

El estándar DVB-S solo permite dos modulaciones, BPSK y QPSK. Y permite FEC's desde ½ a 9/10.

Tabla 31. Resultados DVB-S en banda Ka con portadoras Múltiples.

ENLACE ASCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Ascendente	105.67	96.27	105.67	96.27	dBHz
Relación C/N Ascendente	39.14	29.74	39.14	29.74	dB
ENLACE DESCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Descendente	83.66	74.26	80.96	71.56	dBHz
Relación C/N	17.12	7.72	14.42	5.02	dB

Descendente					
MARGEN DE ENLACE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/N Total Sistema	16.59	7.20	14.13	4.73	dB
Relación C/N Requerida	3.75	3.75	3.75	3.75	dB
MARGEN DEL ENLACE:	12.84	3.45	10.38	0.98	dB

La tabla 31 muestra los resultados en el escenario óptimo en el cual son exitosos los enlaces. Puede hacer enlaces exitosos en cualquier escenario, se puede utilizar la modulación QPSK con FEC's 2/5, 1/2 hasta 9/10.

4.3.2 Resultados DVB-S2 en Banda KA con Portadoras Múltiples.

Evaluación del Enlace Estándar DVB-S2, Banda KA, Modulación QPSK, FEC 1/2. Se muestra en la modulación QPSK para tener una mejor muestra, ya que los diferentes estándares permiten esta modulación y un FEC de 1/2.

El estándar DVB-S2 permite

- QPSK con FEC 1/2, 1/3, 2/5, 1/2;
- 8PSK con FEC's desde 1/2 a 9/10;
- 16APSK con FEC's desde 1/2 a 9/10;
- 32APSK con FEC's desde 1/2 a 9/10;

Tabla 32. Resultados DVB-S2 en banda Ka con portadoras Múltiples.

ENLACE ASCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Ascendente	98.17	88.77	98.17	88.77	dBHz
Relación C/N Ascendente	29.42	20.02	29.42	20.02	dB
ENLACE DESCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Descendente	84.49	75.09	81.79	72.39	dBHz
Relación C/N Descendente	15.74	6.34	13.04	3.64	dB
MARGEN DE ENLACE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/N Total del Sistema	14.94	5.54	12.59	3.19	dB
Relación C/N Requerida	3.75	3.75	3.75	3.75	dB
MARGEN DEL ENLACE:	11.19	1.79	8.84	-0.56	dB

En los resultados de la tabla 32 se obtuvieron los resultados en el escenario de cielo despejado tanto en el transmisor y el receptor. Para realizar el enlace en condiciones de lluvia en ambos lados del enlace, se debe utilizar modulación 8PSK con FEC's de 2/5 hasta 9/10. Modulación 16APSK con FEC's desde 1/3 hasta 9/10 o 32APSK con cualquier FEC.

4.3.3 Resultados ABS-S en Banda KA con Portadoras Múltiples.

Evaluación del Enlace Estándar ABS-S, Banda KA, Modulación QPSK, FEC 1/2. Se muestra en la modulación QPSK para tener una mejor muestra, ya que los diferentes estándares permiten esta modulación y un FEC de 1/2.

El estándar ABS-S permite:

- QPSK con FEC's desde 1/2 a 9/10;
- 8PSK con FEC's 3/5, 2/3, 3/4, 5/6, 13/15 y 9/10;
- 16APSK con FEC's 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 13/15 y 9/10;
- 32APSK con FEC's 3/4, 4/5, 5/6, 13/15 y 9/10;

Tabla 33. Resultados en ABS-S en banda Ka con portadoras Múltiples.

ENLACE ASCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Ascendente	96.82	87.42	96.82	87.42	dBHz
Relación C/N Ascendente	28.07	18.67	28.07	18.67	dB
ENLACE DESCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Descendente	80.24	70.84	77.54	68.14	dBHz
Relación C/N Descendente	11.48	2.08	8.78	-0.62	dB
MARGEN DE ENLACE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/N Total del Sistema	11.08	1.79	8.62	-0.78	dB
Relación C/N Requerida	3.75	3.75	3.75	3.75	dB
MARGEN DEL ENLACE:	7.33	-1.96	4.87	-4.53	dB

En los resultados de la tabla 33 se obtuvieron los resultados exitosos en el escenario de cielo despejado tanto en el transmisor y el receptor. Para realizar el enlace en condiciones de lluvia en ambos lados del enlace, se debe utilizar modulación 16APSK con FEC's de 3/4 hasta 9/10. Modulación 32APSK con cualquier FEC.

4.3.4 Resultados ISDB-S en Banda KA con Portadoras Múltiples.

Evaluación del Enlace Estándar ISDB-S, Banda KU, modulación QPSK, FEC 1/2. Se muestra en la modulación QPSK para tener una mejor muestra, ya que los diferentes estándares permiten esta modulación y un FEC de ½.

El estándar ISDB-S permite

- QPSK con FEC's 1/16, 1/14, 1/8, ½, 2/3, 7/8;
- 16QAM con FEC's 1/16, 1/14, 1/8, ½, 2/3, 7/8;
- 32QAM con FEC's 1/16, 1/14, 1/8, ½, 2/3, 7/8.

Tabla 34. Resultados en ISDB-S en banda Ka con portadoras Múltiples.

ENLACE ASCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Ascendente	105.67	96.27	105.67	96.27	dBHz
Relación C/N Ascendente	36.92	27.52	36.92	27.52	dB
ENLACE DESCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Descendente	72.66	63.26	69.96	60.56	dBHz
Relación C/N Descendente	3.90	-5.50	1.20	-8.20	dB
MARGEN DE ENLACE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/N Total del Sistema	3.86	-5.54	1.18	-8.22	dB
Relación C/N Requerida	3.75	3.75	3.75	3.75	dB
MARGEN DEL ENLACE:	0.11	-9.29	-2.57	-11.97	dB

La tabla 34 muestra los resultados en el escenario óptimo en el cual son exitosos los enlaces. En el escenario de lluvia los enlaces no son exitosos con ninguna de las modulaciones permitidas con ningún FEC. Los únicos escenarios en los que se logran los enlaces, es en condiciones de cielo despejado en cualquier modulación pero con FEC de ½, 2/3 y 7/8.

Tabla 35. Margen de Enlace en banda KA con portadoras múltiples.

BANDA KA, PORTADORAS MÚLTIPLES		CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
DVB-S	MARGEN DEL ENLACE:	12.84	3.45	10.38	0.98	dB
DVB-S2	MARGEN DEL ENLACE:	11.19	1.79	8.84	-0.56	dB
ABS-S	MARGEN DEL ENLACE:	7.33	-1.96	4.87	-4.53	dB
ISDB-S	MARGEN DEL ENLACE:	0.11	-9.29	-2.57	-11.97	dB

En la tabla 35, se muestra como con la energía propuesta el estandar DVB-S tiene enlaces exitosos en cualquier escenario, pero permite ahorrar energía en condiciones de cielo despejado y con lluvia descendente. El estandar DVB-S2 permite con la energía propuesta enlaces exitosos en tres escenarios, solo infructuoso en con lluvia en ambos lados, pero en condiciones de cielo despejado y lluvia descendente permitiría un ahorro de la mitad de la potencia (3db). Para el estandar ABS-S solo son exitosos los enlaces con cielo despejado y con lluvia descendente. Y el estandar ISDB-S es el más afectado al usar la banda KA con portadoras múltiples y solo se puede realizar el enlace de forma exitosa en condición de cielo despejado.

4.4 Resultados en Banda KA en Satélites Regenerativos con Portadoras Múltiples.

En la tabla de datos se muestra los datos necesarios tomados en cuenta para la realización de los cálculos de los cuatro estándares DVB-S, DVB-S2, ABS-S, ISDB-S en la banda KA regenerativo, con portadoras múltiples. La diferencia entre portadoras múltiples y portadora única es que para los cálculos se necesita utilizar un Back-Off en la potencia utilizada.

Tabla 36. Tabla de datos para los enlaces en banda KA regenerativo con portadoras múltiples.

DATOS DE LA PORTADORA		DVB-S, DVB-S2, ABS-S, ISDB-S			
Estándar	Variable				KBaud
Symbol Rate	Variable				
Modulación:	Variable				
F.E.C.:	Variable				
Tasa De Datos	58071				Kbps
Roll-off:	0.35				
Eb/No:	3.75				dB
Relación E/R BER:	10 ⁻⁷				
Ancho de Banda Requerido	36000				kHz
Ancho de Banda Asignado:	36000				kHz
DATOS DEL SATÉLITE		SATMEX 8			
Posición del satélite	116.8				W
Ancho de banda del Transpondedor:	36				MHz
	Enlace Ascendente		Enlace Descendente		
Banda de Operación:	21.5 - 22	GHz	18.7 - 19.2	GHz	
Frecuencia Central del TP	21.7	GHz	18.7	GHz	
Polaridad:	Vertical		Horizontal		
DATOS DE ESTACION TERRENA		Transmisor		Receptor	
Localidad	México D.F., México		Monterrey, Nuevo León		
Latitud:	19.4	N	25.67	N	
Longitud:	99.14	W	100.3	W	
Disponibilidad Ascendente.:	99.00	%	99.00	%	
Disponibilidad Descendente.:	99.00	%	99.00	%	
Diámetro de Antena:	7	m	3	m	
Ganancia de Antena Tx:	61.81	dBi	54.45	dBi	
Ganancia de Antena Rx:	60.52	dBi	53.16	dBi	
Temperatura de la Antena Rx	30	K	30	K	
Temperatura Total del Sistema:	350	K	280	K	
Figura de Merito Satélite (G/T):	16.00	dB/K	16.00	dB/K	
PIRE en saturación del Transpondedor:	54	dBW	54	dBW	

En la tabla 36 se muestran los datos necesarios para los enlaces como las coordenadas de la estación transmisora y de la estación receptora.

Tabla 37. Parámetros comunes en la banda KA con portadoras múltiples en satélites Regenerativos.

ENLACE ASCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Azimut E/T Transmisora	223.79	223.79	223.79	223.79	°
Elevación E/T Transmisora	59.61	59.61	59.61	59.61	°
Disponibilidad	99.80	99.80	99.80	99.80	%
PIRE estación transmisora	72.50	72.50	72.50	72.50	dB W
Perdidas por Espacio Libre	206.64	206.64	206.64	206.64	dB
Perdidas misceláneas	1.00	1.00	1.00	1.00	dB
Margen de Lluvia	0.00	6.30	0.00	6.30	dB
ENLACE DESCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Azimut E/T Receptora	214.36	214.36	214.36	214.36	°
Elevación E/T Receptora	54.79	54.79	54.79	54.79	°
Disponibilidad	99.80	99.80	99.80	99.80	%
P.I.R.E. en saturación Transpondedor	45.58	45.58	45.58	45.58	dB W
Perdidas por Espacio Libre	205.15	205.15	205.15	205.15	dB
Perdidas misceláneas	1.00	1.00	1.00	1.00	dB
Margen de Lluvia	0.00	0.00	1.30	1.30	dB
G/T de la E/T Receptora	16.84	16.84	16.84	16.84	dB/ K

La información de la tabla 37 es información utilizada en todos los estándares, es la misma en cada una de los estándares DVB-S, DVB-S2, ABS-S y el estándar japonés ISDB-S.

4.4.1 Resultados DVB-S en Banda KA en Satélites Regenerativos con Portadoras Múltiples.

Evaluación del Enlace Estándar DVB-S, Banda KA, Modulación QPSK, FEC 1/2. Se muestra en la modulación QPSK para tener una mejor muestra, ya que los diferentes estándares permiten esta modulación y un FEC de 1/2.

El estándar DVB-S solo permite dos modulaciones, BPSK y QPSK. Y permite FEC's desde 1/2 a 9/10.

Tabla 38. Resultados en DVB-S en banda KA regenerativo con portadoras múltiples.

ENLACE ASCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No	96.82	90.52	96.82	90.52	dBH

Ascendente					z
Relación C/N Ascendente	30.28	23.98	30.28	23.98	dB
ENLACE DESCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Descendente	85.07	85.07	83.77	83.77	dBH z
Relación C/N Descendente	18.54	18.54	17.24	17.24	dB
MARGEN DE ENLACE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/N Total Sistema	18.23	17.46	17.01	16.42	dB
Relación C/N Requerida	3.75	3.75	3.75	3.75	dB
MARGEN DEL ENLACE:	14.48	13.71	13.26	12.67	dB

En la tabla 38 los resultados del estándar DVB-S en banda KA en satélite regenerativos con portadoras múltiples, los enlaces en cualquier condición, con cualquier modulación y FEC se logran enlaces exitosos.

4.4.2 Resultados DVB-S2 en Banda KA en Satélites Regenerativos con Portadoras Múltiples.

Evaluación del Enlace Estándar DVB-S2, Banda KA regenerativo con portadoras múltiples, Modulación QPSK, FEC 1/2. Se muestra en la modulación QPSK para tener una mejor muestra, ya que los diferentes estándares permiten esta modulación y un FEC de ½.

El estándar DVB-S2 permite

- QPSK con FEC ½, 1/3, 2/5, ½;
- 8PSK con FEC's desde ½ a 9/10;
- 16APSK con FEC's desde ½ a 9/10;
- 32APSK con FEC's desde ½ a 9/10;

Tabla 39. Resultados en DVB-S2 en banda KA regenerativo con portadoras Múltiples.

ENLACE ASCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Ascendente	98.17	88.77	98.17	88.77	dBHz
Relación C/N Ascendente	29.42	20.02	29.42	20.02	dB
ENLACE DESCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Descendente	84.49	84.49	81.79	81.79	dBHz
Relación C/N	15.74	15.74	13.04	13.04	dB

Descendente					
MARGEN DE ENLACE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/N Total del Sistema	15.24	12.79	12.76	11.22	dB
Relación C/N Requerida	3.75	3.75	3.75	3.75	dB
MARGEN DEL ENLACE:	11.49	9.04	9.01	7.47	dB

Los resultados de la tabla 39, del estándar DVB-S2 mantienen el comportamiento en los satélites regenerativos, se logran los enlaces con cualquier modulación y cualquier FEC permitido.

4.4.3 Resultados ABS-S en Banda KA en Satélites Regenerativos con Portadoras Múltiples.

Evaluación del Enlace Estándar ABS-S, Banda KU con portadoras múltiples, Modulación QPSK, FEC 1/2. Se muestra en la modulación QPSK para tener una mejor muestra, ya que los diferentes estándares permiten esta modulación y un FEC de ½.

El estándar ABS-S permite

- QPSK con FEC's desde ½ a 9/10;
- 8PSK con FEC's 3/5, 2/3, ¾, 5/6, 13/15 y 9/10;
- 16APSK con FEC's 2/3, ¾, 4/5, 5/6, 13/15 y 9/10;
- 32APSK con FEC's ¾, 4/5, 5/6, 13/15 y 9/10;

Tabla 40. Resultados ABS-S en banda KA regenerativo con portadoras múltiples.

ENLACE ASCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Ascendente	102.95	93.55	102.95	93.55	dBHz
Relación C/N Ascendente	34.20	24.80	34.20	24.80	dB
ENLACE DESCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Descendente	83.66	83.66	80.96	80.96	dBHz
Relación C/N Descendente	14.90	14.90	12.20	12.20	dB
MARGEN DE ENLACE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/N Total del Sistema	14.50	13.43	12.08	11.35	dB
Relación C/N Requerida	3.75	3.75	3.75	3.75	dB
MARGEN DEL ENLACE:	10.75	9.68	8.33	7.60	dB

El comportamiento se mantiene en la tabla 40 en la banda KA con portadoras múltiples haciendo uso de satélites regenerativos, se pueden utilizar todas las modulaciones y FEC's permitidas y se logra realizar el enlace.

4.4.4 Resultados ISDB-S en Banda KA en Satélites Regenerativos con Portadoras Múltiples.

Evaluación del Enlace Estándar ISDB-S, Banda KA, Modulación QPSK, FEC 1/2. Se muestra en la modulación QPSK para tener una mejor muestra, ya que los diferentes estándares permiten esta modulación y un FEC de 1/2.

El estándar ISDB-S permite

- QPSK con FEC's 1/16, 1/14, 1/8, 1/2, 2/3, 7/8;
- 16QAM con FEC's 1/16, 1/14, 1/8, 1/2, 2/3, 7/8;
- 32QAM con FEC's 1/16, 1/14, 1/8, 1/2, 2/3, 7/8.

Tabla 41. Resultados en ISDB-S en banda KA regenerativo con portadoras múltiples.

ENLACE ASCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Ascendente	98.17	88.77	98.17	88.77	dBHz
Relación C/N Ascendente	29.42	20.02	29.42	20.02	dB
ENLACE DESCENDENTE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/No Descendente	83.66	83.66	80.96	80.96	dBHz
Relación C/N Descendente	14.90	14.90	12.20	12.20	dB
MARGEN DE ENLACE	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
Relación C/N Total del Sistema	14.46	12.36	11.99	10.66	dB
Relación C/N Requerida	3.75	3.75	3.75	3.75	dB
MARGEN DEL ENLACE:	10.71	8.61	8.24	6.91	dB

Se observan en la tabla 41 las bondades del satélite regenerativo, se puede ver que con el uso de este tipo de satélites los enlaces son exitosos con un gran margen sobre el cero, el punto donde muestra si se puede realizar o no un enlace.

Tabla 42. Margen de enlace en la banda KA con portadoras múltiples en satélites regenerativos.

BANDA KA, PORTADORAS MÚLTIPLES, SATÉLITE REGENERATIVO	CIELO DESPEJADO	LLUVIA ASCENDENTE	LLUVIA DESCENDENTE	LLUVIA AMBOS LADOS	
---	-----------------	-------------------	--------------------	--------------------	--

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ESTÁNDARES DE TELEVISIÓN DIGITAL EN LA TRANSMISIÓN POR SATÉLITE EN LAS BANDAS KU Y KA

DVB-S	MARGEN DEL ENLACE:	14.48	13.71	13.26	12.67	dB
DVB-S2	MARGEN DEL ENLACE:	11.49	9.04	9.01	7.47	dB
ABS-S	MARGEN DEL ENLACE:	10.75	9.68	8.33	7.60	dB
ISDB-S	MARGEN DEL ENLACE:	10.71	8.61	8.24	6.91	dB

La tabla 42 de margen de enlace muestra las bondades del uso de un satélite regenerativo, al usar portadoras múltiples permiten ahorrar mucha energía, si tomamos en cuenta que 3 dB's equivale a la mitad de la energía podemos ver que se podría ahorrar mucho más que eso.

Resultados.

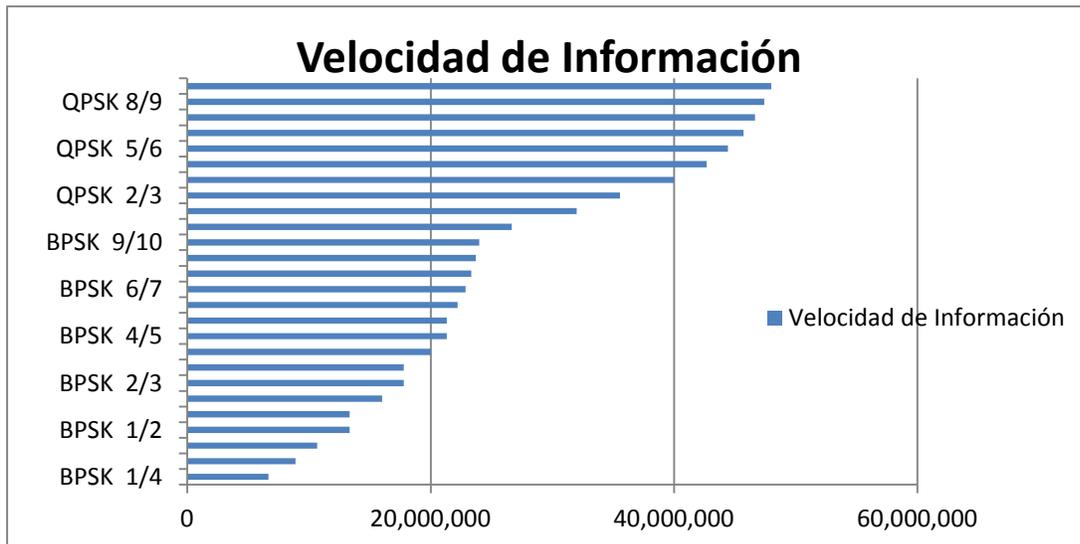
5. Gráficas de Resultados.

