

Satélites de alta capacidad en banda Ka: análisis comparativo con los satélites convencionales

Henry W. Merino Acuña

henry.merino@pucp.edu.pe

Pontificia Universidad Católica del Perú
Av. Universitaria 1801, San Miguel
Lima – Perú

Resumen: El presente trabajo muestra una visión general de los Satélites Geoestacionarios de Alta Capacidad en Banda Ka para Servicios Fijos por Satélite (SFS), en comparación con los satélites convencionales actuales. Se muestra la situación actual del mercado, así como la creciente demanda de los servicios fijos de banda ancha satelital. En otras secciones, se detallarán los rangos de frecuencia de Banda Ka disponibles, así como las características técnicas más relevantes en estos sistemas frente a los satélites convencionales, tales como: eficiencia, cobertura, atenuación, ganancia de antena, pérdidas de espacio libre, y la técnica de reúso de frecuencias de la cual se brindará mayor detalle.

Palabras clave: Satélites de alta capacidad, Banda Ka, reúso de frecuencia, haces puntuales.

Abstract: This paper presents a general vision of High Capacity Geostationary Satellites in Ka band for fixed satellite services (FSS), in comparison with actual conventional satellites. It shows the actual market situation, and the growing demand for fixed satellite broadband. In other sections, well be detailed the Ka band frequency ranges available, and the most relevant technical features of these systems, such as efficiency, coverage, attenuation, antenna gain, free space loss, and frequencies reusing technique, of which one we would provide more information.

Keywords: High throughput satellites, Ka band, frequency reuse, spot Beams.

1 Introducción

El creciente interés por los servicios de Banda ancha satelital a nivel mundial ha incrementado la necesidad de encontrar soluciones que permitan cubrir dicha demanda. En el 2012, la cantidad de subscriptores de servicios satelitales superaron los 1.5 millones, en su mayoría demandados desde EE.UU. Al 2016 se espera que la demanda total se duplique mientras que para el 2021 se estima llegar a 5.2 millones de subscriptores. Ver Figura 1. Este incremento está ligado principalmente al crecimiento conjunto de demanda en Europa, EE.UU y Hispanoamérica [NSR12], por servicios de banda ancha en zonas donde aún no se logra cubrir con tecnologías terrestres.

Por otro lado, es cada vez más difícil encontrar posiciones orbitales para Satélites Geoestacionarios. Hoy, las posiciones que están sobre las poblaciones más densas se encuentran agotadas y los nuevos lanzamientos de satélites en Bandas C, Ku y que incluyen Ka, corresponden al reemplazo de los que se encuentran actualmente en órbita debido al término de su vida útil, que en la mayoría de casos es de 15 años.

La orientación actual en la fabricación de los nuevos satélites se basa en el uso de la Banda Ka, ya que al operar con un rango de frecuencia más amplia y mayor a la de las Bandas C y Ku, permite diseñar satélites con capacidades muy superiores a los convencionales. El concepto de los satélites de alta capacidad aún no está definido, sin embargo desde nuestro punto de vista lo definiremos como satélites que cuentan con una capacidad de por lo menos 20 veces más que la de un satélite convencional, es decir mayor a 40 Gbps en promedio.

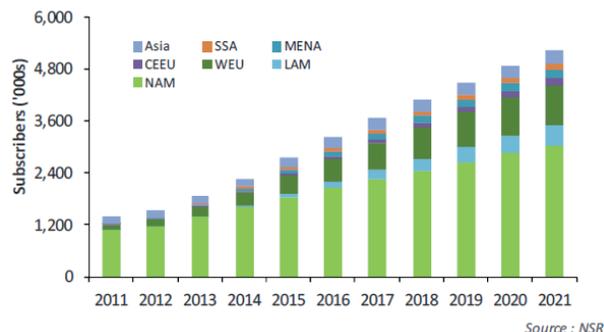


Figura 1: Demanda de acceso de Banda ancha satelital [NSR12].

