

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Máster

**SERVICIO MARÍTIMO DE INTERNET POR
SATÉLITE**

(Maritime Satellite Internet Service)

Para acceder al Título de

**Máster Universitario en
Ingeniería de Telecomunicación**

Autor: Alyona Shcherbakova

Julio - 2018

TÍTULO	Servicio Marítimo de Internet por Satélite			
AUTOR	Alyona Shcherbakova			
DIRECTOR	Carla Méndez			
TITULACIÓN	MASTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN	FECHA	JULIO-2018	TOMO I DE I

Objetivos y desarrollo de la memoria

En este proyecto se realizará un estudio completo de las comunicaciones por satélite, prestando especial atención en los servicios de internet. Este estudio tiene como finalidad obtener el conocimiento necesario del funcionamiento de dichos servicios para poder ser capaz de proporcionar la asistencia necesaria para mantener los sistemas de los barcos activos en todo momento, tal y como se realiza en el departamento del NOC o *Network Operations Center* de Santander Teleport, donde actualmente trabajo.

Un ingeniero del NOC de Santander Teleport, es el encargado de proporcionar al cliente un soporte técnico en sus sistemas VSAT marítimos. Se trata de un servicio 24/7/365 que consta de operadores que hablan inglés y español para brindar un servicio de soporte a clientes globales.

Todo ingeniero del NOC deberá entender en detalle cómo se comporta un sistema de comunicaciones marítimo, para ello, en este proyecto se realizará un estudio y clasificación de los diferentes tipos de sistemas que existen, así como sus componentes y la descripción de su aportación al sistema final. Esta parte es especialmente importante pues todo operador del NOC será quien deberá guiar al cliente del barco en caso de que exista algún problema, del mismo modo deberá conocer a fondo el funcionamiento de cada uno de los dispositivos para poder detectar de la forma más rápida posible qué dispositivo puede fallar, saber identificar el problema y poder solucionarlo. Por otro lado, el operador del NOC deberá saber reconfigurar el sistema, por ejemplo, adaptándose a nuevos itinerarios de los barcos, proporcionándoles en todo momento cobertura a los clientes, el cuál será el objetivo principal de este proyecto.

El trabajo objetivo de este proyecto es planteado por un cliente actual de la empresa (el crucero que llamaremos X) que tiene contratado un servicio de internet por satélite, con el sistema VSAT ya instalado. Este cliente ha informado de que su itinerario va a cambiar, proporcionándonos uno nuevo, de forma que solicita que actualicemos su sistema para que en todo momento el barco siga teniendo cobertura de internet.

Por ello, la principal tarea a desarrollar en este proyecto es el de reconfigurar el sistema VSAT del cliente, asignando los satélites necesarios para poder cubrir el itinerario del barco. Además, se mostrarán ejemplos de puntos del itinerario del barco donde la antena apuntará a diferentes satélites demostrando si en óptimas condiciones (y sin tener en cuenta más factores externos que el posible bloqueo causado por obstrucciones del propio barco) serán capaces o no de obtener la señal del satélite, o en otras palabras, si la antena apuntará al satélite o a una infraestructura del barco.

Este trabajo se ha dividido en tres secciones diferentes:

I. Fundamentos de las Comunicaciones por Satélite y conceptos generales

Esta primera sección consta de los apartados 1 y 2, en donde se ha descrito los conceptos teóricos fundamentales de las comunicaciones por satélite, siendo la base teórica que se necesita saber para poder entender cualquier sistema por satélite. Además, se han explicado los elementos que afectan la calidad de las comunicaciones, esencial para poder identificar los problemas que podrá experimentar todo sistema.

En resumen, en esta sección se reúnen los conceptos teóricos fundamentales de todo sistema de comunicaciones, sea o no marítimo.

II. Instalaciones VSAT marítimas típicas

En esta segunda sección, se explica en detalle los principales dispositivos de los que se compone un sistema VSAT marítimo que la empresa instala a los clientes, esto se explica en el apartado 3. El objetivo de este apartado es explicar las principales funciones de cada dispositivo, objetivo especialmente importante pues todo operador del NOC, tal y como se ha comentado previamente, deberá conocer a fondo el funcionamiento de cada uno de ellos para poder detectar de la forma más rápida en caso de haber un problema, qué dispositivo puede fallar y poder solucionarlo, así como saber cómo configurarlo en caso necesario.

Por otro lado, se ha explicado en el apartado 4, de forma breve, cómo se realizan los balances de enlaces en Santander Teleport. Estos cálculos en principio no son necesarios para todos los clientes, pues los dispositivos utilizados para un sistema VSAT en Santander Teleport, son capaces de proporcionar características de ancho de banda de hasta un máximo de unos 20 Mbps independientemente de la zona en la que el barco se encuentre. En caso de que un cliente requiera de un ancho de banda mayor o con ciertas características que puedan ser atípicas, el departamento específico se encargará de calcularlo con ayuda de algunas de las aplicaciones que se citan en este apartado.

III. Reconfiguración y estudio del Sistema VSAT Marítimo del Crucero X de acuerdo con su nuevo itinerario

En este último apartado se describe de los dispositivos de los que consta el Crucero X, cliente el cual nos ha informado a la empresa de su nuevo itinerario. Tal y como se ha dicho, el cliente ha indicado su nuevo itinerario sin embargo, para poder reconfigurar su sistema VSAT, previamente es necesario entender cómo funciona. Para ello, se ha hecho un estudio de los dispositivos de los que se compone, donde se ha identificado el tipo de sistema con sus diferentes antenas.

Una vez se ha realizado el estudio, he procedido a reconfigurar los modems de las antenas que dispone actualizándolo con nuevos satélites que cubren el itinerario del barco. Este paso es sumamente importante pues hay que configurar cada satélite uno a uno con sus principales parámetros de forma correcta, pues cualquier parámetro

erróneo implicará una posible interrupción del sistema cuando se conecte a dicho satélite.