5.1 Resultados con Portadora Única.

5.1.1 Resultados Banda KU

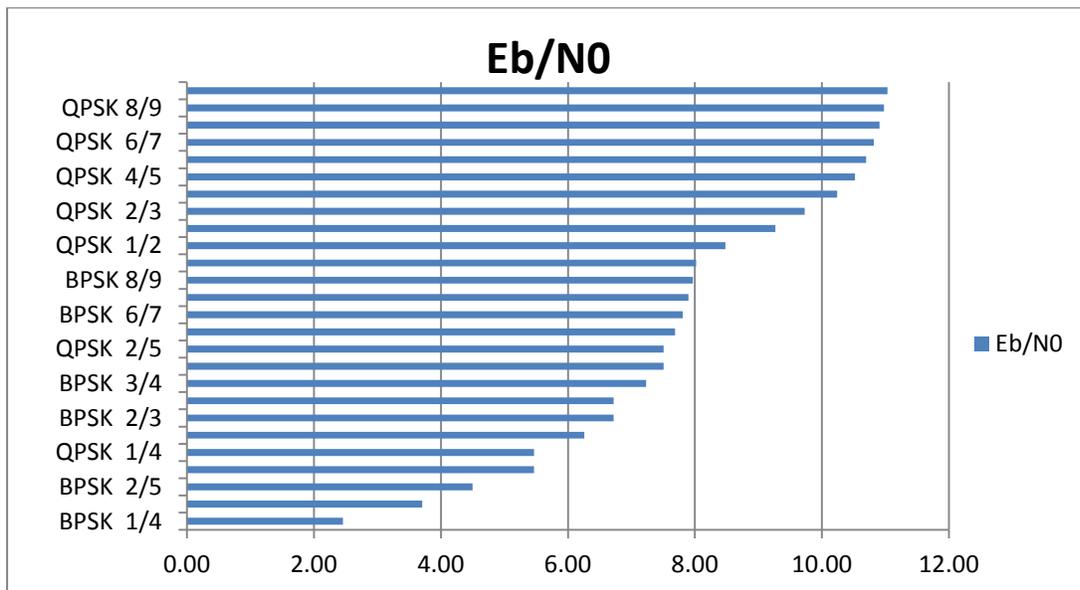
5.1.1.1 DVB-S en banda KU con Portadora Única.

Con los resultados de los cálculos de modulaciones BPSK y QPSK con todos los FECS permitidos se puede observar en la grafica 20 la velocidad que se logra una vez realizado el cálculo en Bits por segundo.



Gráfica 20 Velocidad Información DVB-S en banda KU.

En la Grafica 21 se observa la energía usada por las modulaciones y FEC's permitidos.



Grafica 21 Energía DVB-S en banda KU.

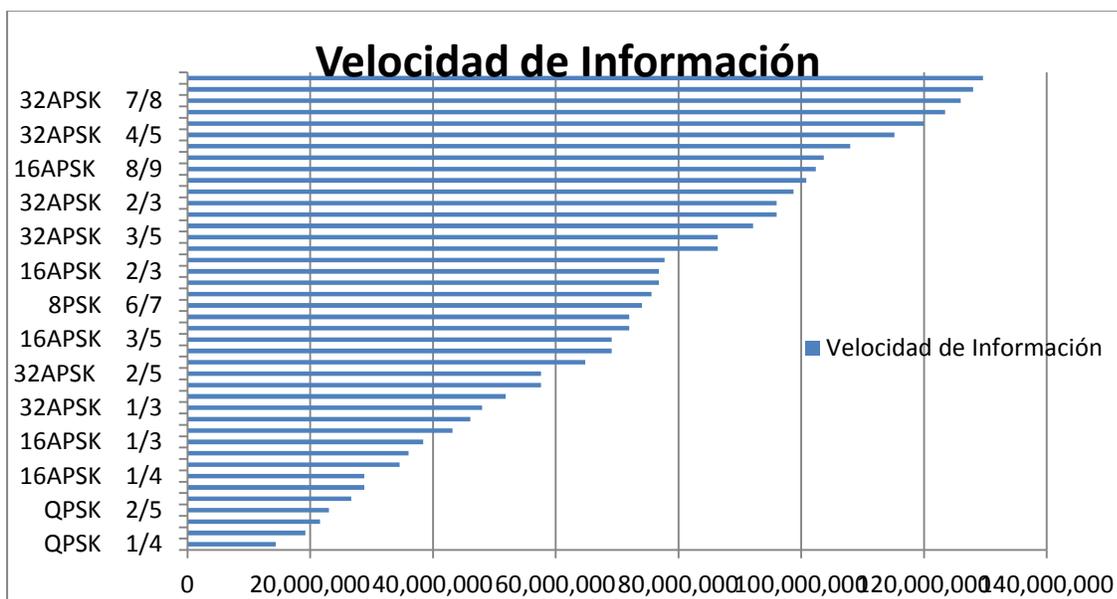
Con las gráficas anteriores se puede observar que entre mayor velocidad de información es menor la energía necesaria en la transmisión.

También se observa que la modulación BPSK con un FEC de $\frac{1}{4}$ es la modulación que menor velocidad desempeña, y ocupa la mayor cantidad de energía, lo que significa que la información está mejor protegida.

Las modulaciones con una mayor velocidad de información son las que están más expuestas a presentar bits erróneos, estas se pueden ocupar cuando las condiciones son idóneas.

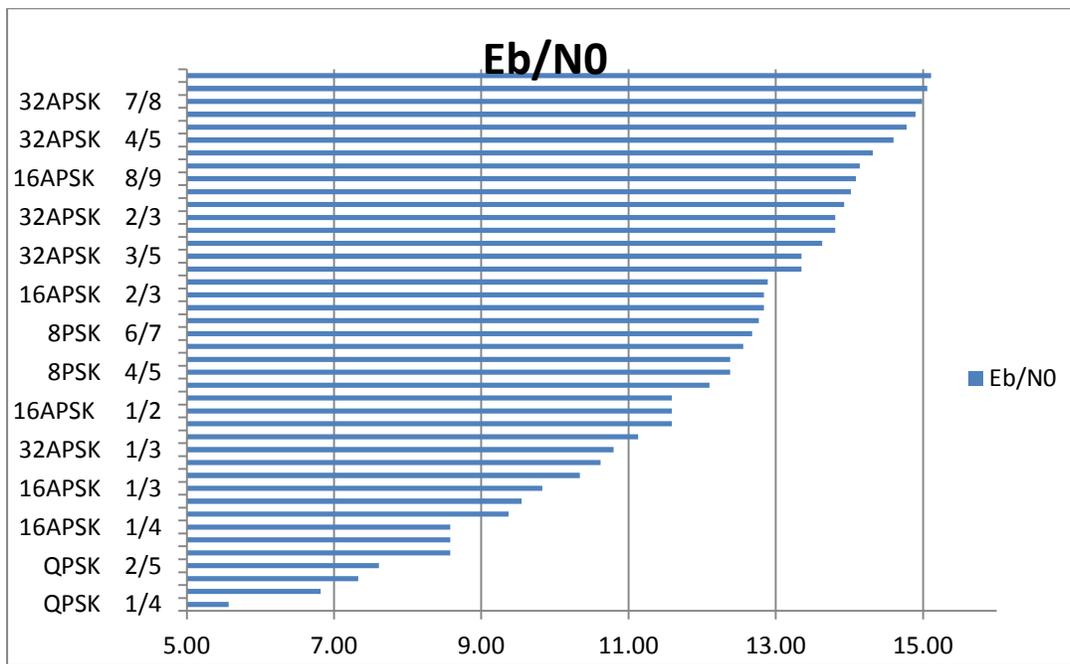
5.1.1.2 DVB-S2 en Banda KU con Portadora Única.

Con los resultados obtenidos de los cálculos de modulaciones con todos los FECs permitidos se puede observar en la gráfica 22 la velocidad que se logra una vez realizado el cálculo en Bits por segundo.



Grafica 22. Velocidad de Información DVB-S2 en banda KU.

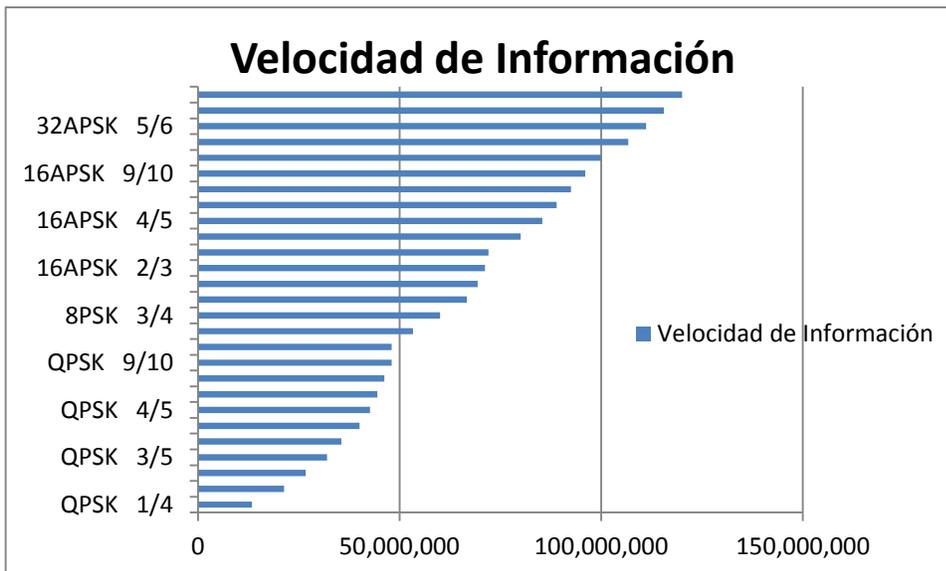
En la gráfica 23 se observa la energía usada por cada una de las modulaciones y FEC's permitidos.



Grafica 23. Energía DVB-S2 en banda KU.

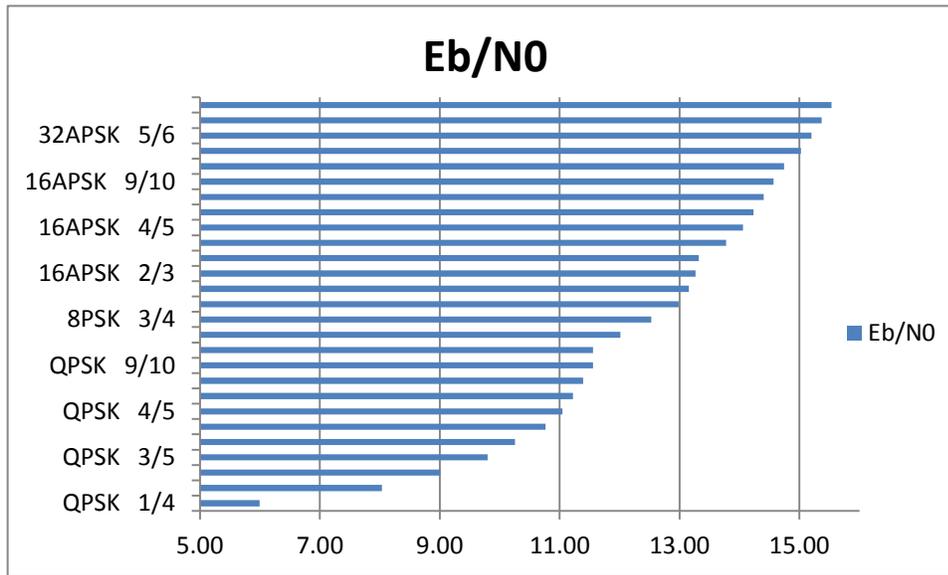
5.1.1.3 ABS-S en Banda KU con Portadora Única.

Con los resultados obtenidos de los cálculos de modulaciones con todos los FECs permitidos se puede observar en la gráfica 24 la velocidad que se logra una vez realizado el cálculo en Bits por segundo en el estándar ABS-S.



Gráfica 24. Velocidad de Información ABS-S en banda KU.

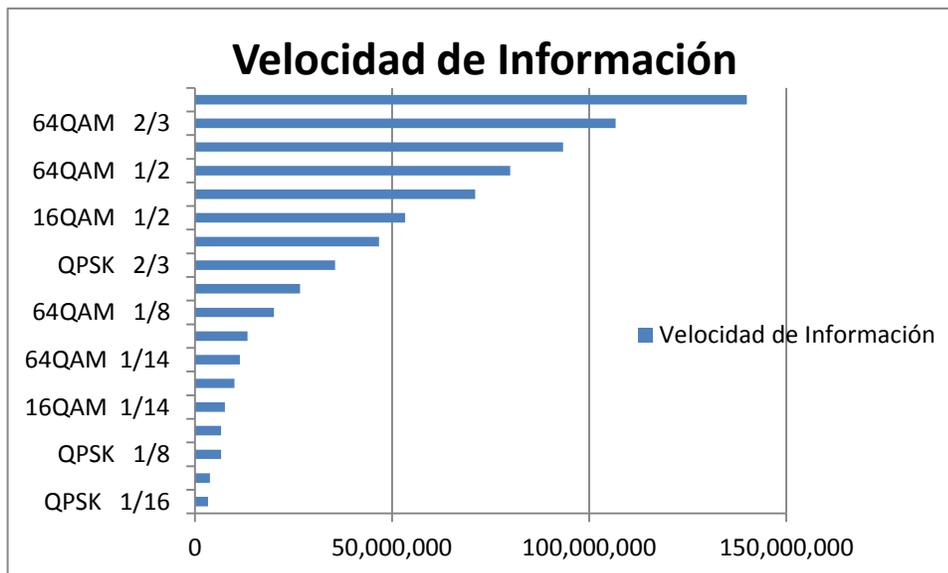
En la gráfica 25 se observa la energía usada por cada una de las modulaciones y FEC's permitidos por el estándar ABS-S.



Gráfica 25. Energía ABS-S en banda KU.

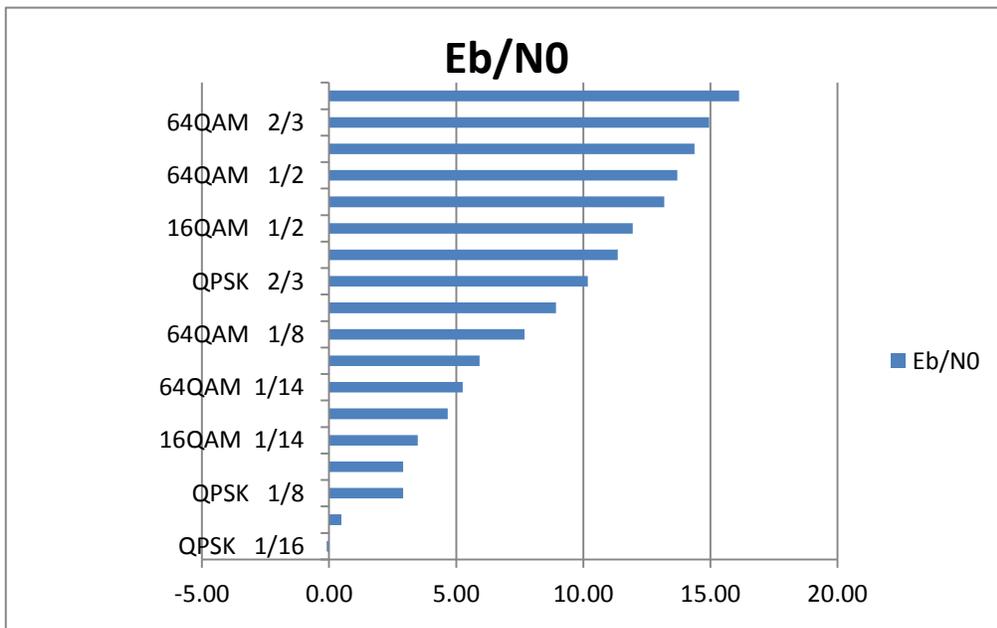
5.1.1.4 ISDB-S en Banda KU con Portadora Única.

Con los resultados obtenidos de los cálculos de modulaciones con todos los FECs permitidos se puede observar en la gráfica 26 la velocidad que se logra una vez realizado el cálculo en Bits por segundo en el estándar ISDB-S.



Gráfica 26. Velocidad de Información ISDB-S en banda KU.

En la gráfica 27 se observa la energía usada por cada una de las modulaciones y FEC's permitidos por el estándar ISDB-S.

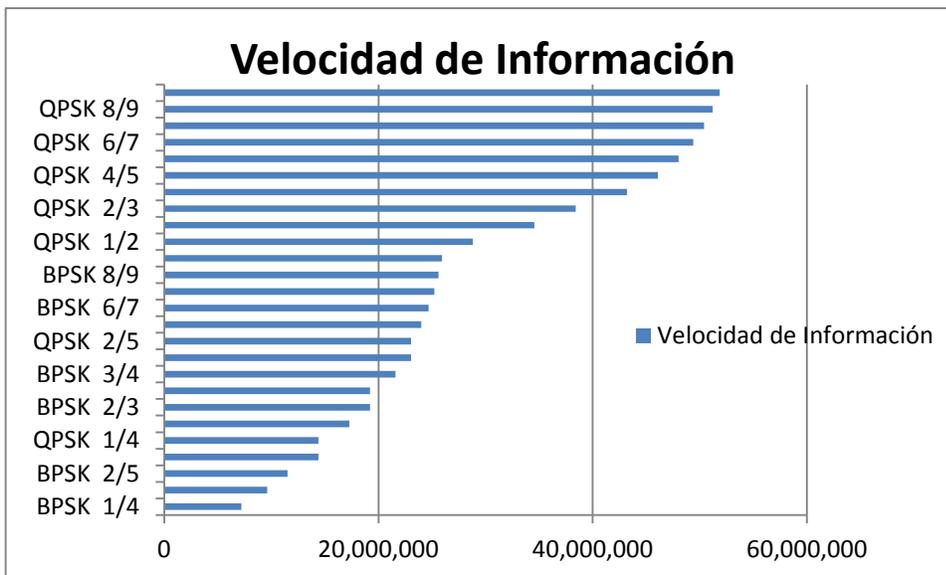


Gráfica 27. Energía ISDB-S en banda KU.

5.1.2 Resultados en Banda KA con Portadora Única.

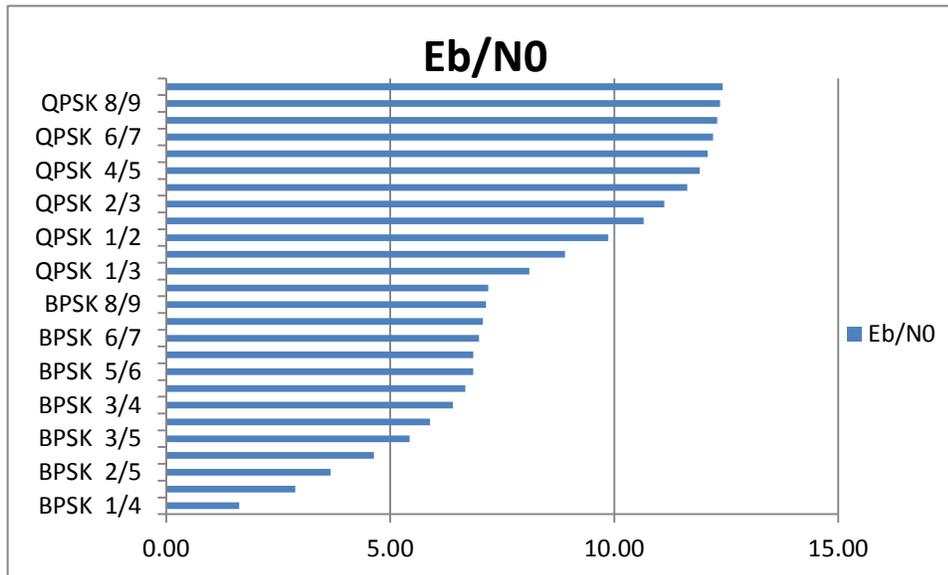
5.1.2.1 DVB-S en Banda KA con Portadora Única.

Con los resultados obtenidos de los cálculos de modulaciones con todos los FECs permitidos se puede observar en la gráfica 28 la velocidad que se logra una vez realizado el cálculo en Bits por segundo en el estándar DVB-S.



Gráfica 28. Velocidad de Información DVB-S en banda KA.

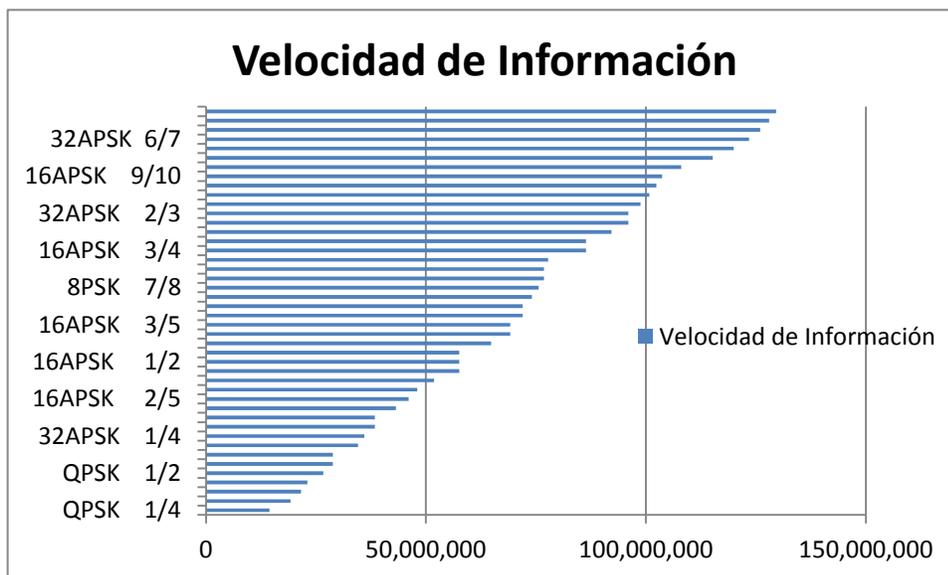
En la gráfica 29 se observa la energía usada por cada una de las modulaciones y FEC's permitidos por el estándar DVB-S.