Curiosamente, la primera generación de satélites de alta capacidad de órbita geoestacionaria se inició en Banda Ku en el año 2005 para cubrir Asia-Pacífico, con el lanzamiento del Thaicom-4 (operado por IPSTAR), el cual es el único satélite en Banda Ku que cuenta con 84 spots beams y una capacidad total de 45 Gbps. Más adelante utilizando espectro de Banda Ka, Europa hizo lo suyo con el satélite Kasat, lanzado por Intelsat en el año 2010 con una capacidad de 70 Gbps. En Estados Unidos, la compañía Wildblue, adquirida por Viasat INC, se puso en carrera con el satélite ViaSat-1, lanzado en el 2011 con una capacidad de más de 140 Gbps, mediante 72 spots beams suministrados por 20 Gateways y cuya localización se encuentra fuera de la cobertura de los beams. Hughes Communications, por su lado, lanzó en el 2012 el segundo satélite de alta capacidad en USA llamado Jupiter-1, cuya capacidad supera los 100 Gbps, mediante 60 Spots beams de 750 MHz abastecidos desde 15 Gateways. Otros satélites con capacidades menores a 10 Gbps fueron precedentes en varios países como USA,

Nigeria, Japón entre otros y cuya base sirvió para el diseño de los actuales satélites de alta capacidad.

Cabe resaltar que los operadores satelitales están incluyendo cobertura de Banda Ka en los nuevos lanzamientos que sirven de reemplazo a los actualmente en órbita. Tal es el caso del satélite Amazonas-3 operado por Hispasat, el cual se puso en órbita en Mayo del 2013 en reemplazo del Amazonas-1 y cuya nueva capacidad adiciona nueve spots beams de Banda Ka en varios países de Sudamérica, de 900 Mhz y 500Km de diámetro cada uno.

Existen otras iniciativas importantes para el despliegue de servicios de banda ancha satelital en órbita geoestacionaria para los próximos años, entre ellos se encuentran los proyectos de NBN Co del Gobierno Australiano con dos satélites para el 2014, Global Xpress cuya flota de tres satélites serán operados por Inmarsat a partir del 2014, Hylas-3 de la compañía Avanti cuyo lanzamiento se estima hacia el año 2015, EPIC-NG de Intelsat y el satélite D1 de Embratel, operado por StarOne, estos últimos con lanzamiento previsto en el año 2016.

2 Disponibilidad espectral

El rango de frecuencias disponible para Servicios Fijos por Satélite (SFS) de Banda Ka, se encuentra entre 17.3 y 31 GHz, ver Fig. 2. Si bien la Banda Ka tiene un rango espectral bastante amplio comparado con la Banda C y Ku, es sumamente importante hacer una buena distribución y buen uso del espectro radioeléctrico con el fin de hacer eficiente la prestación de servicios satelitales en esta nueva generación en la que se requiere grandes capacidades de Gbps. En [Christenen12], se realiza una división del rango total y se hace una clasificación en cinco subdivisiones.

2.1 Bandas identificadas para SFS de alta capacidad

Basado en la recomendación ITU 5.516B, mostrada en [ITU03], se tiene que el rango de 29.5 – 30 GHz (500 MHz) es utilizable en las tres regiones de la ITU para el enlace ascendente (Uplink) y 19.7 – 20.2 GHz (500 MHz) para el enlace descendente (Downlink), ambos rangos son ideales para los enlaces hacia los terminales. Por otro lado, el rango de 17.3 – 17.7 GHz (400 MHz) es utilizable únicamente en la Región 1 para enlaces de conexión descendentes de SFS y el rango 18.3 – 19.3 GHz (1 GHz) es utilizable sólo para la Región 2 de la ITU.

