



## XVIII SIMPOSIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA 2019

### Enlaces de internet empleando satélites de alto rendimiento

#### *Internet link using high throughput satellites*

**Nombre y apellidos.** Maikel López Socarras. Centro Internacional de Telecomunicaciones Jaruco, ETECSA, Cuba. Maikel.lopez@etecsa.cu

**Resumen:** La masificación de internet como estrategia del país ha traído un aumento en el flujo de datos a través de las redes terrestres. Dicho tráfico seguirá aumentando y los enlaces satelitales deben estar listos para asumirlo. El objetivo fundamental es "Proponer el establecimiento de enlaces Gigabit Ethernet empleando satélites de alto rendimiento en banda C y Ka". Junto a estos satélites se emplearán módems que soportan mayores velocidades de datos y otras características propias de ellos que hacen los enlaces más eficientes, los estándares más recientes DVB-S2, DVB-S2X y diferentes técnicas para mitigar la degradación que sufren los enlaces satelitales fundamentalmente los de la banda Ka.

**Palabras clave:** satélites, internet, throughput.

**Abstract:** *The massification of internet as a strategy of the country has brought an increase in the flow of data through terrestrial networks. This traffic will continue to increase and satellite links must be ready to take over. The main objective is "Propose the establishment of Gigabit Ethernet links using high performance satellites in C and Ka band". Together with these satellites will be used modems that support higher data speeds and other characteristics of them that make the links more efficient, the latest DVB-S2, DVB-S2X standards and different techniques to mitigate the degradation suffered by satellite links fundamentally those of the Ka band.*

**Keywords:** *satellite, internet, throughput*

### 1. Introducción

Actualmente los servicios de internet han tenido un rápido incremento, la unión de la voz y los datos han llevado a la masificación de la Voz sobre IP con exigencias de calidad de servicio. Las aplicaciones en tiempo real, voz, video y las aplicaciones interactivas susceptibles a la latencia se han hecho cada vez más frecuentes. Para asumir lo anteriormente dicho los satélites geoestacionarios están en desventaja por la demora de 500 ms que sufre la señal en ir y regresar de la estación terrena transmisora al extremo distante. Los enlaces de internet por satélite se han quedado pequeños en cuanto al ancho de banda



debido al mencionado aumento del flujo de datos transportado por el cable de fibra óptica submarino. En caso de fallo de dicho cable de fibra óptica los enlaces de internet por satélite no podrían respaldarlo. Ante esta problemática el objetivo general de esta investigación es “Proponer el establecimiento de enlaces Gigabit Ethernet empleando satélites de alto rendimiento”.

## **2. Resultados y discusión**

Un satélite de alto rendimiento (HTS con siglas en inglés) es aquel que tiene muchas veces el rendimiento o la capacidad de un Satélite de Servicio Fijo(FSS con siglas en inglés) tradicional utilizando la misma cantidad de frecuencias orbitales asignadas (Sanjeev Bhatia, 2017). Esto se logra empleando múltiples haces puntuales sobre un área de servicio específica y reutilizando las frecuencias. Estos satélites emplean el mismo principio del sistema de telefonía celular donde las áreas de coberturas contiguas forman una figura parecida a un panal de abejas. Los haces puntuales adyacentes no se interfieren debido al aislamiento en frecuencias y polarización. La técnica del reusó de frecuencias no es nueva, de hecho, los satélites Intelsat 9 puestos en órbitas hace 15 años utilizaban la misma frecuencia hasta un máximo de 7 veces para brindarle cobertura a una región, por ejemplo, la región del Atlántico, a diferencia de los satélites HTS (ejemplo Intelsat 35e) que pueden reutilizar la frecuencia asignada en banda C como mínimo 17 veces. Por ejemplo, considerando el diseño de un satélite HTS que emplea 60 haces puntuales de usuario, si cada uno tiene 500 MHz de capacidad del canal hacia adelante(forward) y 500 MHz en el canal de retorno(una asignación de frecuencia típica en la banda Ka) el satélite será capaz de entregar 60 GHz de capacidad en la huella de estos 60 haces. Lo anterior demuestra que los HTS son capaces de lograr más ancho de banda comparado con los satélites convencionales. Como el costo total para diseñar, construir y lanzar un satélite es aproximadamente el mismo que si el satélite está optimizado para capacidad o cobertura el costo por la entrega de bit para los HTS optimizados para capacidad es significativamente más bajo que el de un satélite optimizado para cobertura (Hughes, 2017).