Por último, habiéndonos proporcionado el cliente sus cartas de bloqueo (obstáculos pertenecientes al barco que se pueden interponer entre la antena y el satélite) una vez se han definido los satélites, se ha hecho un estudio de la disponibilidad del sistema (si está o no funcionando correctamente) en función de la localización del barco, o en otras palabras, en función de la ubicación del barco y su dirección se ha estudiado si el barco apuntará correctamente al satélite o a una zona de bloqueo. En este último caso, se ha indicado posibles soluciones al problema, procurando en todo momento mantener el sistema en línea.

Agradecimientos

Tanto el presente Trabajo de Fin de Master como mi paso por la Universidad ha sido realizado con la ayuda y motivación de muchas personas, pues son los que me han impulsado en todo momento y deseo expresar aquí mi agradecimiento.

A la directora del trabajo Carla, por su constante apoyo, por todo lo que he aprendido gracias a ella y sobre todo por haberme dado la oportunidad de pertenecer a su equipo.

A Amparo, por haberme apoyado en todo momento con este proyecto y por habernos animado a conseguir este trabajo.

Especialmente agradezco a mis padres por todo el esfuerzo que han realizado durante todos estos años para que yo haya podido llegar donde estoy ahora y siempre haber confiado en mí.

Por último, a Adrian, por no dudar nunca de mí, por hacer que estos años hayan sido mucho más fáciles y por haber estado siempre a mi lado.

Muchas gracias a todos.

Índice General

Lista de Figuras	VIII
Lista de Tablas	X
1. Fundamentos Básicos de Comunicaciones por Satélite	0
1.1. Introducción	1
1.2. Clasificación de satélites	2
1.3. Órbitas.....	3
1.4. Frecuencias de enlace ascendente y descendente.....	4
1.5. Huellas.....	6
1.6. Transpondedor satelital y la configuración básica de un satélite	9
1.6.1. Configuración básica de un satélite de Banda Ku	12
1.6.2. Configuración básica de un satélite de Banda C	12
1.7. Ancho de banda de un satélite	13
1.8. Antenas	14
1.8.1. Apuntamiento de la antena: Azimut y elevación	15
1.8.2. Diagrama de radiación de una antena	18
1.8.3. Polarización.....	19
1.8.4. Alimentador	21
1.8.5. Convertidor hacia abajo – LNA, LNB, LNC	24
2. Elementos que afectan la calidad de las comunicaciones	26
2.1. Introducción	27
2.2. Desvanecimiento por lluvia	28
2.3. Interferencias en transpondedores	32
2.4. Interferencias entre satélites adyacentes	33
2.4.1. Desplazamiento Doppler	39
2.4.2. Pérdida de espacio libre	40
2.4.3. Centelleo.....	42
2.4.4. Cortes debido al sol y a eclipses	42
3. Instalaciones VSAT marítimas	44
3.1. Introducción	45
3.2. Instalación VSAT marítima típica	47
3.2.1. Unidad exterior, ODU	48
3.2.2. Cables de enlace de interfaz o Cables IFL.....	49
3.2.3. Unidad interior, IDU	50
3.3. Servicios ofrecidos en sistemas VSAT marítimos.....	56
4. Cálculos teóricos previos para definir un enlace VSAT en Santander Teleport	58
4.1. Introducción	59
4.2. Información necesaria para realizar un balance de enlace o link Budget	59
4.3. Aplicaciones informáticas utilizadas para los cálculos del enlace	61
5. Reconfiguración del Sistema VSAT Marítimo del Crucero X de acuerdo con su nuevo itinerario	70
5.1. Introducción	71
5.2. Sistema VSAT objeto de estudio y modificación	73
5.2.1. Características de los dispositivos	74
5.3. Itinerario	76
5.4. Apuntamiento de la antena y sus zonas de bloqueo.....	80

6.	Conclusiones.....	86
7.	Bibliografía.....	89

Lista de Figuras

Figura 1: Primer satélite, Sputnik	1
Figura 2: Esquema general de las comunicaciones por satélite.....	2
Figura 3: Órbitas	3
Figura 4: Aplicaciones típicas.....	4
Figura 5: Huella de cobertura de un satélite	6
Figura 6: Ejemplo de huella de banda C	7
Figura 7: Ejemplo de huella de banda Ku	7
Figura 8: Diferencia entre satélite convencional y los satélites con tecnología spot beam	8
Figura 9: Terminología básica sistema de comunicaciones	10
Figura 10: LNB.....	10
Figura 11: BUC	11
Figura 12: Ejemplo de esquemático básico de un transpondedor (Banda Ku)	12
Figura 13: Ejemplo de esquemático básico de un transpondedor (Banda C)	12
Figura 14: Partes básicas de una antena parabólica	14
Figura 15: Elevación de la antena	16
Figura 16: Azimut de la antena.....	16
Figura 17: Ejemplos de diagramas de radiación.....	18
Figura 18: Polarización vertical y horizontal.....	19
Figura 19: Polarización circular de LHCP y RHCP.....	20
Figura 20: OMT	22
Figura 21: Guías de onda circular y rectangular	23
Figura 22: Configuración básica de un LNC	24
Figura 23: Configuración básica de un LNB	25
Figura 24: Representación de un enlace con los parámetros empleados para el cálculo de atenuación por lluvia	29
Figura 25: Interferencias intersatelital	33
Figura 26: Ruido de fondo	37
Figura 27: Pérdida de espacio libre	40
Figura 28: Corte del sistema debido al sol	42
Figura 29: Telepuerto de Santander.....	45
Figura 30: Instalación típica de un sistema VSAT	47
Figura 31: Imagen de un radomo de Intellian con la antena que se coloca en su interior.	48
Figura 32: Cable coaxial	49
Figura 33: Modem, modelo X7 de iDirect	51
Figura 34: Enrutador.....	52
Figura 35: ACU, Fabricante Sea-Tel modelo DAC 2202	52
Figura 36: Conmutador.....	53
Figura 37: Dispositivo UPS	53
Figura 38: Ventilación de bastidores	54
Figura 39: Analizador de espectros	55
Figura 40: Ventana principal de CLBT.....	61
Figura 41: Creación de un escenario nuevo	62