Gráfica 29. Energía DVB-S en banda KA.

5.1.2.2 DVB-S2 en Banda KA con Portadora Única.

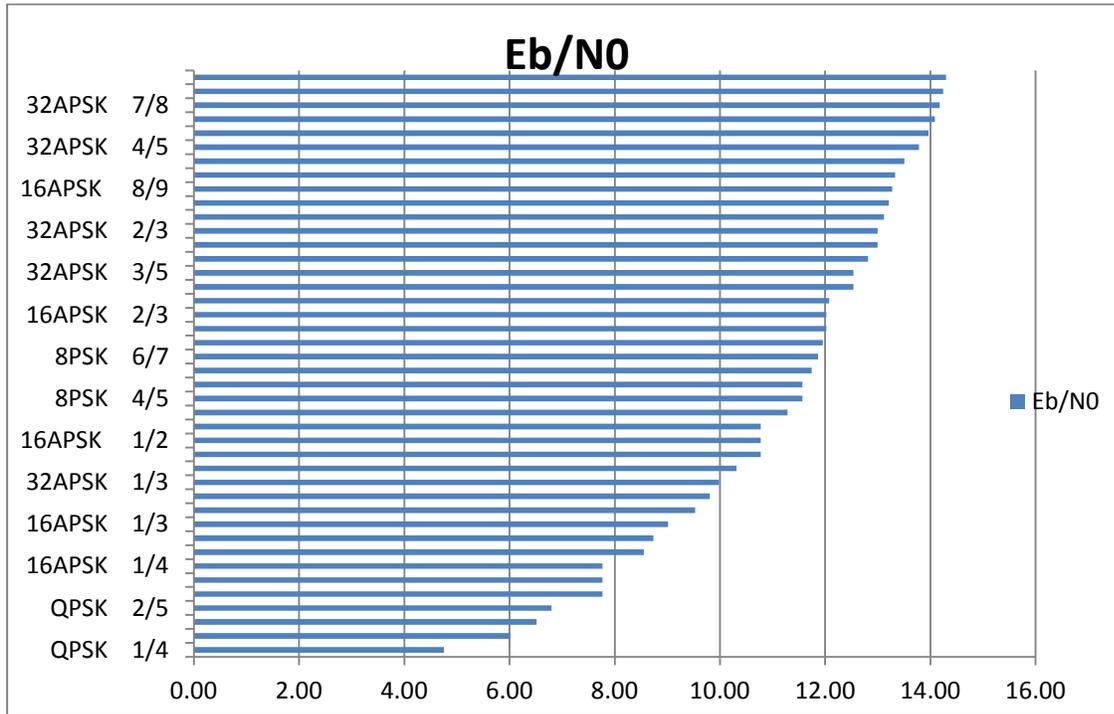
Con los resultados obtenidos de los cálculos de modulaciones con todos los FECs permitidos se puede observar en la gráfica 30 la velocidad que se logra una vez realizado el cálculo en bits por segundo en el estándar DVB-S2.



Gráfica 30. Velocidad de Información DVB-S2 en banda KA.

También se observa en la gráfica anterior que el sistema DVB-S2 es el más versátil, tiene una modulación y un FEC para cada condición.

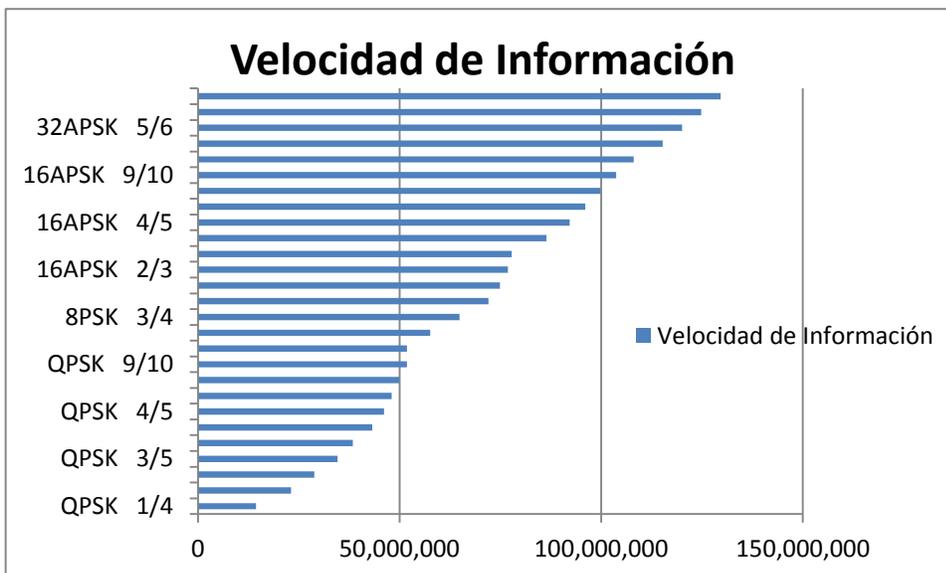
En la gráfica 31 se observa la energía usada por cada una de las modulaciones y FEC's permitidos por el estándar DVB-S2.



Gráfica 31. Energía DVB-S2 en banda KA.

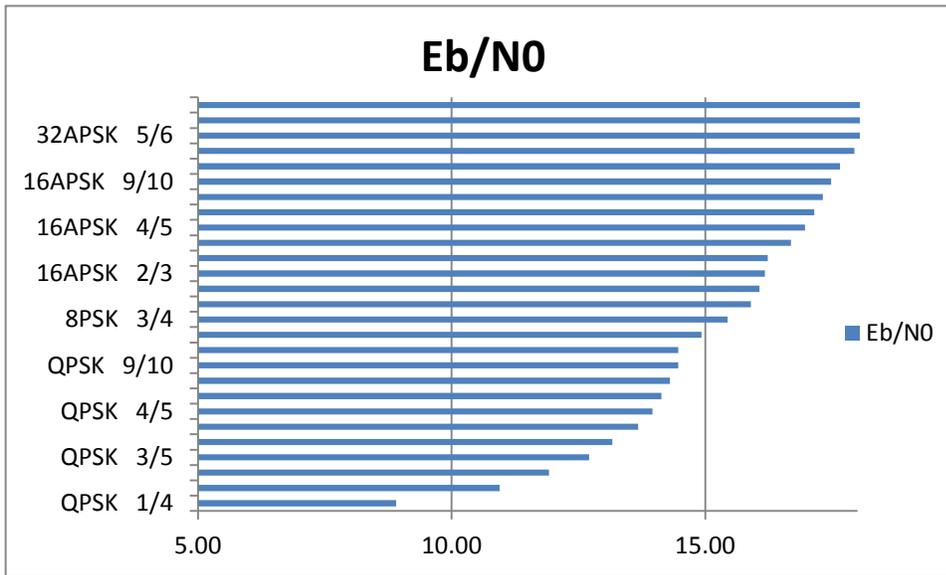
5.1.2.3 ABS-S en Banda KA con Portadora Única.

Con los resultados obtenidos de los cálculos de modulaciones con todos los FECs permitidos se puede observar en la grafica 32 la velocidad que se logra una vez realizado el cálculo en Bits por segundo en el estándar ABS-S.



Gráfica 32. Velocidad de Información en el estándar ABS-S en banda KA.

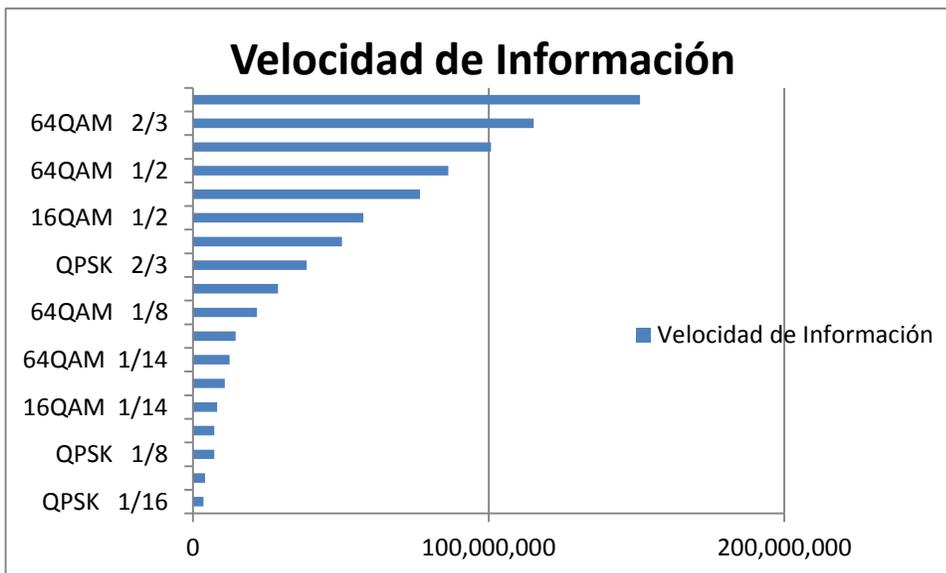
En la gráfica 33 se observa la energía usada por cada una de las modulaciones y FEC's permitidos por el estándar ABS-S.



Gráfica 33. Energía en el estándar ABS-S en banda KA.

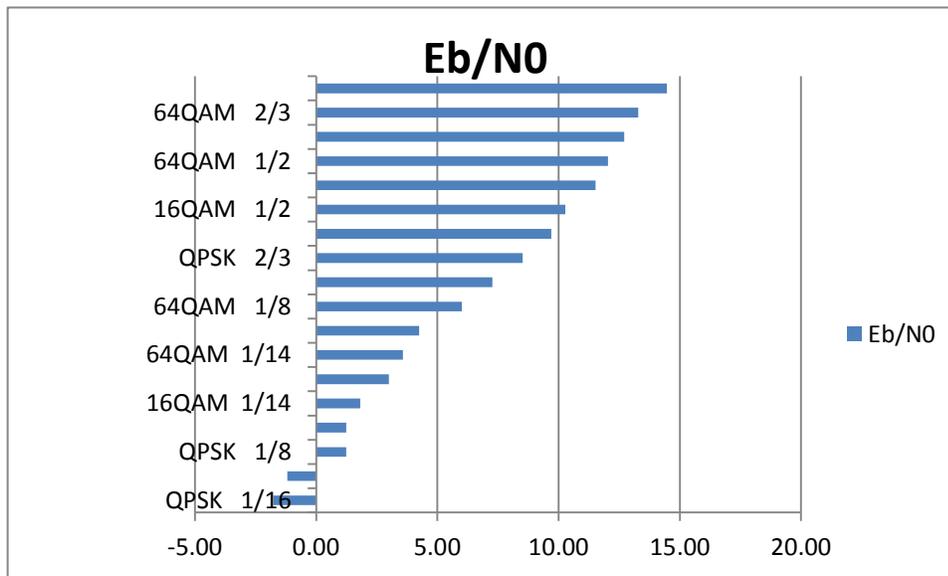
5.1.2.4 ISDB-S en Banda KA con Portadora Única.

Con los resultados obtenidos de los cálculos de modulaciones con todos los FECs permitidos se puede observar en la gráfica 34 la velocidad que se logra una vez realizado el cálculo en Bits por segundo en el estándar ISDB-S.



Gráfica 34. Velocidad de Información ISDB-S en banda KA.

En la gráfica 35 se observa la energía usada por cada una de las modulaciones y FEC's permitidos por el estándar ISDB-S.

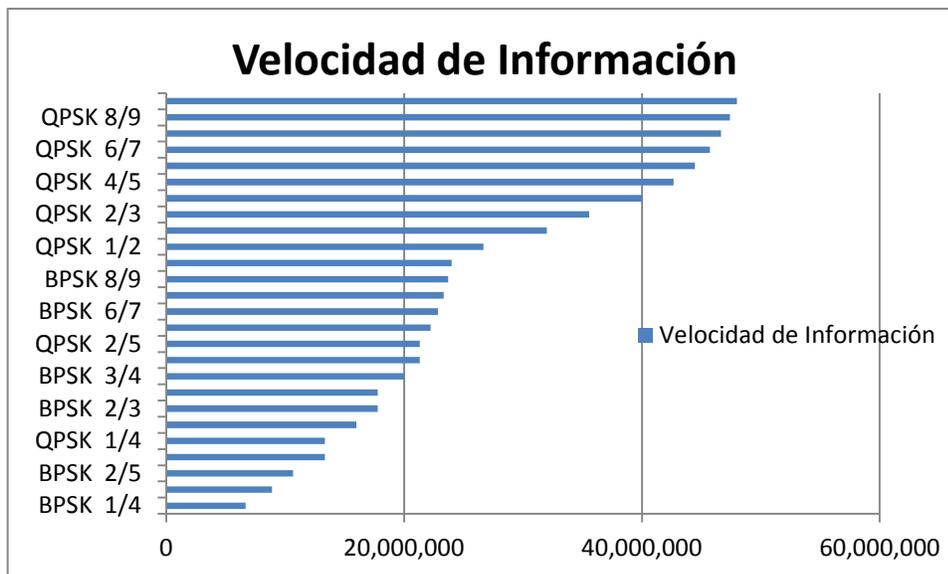


Gráfica 35. Energía ISDB-S en banda KA.

5.1.3 Resultados Banda KA en satélites Regenerativos con Portadora Única.

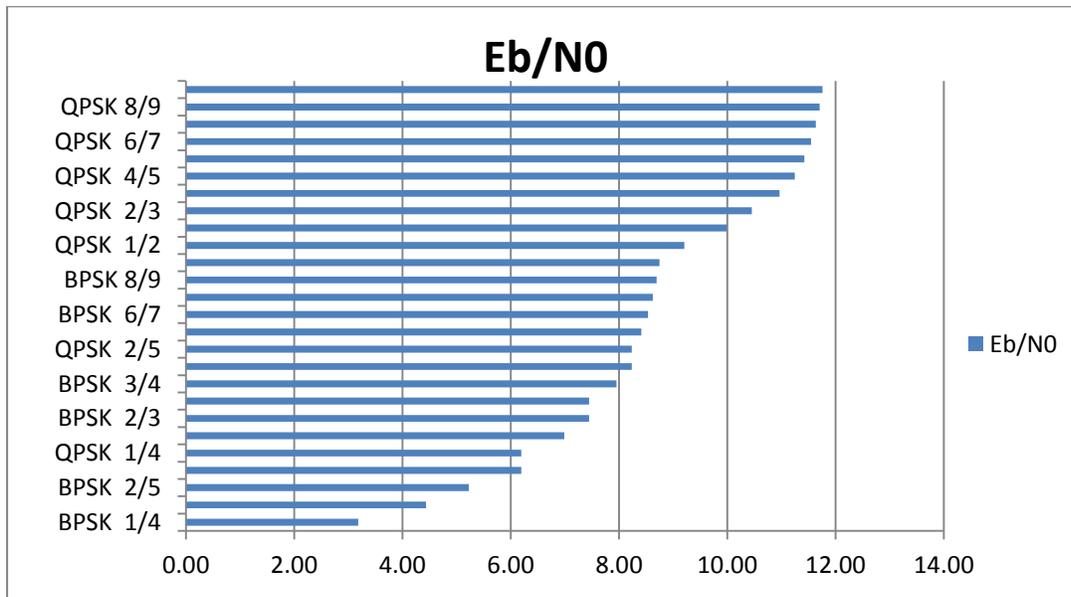
5.1.3.1 DVB-S en Banda KA en Satélites Regenerativos con Portadora Única.

Con los resultados obtenidos de los cálculos de modulaiones con todos los FECs permitidos se puede observar en la gráfica 36 la velocidad que se logra una vez realizado el cálculo en Bits por segundo en el estándar DVB-S en satélites regenerativos.



Gráfica 36. Velocidad de Información DVB-S en banda KA regenerativo.

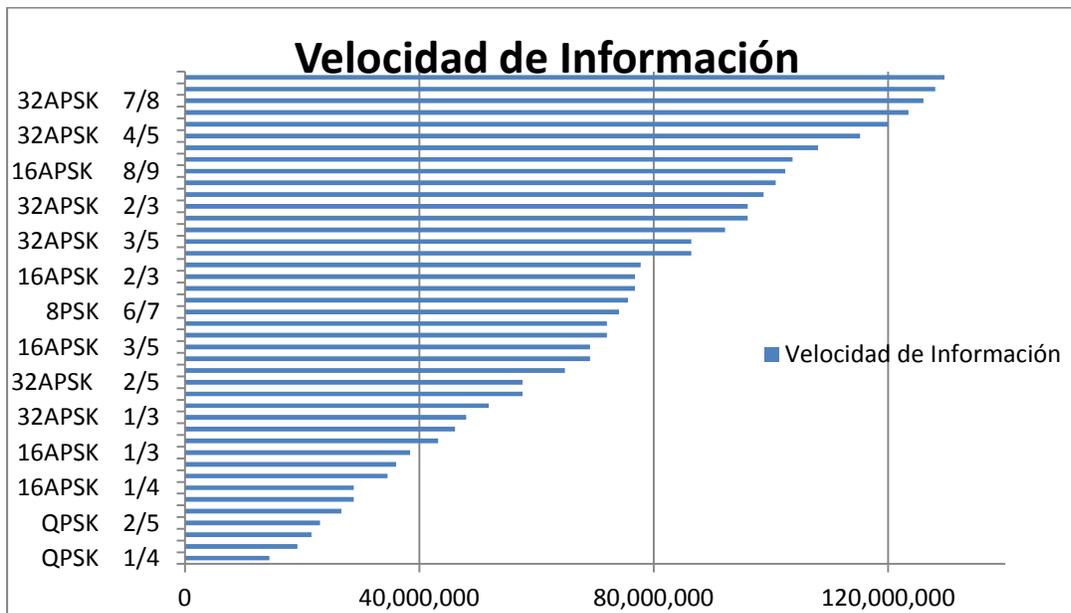
En la gráfica 37 se observa la energía usada por cada una de las modulaiones y FEC's permitidos por el estándar DVB-S.



Gráfica 37. Energía DVB-S en banda KA regenerativo.

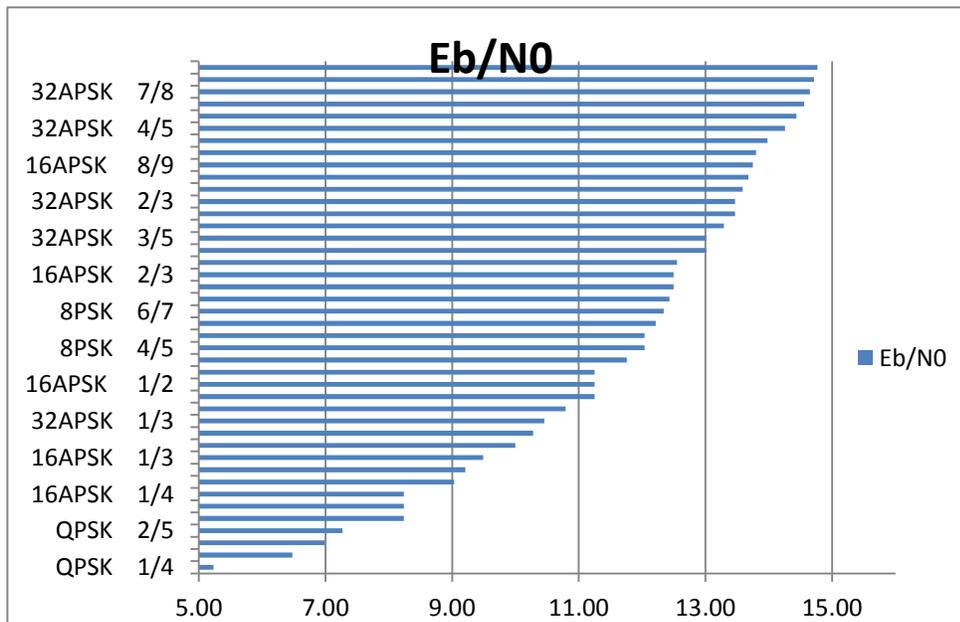
5.1.3.2 DVB-S2 en Banda KA en Satélites Regenerativos con Portadora Única

Con los resultados obtenidos de los cálculos de modulaciones con todos los FECs permitidos se puede observar en la gráfica 38 la velocidad que se logra una vez realizado el cálculo en Bits por segundo en el estándar DVB-S2 en satélites regenerativos.



Gráfica 38. Velocidad de Información DVB-S2 en banda KA regenerativo.