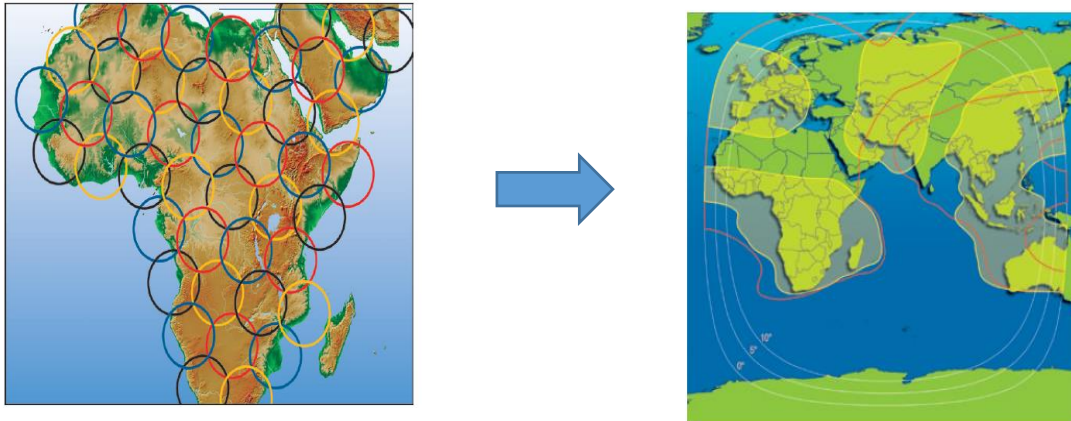


Figura 1. Haces banda C del satélite IS 904. Figura 2. Múltiples haces puntuales con reuso de frecuencia.  
(Sanjeev Bhatia, 2017)

### Haces puntuales

Para un satélite de órbita geostacionaria la cobertura global implica un ancho de haz de 17.5 grados lo cual a su vez produce una ganancia de 20 dB. Esto hace que el usuario deba tener una antena de gran apertura para soportar altas tasas de datos. Los HTS con sus haces puntuales brindan cobertura solo en una porción del área geográfica que puede ser un continente, un país o una porción de la tierra por ejemplo si el haz es en banda Ka puede cubrir un área de 320 km. Los haces puntuales tienen la ventaja que el ángulo de apertura de la antena es pequeño, puede ser de 0.80 grados y por ende aumenta su ganancia, la intensidad del PIRE y la ganancia sobre temperatura de ruido(G/T) permitiéndole a los satélites establecer enlaces con estaciones terrenas de pequeña apertura y altas velocidades de datos logrando así un razonable margen de desvanecimiento por lluvia y una aceptable disponibilidad de enlace.

### Colores de frecuencia.

Los satélites HTS emplean el concepto de multihaces donde cada uno de los haces vecinos tiene una frecuencia y polarización diferente de los otros. Por ejemplo, un sistema podría usar la banda Ka y dividirla en 4, el primer cuarto del ancho de banda tomarlo como Frecuencia 1(F1), el segundo cuarto como Frecuencia 2(F2), el tercero como Frecuencia 3(F3) y el cuarto como Frecuencia (F4). Otra distribución podría ser dividir la banda Ka en dos partes y emplear la primera mitad del ancho de banda como F1 y la segunda como F2 ambas con la polarización circular derecha, F3 y F4 adjudicársela a la primera y segunda mitad respectivamente, pero con la polarización circular izquierda. Es posible



**II Convención Científica Internacional 2019**  
**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
**CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS**

emplear otro esquema de reuso de frecuencia sobre la base de la cantidad de espectro disponible y la cantidad servida en un área. El término “color” es manejado para identificar diferentes bandas de frecuencias no superpuestas haciendo referencia al concepto matemático Teorema de 4 colores(4CT). Cada círculo de un color representa una única combinación de frecuencia y polarización (ver figura 3).

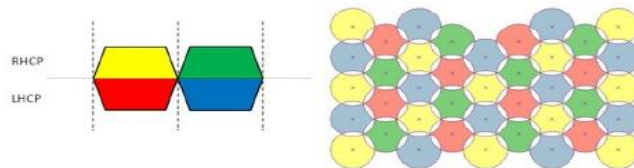


Figura 3. Patrón de reuso de frecuencia de 4 colores (O.Vidal, 2012)

Como se observa los 4 colores pueden ser soportados con 2 subbandas de frecuencias diferentes dentro de la banda Ku o Ka y dos polarizaciones ortogonales. Los haces puntuales con el mismo color usan la misma frecuencia y polarización, pero están aislados espacialmente uno de otro; ningún haz puntual tiene un vecino con el mismo color. A continuación, se muestra una gráfica con algunos satélites HTS lanzados.