Figura 42: Definición de disponibilidad y creación de satélites	62
Figura 43: Definición del transpondedor.....	63
Figura 44: Creación de topología de red	64
Figura 45: Huella de NSS7 CA con dos ubicaciones para el VSAT remoto	65
Figura 46: Definición del remoto.....	66
Figura 47: Definición del Hub	67
Figura 48: Configuración de las portadoras	67
Figura 49: Definición de la portadora en la aplicación.....	68
Figura 50:Definición del enlace	68
Figura 51: Pantalla de resultados para una portadorade 900 ksps.....	69
Figura 52: Fotografía del sistema VSAT marítimo objeto de estudio en este proyecto	72
Figura 53: Esquemático del sistema VSAT marítimo del crucero X.....	73
Figura 54: Itinerario y satélites de banda Ku configurados.....	77
Figura 55: Satélites de banda C configurados	78
Figura 56: Carta de bloqueo Antena primaria, Banda C.....	81
Figura 57: Carta de bloqueo Antena secundaria, Banda Ku.....	81
Figura 58: Carta de bloqueo para Destino 1.....	82
Figura 59: Carta de bloqueo para Destino 2.....	83
Figura 60: Carta de bloqueo para Destino 3.....	84

Lista de Tablas

Tabla 1: Clasificación de los satélites	2
Tabla 2: Tabla de bandas frecuenciales típicas	4
Tabla 3: Coeficientes	30
Tabla 4: Cálculos de AZ y EL para Destino 1	82
Tabla 5: Cálculos de AZ y EL para Destino 2	83
Tabla 6: Cálculos de AZ y EL para Destino 2. Alternativa	84
Tabla 7: Cálculos de AZ y EL para Destino 3	84

1. Fundamentos Básicos de Comunicaciones por Satélite

1.1. Introducción

En la actualidad las comunicaciones por satélite se han convertido en esenciales para proporcionar servicios de telecomunicaciones, pues permiten conectar a millones de personas alrededor del mundo, siendo especialmente relevantes en lugares donde otros medios no son capaces de llegar.

Son capaces de proporcionar servicios de comunicaciones continuos a través de diferentes puntos de la Tierra dentro de las “huellas” que proporcionan los satélites llevando enormes volúmenes de video, voz y datos.

La tecnología de las comunicaciones por satélite ha evolucionado a partir de las microondas, los radares y la cohetaría a lo largo de la Segunda Guerra Mundial. En 1945 Arthur C. Clark concibió la idea de satélites localizados en el espacio de forma geo-síncrona, permitiendo que sean posible las comunicaciones a larga distancia. En los años sesenta, fueron demostrados experimentos de transmisión de voz, datos y video por satélite. A finales de los setenta y principios de los ochenta, los componentes de microondas eran más baratos y el mundo de la tecnología satelital vio cada vez más atractiva la idea de las aplicaciones en redes privadas. Esta tendencia fue acelerada por el comienzo del uso de bandas frecuenciales mayores, como las bandas Ku y Ka.

En 1957 Rusia se convirtió en la primera potencia espacial con el primer satélite Sputnik 01 (también llamado PS1). Constaba de dos radiotransmisores que enviaron señales durante 21 días, que permitieron realizar estudios avanzados. En Figura 1, se pueden ver los principales datos del satélite, así como una imagen de éste.

Launch date:	4 Oct 1957
Perigee/Apogee:	227/945 km
Inclination:	65°
Period:	96.1 min
Dimension:	58 cm diameter
Mass at launch:	83.6 kg
Frequencies:	20.005 & 40.002 MHz
Decay (End of life):	3 Jan 1958



Figura 1: Primer satélite, Sputnik

En 1962 la compañía americana AT&T, lanzó el primer satélite de comunicaciones, Telstar. Desde entonces, incontables números de satélites han sido puestos en órbita, y su tecnología ha ido evolucionando de forma exponencial hasta la actualidad.

1.2. Clasificación de satélites

En general un satélite es algo que orbita, o gira alrededor de algo más grande. Algunos satélites son naturales, es decir, originados por el Universo, como por ejemplo la Luna.

Las comunicaciones por satélite requieren un avanzado desarrollo electrónico que típicamente requiere varios años para su desarrollo y millones de euros para su construcción. Hoy en día, las dimensiones de éstos varían enormemente y desde 1993, los satélites son clasificados por su peso, tal y como se muestra en la Tabla 1.

Tamaño	Peso (Kg)
Picosat	Menos de 1
Nanosat	1 – 10
Microsat	10 – 100
Smallsat	100 – 1000
Standardsat	Más de 1000

Tabla 1: Clasificación de los satélites

El papel principal de los satélites es reflejar y amplificar una señal electrónica. En el caso de los satélites dedicados a las telecomunicaciones, su principal tarea es recibir la señal de la estación base y enviarlo de vuelta hacia otra estación localizada a una distancia considerable de la primera. En la Figura 2, se muestra el esquema básico descrito previamente [4].

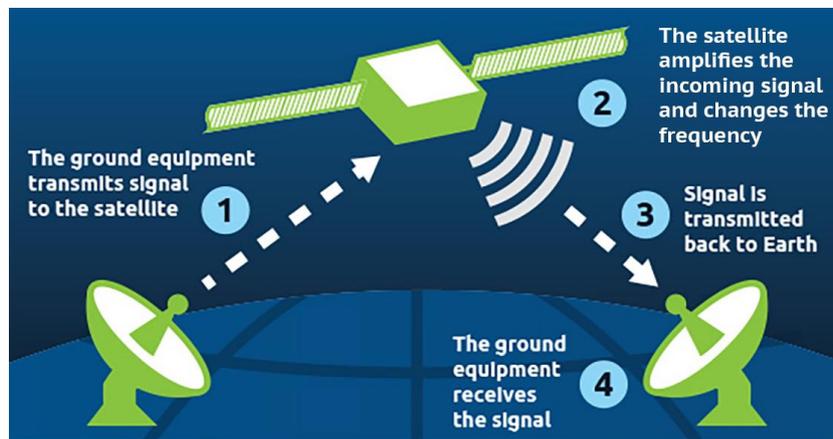


Figura 2: Esquema general de las comunicaciones por satélite

1.3. Órbitas

Hay diversos tipos de órbitas satelitales, de las cuales las más comunes son las bajas (LEO, *Low Earth Orbit*), las medias (MEO, *Medium Earth Orbit*) y las geoestacionarias (GEO, *Geostationary Earth Orbit*) tal y como se muestra en Figura 3. Para el desarrollo de este proyecto, la órbita GEO será la estudiada.