2.2 Bandas utilizadas por varias administraciones para SFS incluyendo Servicios de Distribución Local Multipunto.

Se tiene disponible el rango de 27.5 – 28.6 GHz para el enlace ascendente y el rango 17.7 – 18.8 GHz para el enlace descendente en las tres regiones de la ITU. La utilización de estos rangos está supeditada a la administración de cada país, donde se puede conseguir autorización para brindar Servicios de Distribución Local Multipunto (SDLM), la cual no es posible compartir con SFS de alta capacidad. Por ejemplo, en Estados Unidos

sólo está disponible el rango de 28.1 - 28.6 GHz y 18.3 – 18.8 GHz (500 MHz en ambos sentidos), ya que los primeros 600 MHz están destinados a SDLM. Son los casos que tuvieron que afrontar los satélites ViaSat-1 y Jupiter-1.

2.3 Bandas donde redes satelitales GEO y NO-GEO tienen los mismos derechos

En estas Bandas, pueden darse servicios de órbita GEO y NO-GEO de forma coordinada sin causar interferencias perjudiciales el uno al otro. El rango disponible de 900 MHz entre 18.8 – 19.7 GHz y 28.6 – 29.5 GHz pueden ser utilizados por SFS GEO en las 3 regiones ITU, previas coordinaciones con redes NO-GEO que están en proceso de lanzamiento o que se encuentren en órbita. Las redes Iridium y O3B hacen uso de este espectro en órbita NO-GEO.

2.4 Bandas donde se aplica Densidad de Flujo de Potencia Equivalente

Los límites de Densidad de Flujo de Potencia Equivalente (DFPE) definen la interferencia máxima admisible que los sistemas NO-GEO pueden causar a las redes GEO, permitiendo el reuso de frecuencias en constelaciones NO-GEO. Estos rangos se aprecian en la Figura 2.

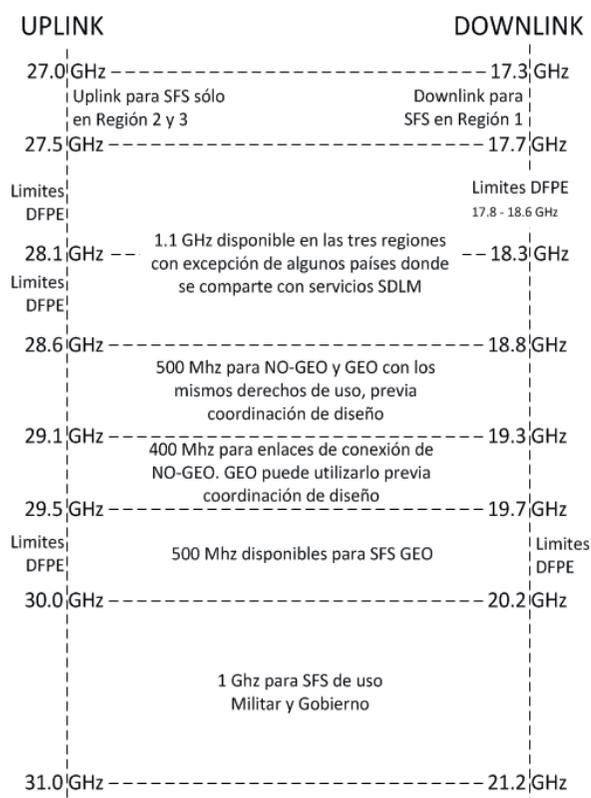


Figura 2: Asignación de frecuencias de Banda Ka para redes de comunicaciones por satélite

2.5 Bandas de uso militar

Son los rangos destinados a servicios militares y de gobierno además de servicios comerciales con destino militar. Hay excepción en algunos países donde no se permite el uso comercial. Este rango se encuentra en los

30 – 31 GHz para los enlaces ascendentes y 20.2 – 21.2 GHz para los enlaces descendentes. La red Global Express de Inmarsat está diseñada para operar en este rango de forma comercial.