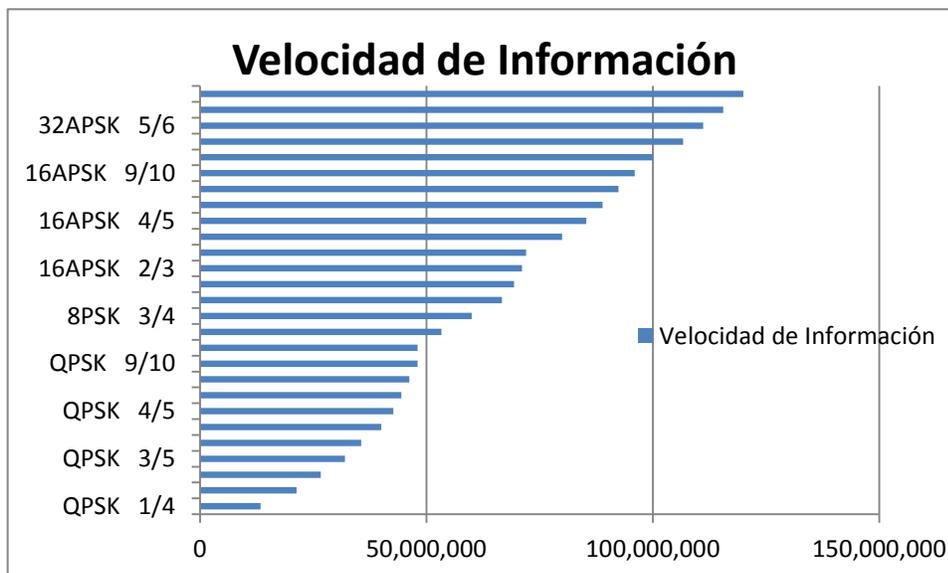
En la gráfica 39 se observa la energía usada por cada una de las modulaciones y FEC's permitidos por el estándar DVB-S2.



Gráfica 39. Energía DVB-S2 en banda KA regenerativo.

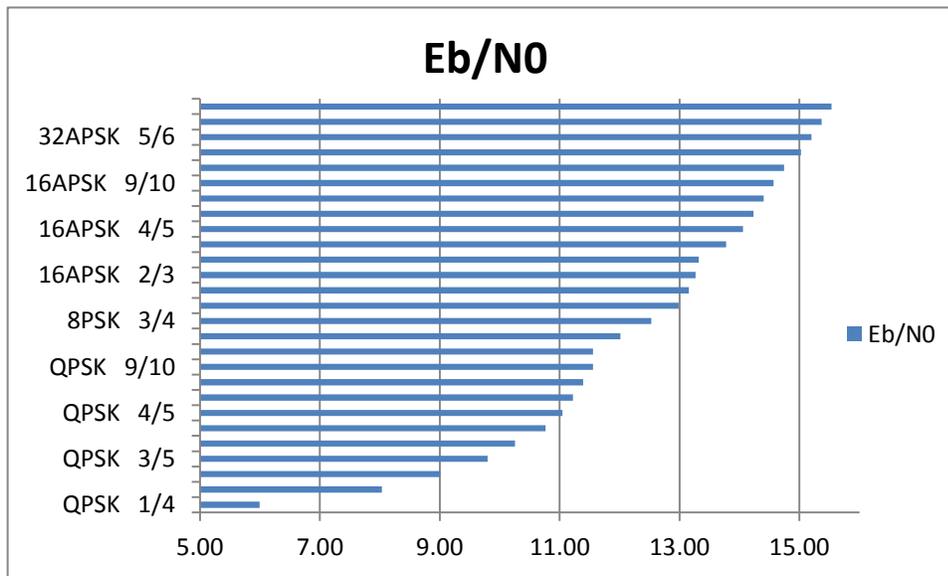
5.1.3.3 ABS-S en Banda KA en Satélites Regenerativos con Portadora Única

Con los resultados obtenidos de los cálculos de modulaciones con todos los FECs permitidos se puede observar en la gráfica 40 la velocidad que se logra una vez realizado el cálculo en Bits por segundo en el estándar ABS-S en satélites regenerativos.



Gráfica 40. Velocidad Información ABS-S en banda KU regenerativo.

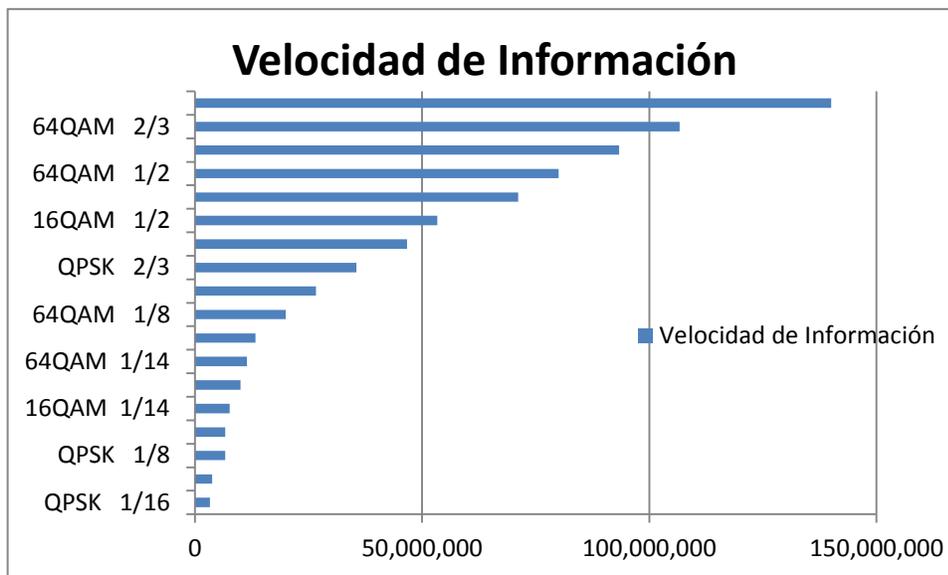
En la gráfica 41 se observa la energía usada por cada una de las modulaciones y FEC's permitidos por el estándar ABS-S en satélites regenerativos.



Gráfica 41. Energía ABS-S en banda KA regenerativo.

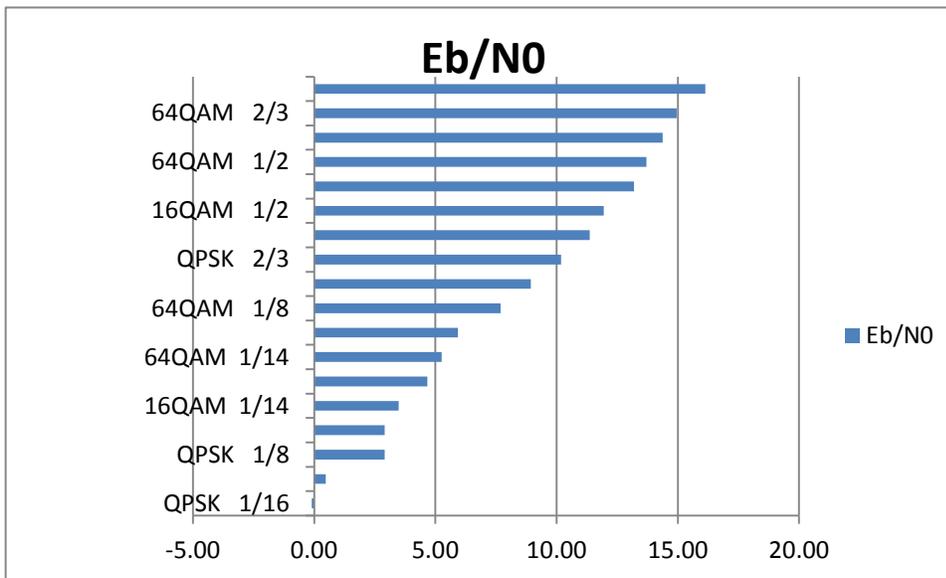
5.1.3.4 ISDB-S en Banda KA en Satélites Regenerativos con Portadora Única

Con los resultados obtenidos de los cálculos de modulsiones con todos los FECs permitidos se puede observar en la gráfica 42 la velocidad que se logra una vez realizado el cálculo en Bits por segundo en el estándar ABS-S en satélites regenerativos.



Gráfica 42. Velocidad de Información IDBS-S en banda KA regenerativo.

En la gráfica 43 se observa la energía usada por cada una de las modulsiones y FECs permitidos por el estándar ISDB-S en satélites regenerativos.



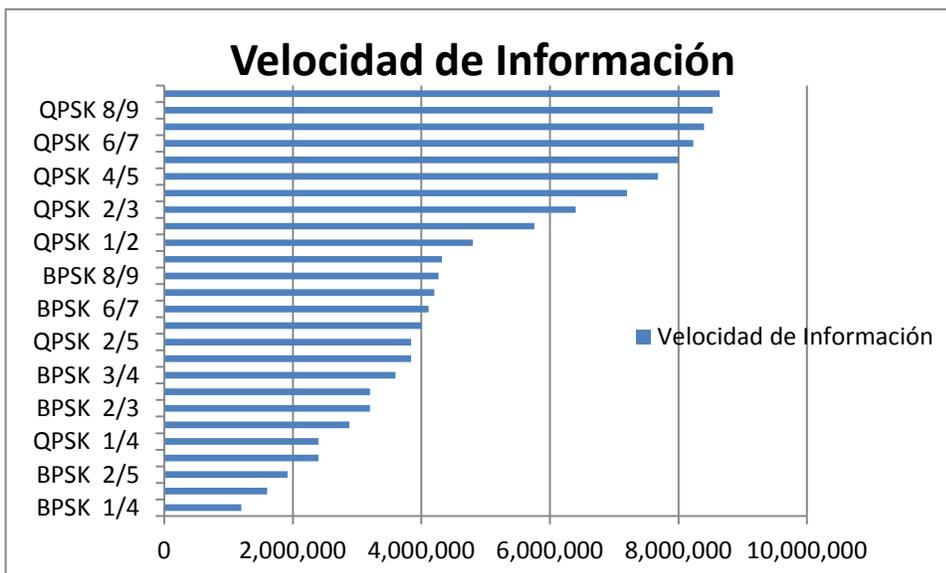
Gráfica 43. Energía ISDB-S en banda KA regenerativo.

5.2 Resultados con Portadoras Múltiples.

5.2.1 Resultados Banda KU con Portadoras Múltiples.

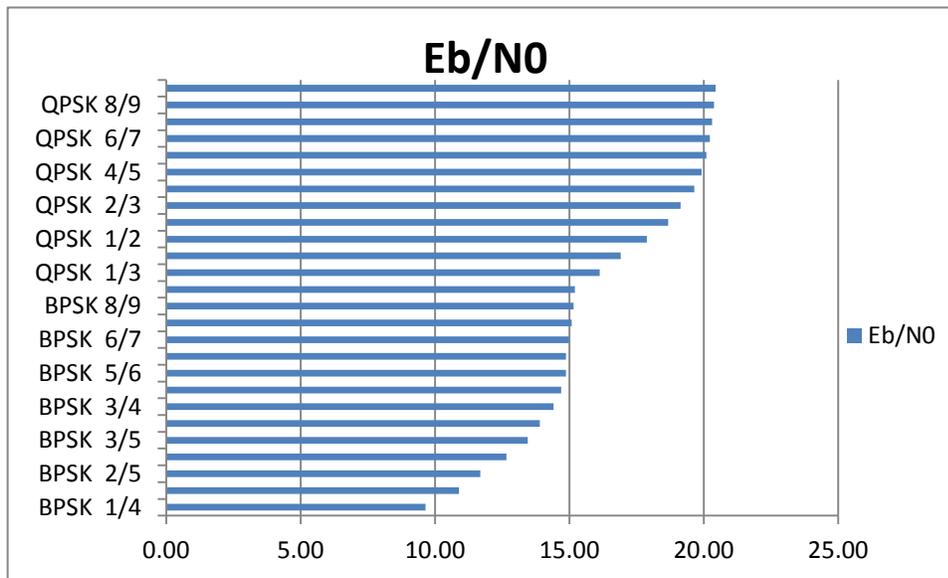
5.2.1.1 DVB-S en Banda KU con Portadoras Múltiples.

Con los resultados de los cálculos de modulaciones BPSK y QPSK con todos los FECs permitidos se puede observar en la gráfica 44 la velocidad que se logra una vez realizado el cálculo en Bits por segundo.



Gráfica 44. Velocidad de Información en DVB-S banda Ku con portadoras Múltiples.

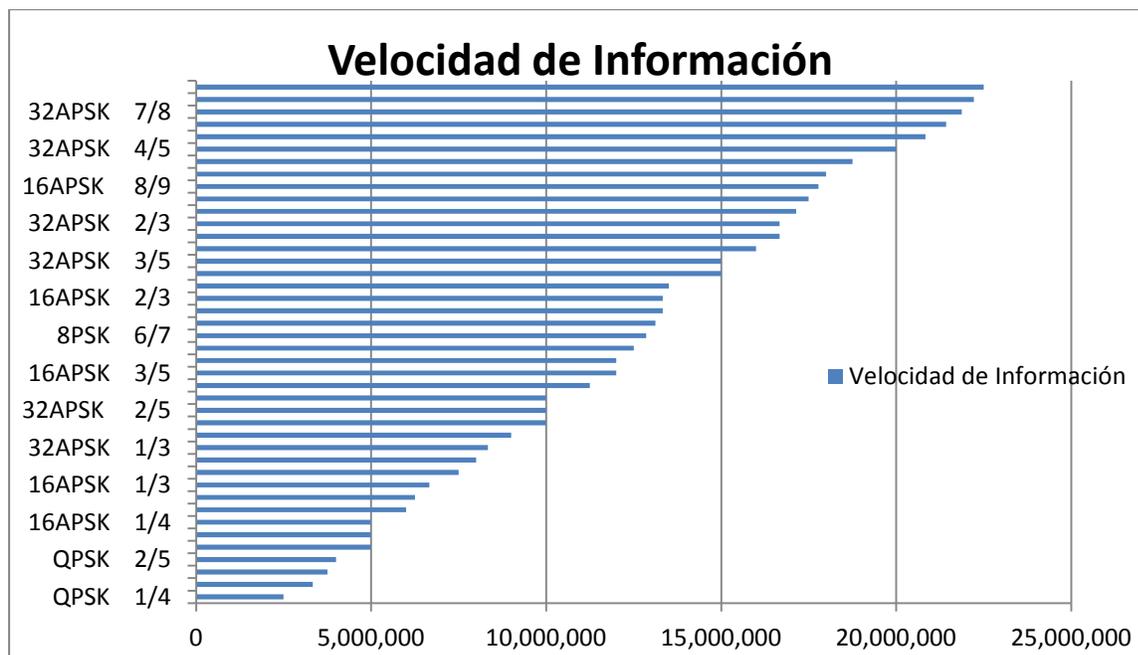
En la gráfica 45 se observa la energía usada por cada una de las modulaciones y FEC's permitidos por el estándar DVB-S en satélites regenerativos.



Gráfica 45. Energía en DVB-S banda Ku con portadoras Múltiples.

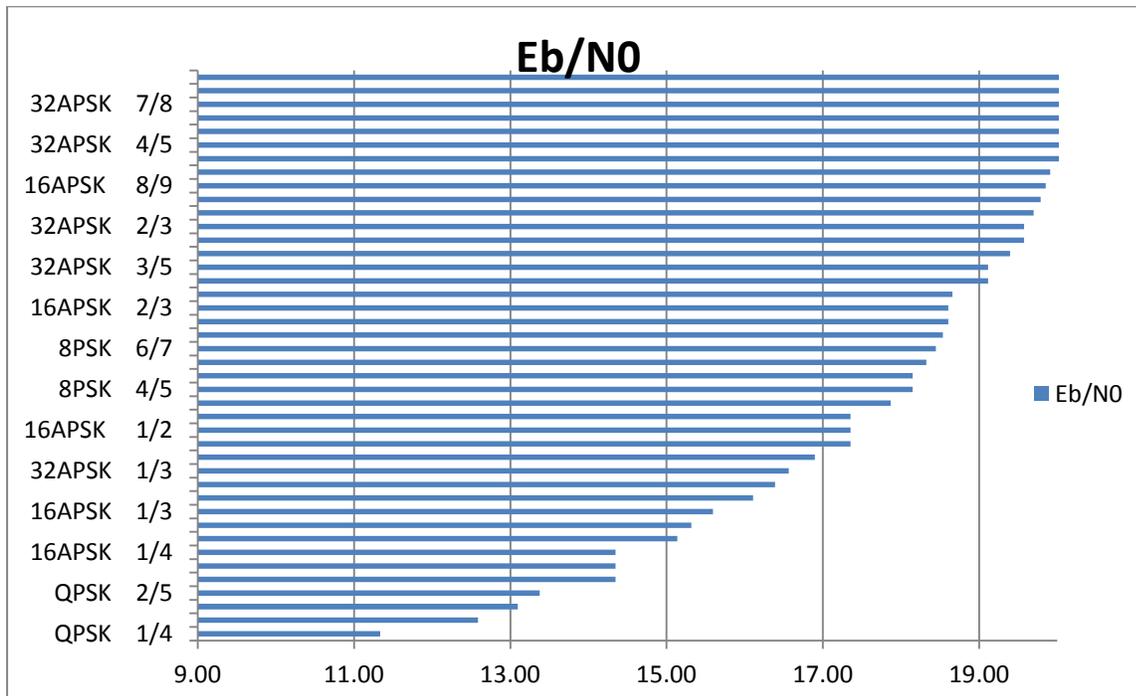
5.2.1.2 DVB-S2 en Banda KU con Portadoras Múltiples.

Con los resultados obtenidos de los cálculos de modulaciones con todos los FECs permitidos se puede observar en la gráfica 46 la velocidad que se logra una vez realizado el cálculo en Bits por segundo en el estándar DVB-S2.



Gráfica 46. Velocidad de Información DVB-S2 en banda Ku con portadoras Múltiples.

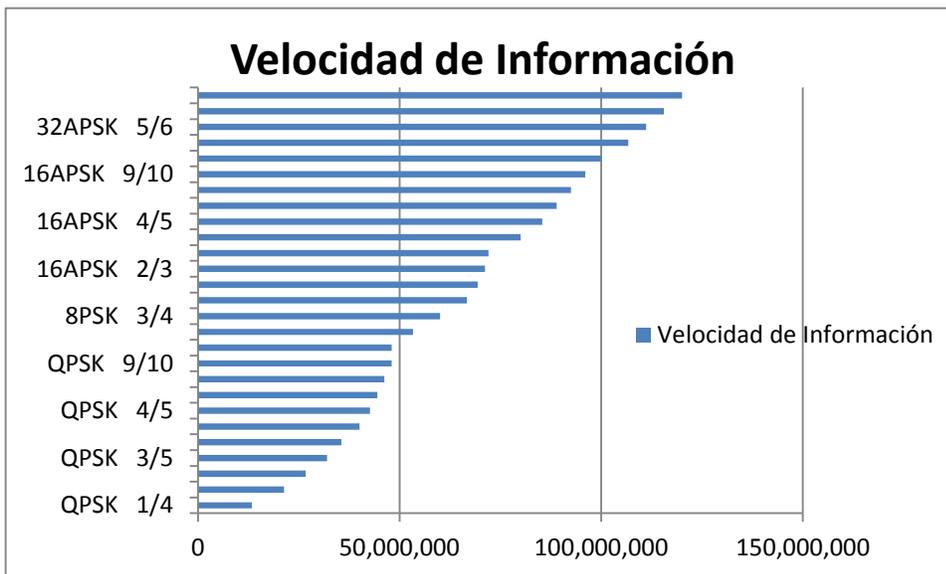
En la gráfica 47 se observa la energía usada por cada una de las modulaciones y FEC's permitidos por el estándar DVB-S2.



Gráfica 47. Energía DVB-S2 en banda Ku con portadoras Múltiples.

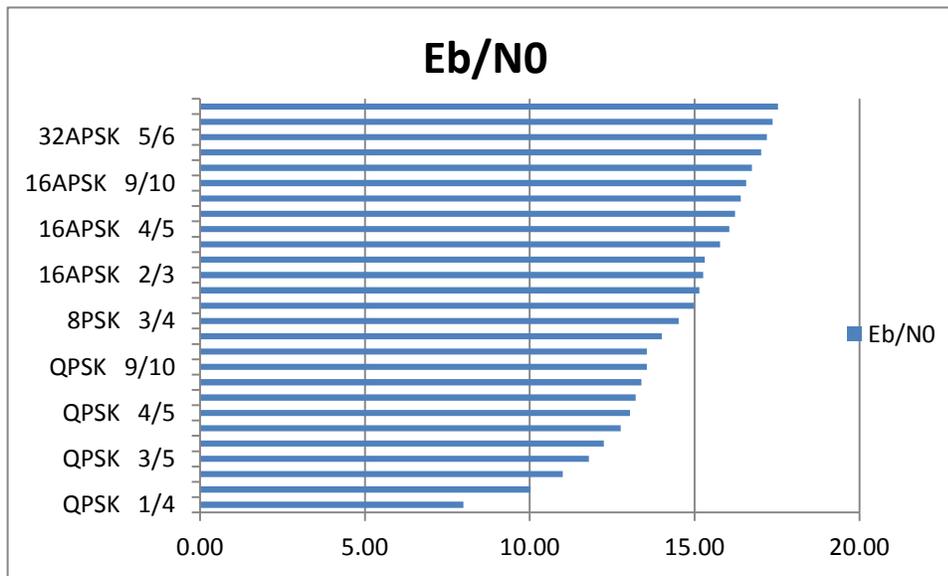
5.2.1.3 ABS-S en Banda KU con Portadoras Múltiples.

Con los resultados obtenidos de los cálculos de modulaciones con todos los FECs permitidos se puede observar en la gráfica 48 la velocidad que se logra una vez realizado el cálculo en Bits por segundo en el estándar ABS-S en banda KU con portadoras Múltiples.



Gráfica 48. Velocidad de Información ABS-S en banda Ku con portadoras Múltiples.