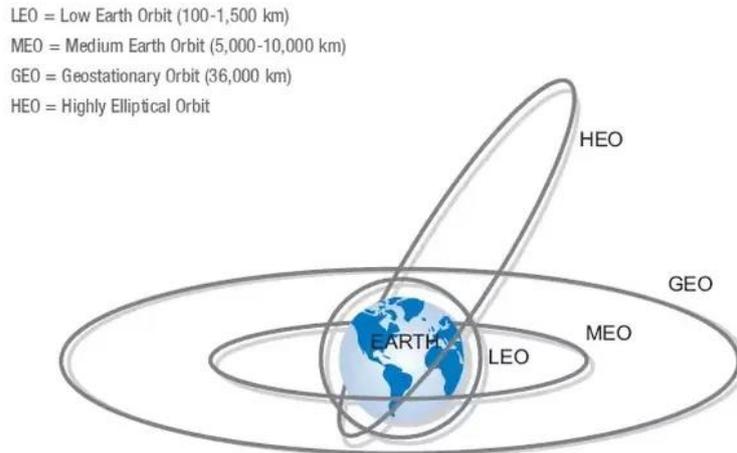


Figura 3: Órbitas

La órbita geoestacionaria, es la más utilizada para las comunicaciones por satélite. Es una órbita circular de 35.786 kilómetros por encima de la superficie ecuador de la Tierra y siguiendo la dirección de la rotación de la Tierra, motivo por el cual las antenas terrestres se pueden apuntar fácilmente hacia el satélite localizado en la órbita. Debido a que su latitud siempre es igual a 0° , las localizaciones de los satélites sólo varían en su longitud, midiéndose esta en grados y con posiciones Este u Oeste.

La distancia a la que se encuentra el satélite en la órbita con respecto a las estaciones terrestres hace que se produzca un retraso o "*delay*", en el envío y recepción de la señal, es decir la señal necesita aproximadamente 480 ms para viajar desde el transmisor al receptor pasando por el satélite, lo cual quiere decir que como mínimo se necesitará ese tiempo para poder transmitir cada paquete de información.

Otros factores que hacen que el tiempo de transmisión de la señal aumente son los generados por los propios sistemas que intervienen en el enlace de comunicaciones satélite: los multiplexores, los conmutadores, el equipo transmisor, el servidor y el tiempo de procesado necesario, etc.

1.4. Frecuencias de enlace ascendente y descendente

La transmisión de la señal desde la Tierra hacia el satélite es el denominado enlace ascendente o *uplink*, mientras que la que viene del satélite hacia la Tierra, es el enlace descendente o *downlink*. Para evitar constantes interferencias entre ambos enlaces y poder transmitir y recibir señales simultáneamente se separan las frecuencias.

Las bandas de frecuencias disponibles son las bandas L, S, C, X, Ku y Ka, las cuales son coordinadas por la organización internacional ITU (International Telecom Union) tanto dentro de diferentes Gobiernos como del sector privado.

Las frecuencias utilizadas para las comunicaciones por satélite son principalmente las de banda C, Ku y Ka mostradas en la Tabla 2. Además, en la Figura 4, se pueden ver las aplicaciones típicas utilizadas en las bandas anteriores.

Banda de frecuencias	Frecuencia de enlace de subida [GHz]	Frecuencia de enlace de bajada [GHz]
Banda C	5.925-6.425	3.700-4.200
Banda Ku	13.75-14.50/17.30-17.80	10.70-12.75
Banda Ka	29.50-30.00	19.70-20.20

Tabla 2: Tabla de bandas frecuenciales típicas

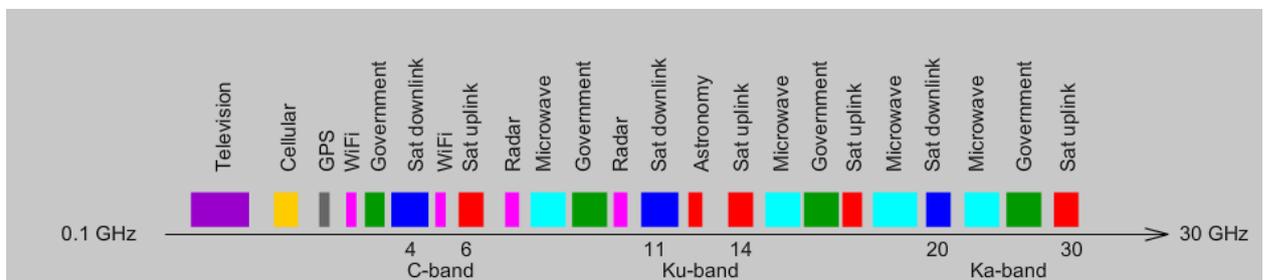


Figura 4: Aplicaciones típicas

- Banda C: es la primera banda utilizada para sistemas comerciales. Una desventaja, es que el ancho de banda disponible se utiliza de forma simultánea por el satélite y por sistemas de microondas terrestres pudiendo resultar en problemas de interferencias. Sin embargo, la tecnología de banda C es apenas afectada por efectos meteorológicos como la lluvia.
- Banda Ku: Esta banda no es compartida con sistemas de microondas terrestres, lo que reduce de forma significativa las posibles interferencias generadas. Sin embargo, la lluvia afecta de forma significativa, en este caso, las comunicaciones.
- Banda Ka: Esta banda tiene una disponibilidad de ancho de banda de 2500 MHz. Son satélites con antenas de tamaño mucho más pequeño (comparadas con las de banda C y Ku). Pueden ser compactas y fáciles de llevar e instalar en zonas

metropolitanas. Sin embargo, como desventaja presenta que es mucho más difícil de gestionar, y es mucho más susceptible al clima, nubes, lluvia, nieve, etc. Esto puede resultar en un grave problema en climas tropicales.