Este amplio rango de frecuencias hace posible la fabricación de satélites de alta capacidad mediante el reúso de frecuencias sin perjudicar cobertura. Pero ¿Cómo se realiza el reúso de frecuencias?, el proceso es muy similar al diseño de celdas celulares, mediante una arquitectura basada en múltiples Spots Beams.

3 Reúso de frecuencias

La técnica de Reúso de Frecuencias hace posible la utilización de uno o más rangos de frecuencias por una cantidad ilimitada de veces, las limitaciones se encuentran en las características físicas del satélite, como el peso, tamaño, precisión del haz y aislamiento entre beams [Vidal12], puesto que estas variables intervienen directamente en la complejidad de fabricación.

Existen diversos patrones que pueden ser utilizados para efectuar el reúso de frecuencias, de los cuáles los patrones de 3 o 4 colores son los más comunes. El patrón de 3 colores tiene algunos problemas de interferencia cuando los haces o beams son muy pequeños, además de la complejidad de diseño de la carga útil del satélite puesto que la distancia entre beams del mismo tipo es asimétrica. En [Vidal12], [Pitsh12] y [Fenech12] se muestra el patrón de 4 colores que también tiene cierta interferencia entre beams, sin embargo, este patrón mantiene una distancia simétrica entre beams del mismo patrón, lo cual hace menos complejo el diseño del satélite. Ver Figura 3.

Existen otros patrones de 6,7 o 12 colores que existen en redes móviles terrestres y que podrían ser utilizados para reducir la interferencia entre haces, sin embargo esto reduciría la capacidad puesto que se debe asignar un menor espectro por patrón y no haría eficiente el espectro satelital, que de por sí es escaso. En cualquiera de los casos, los fabricantes de satélites deben tener mucho cuidado con el diseño de los reflectores cuando involucren características como la forma de haz, los lóbulos laterales y, sobre todo, la precisión en el apuntamiento del beam. Sin duda la adición de otras técnicas de mitigación de interferencias contribuyen a la mejora del sistema.

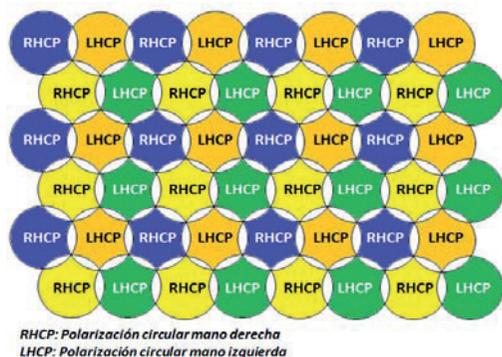


Figura 3: Plan de frecuencias con un patrón de 4 colores y un reúso de frecuencia/polaridad por 12 veces.

Realizar una correcta planificación de reúso del espectro contribuye al dimensionamiento de un número eficiente de estaciones terrenas o Gateways (GW) de manera que menos GW den servicio a la mayor cantidad de beams. Claro está que se debe considerar en esta planificación todas las restricciones regulatorias internacionales y por país para la definición de la ubicación de los GW.

Como ejemplo, en la Figura 4, se muestra el caso del satélite Kasat de Eutelsat, cuyo lanzamiento se realizó en diciembre del 2010, con una capacidad de 70Gbps mediante 82 spot beams de aproximadamente 250Km de radio abastecidos desde 10 Gateways ubicados en distintos países del continente Europeo.

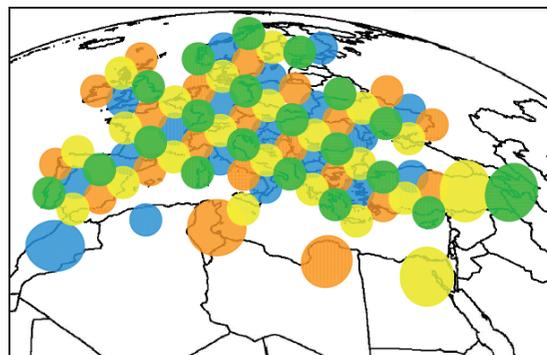


Figura 4: Cobertura del Satélite Kasat de Eutelsat, patrón de cuatro colores [Baugh11].