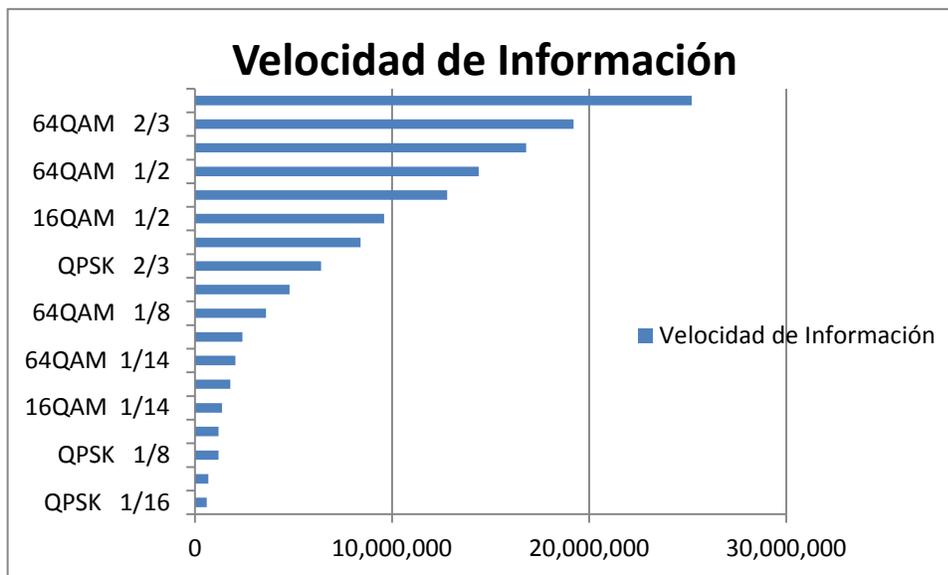
En la gráfica 49 se observa la energía usada por cada una de las modulaciones y FEC's permitidos por el estándar ABS-S con portadoras multiples.



Gráfica 49. Energía ABS-S en banda Ku con portadoras Múltiples.

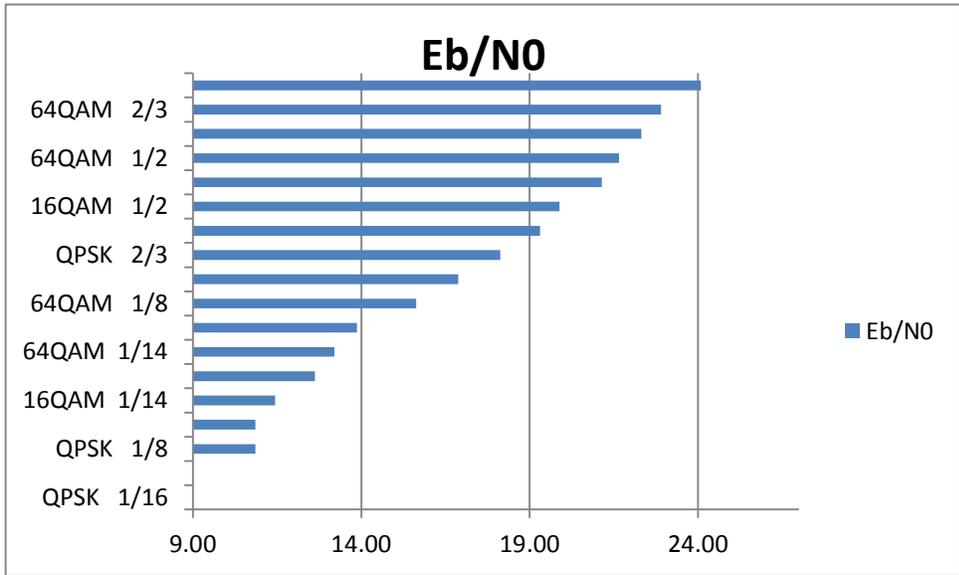
5.2.1.4 ISDB-S en Banda KU con Portadoras Múltiples.

Con los resultados obtenidos de los cálculos de modulaciones con todos los FECs permitidos se puede observar en la gráfica 50 la velocidad que se logra una vez realizado el cálculo en Bits por segundo en el estándar ISDB-S en satélites regenerativos.



Gráfica 50. Velocidad de Información en ISDB-S en banda Ku con portadoras Múltiples.

En la gráfica 51 se observa la energía usada por cada una de las modulaciones y FEC's permitidos por el estándar DVB-S en satelites regenerativos.

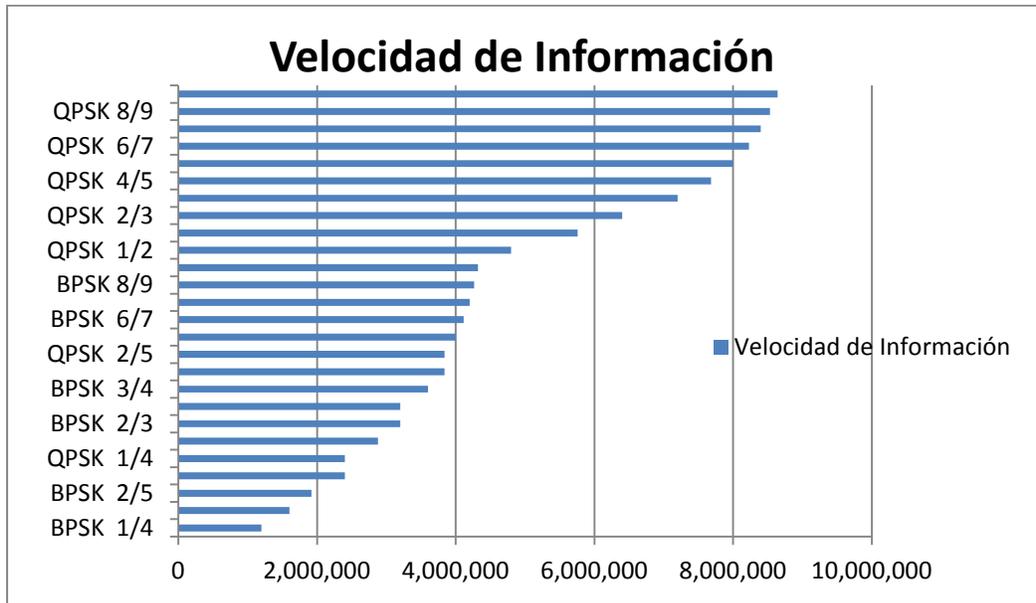


Gráfica 51. Energía en ISDB-S en banda Ku con portadoras Múltiples.

5.2.2 Resultados en Banda KA con Portadoras Múltiples.

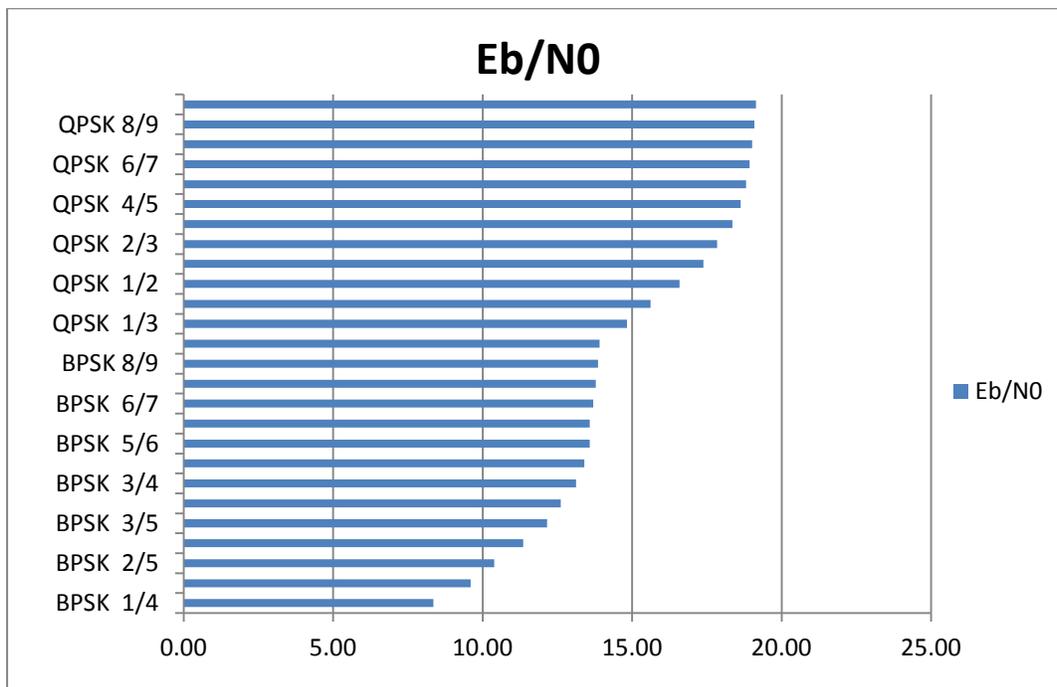
5.2.2.1 DVB-S en Banda KA con Portadoras Múltiples.

Con los resultados obtenidos de los cálculos de modulaciones con todos los FECs permitidos se puede observar en la gráfica 52 la velocidad que se logra una vez realizado el cálculo en Bits por segundo en el estándar DVB-S en banda KA con portadoras múltiples.



Gráfica 52. Velocidad de Información en el DVB-S en banda Ka con portadoras Múltiples.

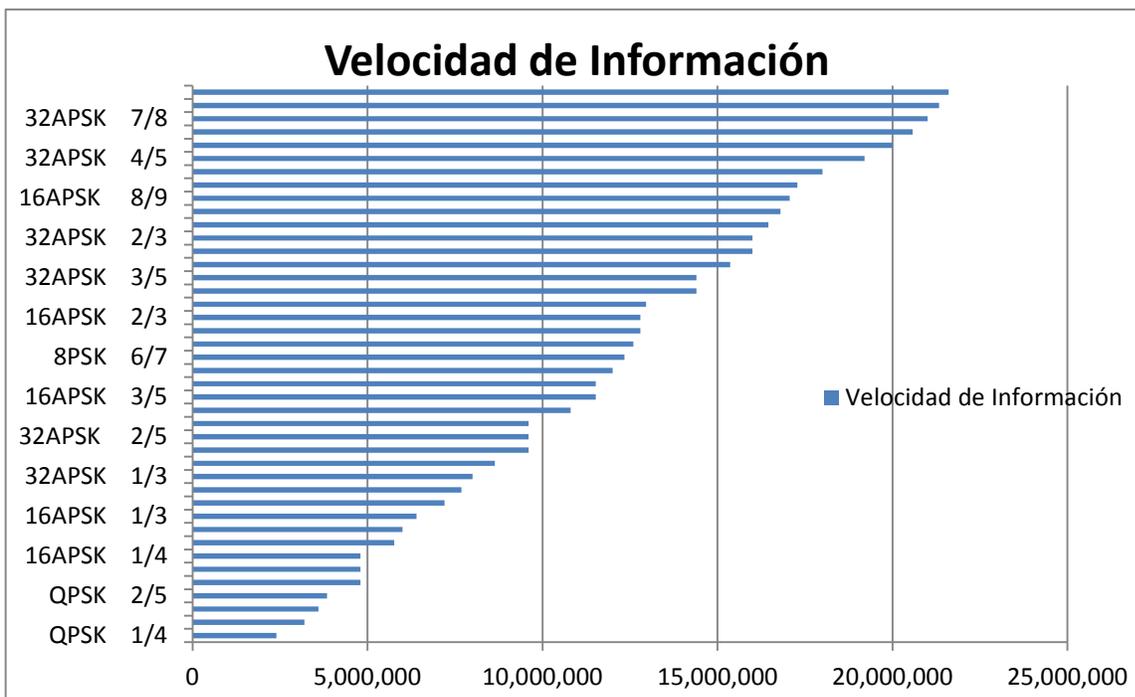
En la gráfica 53 se observa la energía usada por cada una de las modulaciones y FEC's permitidos por el estándar DVB-S en banda ka con portadoras múltiples.



Gráfica 53. Energía en el DVB-S en banda Ka con portadoras Múltiples.

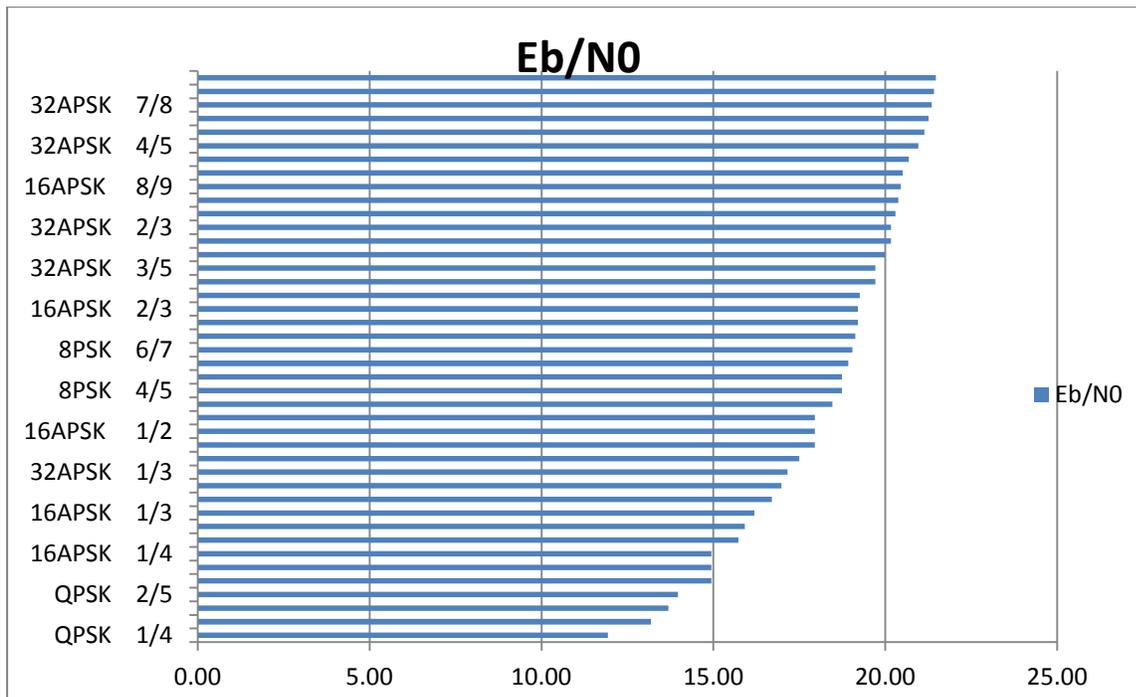
5.2.2.2 DVB-S2 en Banda KA con Portadoras Múltiples.

Con los resultados obtenidos de los cálculos de modulaciones con todos los FECs permitidos se puede observar en la gráfica 54 la velocidad que se logra una vez realizado el cálculo en Bits por segundo en el estándar DVB-S2 en banda KA con portadoras múltiples.



Gráfica 54. Velocidad de Información en DVB-S2 en banda Ka con portadoras Múltiples.

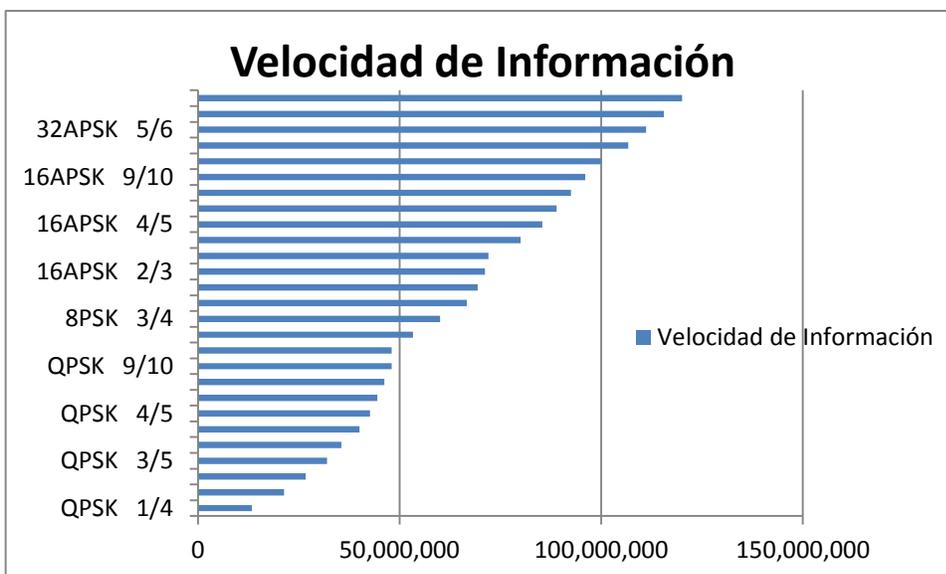
En la gráfica 55 se observa la energía usada por cada una de las modulaciones y FEC's permitidos por el estándar DVB-S2 en satélites regenerativos.



Gráfica 55. Energía en DVB-S2 en banda Ka con portadoras Múltiples.

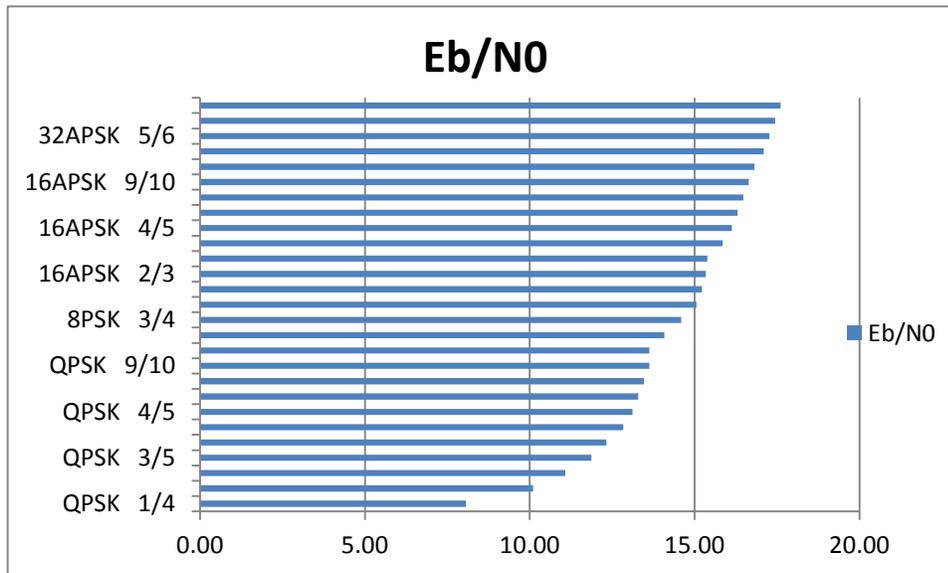
5.2.2.3 ABS-S en Banda KA con Portadoras Múltiples.

Con los resultados obtenidos de los cálculos de modulaciones con todos los FECs permitidos se puede observar en la gráfica 56 la velocidad que se logra una vez realizado el cálculo en Bits por segundo en el estándar ABS-S.



Gráfica 56. Velocidad de Información en ABS-S en banda Ka con portadoras Múltiples.

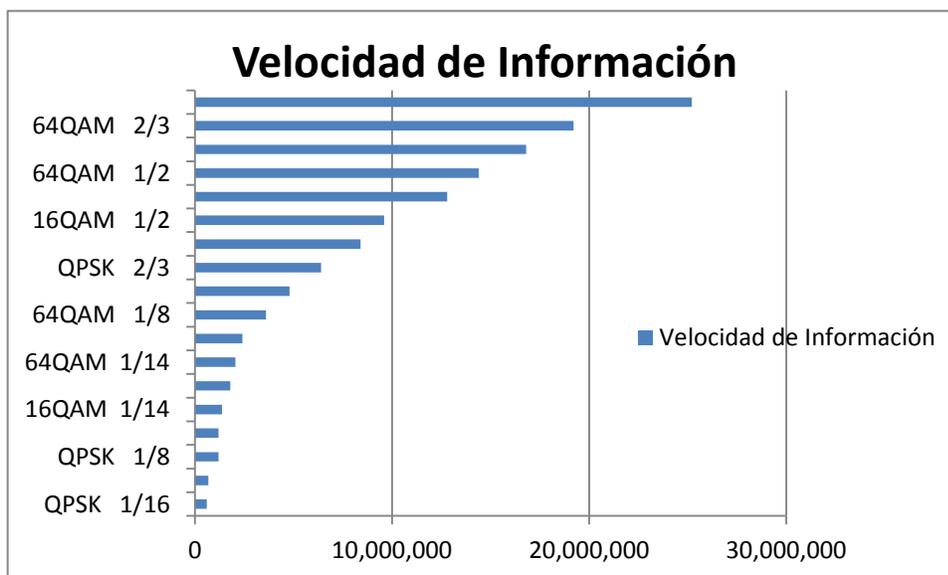
En la gráfica 57 se observa la energía usada por cada una de las modulaciones y FEC's permitidos por el estándar ABS-S en banda ka con portadoras múltiples.



Gráfica 57. Energía en ABS-S en banda Ka con portadoras Múltiples.