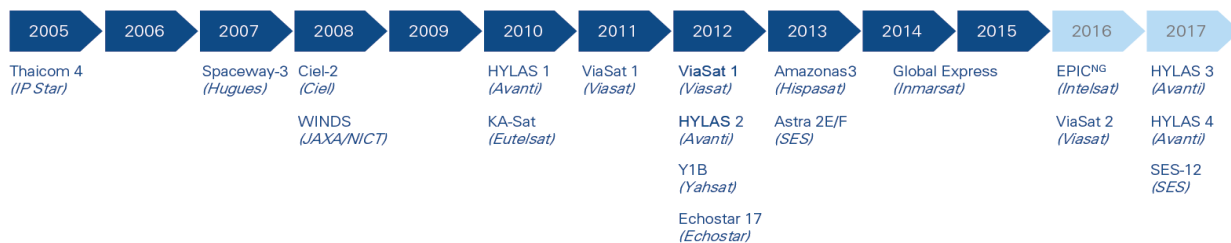


Figura 4. Algunos satélites HTS lanzados desde el 2005

## Intelsat EPIC

El suministrador líder de servicios satelitales Intelsat anunció en Enero del 2016 el lanzamiento satisfactorio de su primer satélite de alto rendimiento Intelsat Epic bajo el nombre Intelsat 29e. Está equipado para trabajar en las bandas C y Ku sobre las regiones de Norteamérica, Latinoamérica y la región Norte del Atlántico. Dicho satélite es también el primero de nueva generación con una plataforma completamente digital la cual combina los haces anchos y puntuales con la tecnología de reutilización de frecuencia. Intelsat Epic está optimizado para brindar conectividad a aplicaciones como Internet de las cosas(IoT), Máquina a Máquina (M2M), conectividad a empresas, infraestructura



**II Convención Científica Internacional 2019**  
**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
**CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS**

inalámbrica, movilidad marítima y aeronáutica(Intelsat, 2016a). Con este lanzamiento Intelsat entra en el mundo de los satélites de alto rendimiento.

En julio de 2017 dicho operador anuncio el lanzamiento exitoso del cuarto satélite HTS Intelsat Epic nombrado Intelsat 35e. Está equipado con una carga útil digital, brindará servicios en banda C y Ku a infraestructuras inalámbricas, móviles, de banda ancha, gobiernos y usuarios en las Américas, el Caribe, Europa y África. Los beneficios de los satélites Intelsat EPIC incluyen:

- Mayores rendimientos (bits/Hz) lo cual reduce el costo por bit para los operadores.
- Haces anchos y estrechos lo que brinda los beneficios del broadcast y conectividad de alto rendimiento.
- Múltiples frecuencias alineadas con los requerimientos específicos de la región y la aplicación.
- Es compatible hacia delante a medida que la tecnología de la terrena avance.
- El alto rendimiento, la alta eficiencia y la alta disponibilidad habilita a los terminales pequeños para soportar nuevas aplicaciones tales como movilidad marítima y aeronáutica y beneficiar el incremento de datos en servicios tales como celular backhaul.
- La completa integración con la flota de satélites de Intelsat e IntelsatOne.

Intelsat Epic aplica la tecnología de múltiples haces en la banda C, Ku y Ka brindando un incremento de rendimiento sobre una base eficiente. La selección de la mejor frecuencia para una aplicación dada y el tamaño del haz puntual es manejado por muchas consideraciones entre las que se encuentran:

- Si se quiere cubrir un área geográfica grande tal como el continente americano, con un solo satélite necesito grandes haces puntuales C o Ku.
- Los requerimientos de disponibilidad del servicio de usuario llevan a la elección de la frecuencia para minimizar el impacto de la atenuación por lluvia.
- Los usuarios pueden tener gateways y terminales de usuarios ya desarrollados y pueden ordenar su transición a una plataforma de satélites de alto performance que usen la misma frecuencia.
- Un usuario puede desear combinar diferentes frecuencias en su red para suministrar servicios optimizados para múltiples regiones y aplicaciones.

El empleo de los haces puntuales sobre Intelsat Epic brinda 2 beneficios adicionales: el incremento en el rendimiento de recepción (mayor G/T) y una mayor potencia de enlace descendente (EIRP). Estos se traducen en mejoras de la eficiencia espectral ofrecida a los usuarios; que son los Mbps que pueden ser logrados en un Mhz de ancho de banda del satélite. La combinación del incremento en MHz y la



**II Convención Científica Internacional 2019**  
**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
**CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS**

eficiencia espectral mejorada permite a los proveedores de servicio lograr un significativo aumento en el rendimiento (total de Mbps)(Intelsat, 2015).

### **O3B**

Es una constelación de 12 satélites construidos para trabajar con redes móviles y redes IP. Operan en la órbita de media altura aproximadamente a 8062 km de altura por lo que no sufren de la alta latencia intrínseca en los satélites geostacionarios. Posee un tiempo de ida y vuelta menor de 150 ms en vez de los 500 ms de los satélites GEO ubicados a 36000 km. El tiempo de duración de la vuelta a la tierra es de 360 minutos, estos son 4 contactos con el mismo lugar en el día (Networks, 2016). Su área de servicio está entre  $\pm 45$  grados de latitud Norte y Sur. Debido a que no es geostacionario las estaciones terrenas remotas requieren de 2 antenas para poder seguir los satélites. Una apunta hacia el satélite que está ofreciendo la cobertura a la zona y la otra está apuntando hacia el siguiente satélite para establecer la conectividad cuando este a la vista y antes que el actual desaparezca. A este método le llaman "make-before-break" y permite mantener ininterrumpido el flujo de datos durante el cambio de satélites. Opera en banda Ka y con polarización circular.