Los diseñadores de este satélite utilizaron un patrón de cuatro colores para las frecuencias destinadas en los beams de usuarios. Para el Uplink se utilizó el rango entre 29.5 – 30 GHz, mientras que para el Downlink se utilizó el rango entre 19.7 - 20.2 GHz. En ambos casos se utilizan polarización circular izquierda y derecha, dando como resultado cuatro patrones con una capacidad de 237.5 MHz por Beam en ambos sentidos (Subida y bajada), distanciados en 25 MHz entre Beams para evitar interferencias.

En el caso del satélite Kasat, se hace un reúso o repetición de cada patrón por al menos 20 veces. Las frecuencias utilizadas para la conexión con los Gateways se encuentran en el rango de 28 – 29.5 GHz para el Uplink y 18.4 – 19.7 GHz para el Downlink. Los enlaces también tienen una capacidad de 237.5 MHz distantes en 25 MHz y en algunos casos en 12.5 MHz haciendo un total de 10 enlaces considerando ambas polaridades. Ver Figura 5.

4 Análisis comparativo frente a los satélites convencionales

Es cada vez más común que los satélites geoestacionarios utilicen la Banda Ka para fabricar satélites de alta capacidad, esto trae una serie de características diferenciadas frente a los satélites convencionales.

4.1 Disponibilidad de frecuencia

La principal ventaja de la Banda Ka viene dada por la naturaleza del espectro que está disponible. La Banda Ku apenas tiene un rango de frecuencias de 6 GHz (12 - 18 GHz) a diferencia de la Banda Ka que dispone de 18 GHz (22 - 40 GHz), el triple de capacidad. Si bien no toda la

capacidad está disponible para ser utilizados por satélites geostacionarios y servicios fijos por satélite, el rango disponible en Banda Ka para brindar servicios comerciales de uso doméstico y empresarial es de 2.5 GHz (27.5 - 30.0 GHz es el rango comúnmente utilizado) en dos polaridades, más de tres veces frente a los 750 MHz (13.75 - 14.5 GHz) disponibles en la Banda Ku [Hetland13]. Esta diferencia hace posible que se pueda realizar un reuso de frecuencias sin sacrificar capacidad.

ENLACES DE CONEXIÓN - GATEWAYS

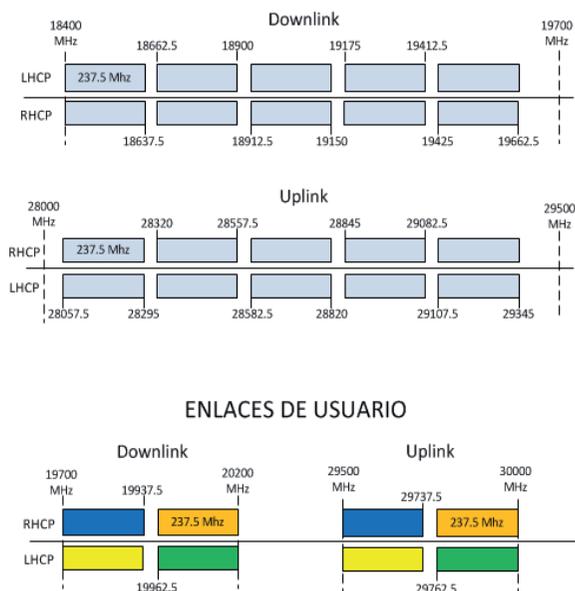


Figura 5: Plan de frecuencia de conexión y usuario del satélite Kasat [Altavista13].