1.5. Huellas

La huella o *footprint*, es un término que hace referencia a la zona de cobertura de los satélites geoestacionarios, es el área hacia el que las antenas de los satélites son capaces de dirigir las señales o de las que son capaces de recibirlas. La medida de la señal de la huella se realiza en unidades de EIRP (*Effective Isotropic Radiated Power*), que se calcula como el producto de la potencia suministrada a la antena por la ganancia de ésta en una dirección dada. EIRP se mide en dBW. Es importante darse cuenta, que la relación entre EIRP y el diámetro de la antena receptora es inversamente proporcional, por lo que, bajo las mismas condiciones, cuando mayor sea el EIRP, la antena podrá tener un plato de menor tamaño para poder captar el mismo nivel de señal.

Un dispositivo localizado en el punto central de la huella tendrá una respectiva ventaja en cuanto nivel de señal con respecto a otro dispositivo que se localice, por ejemplo, en el borde. Esto se debe a que cada huella, tiene definido un patrón de EIRP en función de la localización dentro de ésta tal y como se muestra en Figura 5. Como se puede ver, si se posiciona en España el EIRP será de 54 dBW, mayor que si lo hiciese en Ucrania, que sería de 48 dBW.

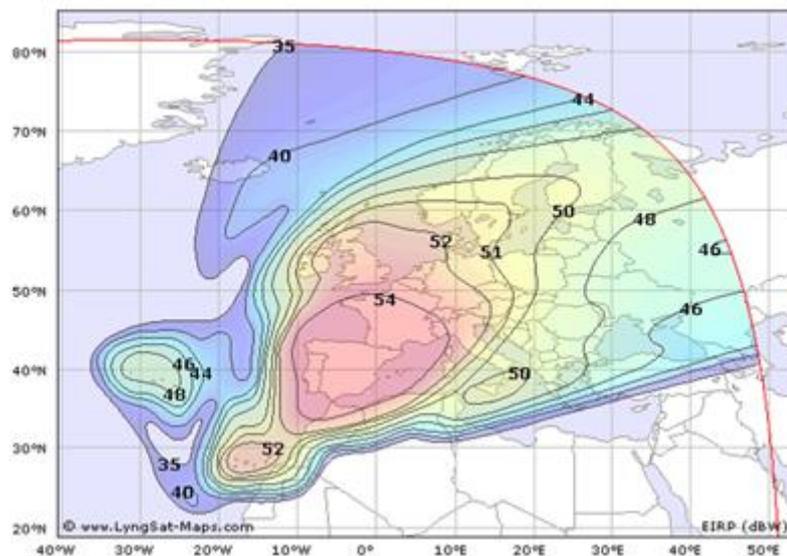


Figura 5: Huella de cobertura de un satélite

El máximo área que puede cubrir un satélite geoestacionario es de aproximadamente un 40% de la superficie de la Tierra, esto es llamado haz global de cobertura.

Las huellas también se diferencian en función de la banda frecuencial a la que pertenecen los satélites. En el caso de las huellas de banda C, las huellas son más globales. Un ejemplo de huella de un satélite de banda C se muestra en Figura 6.

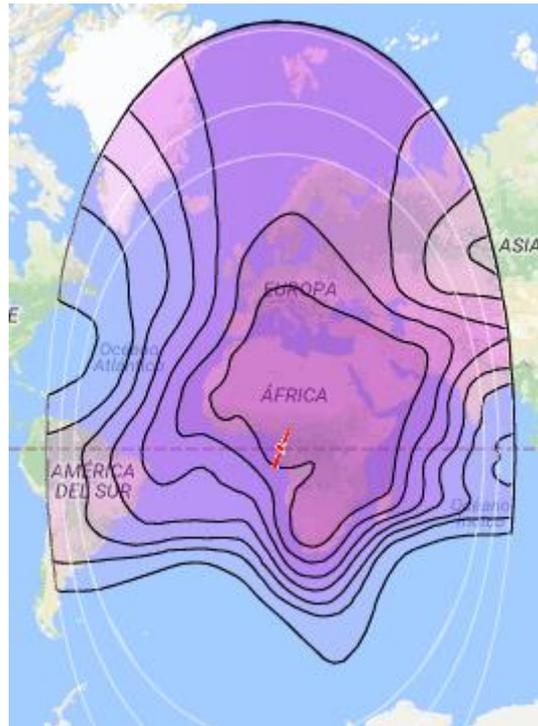


Figura 6: Ejemplo de huella de banda C

En el caso de satélites de banda Ku, las huellas son más regionales. Un ejemplo se muestra en Figura 7.



Figura 7: Ejemplo de huella de banda Ku

No sólo existen huellas más regionales o globales, sino que se ha diseñado una nueva tecnología de haces puntuales o más conocido como “spot beams” que traen consigo los satélites EPIC.

La introducción de satélites de alto rendimiento (HTS), con haces de múltiples puntos (*multi-spot beams*), proporciona un aumento significativo en la capacidad disponible. HTS ofrece nuevos desafíos para utilizar de manera óptima los recursos de ancho de banda, del haz y de la potencia del satélite en casos de demanda variable entre haces, patrones de tráfico no uniformes durante el día (horas pico) y de múltiples zonas horarias en la distribución de carga de tráfico. Los satélites actuales y futuros introducen técnicas flexibles, como la asignación flexible de potencia, la asignación de ancho de banda flexible y el salto de haz para hacer frente a esos desafíos.

Se demostró que el salto de haz, como una de las técnicas más flexibles, aumenta la efectividad del uso de los escasos recursos satelitales para una densidad de demanda no uniforme, tanto en términos de ancho de banda como de potencia. Sin embargo, la implementación del salto de rayo, tanto desde la disponibilidad del terminal como desde el punto de vista operativo, requiere un cambio de paradigma.

La diferencia gráfica entre satélites convencionales y los mencionados se puede ver en Figura 8.