Cada satélite tiene 12 antenas direccionables es decir que se pueden mover en dependencia de la zona de cobertura contratada por el usuario, siempre dentro de la latitud  $\pm 45$ . 10 antenas son empleadas para los haces de usuario y 2 para la conectividad con la puerta de enlace (Gateway). Cada antena es un haz y por región puede haber hasta 7 haces (son 7 regiones). Cada haz puede ser apilado en la misma ubicación para brindar capacidad adicional. Cada haz de usuario está configurado con un transpondedor de un ancho de banda de 216 MHz en la dirección hacia arriba y otro igual en la dirección opuesta. Puede entregar hasta 1.6 Gbps por haz (800 Mbps x 2). Cada haz de Puerta de Enlace está conectado a 5 haces de usuarios y también se pueden configurar haces de loopback para brindar conectividad hacia arriba y hacia abajo en el mismo haz. Dichas Puertas de Enlace están estratégicamente ubicadas en los backbone de internet conformando así una red global lo cual brinda opciones de conectividad fiables y seguras (Networks, 2016).

O3B es particularmente apropiado para las aplicaciones interactivas, aplicaciones Cloud, Voz sobre Ip, juegos entre múltiples personas y aplicaciones que usen bases de datos. Dicho sistema satelital es llamado la fibra en el cielo debido a su baja latencia comparable con la de las fibras ópticas de larga distancia. A continuación, se presenta una tabla comparativa entre los satélites HTS Intelsat EPIC y O3B.



**II Convención Científica Internacional 2019**  
**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
**CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS**

Intelsat EPIC	O3B
Orbita: Circular ecuatorial a una altitud de 35786 km sobre el nivel del mar.	Circular ecuatorial a una altitud de 8062 km sobre el nivel del mar.
Banda de frecuencia: C, Ku y Ka. Esto le permite al usuario seleccionar la frecuencia adecuada para minimizar el impacto del desvanecimiento por lluvia y así cumplir con los requerimientos de disponibilidad de servicio. También el usuario puede combinar diferentes frecuencias en su red con el objetivo de brindar servicios optimizados para múltiples regiones y Aplicaciones(Intelsat, 2015).	Solo Ka.
Perdidas en el espacio libre <sup>1</sup> : 199.74 dB a 6.4 GHz	199.9 dB a 29.1 GHz
<u>Latencia.</u> 500 ms tiempo de ida y vuelta. Esto impacta en el funcionamiento de múltiples aplicaciones como por ejemplo la voz y las aplicaciones interactivas.	150 ms tiempo de ida y vuelta.
<u>Tipo de sistema.</u> Está basado en una arquitectura abierta y compatible hacia atrás permitiéndole a las organizaciones gubernamentales, móviles y de banda ancha emplear el hardware existente(Intelsat, 2016a).	Está basado en una arquitectura cerrada.
<u>Topología de red.</u> Permite la conectividad entre múltiples haces incluyendo estrella, malla y también loopback que es la conectividad dentro del mismo haz de usuario. Este aspecto garantiza la compatibilidad hacia atrás con las redes existentes y la flexibilidad al usuario de seleccionar el diseño de red y la tecnología que desee(Intelsat, 2015).	Es estrella donde cada haz de Puerta de Enlace está conectado a 5 haces de usuarios y también soporta haces de loopback para brindar conectividad hacia arriba y hacia abajo en el mismo haz.

<sup>1</sup> La fórmula empleada fue  $L_o = 20 \log D + 20 \log f + 92,5 \text{ dB}$



**II Convención Científica Internacional 2019**  
**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
**CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS**

<u>Escalabilidad:</u> Se puede escalar hasta la capacidad total de un transpondedor	Los clientes pueden escalar hasta la capacidad total de un haz (beam) y más allá mediante la superposición de múltiples haces.
<u>Tipo de transpondedor:</u> digital el cual es capaz de interconectar cada uno de los múltiples haces, es decir, realizar funciones de enrutamiento (Intelsat, 2016b).	Es Bent-pipe y esto significa que el procesamiento de las señales y la conmutación es en el Gateway y no a bordo del satélite
Throughput: Transpondedores con gran ancho de banda.	Transpondedores con gran ancho de banda y reducción de la latencia de transmisión.