4.2 Cobertura

El reuso de frecuencias permite diseñar beams de menores áreas, alrededor de 500Km de diámetro, sin perjudicar la cobertura y capacidad total del satélite. Es posible reutilizar la frecuencia por una cantidad de veces que te permitan cubrir un continente por completo o inclusive mucho más, la limitante se encuentra en la fabricación del satélite, puesto que se tendrá un mayor coste en la carga útil y en el lanzamiento. Si bien este método también es aplicable a los satélites de otras bandas, la limitante del espectro satelital reduce la capacidad en Mhz que se puede lograr por cada beam.

4.3 Ganancia de antena y PIRE

Respecto a los reflectores del satélite podemos precisar que para lograr spot beams focalizados se debe tener un reflector muy directo y con gran ganancia, la cual se logra con un ancho de haz por beam de 0.5° o menos [Schneider11], y sobre todo con reflectores de mayor tamaño, puesto que la ganancia (G) se define en función del diámetro de la antena (d) y de la longitud de onda (λ) de la banda de operación (ver ecuación 1 donde η es la eficiencia de antena). Los costos en la fabricación del satélite se ven incrementados, puesto que tienen mayor carga útil y por ende un mayor coste de lanzamiento sin

embargo, el retorno de inversión se plasma en la capacidad en MHz y la eficiencia bit/Hz que se puede lograr.

$$G(dBi) = 10 \text{ Log} \left(\eta \left(\frac{\pi d}{\lambda} \right)^2 \right)$$

Ecuación 1

A consecuencia de esta mayor ganancia, los satélites de Banda Ka disponen de una PIRE en el orden de los 63 dBW, muy superior a los satélites convencionales en Banda Ku que se encuentran alrededor de 52 dBW.

En cuanto a las antenas de usuario, por el contrario, para obtener la misma ganancia de transmisión que en antenas de Banda Ku (alrededor de 43 dBi) se requiere un diámetro de antena más pequeño debido a la reducción natural de la longitud de onda y del mayor PIRE que se recibe del satélite (ver Figura 6). Esto se traduce en una reducción de costes significativa para el usuario final [Newsat12].

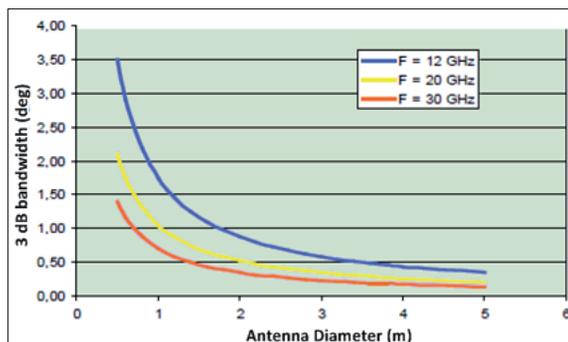


Figura 6: Ganancia de antena de usuario vs tamaño de antena [Winkler12].

4.4 Eficiencia

Un mejor PIRE del satélite hace posible la utilización de modulaciones más eficientes que permiten llegar hasta 32 APSK en el enlace de bajada, a diferencia de los satélites convencionales de Banda Ku con cobertura regional en la que se logra alcanzar hasta una modulación de 16 APSK. De esta manera, los satélites de alta capacidad pueden lograr eficiencias mayores a 2Bit/Hz en el enlace de bajada. Esta reducción de espectro satelital también se traslada al usuario final en menores costes por servicio.

4.5 Posición orbital GEO

Como ya sabemos, las posiciones de orbita geostacionarias están siendo cada vez más escasos. Los pocos satélites que se están lanzando en su mayoría tienen como objetivo reemplazar a otros sobre la misma posición orbital.

La fabricación de satélites de alta capacidad con arreglos de spots beams focalizados permiten tener mayor ganancia y un patrón de radiación más directivo sobre la tierra, lo cual hace más eficiente la utilización del espacio orbital logrando menores interferencias que permiten colocar satélites con una separación radial de hasta un grado.