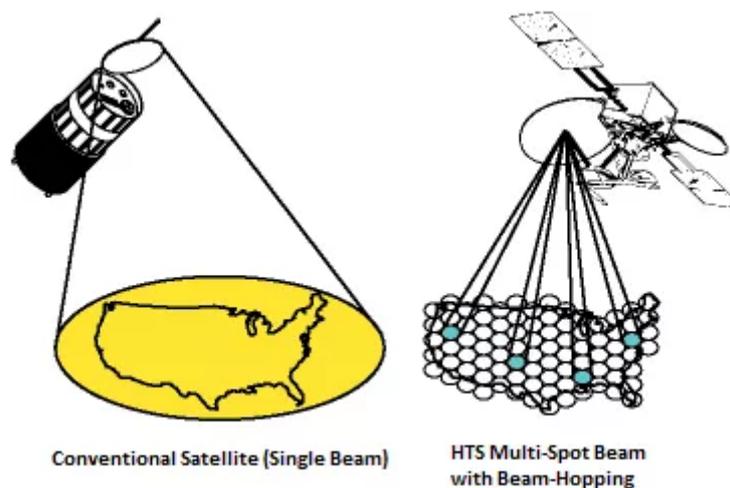


Figura 8: Diferencia entre satélite convencional y los satélites con tecnología *spot beam*

Este salto de haces o "*Beam-Hopping*" proporciona a los sistemas satelitales una dimensión adicional de agilidad que permite ajustar la asignación de los escasos recursos espectrales y de potencia del satélite a la demanda que varía en espacio y geografía, así como con el tiempo. [10]

Las huellas de los satélites Epic están formadas por antenas estándar multi-array. Estos haces varían en ancho de banda entre 62.5 - 500MHz. La polarización del haz está regulada por la orientación de los alimentadores. El beneficio de un haz más concentrado, tal y como se ha dicho anteriormente, es que la ganancia del sistema es mayor, se necesita menos potencia para transmitir una señal de RF y que existe la posibilidad de utilizar una antena más pequeña. Además, este nuevo rendimiento implica en sistemas más eficientes que permiten proporcionar al usuario mayor ancho de banda. [11]

1.6. Transpondedor satelital y la configuración básica de un satélite

Probablemente la parte más importante de un satélite de telecomunicaciones es el transpondedor. “Transpondedor” proviene de las palabras en inglés “**transmitter**” y “**responder**” y se trata de un equipo electrónico instalado dentro del satélite que actúa como un repetidor de microondas, que recibe, amplifica y retransmite las señales hacia los dispositivos en tierra, enviando estas con un determinado nivel de energía en un haz también conocido como huella o “footprint”.

Antes de continuar con la explicación, es fundamental describir la terminología fundamental que se utiliza en el proceso. Un ejemplo gráfico se muestra en la Figura 9.

- Enlace ascendente o *uplink*: Camino de transmisión desde la estación terrestre hasta el satélite.
- Enlace descendente o *downlink*: Camino de transmisión desde el satélite hasta la estación terrestre.
- Canal saliente o *Outbound*: Señal proveniente del HUB a los dispositivos finales o *remote*. *Outbound Uplink* será la señal que va del HUB al satélite y *Outbound Downlink* del satélite al remoto.(*)
- Canal entrante o *Inbound*: Señal proveniente del remoto al HUB. *Inbound Uplink* será la señal que va del remoto al HUB y *Outbound Downlink* del satélite al HUB. (*)

(*) Tanto la señal *Inbound* como la *Outbound* usan el mismo satélite y típicamente el mismo transpondedor.

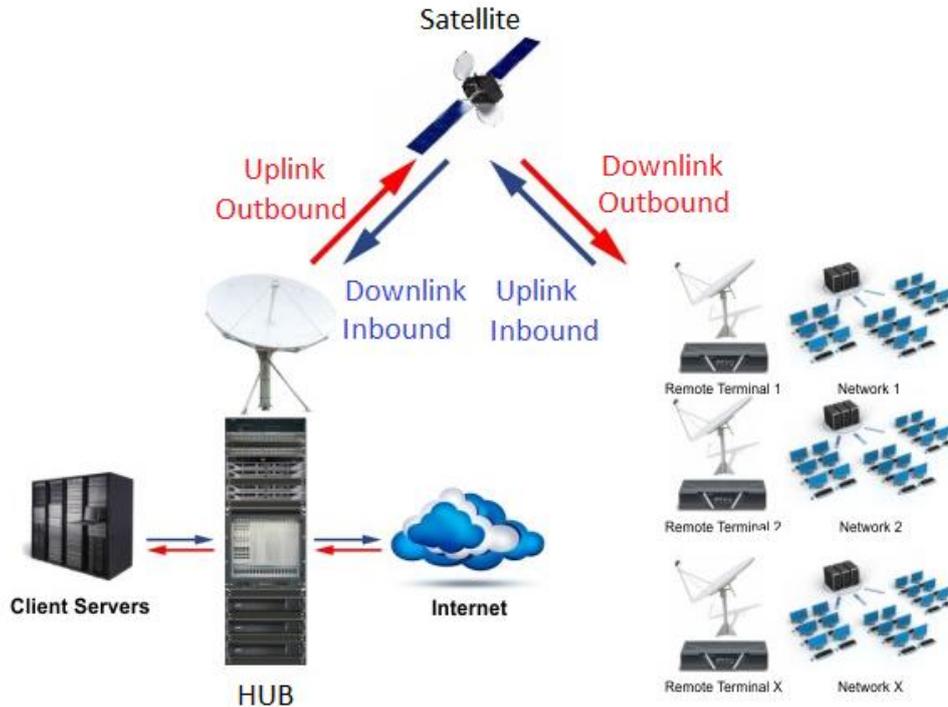


Figura 9: Terminología básica sistema de comunicaciones

Además del transpondedor, hay otros dos componentes fundamentales que son necesarios en los sistemas de comunicaciones por satélite, dos componentes fundamentales son necesarios en el sistema, pues hay que recordar que las frecuencias utilizadas sufren conversiones a lo largo de la trayectoria de la señal, y dichos dispositivos son los encargados de realizarla.

Por un lado, dado que las frecuencias de transmisión del enlace descendente del satélite (*downlink*) son imposibles de distribuir por los cables coaxiales, se hace necesario un dispositivo, denominado, LNB (*Low Noise Block Down converters*), situado en el foco de la antena parabólica, que convierta la señal de RF de alta frecuencia (por ejemplo, la Banda Ku), en una señal de menor frecuencia, para que sea posible su distribución a través del cableado coaxial. A esta banda se le denomina Frecuencia Intermedia (FI). La banda de FI elegida para el reparto se denomina banda "L" y está comprendida entre 950 MHz y 2.150 MHz. En Figura 10 se muestra una imagen de un LNB real.