Tabla 1. Comparación entre los satélites HTS Intelsat EPIC y O3B

Entre estos dos sistemas satelitales (uno GEO y uno de órbita media (MEO) con el mismo ancho de banda el de órbita media tiene ventaja en cuanto al desempeño de las aplicaciones de internet más comunes dígase la transferencia de ficheros, las aplicaciones web, los juegos interactivos, llamadas de voz y video. Eso se debe a que tienen menos altura sobre la tierra (8062 km comparado a 36000 km) y por ende un tiempo menor de ida y vuelta (round trip delay) del paquete IP. En aplicaciones que emplean el Protocolo de Control de la Transmisión (TCP) a medida que aumenta el producto delay-ancho de banda se reduce el throughput extremo a extremo o el desempeño TCP. Entre esas aplicaciones esta FTP y las aplicaciones web (Blumenthal, 2013).

Para resolver la desventaja del enlace geoestacionario (alta latencia) algunos operadores como Hughes emplean los Proxys de Mejora del Rendimiento (PEP) cuyo objetivo es mejorar el rendimiento en la capa de transporte y en la capa de aplicación. Por ejemplo en enlaces con un alto valor del producto ancho de banda/demora se podría implementar un Proxy de Mejora del Rendimiento para TCP (TCP PEP) para alterar el comportamiento de la conexión TCP generando reconocimientos (ACK) locales en los segmentos de datos TCP y así mejorar el rendimiento de la conexión (Group, 2001). En la capa de aplicación se podrían emplear técnicas para acelerar el protocolo HTTP como por ejemplo proxys cache, prebúsquedas del contenido HTTP y conexiones HTTP persistentes (Davern, P., Nashid, N., Sreenan, C. J., Zahran, A., 2011).

Otra forma de aumentar la cantidad de bits por segundos y hacer más eficiente la utilización del espectro es empleando el estándar DVB-S2 y sus extensiones DVB-S2x. El estándar DVB-S2 es una





**II Convención Científica Internacional 2019**  
**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
**CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS**

mejora al anterior DVB-S y ha sido diseñado para cubrir una gran variedad de aplicaciones de satélite entre las que están:

- Servicios interactivos de datos incluyendo acceso a internet.
- Distribución de contenidos de datos trunking y otras aplicaciones profesionales.
- Está caracterizado por un flexible adaptador de flujo de entrada disponible para la operación con flujos simples y múltiples de varios formatos (paquetizados o continuos).

DVB-S tenía modulaciones que llegaban hasta 8PSK y 16 QAM mientras que DVB-S2 incluye estas y además tiene 16 APSK y 32 APSK logrando así mayor eficiencia espectral. QPSK y 8PSK son usadas para aplicaciones de broadcast y pueden ser empleadas en transpondedores no lineales cercanos a la saturación. 16 APSK y 32 APSK han sido elegidas para aplicaciones profesionales, requieren mayores niveles de C/N y la adopción de métodos de predistorsión en la estación terrena ascendente para minimizar los efectos de la no linealidad en el transpondedor. Cuando están disponibles grandes márgenes de potencia, la eficiencia espectral puede incrementarse más reduciéndose así el costo por bit, en estos casos las modulaciones 16APSK y 32 APSK son más convenientes. Se debe aclarar que las constelaciones 16 APSK y 32 APSK han sido optimizadas para operar sobre transpondedores no lineales poniendo los puntos en círculos. Otros aspectos que mejoraron la eficiencia del ancho de banda fueron el uso del Codificador de Chequeo de Paridad de baja Densidad(LDPC) para el FEC y los nuevos modos de operación específicamente Modulación y Codificación Variable (VCM con siglas en ingles) y Modulación y Codificación Adaptativa (ACM con siglas en ingles). La introducción de modulaciones de mayor orden necesitan un incremento en la potencia para lograr una similar Energía de Bit sobre Ruido ( $E_b/N_0$ ) pero esto se contrarresta con la disminución de potencia que se logra con los haces puntuales de los satélites HTS. DVB-S2 tiene un factor de roll-off que puede llegar hasta 0.20 lo que permite restringir un poco más el ancho de banda ocupado por la portadora, aunque también puede producir grandes degradaciones no lineales en el satélite para la operación en portadora simple.

DVB-S2X tiene entre sus ventajas que el rango de  $E_s/N_0$  es extendido desde -10dB hasta +24 dB, en DVB-S2 solo llegaba hasta -3dB. DVB-S2X logra un incremento en la disponibilidad, en la granularidad de los MODCOD y alcanza esquemas de modulación de mayor orden por ejemplo 64 APSK.

- Tiene factores de roll-of de 5%, 10% y 15% permitiendo que menos energía se esparza dentro de las bandas adyacentes y así operar sin excesivas banda guardas.



**II Convención Científica Internacional 2019**  
**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
**CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS**

-Filtrados avanzados que permiten la eliminación de lóbulos laterales próximos a las portadoras y así el espacio entre portadoras es reducido. Se podrán colocar portadoras más cercanas mutuamente lo cual traerá ganancias en ancho de banda.

-Incrementa el número de elecciones FEC brindando mayor resolución para la modulación óptima con un Es/No que va desde -3 hasta 19 dB de rango dinámico.