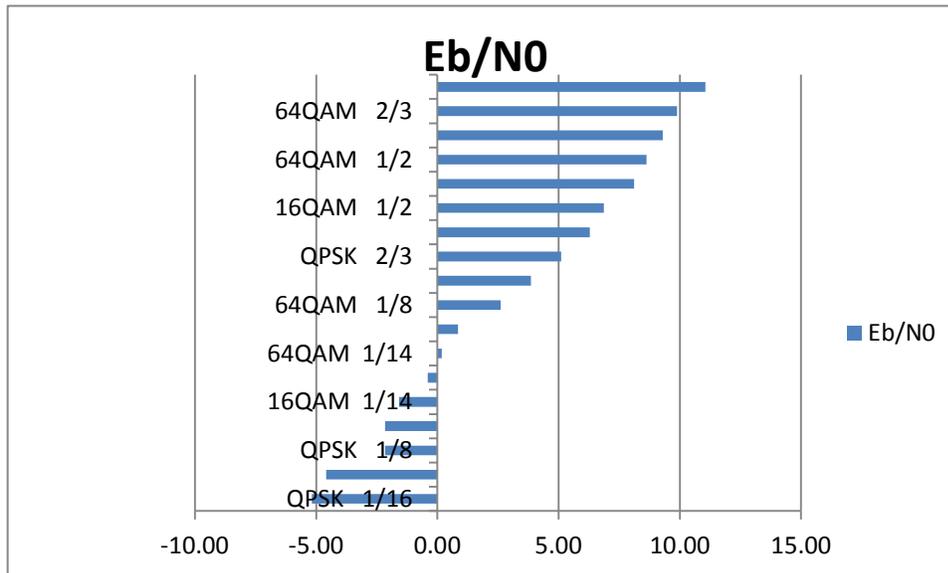
5.2.2.4 ISDB-S en Banda KA con Portadoras Múltiples.

Con los resultados obtenidos de los cálculos de modulaciones con todos los FECs permitidos se puede observar en la gráfica 58 la velocidad que se logra una vez realizado el cálculo en Bits por segundo en el estándar ABS-S en banda KA con portadoras múltiples.



Gráfica 58. Velocidad de Información en ISDB-S en banda Ka con portadoras Múltiples.

En la gráfica 59 se observa la energía usada por cada una de las modulaciones y FEC's permitidos por el estándar DVB-S en banda KA con portadoras múltiples.

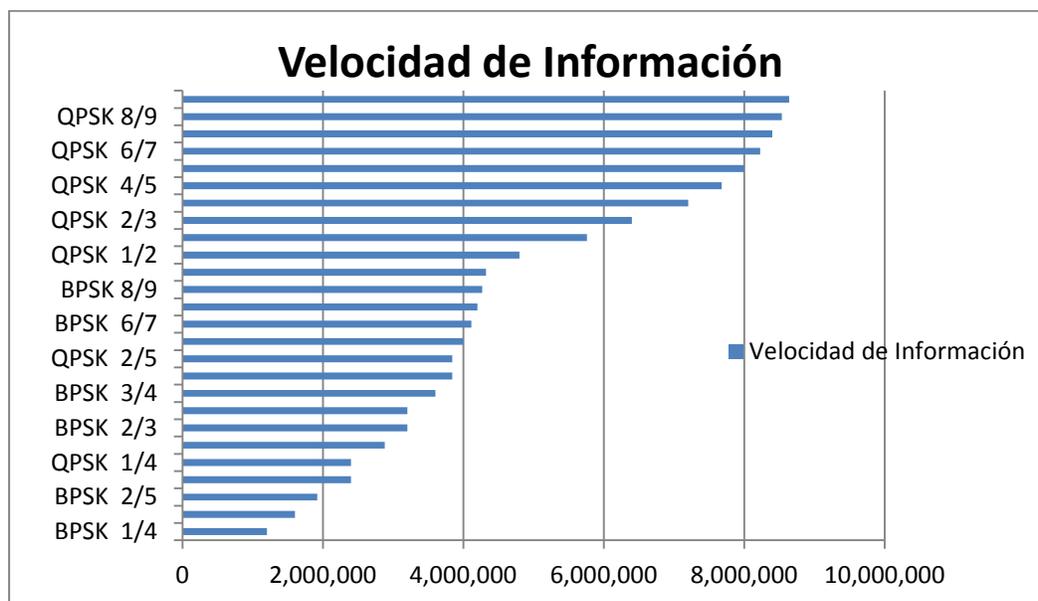


Gráfica 59. Energía en ISDB-S en banda Ka con portadoras Múltiples.

5.2.3 Resultados en Banda KA Regenerativo con Portadoras Múltiples.

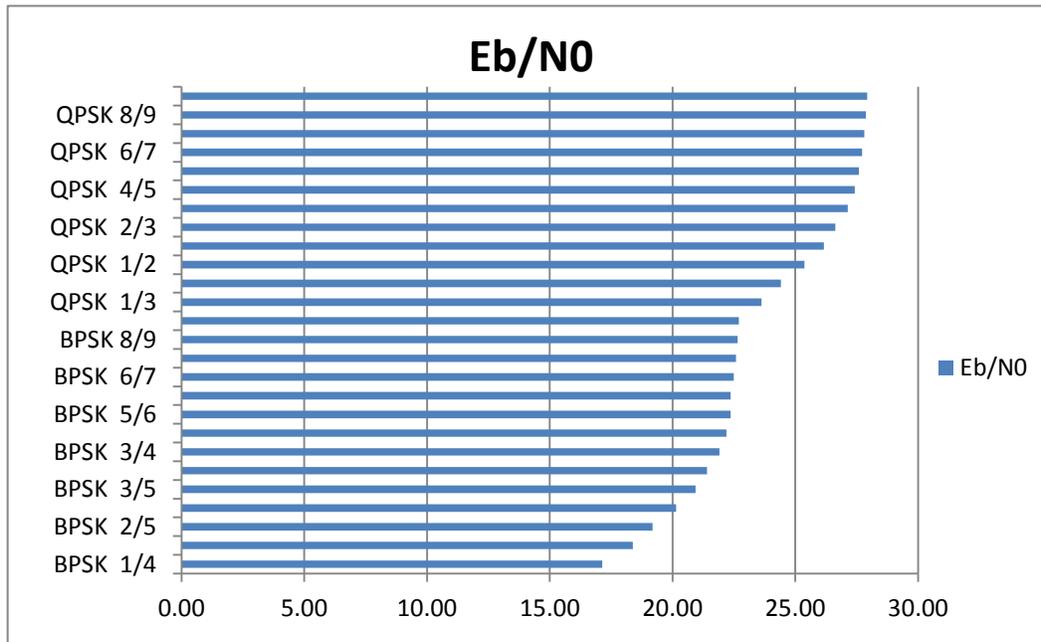
5.2.3.1 DVB-S en Banda KA Regenerativo con Portadoras Múltiples.

Con los resultados obtenidos de los cálculos de modulaciones con todos los FECS permitidos se puede observar en la gráfica 60 la velocidad que se logra una vez realizado el cálculo en Bits por segundo en el estándar DVB-S en satélites regenerativos con portadoras múltiples.



Gráfica 60. Velocidad de Información en DVB-S en banda KA regenerativo con portadoras Múltiples.

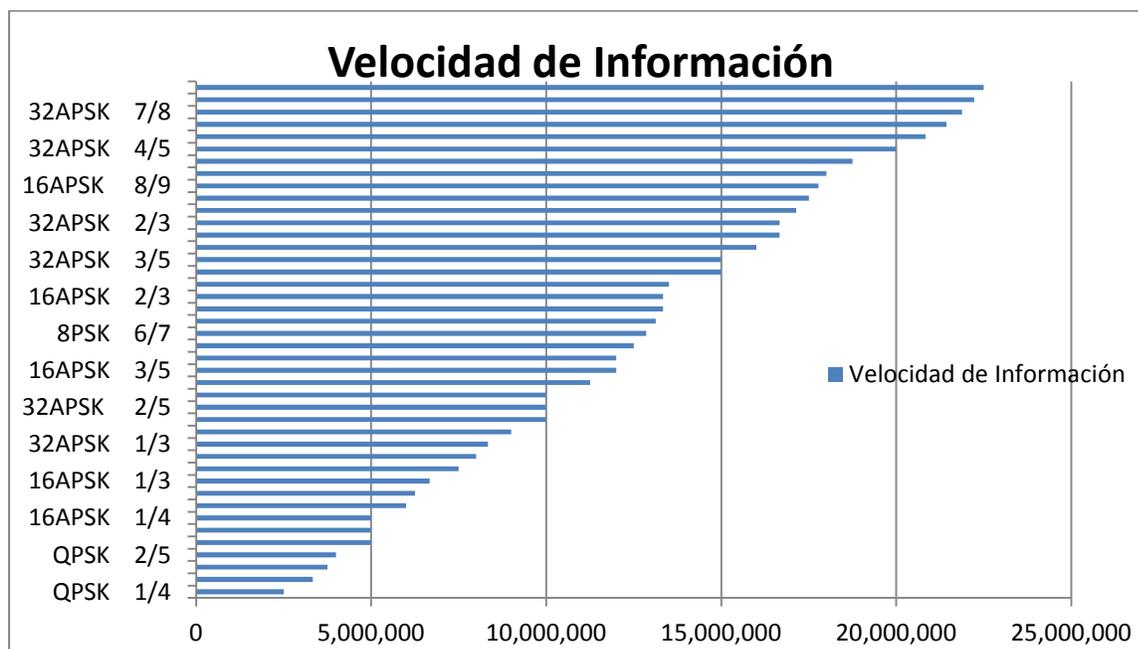
En la gráfica 61 se observa la energía usada por cada una de las modulaciones y FEC's permitidos por el estándar DVB-S en satélites regenerativos con portadoras múltiples.



Gráfica 61. Energía en DVB-S en banda KA regenerativo con portadoras múltiples.

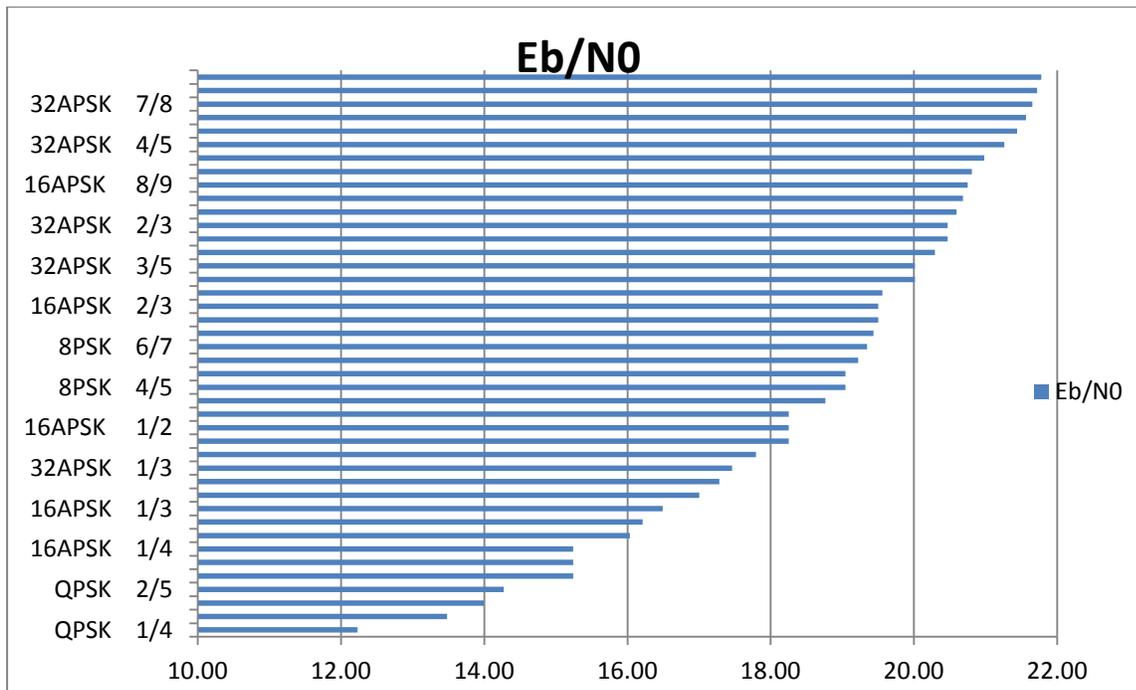
5.2.3.2 DVB-S2 en Banda KU Regenerativo con Portadoras Múltiples.

Con los resultados obtenidos de los cálculos de modulaciones con todos los FECs permitidos se puede observar en la gráfica 62 la velocidad que se logra una vez realizado el cálculo en Bits por segundo en el estándar DVB-S2 en satélites regenerativos con portadoras múltiples.



Gráfica 62. Velocidad de información en DVB-S2 en banda KA regenerativo con portadoras múltiples.

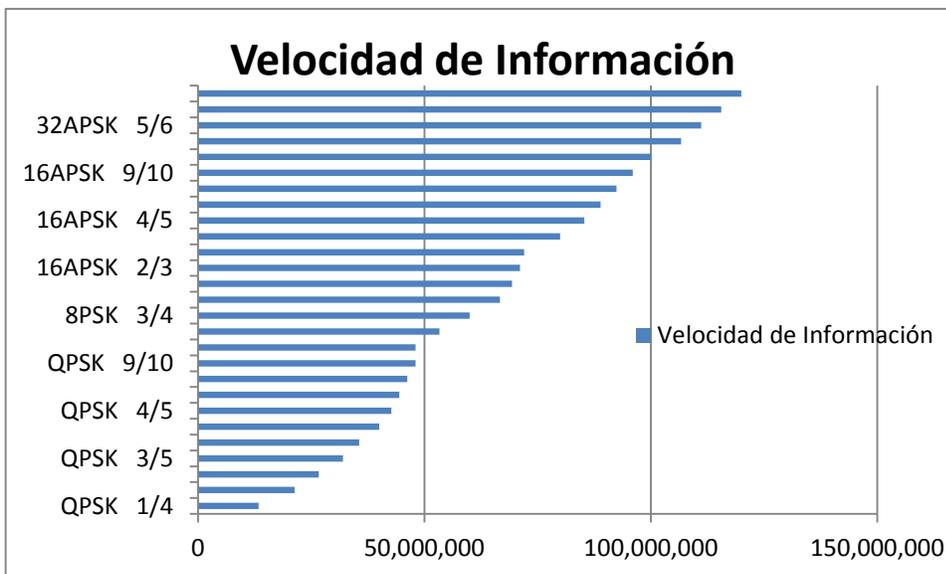
En la gráfica 63 se observa la energía usada por cada una de las modulaciones y FEC's permitidos por el estándar DVB-S2 en satélites regenerativos con portadoras múltiples.



Gráfica 63. Energía en DVB-S2 en banda KA regenerativo con portadoras múltiples.

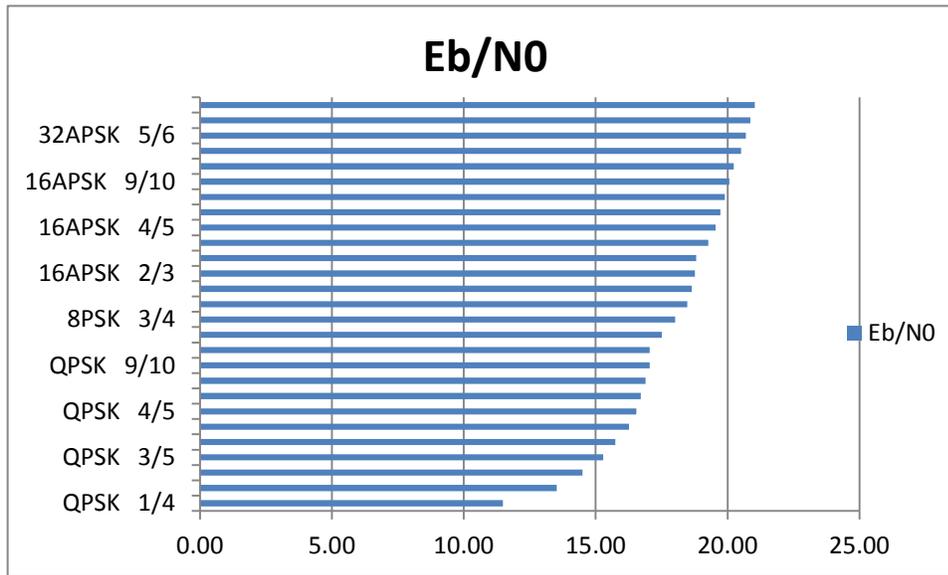
5.2.3.3 ABS-S en Banda KA Regenerativo con Portadoras Múltiples.

Con los resultados obtenidos de los cálculos de modulaciones con todos los FECs permitidos se puede observar en la gráfica 64 la velocidad que se logra una vez realizado el cálculo en Bits por segundo en el estándar ABS-S en satélites regenerativos con portadoras múltiples.



Gráfica 64. Velocidad de Información ABS-S en banda KA regenerativo con portadoras múltiples.

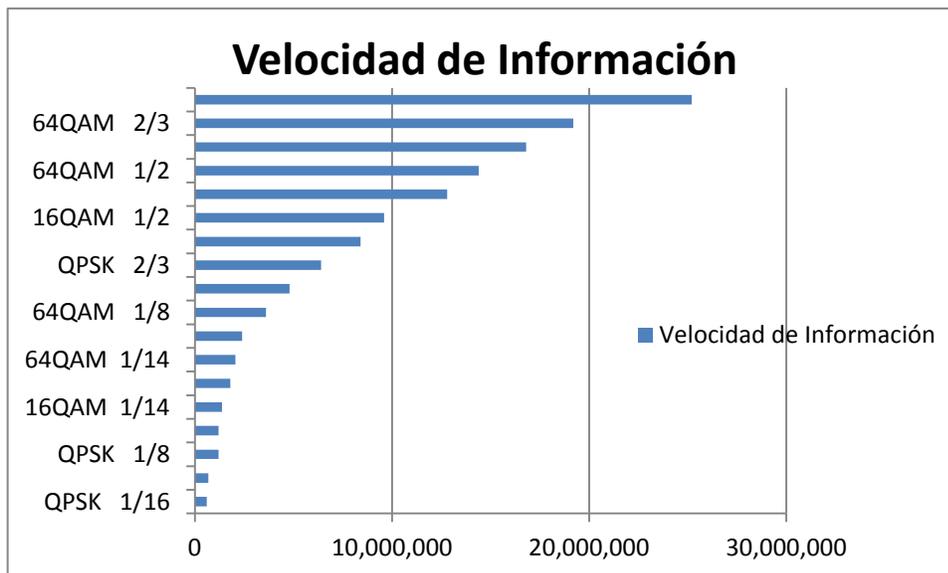
En la gráfica 65 se observa la energía usada por cada una de las modulaciones y FEC's permitidos por el estándar ABS-S en satélites regenerativos con portadoras múltiples.



Gráfica 65. Energía en ABS-S en banda KA regenerativo con portadoras múltiples.

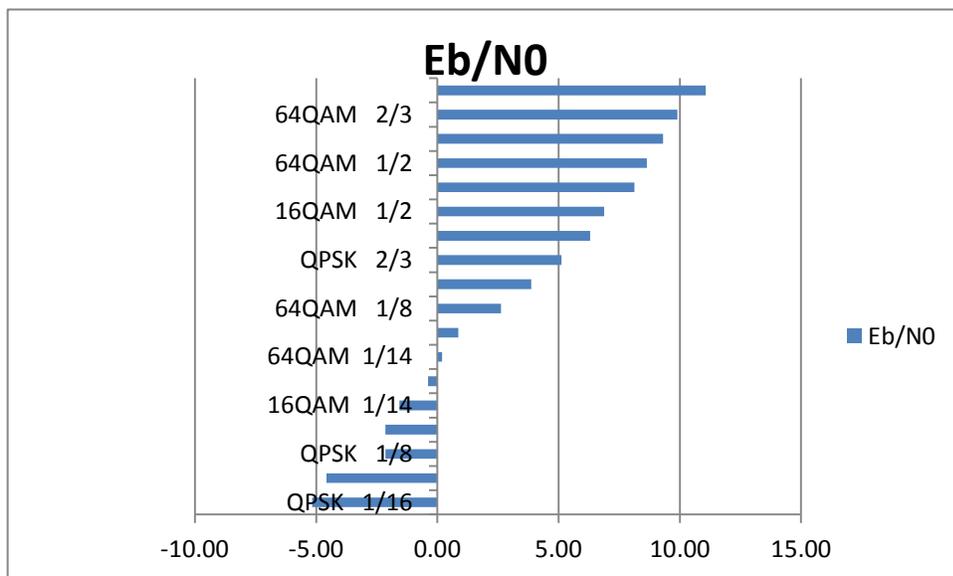
5.2.3.4 ISDBS-S en Banda KA Regenerativo con Portadoras Múltiples.

Con los resultados obtenidos de los cálculos de modulaciones con todos los FECs permitidos se puede observar en la gráfica 66 la velocidad que se logra una vez realizado el cálculo en Bits por segundo en el estándar ISDB-S en satélites regenerativos con portadoras múltiples.



Gráfica 66. Velocidad de Información en ISDB-S en banda KA regenerativo con portadoras múltiples.

En la gráfica 67 se observa la energía usada por cada una de las modulaciones y FEC's permitidos por el estándar ISDB-S en satélites regenerativos con portadoras múltiples.



Gráfica 67. Energía en ISDB-S en banda KA regenerativo.

Conclusiones.

Esta tesis permitió observar el comportamiento de las distintas opciones para la difusión de televisión vía satélite, como son los estándares **DVB-S** el primer estándar de origen europeo, el estándar que permite una menor velocidad de información pero esto se debe a sus limitaciones por ser innovador.