4.6 Pérdidas de espacio libre

La pérdida de espacio libre se determina a partir de la frecuencia y la distancia de los cuerpos hacia la tierra (ver ecuación 2). La Banda Ka, en comparación de las otras bandas, tiene una mayor pérdida al operar en un rango de frecuencia más alta. Considerando un análisis sobre satélites GEO, donde la distancia Satélite – Tierra es de alrededor de 36,000 Km, obtenemos una pérdida de 207 dB para la transmisión en Banda Ku (14 GHz) y de 213 dB sobre Banda Ka (30 GHz). Es una diferencia considerable; sin embargo, ésta es compensada con la ganancia de los reflectores de Banda Ka [Hetland13].

$$L (dB) = 20 \log_{10} F(GHz) + 20 \log_{10} D(Km) + 92.45$$

Ecuación 2

4.7 Atenuación frente a efectos del clima

Otra consecuencia, también asociada a la frecuencia de operación, es la alta vulnerabilidad frente a efectos climatológicos, específicamente por las lluvias. La atenuación por lluvia aumenta de forma drástica a medida que aumentamos la frecuencia. La Figura 7 muestra una comparación con varios tipos de intensidad de lluvia a diferentes frecuencias [Miller07]. En ella apreciamos que la atenuación en el rango de los 30 GHz (Transmisión en Banda Ka) es más del doble frente a la atenuación del rango de 14 GHz (Transmisión en Banda Ku) cuando la intensidad de lluvia llega a 25mm/h, y se acentúa aún más cuando la intensidad de precipitación es más alta, es el caso de algunas países amazónicas como Brasil.

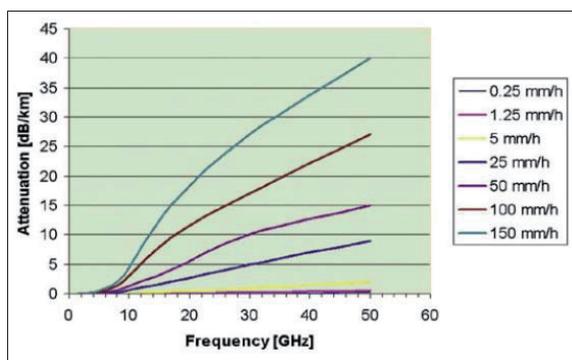


Figura 7: Atenuación causada por lluvias en función de la frecuencia y la intensidad de lluvias [Miller07].

Existen técnicas de mitigación ante efectos climatológicos, tales como la modulación y codificación adaptativa, ajustes de potencia automático, entre otros, que si bien ayudan a reducir el impacto en el enlace, no es suficiente cuando se trata de transmitir información con alto grado de prioridad.

En principio el enfoque de aplicación de estos satélites de alta capacidad se dio para la prestación de servicios de internet de banda ancha, ya que la pérdida de algunos paquetes en una transferencia de datos no es tan crítica como en la transmisión de video digital o voz. A pesar de ello, diversos operadores ya se encuentran realizando pruebas sobre redes empresariales y Backhaul celular en Europa y Estados Unidos.

En la Tabla 1, se muestra un resumen de las diferencias entre los satélites de alta capacidad de Banda Ka y los satélites convencionales.

Tabla 1
Diferencias entre los satélites de alta capacidad de Banda Ka y los satélites convencionales

Característica	Satélites de Alta Capacidad	Otros Satélites
Disponibilidad de Frecuencias	Alta	Baja
Cobertura	Alta	Alta
Ganancia de Antena	Alta	Media
PIRE y G/T	Alta	Media
Eficiencia Bit/Hz	Alta	Media
Disponibilidad de posiciones orbitales GEO	Media	Baja
Perdidas de Espacio Libre	Alta	Media
Atenuación por Lluvia	Alta	Media
Coste terminales usuario	Baja	Alta
Coste fabricación de satélite	Alta	Media
Coste servicio final	Baja	Alta
Capacidad en Mhz	Alta	Baja
Complejidad en instalación de terminales de usuario	Baja	Alta
Técnicas contra el desvanecimiento por lluvias	Alta	Alta