-Mayores esquemas de modulación 64 APSK(6 bits por hertz), 128 APSK(7 bits por hertz) y 256 APSK(8 bits por hertz) están incluidos para trabajar con cálculos de enlaces mejorados debido a grandes antenas y satélites más poderosos.

-DVB-S2X permite establecer servicios diferenciados entre operación lineal (para un transpondedor no saturado) y operación no lineal (para un transpondedor saturado). Este introduce MODCODs que son menos sensibles a la distorsión en transpondedores saturados y operación en multiportadoras.

Algo novedoso del estándar DVB-S2X es que soporta transpondedores con anchos de bandas desde 72 MHz(por ejemplo sistemas banda C) hasta varios cientos de MHz(por ejemplo sistemas HTS en banda Ka que tienen transpondedores de ultraancho de banda distribuidos entre los haces cada uno con un ancho de banda de 100 MHz o más)(Minoli, 2015).

### **Modem satelitales empleados en banda ancha**

El modem es el equipamiento en la estación terrena que modula y demodula la señal de banda base. Su función es adaptar la señal en banda base al canal de comunicación y viceversa; para ello la codifica y la modula en el sentido de transmisión y decodifica y demodula en el sentido de recepción.

Adquiriendo módems de alta velocidad que soporten DVB-S2 adicionales a otras características propias de ellos como por ejemplo ACM + Control Automático de Potencia Ascendente(AUPC) se podrán asumir estos grandes anchos de bandas.

El modem de alta velocidad Newtec MDM6000 esta optimizado para aplicaciones punto a punto sobre satélite entre las que se encuentra *IP trunking* o restauración de fibra. Este modem está en conformidad con los estándares DVB-S2, DVB-S2X así como las extensiones Newtec S2. Puede brindar hasta 425 Mbps de máxima velocidad de datos en modo simplex en un transpondedor de 72 MHz y 850 Mbps duplex. Combina un grupo de tecnologías para mejorar la eficiencia como: nuevos FEC y modulaciones de hasta 256APSK en combinación con la tecnología de banda ancha de hasta 133 Mbaud, *Clean Channel*, Control de Potencia Automático(AUPC) en el enlace ascendente, Flexible ACM y *Equalink 3*. También tiene la opción del identificador de portadora DVB(acorde al estándar



**II Convención Científica Internacional 2019**  
**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
**CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS**

ETSI TS 103 129 v1.1.1). El MDM 6000 soporta la tecnología de cancelación de ancho de banda cuyo objetivo es: la transmisión de los dos enlaces tanto ascendente como descendente en el mismo ancho de banda del satélite arrendado (Newtec, 2015).

El modem CDM-760 empleado en aplicaciones como *IP trunking*, *G.703 Trunking* y entrega de contenido a alta velocidad fue diseñado para brindar altos *throughput*, puede alcanzar velocidades de datos de hasta 723.30 Mbps en modo simplex empleando DVB-S2X, 64 APSK y 5/6. Puede trabajar con DVB-S2(EN 302 307), DVB-S2X (EN 302 307-2) o con formas de ondas propietarias del fabricante. Estas formas de ondas son interoperables con una opción llamada Pre distorsión Dinámica la cual permite llevar los amplificadores del satélite cerca de la saturación maximizando su eficiencia y a la vez controla dinámicamente las distorsiones que se puedan producir. Soporta el estándar DVB-CID ETSI TS 103 129. Permite un ahorro de ancho de banda de hasta el 50 % utilizando la tecnología *DoubleTalk Carrier-in-Carrier* la cual logra que portadoras transmitidas y recibidas en un enlace duplex compartan el mismo espacio en el transpondedor. Está preparado para trabajar con los satélites de órbita media (Data, 2016).

El modem WSM-5000 es un equipo del fabricante Advantech Wireless diseñado para transmitir portadoras de hasta 600 MHz de ancho de banda, 500 Msps de velocidad y con un roll-off de 1%. Puede tener mejoras en el rendimiento de hasta 30% como resultado de la combinación de la operación de una simple portadora sobre un transpondedor HTS, el roll-off más bajo de la industria, soporta baja relación señal-ruido y capacidades de compensación ultrarrápida por medio del *ACM+AUPC*. Cumple con el estándar DVB-S2X, está diseñado para trabajar con los HTS a velocidades de datos de hasta 2.5 Gbps. Estos nuevos moduladores combinados con SSPAs/SSPBs brindan una alta linealidad/amplificación con bajo ruido de fase en las bandas de frecuencias C, Ku y Ka. También pueden ocupar un transpondedor HTS completo con una portadora y operar en saturación para un uso más eficiente de los recursos del satélite("Advantech Wireless Showcases Record Breaking WSM-5000 Wideband Broadcast Satellite Modulator at 2016 NAB Show," 2016; Inc., 2017) .