BPSK con Fec's de $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{5}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{6}{7}$, $\frac{7}{8}$, $\frac{8}{9}$ y $\frac{9}{10}$.

QPSK con Fec's de $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{5}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{6}{7}$, $\frac{7}{8}$, $\frac{8}{9}$ y $\frac{9}{10}$.

Para velocidades inferiores a 20,000 kbits por segundo y un E_b/N_0 menor a 7.51 dB en condiciones de cielo despejado en ambos lados se pueden utilizar:

Modulación BPSK $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{5}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{2}{3}$ y $\frac{3}{4}$

Modulación QpSK $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{3}$

Para velocidades entre 20,000 kb/seg a 32,000 Kb/seg y un E_b/N_0 entre 7.51 y 9 dB

Modulación BPSK $\frac{4}{5}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{6}{7}$, $\frac{7}{8}$, $\frac{8}{9}$ y $\frac{9}{10}$.

Modulación QPSK $\frac{2}{5}$ y $\frac{1}{2}$,

Para velocidades mayores a 32,000 Kb/seg y un mayor E_b/N_0 mayor a 9.27 dB

Modulación QPSK $\frac{3}{5}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{6}{7}$, $\frac{7}{8}$, $\frac{8}{9}$ y $\frac{9}{10}$.

Estas limitaciones superaron con su actualización, el estándar **DVB-S2**, se aumentaron las modulaciones permitidas y se mantuvo el uso del gran número de FEC's. El mayor cambio fue quitar BPSK, disminuir el número de FEC's en Qpsk, así como aumentar las modulaciones 8PSK, 16APSK Y 32 APSK, en estas modulaciones se manejan FEC's de $\frac{1}{4}$ a $\frac{9}{10}$. Lo que convierte este estándar en el más versátil de todos.

QPSK con FEC's de $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{5}$ y $\frac{1}{2}$.

8PSK con FEC's de $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{5}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{6}{7}$, $\frac{7}{8}$, $\frac{8}{9}$ y $\frac{9}{10}$.

16APSK con FEC's de $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{5}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{6}{7}$, $\frac{7}{8}$, $\frac{8}{9}$ y $\frac{9}{10}$.

32APSK con FEC's de $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{5}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{6}{7}$, $\frac{7}{8}$, $\frac{8}{9}$ y $\frac{9}{10}$.

Para velocidades inferiores a 64,800 kbits por segundo y un E_b/N_0 menor a 11.59 se pueden utilizar:

Modulación QpSK $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{5}$ y $\frac{1}{2}$.

Modulación 8PSK $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{5}$, $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{5}$.

Modulación 16APSK $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{5}$ y $\frac{1}{2}$.

Modulación 32APSK $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$ y $\frac{2}{5}$.

Para velocidades entre 64,800 kb/seg a 77,000 Kb/seg y un E_b/N_0 entre 11.59 y 12.89 dB

Modulación 8PSK $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{6}{7}$, $\frac{7}{8}$ y $\frac{8}{9}$.

Modulación 16APSK $\frac{3}{5}$ y $\frac{2}{3}$.

Modulación 32APSK $\frac{1}{2}$.

Para velocidades mayores a 77,000 Kb/seg y un mayor E_b/N_0 mayor a 12.89 dB

Modulación 16 APSK $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{6}{7}$, $\frac{7}{8}$, $\frac{8}{9}$ y $\frac{9}{10}$

Modulación 32APSK $\frac{3}{5}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{6}{7}$, $\frac{7}{8}$, $\frac{8}{9}$ y $\frac{9}{10}$.

El estándar chino **ABS-S** permite cuatro modulaciones

QPSK con FEC's de $\frac{1}{4}$, $\frac{2}{5}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{13}{15}$ y $\frac{9}{10}$.

8PSK con FEC's de $\frac{3}{5}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{13}{15}$ y $\frac{9}{10}$.

16APSK con FEC's de $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{13}{15}$ y $\frac{9}{10}$.

32APSK con FEC's $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{13}{15}$ y $\frac{9}{10}$.

Para velocidades inferiores a 48,000 kbits por segundo y un Eb/N0 menor a 11.56 dB se pueden utilizar:

Modulación QPSK $\frac{1}{4}$, $\frac{2}{5}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{13}{15}$ y $\frac{9}{10}$

Para velocidades entre 48,000 kb/seg a 85,300 Kb/seg y un Eb/N0 entre 11.56 y 14.06 dB

Modulación 8APSK $\frac{3}{5}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{13}{15}$ y $\frac{9}{10}$

Modulación 16APSK $\frac{2}{3}$ y $\frac{3}{4}$,

Para velocidades mayores a 85,300 Kb/seg y un mayor Eb/N0 mayor a 14.06 dB

Modulación 16APSK $\frac{4}{5}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{13}{15}$ y $\frac{9}{10}$.

Modulación 32APSK $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{13}{15}$ y $\frac{9}{10}$.

El estandar Japonés **ISDB-S** cuenta con solo tres modulaciones permitidas QPSK, 16QAM Y 64QAM con sólo 6 FEC's a utilizar en cada modulación $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{14}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{7}{8}$.

QPSK con FEC's de $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{14}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{7}{8}$.

16QAM con FEC's de $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{14}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{7}{8}$.

64QAM con FEC's de $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{14}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{7}{8}$.

Para velocidades inferiores a 10,000 kbits por segundo y un Eb/N0 menor a 4.67 dB se pueden utilizar:

Modulación QPSK $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{14}$ y $\frac{7}{8}$.

Modulación 16QAM $\frac{1}{16}$ y $\frac{1}{14}$.

Modulación 64QAM $\frac{1}{16}$.

Para velocidades entre 10,000 kb/seg a 71,111 Kb/seg y un Eb/N0 entre 4.67 y 13.19 dB

Modulación QPSK $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$ y $\frac{7}{8}$.

Modulación 16QAM $\frac{1}{8}$ y $\frac{1}{2}$.

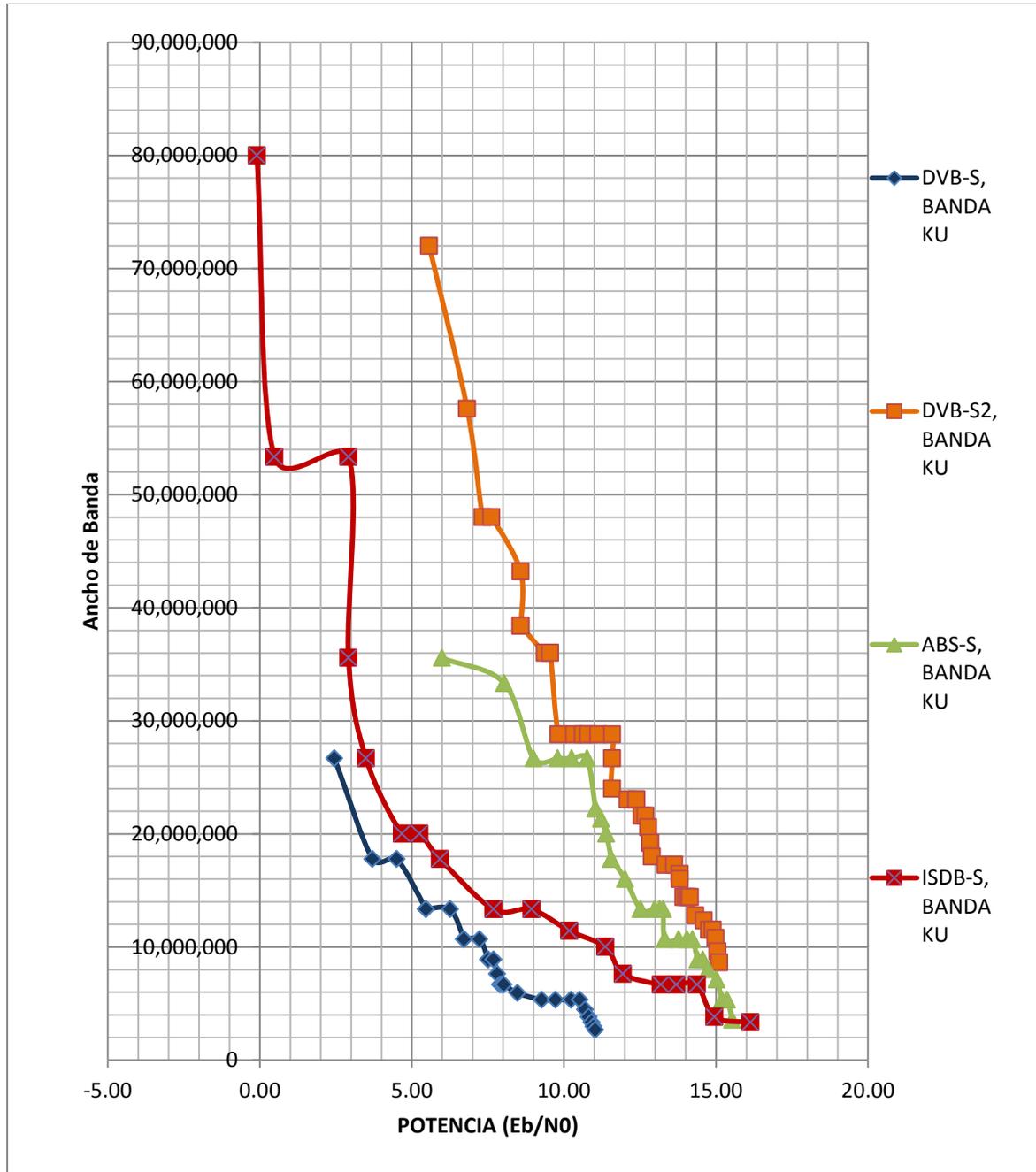
Modulación 64QAM $\frac{1}{14}$ y $\frac{7}{8}$.

Para velocidades mayores a 71,111 Kb/seg y un mayor Eb/N0 mayor a 13.19 dB

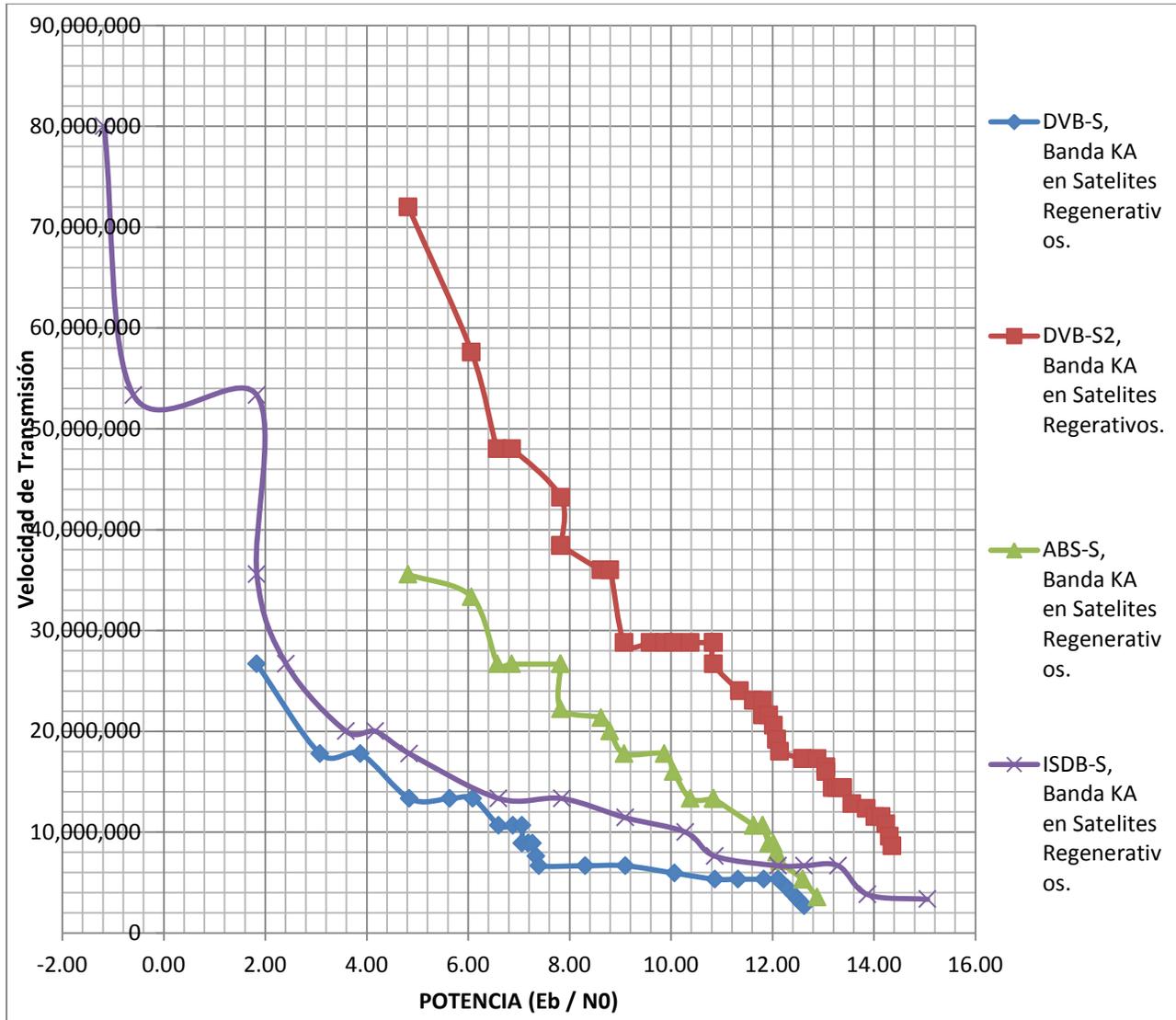
Modulación 16QAM $\frac{2}{3}$ y $\frac{7}{8}$.

Modulación 64QAM $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$ y $\frac{7}{8}$.

La siguiente gráfica 68 muestra en desempeño de los estandares en la banda Ku.



La gráfica 68 muestra que en términos de velocidad (ancho de banda) el estándar japonés ISDB-S es el que tiene la mayor velocidad de transmisión, seguido por el estándar DVB-S2, en tercer lugar tenemos al estándar chino ABS-S y por ultimo el estándar mas antiguo el DVB-S.

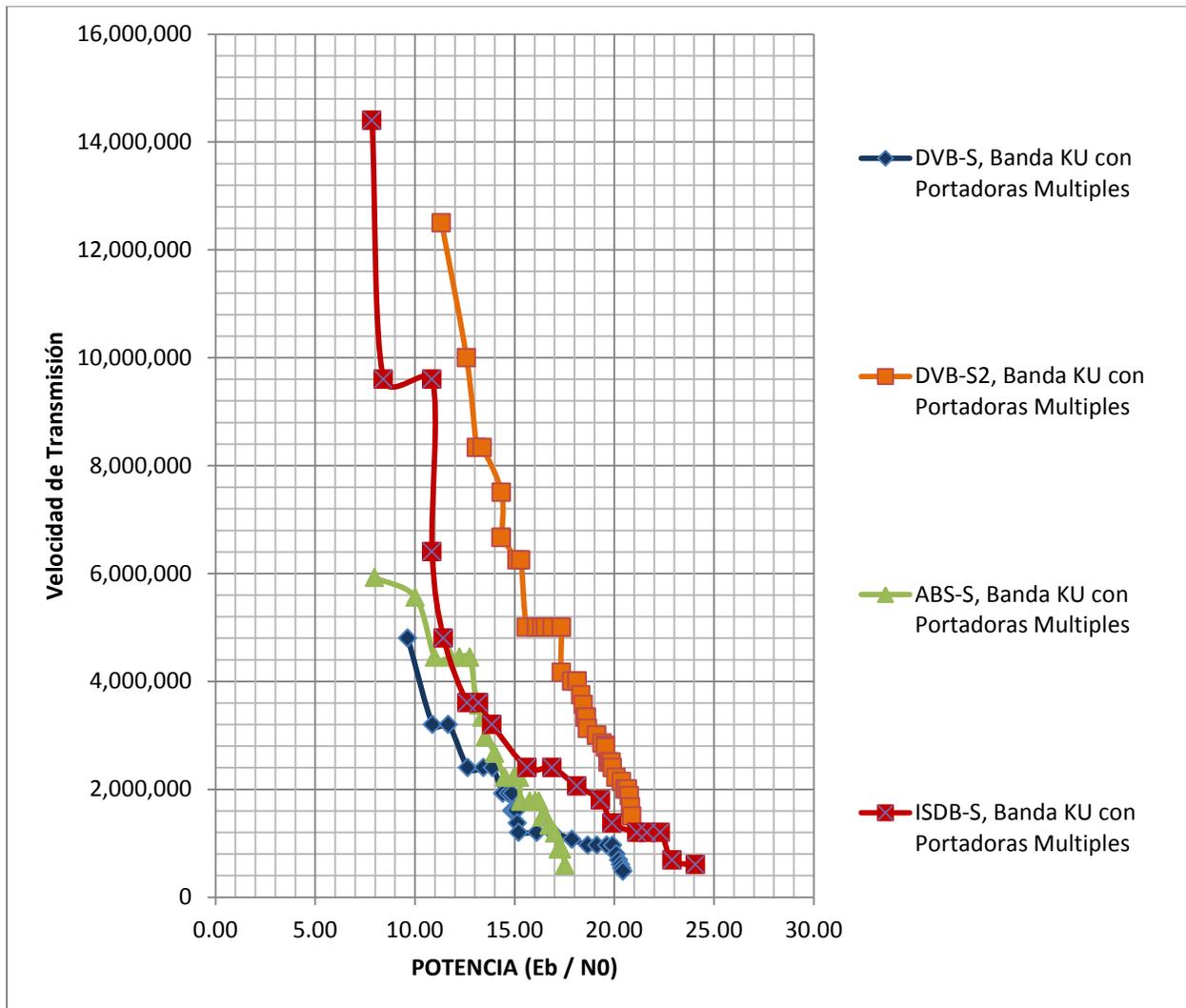


La gráfica 70 muestra que los estándares mantienen en la general el rendimiento mostrado anteriormente, pero las líneas de la gráfica muestran un comportamiento más variable que en banda KU.

En términos de velocidad ISDB-S es que tiene la mayor velocidad de transmisión, seguido por DVB-S2, en tercer sitio tenemos al estándar ABS-S el cual muestra mayores variaciones, por último DVB-S.

En cuanto a potencia DVB-S es el estándar que necesita mayor potencia a velocidades relativamente bajas, y a velocidades mayores el estándar japonés necesita mayor potencia.

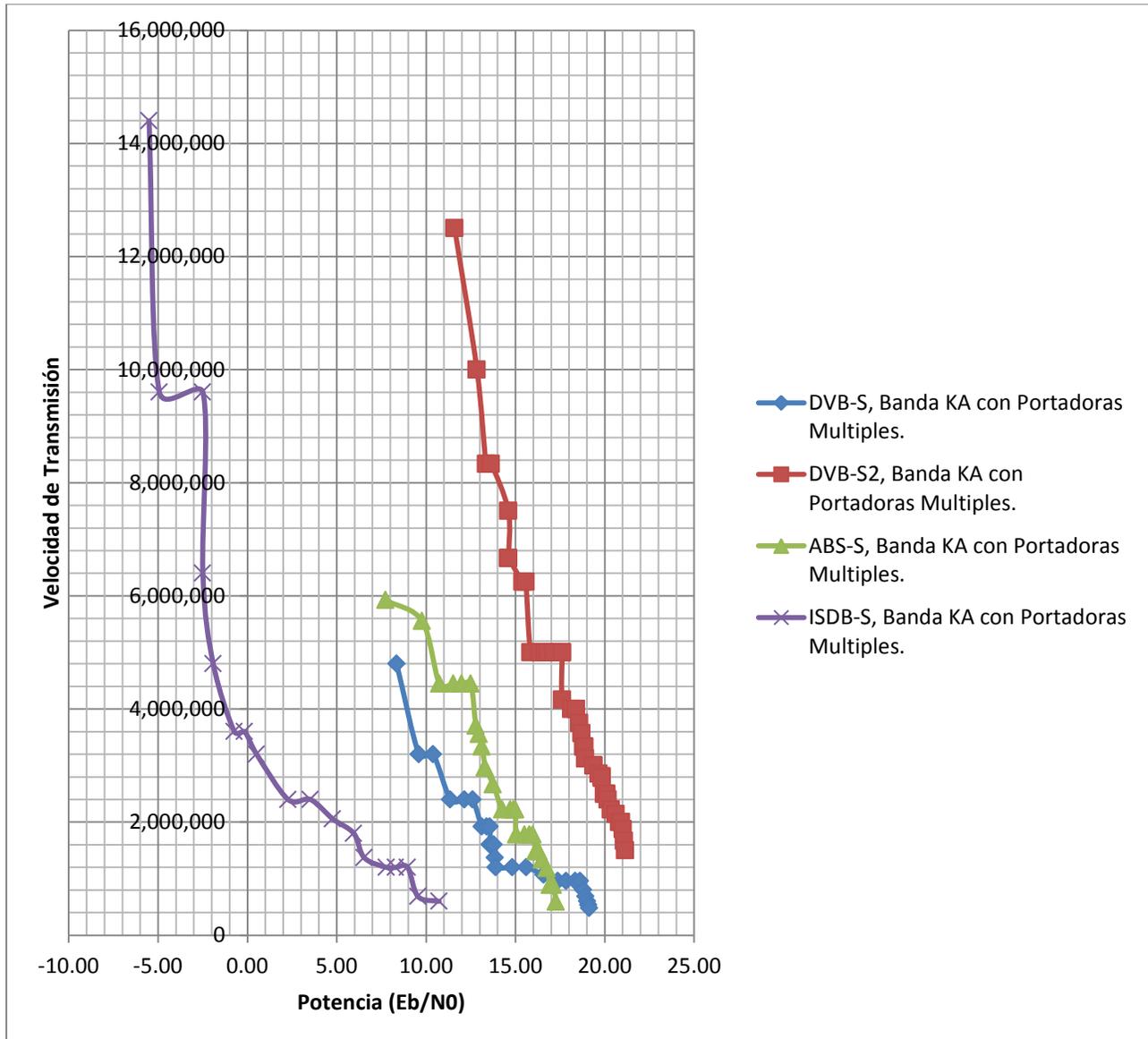
Gráfica 71. Evaluación de los enlaces en la banda KU con portadoras múltiples.