Figura 10: LNB

Por otro lado, el supraconvertidor de bloque, comúnmente conocido por sus siglas en inglés BUC (*block up-converter*) es un dispositivo utilizado en la transmisión (enlace ascendente o uplink) de señales de comunicación vía satélite. El BUC convierte de la banda de frecuencias que nuestros dispositivos terrestres entienden (por ejemplo, un módem), es decir de la Banda L a la banda RF. Además, se encarga de amplificar la señal. Un ejemplo comercial de BUC se muestra en Figura 11.



Figura 11: BUC

Una vez explicados la terminología básica, así como los dispositivos fundamentales, se describe a continuación dos posibles configuraciones, en este caso las más utilizadas en los sistemas por la empresa.

1.6.1. Configuración básica de un satélite de Banda Ku

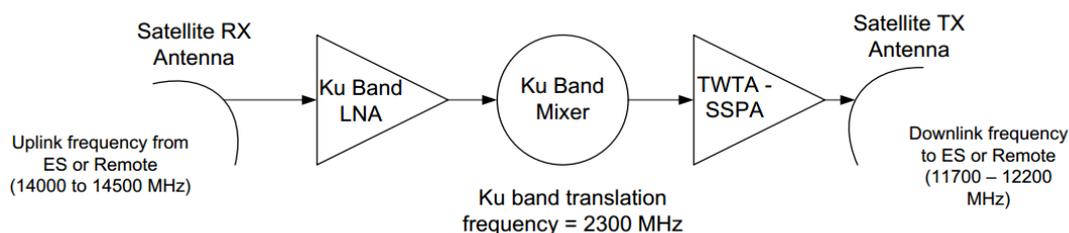


Figura 12: Ejemplo de esquemático básico de un transpondedor (Banda Ku)

La señal recibida RX, pasa por un filtro paso banda que permite que sólo las señales deseadas pasen, se amplifica por el LNA, pasa por el mezclador (*mixer*) donde se aplican 2300 MHz (translación LO) a la frecuencia original, siendo la diferencia de las dos la que se amplifica a continuación por el amplificador (*TWTA* o *SSPA*). Una vez se realiza este proceso, se transmite de nuevo la señal hacia la Tierra.

Por otro lado, tener en cuenta que se trata de una descripción muy superficial de los componentes de un transpondedor, como por ejemplo, es de imaginar que después y antes las antenas deberán de tener un multiplexor. Este sería uno de entre algunos de los dispositivos que no se muestra en su descripción.

1.6.2. Configuración básica de un satélite de Banda C

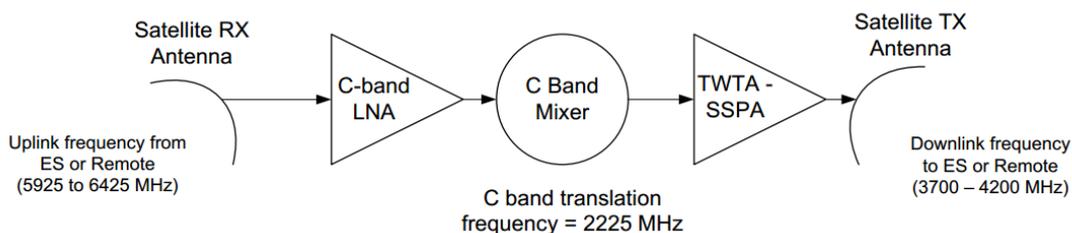


Figura 13: Ejemplo de esquemático básico de un transpondedor (Banda C)

La señal recibida RX, pasa por un filtro paso banda que permite que sólo las señales deseadas pasen, se amplifica por el LNA, pasa por el mezclador (*mixer*) donde se aplican 2225 MHz (translación LO) a la frecuencia original, siendo la diferencia de las dos la que se amplifica a continuación por el amplificador (*TWTA* o *SSPA*). Una vez se realiza este proceso, se transmite de nuevo la señal hacia la Tierra.

En este caso ocurre, lo mismo, se trata de una descripción muy superficial de un transpondedor.

[5]

1.7. Ancho de banda de un satélite

Un satélite puede tener muchos transpondedores. Cada uno de ellos es capaz de soportar una pequeña porción del ancho de banda total del satélite. Valores típicos de anchos de banda de un transpondedor son 36 y 54 MHz. Estos valores se asignan comúnmente a satélites de órbita geoestacionaria, mientras que los que no lo son, no hay predefinido ningún valor, además, son anchos de bandas bastante más pequeños.

Por otro lado, es importante distinguir entre ancho de banda analógico y digital:

- En sistemas analógicos, es el rango frecuencial que una señal electrónica ocupa en un medio de transmisión. Se mide en Hertzios [Hz].
- En una señal digital el ancho de banda o capacidad es la velocidad con la que los datos se transmiten por el medio. Se mide en bytes por segundo [Bps].

Generalmente, el ancho de banda es directamente proporcional a la cantidad de datos transmitidos o recibidos por unidad de tiempo. El ancho de banda del canal absoluto, medido en Hertzios, no solo depende de la velocidad de datos, sino que también del tipo de modulación, la compresión y del FEC (*forward error correction*):

- Modulación: Cuanto más eficiente sea la modulación, es posible modular más datos sin incrementar ancho de banda.
- Compresión: Se utiliza para comprimir los datos de forma que requiera de menor ancho de banda para su transmisión.
- FEC: Mediante este método se insertan bits de corrección de errores en la señal de transmisión. Existen diferentes tipos de técnicas FEC disponibles, pero todos se basan en mandar bits extra (redundancia) en la señal, que puedan ser utilizados para detectar y poder corregir los errores en los datos de la señal recibida.

1.8. Antenas

El principio básico de una antena es reflejar toda la energía recibida por el plato a un único punto que, en el caso de la transmisión, toda la señal es reflejada al alimentador, o más conocido como *feed*. Un ejemplo de las partes básicas de una antena se muestra en Figura 14.