Otro modem que podría ser empleado por sus potencialidades para cumplir el objetivo de este proyecto es el MEOLink High Speed Modem. Diseñado para soportar altas velocidades de datos de hasta 810 Mbps en cada dirección con modulaciones de 32 APSK. Soporta el estándar DVB-S2. Está preparado para trabajar con satélites de órbita media del operador SES por lo que tiene dos receptores



**II Convención Científica Internacional 2019**  
**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
**CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS**

incorporados para administrar la continuidad de los enlaces durante la transferencia de satélites y evitar la pérdida o repetición de datos(ViaSat, 2017).

El modem NS3000 soporta la tecnología que permite transmitir dos veces la cantidad de datos sobre un existente ancho de banda entregando velocidades de trasmisión de datos de hasta 730 Mbps asegurando así la máxima eficiencia espectral y en costo. Su nombre es *NovelSat DUET™ CEC™ (carrier-echo-cancellation)*. Hace posible el uso simultaneo del mismo ancho de banda para el enlace ascendente y descendente doblando la efectividad de la velocidad de datos, en otras palabras, más Megabits en el mismo ancho de banda en Megahertz. Soporta 425 Mb/s unidireccional empleando la tecnología de Cancelación de Eco del canal para transmitir una simple portadora en un canal de 84 MHz. Cumple con el estándar DVB-S2 y DVB-S2X. Posee aceleración TCP incorporada. Tiene una forma de onda de transmisión llamada NovelSat NS4 cuya eficiencia espectral es hasta 45 % superior comparada con DVB-S2 y 17 % superior con respecto a DVB-S2X.

De todos los modem analizados para establecer enlaces con los satélites de órbita media (MEO) en primer lugar se puede escoger el *MEOLink High Speed Modem*. Para trabajar con los satélites Intelsat Epic como primera opción se podrían utilizar los modem CDM760 pues son más eficientes espectralmente y alcanzan mayores velocidades de datos. Como segunda opción estarían los NS3000. Si empleo modem CDM-760 para lograr más de 1Gbps en bajada necesitaría 2 modems que en total serian 1307.2 Mbps(32 APSK ). Empleo además uno de reserva para conformar un sistema 2+1.

Una idea sería para aumentar la disponibilidad de los enlaces en banda Ka es emplear la diversidad de sitios instalando una estación terrena en La Habana y otra en Las Tunas u Holguín. Es decir, zonas separadas lo cual evitaría que estuvieran los enlaces interrumpidos por lluvia en los dos sitios simultáneamente. La segunda opción es tener dos enlaces de gran ancho de banda, uno en banda C y el otro en banda Ka en caso que las estaciones terrenas estuvieran en el mismo sitio. Esto hace que ante lluvia intensa al interrumpirse el de banda Ka aun el de banda C estará operativo y no se perdería todo el flujo de datos. El enlace en banda C se haría con una inversión mínima en equipamiento, aprovechando el ya instalado. En caso de la instalación en banda C se emplearán tarjetas de fibra óptica de banda L las cuales tienen anchos de bandas mayores de 72 MHz, permiten reducir el retardo de grupo y la amplitud contra frecuencia en la frecuencia intermedia. Los convertidores de frecuencia ascendentes y descendentes tendrán como frecuencia de entrada la banda L(950-2150 MHz). Los enrutadores usarán el Protocolo de Agregación de Control de Enlace(LACP) para unir en un solo enlace



**II Convención Científica Internacional 2019**  
**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
**CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS**

lógico todos los enlaces Ethernet que vienen desde los modem y aumentar el ancho de banda y la disponibilidad.