5 Conclusiones y trabajos futuros

Los Satélites de Alta Capacidad están siendo cada vez más utilizados por los operadores satelitales debido a la creciente demanda de servicios de Banda ancha que se tiene a nivel mundial. Hoy hay una serie de proyectos en marcha para cubrir inclusive zonas donde las redes de fibra se encuentran con un avance notable. Otros proyectos, cuyos satélites se utilizarán en reemplazo de uno existente, ya empiezan a considerar una pequeña porción de su cobertura en Banda Ka.

El amplio rango de frecuencias disponible de la Banda Ka hace posible que se puedan utilizar técnicas más eficientes, como lo es la reutilización de frecuencias. Esta técnica permite desplegar múltiples spots beams de gran capacidad en áreas focalizada y que en conjunto pueden llegar a cubrir hasta un continente, como es el caso de los operadores ViaSat y Hughes que cubren todo Estados Unidos, y Eutelsat que cubre el continente Europeo.

Por lo pronto, la utilización de la Banda Ka en los satélites de Alta Capacidad está enfocada en la prestación de servicios de internet de banda ancha de forma masiva a hogares. Si bien existen varias ventajas favorables, frente a los satélites convencionales de Banda C y Ku, tales como: eficiencia Bit/Hz, mayor potencia y reducción de tamaño de antenas de usuario, que se plasman en la reducción de costes del servicio final, una de las principales complicaciones viene dada por la naturaleza de la longitud de onda de la Banda Ka, que al ser muy

pequeña es altamente vulnerable a los efectos climatológicos como la lluvia.

Referencias bibliográficas

- [NSR12] Northern Sky Research, "Broadband Satellite Markets, 11th Edition", December 2012.
- [Christenen12] Christensen, J. "ITU Regulations for Ka-band Satellite Networks", Asiasat, presented at The Regional Seminar on Prospects for use of the Ka-band by Satellite Communication Systems, Almaty, Kazakhstan, September 2012.
- [ITU03] ITU, "Final Acts WRC-03", presented at World Radiocommunication Conference, Gineva, July 2003, p. 41.
- [Vidal12] Vidal, O. "Next generation High Throughput Satellite system", presented at IEEE-AESS ESTEL Conference, Rome, Italy. October 2012.
- [Pitsch12] Pitsch, J. "Banda Ka: Aplicações em Broadcasting", SES, presented at SSPI Broadcast Day 2012, Flamengo, RJ, Brazil, Maio 2012.
- [Baugh11] Baugh, C. "HTS and KA-SAT: Changing the European Telecom Landscape", Northern Sky Research (NSR), Cambridge, MA, USA, May 2011.
- [Altervista13] Eutelsat KaSat Frequency Plan, Available: <http://frequencyplansatellites.altervista.org/>, 2013
- [Hetland13] Hetland, J. "Ka-Band HTS Satellites: A transformational shift?", Telenor Satellite Broadcasting AS, June 2013
- [Schneider11] Schneider, M. Hartwanger, C and Wolf, H. "Antennas for multiple spot beam satellites", CEAS Space Journal, December 2011, Volume 2, Issue 1-4, pp 59-66.
- [Newsat12] Newsat, "Ka-Band White Paper", December 2012. Available: <http://www.newsat.com>
- [Winkler12] Winkler, R. "Broadband satellite communications in Ka band: System approach and solutions", Thales Alenia Space, presented at The Regional Seminar on Prospects for use of the Ka-band by Satellite Communication Systems, Almaty, Kazakhstan, September 2012.
- [Miller07] Miller, P. "Ka Band – The Future of Satellite Communication?", TELE-satellite & Broadband, September 2007.
- [Fenech12] Fenech, H. "Future High Throughput Satellite Systems", presented at IEEE-AESS ESTEL Conference, Rome, Italy. October 2012.