En la gráfica 71 se observa que en la banda Ku con portadoras múltiples el comportamiento de los estándares se conserva comparandolo con banda Ku con portadora única, siendo una vez mas el estandar japonés el que tiene una mayor velocidad de información, seguido por DVB-S2 en segundo lugar, en tercer sitio tenemos al estándar chino ABS-S con velocidades de 20,000 kb y por ultimo una vez más DVB-S.

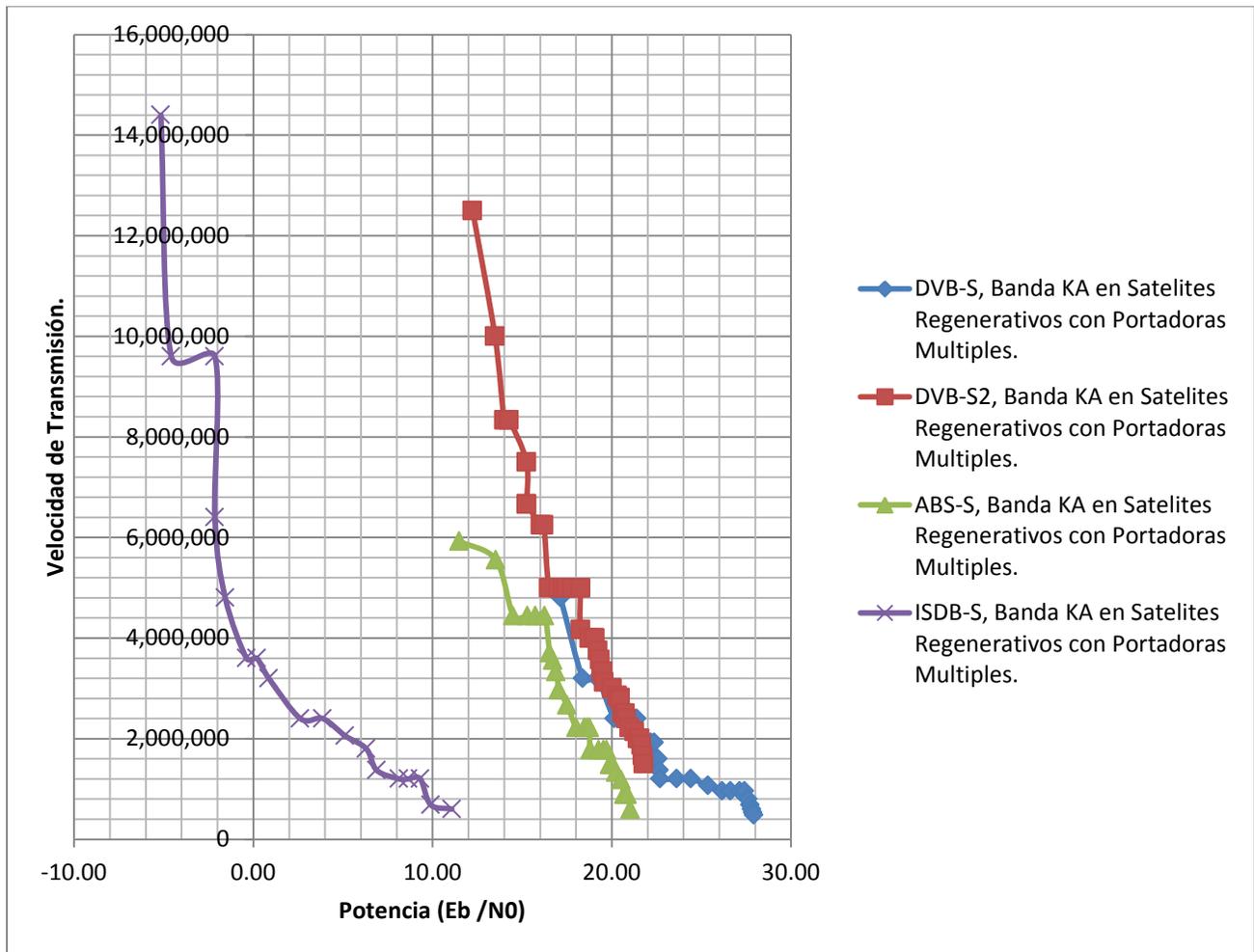
En cuestiones de energía el estandar ABS-S es el que necesita una menor potencia que los demás, a velocidades bajas el estándar DVB-S necesita una mayor potencia que los demás y a velocidades mayores ISDB-S ocupa más potencia.

Gráfica 72. Evaluación de los enlaces en la banda KA con portadoras múltiples.



Evaluando los estándares en la banda KA y utilizando portadoras múltiples, observamos en la gráfica 72 que el estándar ISDB-S es el que menos potencia necesita y el que mayores velocidades de información ofrece. También logramos observar que el estándar DVB-S2 usa una mayor potencia que ABS-S. DVB-S utiliza la mayor potencia para velocidades bajas.

Gráfica 73. Evaluación de los enlaces en la banda KA en satélites regenerativos con portadoras múltiples.



En la grafica 73 de evaluación de los enlaces en la banda Ka en satélites regenerativos, ISDB-S es el estándar que necesita la menor potencia y la mayor velocidad de información. Los estandares ABS-S y DVB-S2 tienen un comportamiento practicamente idéntico, sólo que el ABS-S necesitó un poco de energía menos que DVB-S2 y DVB-S es el estándar que utiliza más energía para la transmisión a velocidades bajas.

Recomendaciones.

Tabla 43. Tabla de resultados por ancho de banda y potencia.

Modulaciones y FEC's ideales para satelites con:

Gran ancho de Banda y Poca Potencia	DVB-S	DVB-S2	ABS-S	ISDB-S
		QPSK 1/4		
		QPSK 1/3		
		8PSK 1/4		
		QPSK 2/5		
		QPSK 1/2		
		8PSK 1/3		
		16APSK 1/4		
		8PSK 2/5	QPSK 1/4	
	BPSK 1/4	32APSK 1/4	QPSK 2/5	
	BPSK 1/3	16APSK 1/3	QPSK 1/2	
	BPSK 2/5	8PSK 1/2	QPSK 3/5	
	BPSK 1/2	16APSK 2/5	QPSK 2/3	
	QPSK 1/4	32APSK 1/3	QPSK 3/4	QPSK 1/16
	BPSK 3/5	8PSK 3/5	QPSK 4/5	QPSK 1/14
	BPSK 2/3	8PSK 2/3	QPSK 5/6	QPSK 1/8
	QPSK 1/3	16APSK 1/2	QPSK 13/15	16QAM 1/16
	BPSK 3/4	32APSK 2/5	QPSK 9/10	16QAM 1/14
Equilibrados entre Ancho de Banda y Potencia	BPSK 4/5	8PSK 3/4	8PSK 3/5	64QAM 1/16
	QPSK 2/5	8PSK 4/5	8PSK 2/3	64QAM 1/14
	BPSK 5/6	16APSK 3/5	8PSK 3/4	16QAM 1/8
	BPSK 6/7	32APSK 1/2	8PSK 5/6	64QAM 1/8
	BPSK 7/8	8PSK 6/7	8PSK 13/15	QPSK 1/2
	BPSK 8/9	8PSK 7/8	16APSK 2/3	QPSK 2/3
	BPSK 9/10	8PSK 8/9	8PSK 9/10	QPSK 7/8
	QPSK 1/2	16APSK 2/3	16APSK 3/4	16QAM 1/2
Poco Ancho de Banda y Gran Potencia.	QPSK 3/5	8PSK 9/10	16APSK 4/5	16QAM 2/3
	QPSK 2/3	16APSK 3/4	16APSK 5/6	64QAM 1/2
	QPSK 3/4	32APSK 3/5	16APSK 13/15	16QAM 7/8
	QPSK 4/5	16APSK 4/5	16APSK 9/10	64QAM 2/3
	QPSK 5/6	16APSK 5/6	32APSK 3/4	64QAM 7/8
	QPSK 6/7	32APSK 2/3	32APSK 4/5	
	QPSK 7/8	16APSK 6/7	32APSK 5/6	
	QPSK 8/9	16APSK 7/8	32APSK 13/15	
	QPSK 9/10	16APSK 8/9	32APSK 9/10	
		16APSK 9/10		

	32APSK	$\frac{3}{4}$		
	32APSK	$\frac{4}{5}$		
	32APSK	$\frac{5}{6}$		
	32APSK	$\frac{6}{7}$		
	32APSK	$\frac{7}{8}$		
	32APSK	$\frac{8}{9}$		
	32APSK	$\frac{9}{10}$		

En la tabla anterior se muestran las modulaciones y los FEC's idóneos para cada tipo de satélites.

Después de la evaluación de los enlaces se logró observar que el comportamiento de cada modulación fue consistente, y se pueden separar en modulaciones útiles para satélites con gran ancho de banda, pero con poca potencia para transmitir, modulaciones que se pueden utilizar en un termino medio de potencia y ancho de banda (equilibrados) y modulaciones para satélites con mucha potencia y un ancho de banda restringido.

Aún teniendo en cuenta las modulaciones y FEC's indicados para cada tipo de satélite se debe tomar en cuenta los escenarios para enlace.

A pesar de que el estandar ISDB-S es el que tiene mayor velocidad, es el más afectado por lluvia. Por ejemplo para realizar un enlace exitoso en banda KU aún con lluvia en ambos lados la solución es utilizar la modulación QPSK con códigos de corrección de errores adelantado (FEC) de $\frac{7}{8}$, 16QAM o 64QAM con FEC's de $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$ y $\frac{7}{8}$. Utilizando portadoras múltiples para realizar enlaces exitosos se puede utilizar la modulación QPSK $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$ y $\frac{7}{8}$, la modulación 16QAM $\frac{1}{14}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$ y $\frac{7}{8}$, y la modulación 64QAM con cualquier FEC.

En la banda KA es imposible realizar el enlace con lluvia en ambos lados del enlace, no importando si es con un portador único o con portadoras múltiples, solo es posibles realizar el enlace utilizando satélites regenerativos. Utilizando una portadora única en un satélite regenerativo con condiciones de lluvia en ambos lados del enlace se pueden ocupar las tres modualciones permitidas pero sólo con los FEC's $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$ y $\frac{7}{8}$.

Para satélites con un poca potencia y con un gran ancho de banda se puede utilizar:

DVB-S

Para velocidades mayores a 32,000 Kb/seg.
Modulación QPSK $\frac{3}{5}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{6}{7}$, $\frac{7}{8}$, $\frac{8}{9}$ y $\frac{9}{10}$.

DVB-S2

Para velocidades mayores a 77,000 Kb/seg .

Modulación 8APSK 9/10,
Modulación 16 APSK $\frac{3}{4}$, 4/5, 5/6, 6/7, 7/8, 8/9 y 9/10
Modulación 32APSK 3/5, 2/3, $\frac{3}{4}$, 4/5, 5/6, 6/7, 7/8, 8/9 y 9/10.

ABS-S

Para velocidades mayores a 80,000 Kb/seg.
Mod. 16APSK 4/5, 5/6, 13/15, 9/10.
Mod. 32APSK $\frac{3}{4}$, 4/5, 5/6, 13/15, 9/10.

ISDB-S

Para velocidades mayores a 90,000 Kb/seg.
Modulación 16QAM 2/3 y 7/8.
Modulación 64QAM $\frac{1}{2}$, 2/3, 7/8.

Para satélites con gran potencia y poco ancho de banda se puede utilizar:

DVB-S

Para velocidades inferiores a 20,000 kbits por segundo.
Modulación BPSK $\frac{1}{4}$, 1/3, 2/5, $\frac{1}{2}$, 3/5, 2/3 Y $\frac{3}{4}$.
Modulación QPSK $\frac{1}{4}$ y 1/3

DVB-S2

Para velocidades inferiores a 58,000 kbits por segundo.
Modulación QPSK 1/4, 1/3, 2/5 y $\frac{1}{2}$.
Modulación 8PSK $\frac{1}{4}$, 1/3, 2/5, $\frac{1}{2}$, 3/5
Modulación 16APSK $\frac{1}{4}$, 1/3, 2/5 y $\frac{1}{2}$.
Modulación 32APSK $\frac{1}{4}$, 1/3 y 2/5.

ABS-S

Para velocidades inferiores a 48,000 kbits por segundo.
Modulación QPSK $\frac{1}{4}$, 2/5, $\frac{1}{2}$, 3/5, 2/3, $\frac{3}{4}$, 4/5, 5/6, 13/15 y 9/10.

ISDB-S

Para velocidades inferiores a 8,000 kbits por segundo.
Modulación QPSK 1/16, 1/14 y 1/8.
Modulación 16QAM 1/16 y 1/14.

Para satélites con un ancho de banda y potencia promedio, modulaciones y FEC's equilibrados.

DVB-S

Para velocidades entre 20,000 kb/seg a 32,000 Kb/seg.

Modulación BPSK $4/5$, $5/6$, $6/7$, $7/8$, $8/9$ y $9/10$.

Modulación QPSK $2/5$ y $1/2$.

DVB-S2

Para velocidades entre 52,000 kb/seg a 90,000 Kb/seg y un E_b/N_0 .

Modulación 8PSK $3/4$, $4/5$, $5/6$, $6/7$, $7/8$, $8/9$ y $9/10$.

Modulación 16APSK $1/2$, $3/5$, $2/3$, $3/4$,

Modulación 32APSK $2/5$, $1/2$ y $3/5$

ABS-S

Para velocidades entre 47,000 kb/seg a 80,000 Kb/seg y un E_b/N_0 entre 7.1 y 9.8 dB

Modulación 8APSK $3/5$, $2/3$, $3/4$, $4/5$, $5/6$, $13/15$ y $9/10$.

Modulación 16APSK $2/3$ y $3/4$,

ISDB-S

Para velocidades entre 8,000 kb/seg a 77,000 Kb/seg.

Modulación QPSK $1/2$, $2/3$, $1/8$.

Modulación 16QAM $1/8$ y $1/2$.

Modulación 64QAM $1/16$, $1/14$ y $1/8$.

Bibliografía

- [1] COFETEL. Sitio Comisión Federal de Telecomunicaciones. [Online]. http://www.cft.gob.mx/en/Cofetel_2008/Segundo_Trimestre_2010
- [2] COmsicion Federal de Telecomunicaciones. COFETEL. [Online]. http://www.cft.gob.mx/en/Cofetel_2008/Segundo_Trimestre_2010
- [3] UIT, "Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT,".
- [4] James Wertz Wiley J. Larsson, "*Space Mission Analysis and Design*". , 7th ed.: Microcosmoc Press, 2005.
- [5] Miller Peter, ""La banda KA. ¿El futuro de las comunicaciones?," *TELE-satellite and broadband*, pp. 12-14, 2010.
- [6] Fielder Louis and Todd Craig Davidson Grant, "ATSC Video and Audio Coding", January 2006., Proceedings of IEEE.
- [7] Gurley Tom Richer Mark, "The ATSC Digital Television System", 2006, IEEE.
- [8] Reimers Ulrich, "DVB- The Family of International Standards for Digital Video Broadcasting", January 2006, PAPER IEEE.
- [9] Mignone Vittoria Morello Alberto, "DVB-S2: The Second Generation Standar for Satellite Broad-Band Services", January 2006, PAPER IEEE.
- [10] Gaudezi R., Ginesi A. Casini E., "*DVB-S2 Modem Algorithms Design and Performance Over Typical Satellite Channels*", 4th ed., John Wiley and Sons, Ed.: John Wiley and Sons, 2004, John Wiley and Sons.
- [11] Katoh Hisakazu, "Transmision System for ISDB-S", 2006, IEEE.
- [12] Yang Ming, Ma Ju, Lv Rui. Shi Yuhai, "A new Generation Satellite Broadcasting System in China"., 2008, PAPER IEEE.
- [13] Maral G., "Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Technology", 4th ed.: John Wiley and Sons, 2002.

x

Referencias

- Lars-Ingemar Lundström, "Understanding Digital Television: An Introduction to DVB Systems with Satellite, Cable, Broadband and Terrestrial TV Distribution", United States of America, Focal Press, 1 edition September 13, 2006.

- Jorge Matos Gómez y Jorge Luis Matos Baucells, "Sistemas DTH. Arquitectura, estándares y tecnologías para los servicios vía satélite de TV digital", Internet y HDTV, México, Alfa omega Grupo Editor, Agosto 2007.
- Mark E. Long, "Digital Satellite TV Handbook", Newness, August 5, 1999.
- Osten Makitalo, "Broadcasting of HDTV via Satellite", IEEE, 13 Mayo 1991.
- Yuhai Shi, Ming Yang, Ju Ma, Rui Lv, "A new generation Satellite Broadcasting system in China", Wacom IEEE, 2008.
- Stephen P. Dulac and Jonh P. Godwin, "Satellite Direct-to-Home", Proc. IEEE, vol.94, No. 1, January 2006.
- Grant A. Davidson, Michael A. Isnardi, Lois D. Frielder, Matthew S. Golden and Craig C. Todd, "ATSC Video and Audio Coding", Proc. IEEE, Jan. 2006.
- Yiyang Wu, Shuji Hirakawa, "Scanning the issue, Technology and Emerging Services", January 2006.
- Yiyang Wu, Shuji Hirakawa, "Overview of Digital Television Development Worldwide", January 2006.
- Charik S., "HDTV via Satellite- an Overview", IEEE, 2008.
- Evans B. T., "prospects for Digital Television Broadcasting", IEEE, 13 May 1991.
- Cominetti M., Morello A., "Broadcasting Convention. Transmission of digital HDTV by Satellite: results of studies and experimental trials", September 1990.
- Shuji Hirakawa, Sato Nobuyasu Sato, Kikuchi Hideo, "Broadcast Satellite Services for Mobile Reception", IEEE, January 2006.
- Basile Carlo, Cavellerano Alan, "Baseband Video Processing and the Transmission of HDTV signals", IEEE, 1991.
- Katoh Hisakazu, "Transmission System for ISDB-S", IEEE, January 2006.
- Pallicot J., Vellard J., "Possible coding and Modulation approaches to improve service availability for digital HDTV satellite broadcasting", IEEE, 1993.
- Dulac Stephen, "Satellite Direct to Home", IEEE, January 2006.
- Breynaert Dirk, Newtec, "Analysis of the bandwidth efficiency of DVB-S2 in a typical data distribution network", CCBN2005, BEIJING, March 2005.
- European Telecommunications Standards Institute. "Digital Video broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for broadcasting, interactive services, news gathering and other broad-band satellite applications, EN 302 307.
- European Telecommunications Standards Institute. DVB: Framing structure, channel coding and modulation for DNSG and other contribution applications by satellite, EN 301 210

- The International Telecommunications Union; "handbook on satellite Communications", 3a. Edición, Editorial Wiley 2002.
- Recomendación UIT-R P.618.10: Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas de telecomunicación Tierra-espacio.
- Rinaldo Rita, Gaudenzi Riccardo, "Capacity analysis and system optimization for the forward link of multi-beam satellite broadband system exploiting adaptive coding and modulation", IEEE, 2004.
- Bernard Sklar, Digital Communications: Fundamentals and Applications, 2a ed. Prentice-Hall, 1988.
- Apuntes de clase de Temas selectos de telecomunicaciones, Dr. Salvador Landeros.
- G. Maral, VSAT Networks, 2ª ed., John Wiley & Sons, 2003.
- B.G. Evans, Ed., "Satellite communication systems", 3ª ed., Institution of Electrical Engineers, 1999.
- Bruce R. Elbert, "The satellite communication applications handbook", 2ª ed., Artech House, 2004.
- M. Richharia, "Mobile satellite communication: principles and trends", Addison-Wesley, 2001.
- Vijay K. Bhargava, "Digital communications by satellite".

DVB. Estándares.

<http://www.dvb.org/technology/standards/>

A/81: Direct-To-Home Satellite Broadcast Standard

<http://www.atsc.org/cms/index.php/standards/published-standards/60-atsc-a81-standard> Advanced Communications Technology Satellite (ACTS)

<http://acts.grc.nasa.gov/>

ISDBS-S

<http://www.nhk.or.jp/str1/publica/bt/en/pa0005.html>

Las Telecomunicaciones satelitales

<http://www.satellites.site90.net/index.html>