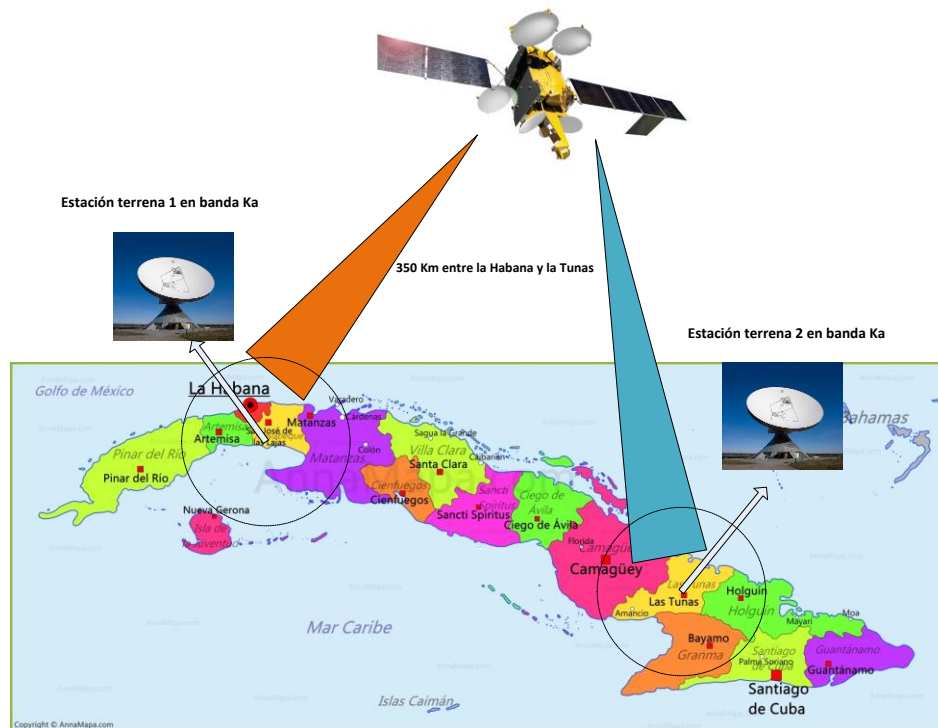


Figura 5. Diversidad de sitio en las estaciones terrenas de banda Ka

### 3. Conclusiones

El empleo de satélites de alto rendimiento, la introducción de las técnicas de modulación y codificación (modcod) más avanzadas, las codificaciones adaptativas hacen que podamos ir acorde a las tendencias actuales en los sistemas satelitales mundiales. El aumento del throughput se puede lograr de varias formas: reduciendo la latencia de transmisión utilizando satélites MEO, empleando transpondedores de gran ancho de banda por encima de 100 MHz junto a reutilización de múltiples haces puntuales, modulación y codificación (modcod) más avanzadas y técnicas de codificación adaptativas para compensar la atenuación por lluvia especialmente en sistemas Ka y Ku. También se pueden emplear proxys de mejora del rendimiento y emplear el estándar de la capa física DVB-S2X.

### 4. Referencias bibliográficas

Advantech Wireless Showcases Record Breaking WSM-5000 Wideband Broadcast Satellite Modulator at 2016 NAB Show. (2016). Recuperado de <http://www.prweb.com/recentnews/>,



**II Convención Científica Internacional 2019**  
**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
**CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS**

<http://satmagazine.com/story.php?number=1376929061>

Blumenthal, S. H. (2013). *Medium Earth Orbit Ka band Satellite Communications System*. Paper presented at the Military Communications Conference, MILCOM 2013, San Diego, CA, USA

<http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6735634/?reload=true>

Data, C. E. (2016, 6/10/2016). CDM-760 Advanced High-Speed Trunking Modem. Recuperado de [www.comtechefdata.com](http://www.comtechefdata.com)

Group, N. W. (2001). Performance Enhancing Proxies Intended to Mitigate Link-Related Degradations *Transport Layer PEPs*.

Hughes. (2017). The View from JUPITER: High-Throughput Satellite Systems. Recuperado de <http://www.hughes.com>

Inc., A. W. (2017). WSM-5000 Wideband DVB-S2X Modulator. Recuperado de <http://www.advantechwireless.com/>

Intelsat. (2015). The Intelsat EpicNG Platform: High Throughput, High Performance to Support Next-Generation Requirements, 4. Recuperado de [http://www.intelsat.com/wp-content/uploads/2015/02/6493-Epic-Positioning\\_2016.pdf](http://www.intelsat.com/wp-content/uploads/2015/02/6493-Epic-Positioning_2016.pdf)

Intelsat. (2016a). Intelsat 29e, the First Intelsat EpicNG Satellite, Successfully Launched into Orbit. Recuperado de <http://www.intelsat.com/news/press-release/intelsat-29e-the-first-intelsat-epicng-satellite-successfully-launched-into-orbit/>

Intelsat. (2016b). Operating in an EpicNG Environment 12. Recuperado de <http://www.intelsat.com/global-network/satellites/epicng/>

Minoli, D. (2015). *Innovations in satellite communication and satellite technology : the industry implications of DVB-S2X, high throughput satellites, Ultra HD, M2M, and IP*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Networks, O. b. (2016). Our Technology at a Glance. Recuperado de <https://www.o3bnetworks.com/technology/>

Newtec. (2015). MDM6000 The high speed solution (R2.2). Recuperado de <http://www.newtec.eu>

O.Vidal, G. V., J.Lacan, E.Alberty, J.Radzik, and M.Bousquet. (2012). Next Generation High Throughput Satellite System. Recuperado de <http://oatao.univ-toulouse.fr/6908/1/Lacan-6908.pdf>



**II Convención Científica Internacional 2019**  
**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
**CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS**

Sanjeev Bhatia. (2017). Understanding High Throughput Satellite (HTS) Technology., 17. Recuperado de <http://www.intelsat.com>

ViaSat. (2017). MEOLink High-Speed Modem. Recuperado de [https://www.viasat.com/sites/default/files/media/documents/meolink\\_modem\\_datasheet\\_008\\_web.pdf](https://www.viasat.com/sites/default/files/media/documents/meolink_modem_datasheet_008_web.pdf)