Los ejes de movimiento de una antena se definen por su azimut (movimiento horizontal) por la elevación (movimiento vertical) y por su inclinación. En los próximos capítulos se profundizará más en estos conceptos.

La ganancia inicial de una antena es un factor esencial para poder efectuar un sistema de comunicaciones por satélite. Dependiendo del propósito para las que las antenas hayan sido diseñadas pueden tener diferentes tamaños y longitudes de onda. Tal y como se ha comentado en el apartado Huellas, a medida que la frecuencia aumenta, el diámetro de la antena disminuye, esto repercute en que, por ejemplo, las antenas necesarias en las comunicaciones de banda C requieren un tamaño del plato mayor que las de banda Ku o Ka. En la Tierra, se utilizan antenas de diámetros de entre 0.3 a 30 metros en función de las aplicaciones.

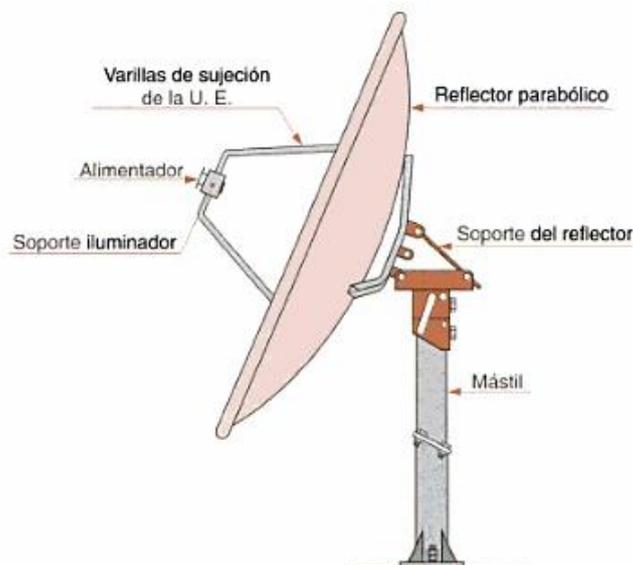


Figura 14: Partes básicas de una antena parabólica

1.8.1. Apuntamiento de la antena: Azimut y elevación

La ubicación de toda antena localizada en la Tierra, se hace mediante los conceptos de latitud y longitud. La latitud proporciona la localización de un lugar, en dirección Norte o Sur desde el ecuador y se expresa en medidas angulares que varían desde los 0° del Ecuador hasta los 90°N del polo Norte o los 90°S del polo Sur.

El ecuador es el origen de latitud (paralelo 0°), o sea que la distancia angular Norte-Sur de cualquier punto se entiende medida desde el plano ecuatorial. El ecuador está a 0° de latitud y los polos a 90°N (polo Norte) y 90°S (polo Sur). El valor máximo de la latitud es por tanto de 90°, y cualquier punto en la línea del ecuador tendrá una latitud 0°.

La longitud proporciona la localización de un lugar, en dirección Este u Oeste desde el meridiano de referencia 0°, también conocido como meridiano de Greenwich, expresándose en medidas angulares comprendidas desde los 0° hasta 180°E y 180°W.

En resumen, la longitud es la distancia angular desde el meridiano 0° (Greenwich) a un punto dado de la superficie terrestre. Los lugares situados al Oeste del meridiano 0° (Greenwich) tienen longitud Oeste (W) mientras que los situados al Este de aquel meridiano tienen longitud Este (E).

[6]

La referencia de ubicación de la órbita de cualquier satélite se realiza en grados de longitud.

Por tanto, si se desea apuntar con una antena a un satélite, será necesario definir dos parámetros fundamentales:

1. La posición longitudinal del satélite
2. La posición longitudinal y latitudinal de la antena

Con estos datos iniciales, las antenas calcularán sus valores de apuntamiento (horizontalmente -Azimuth- y verticalmente -Elevación-) de la siguiente manera:

- Elevación: El ángulo vertical medido desde el horizontal hasta un satélite específico. Cuando el eje del haz es paralelo al suelo, la elevación es cero. Una rotación de 90 grados apunta el haz hacia el cenit.

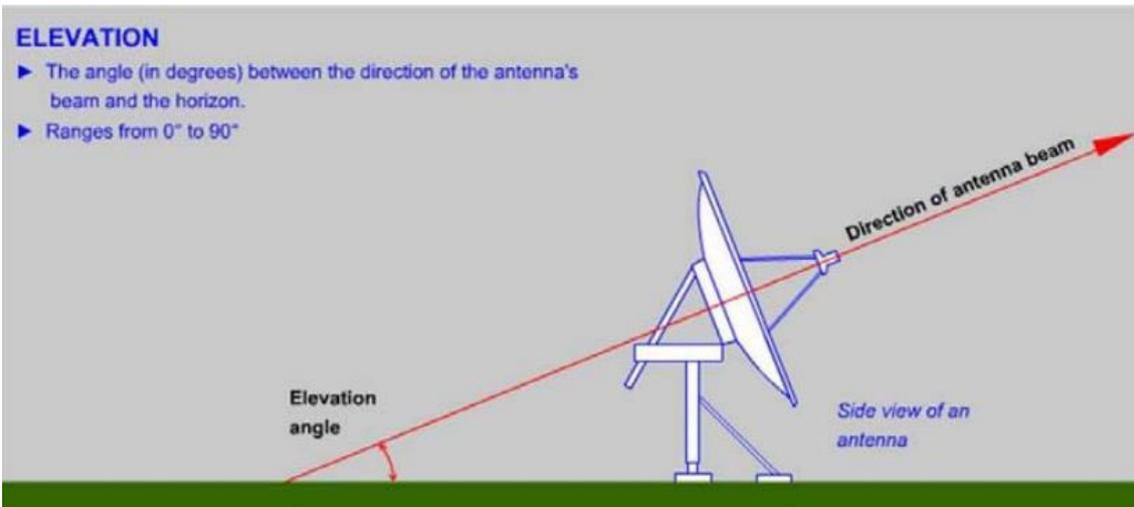


Figura 15: Elevación de la antena

A continuación, se expone la fórmula con la que se calcula la Elevación a partir de la latitud, longitud de la antena receptora y la longitud del satélite:

$$EL_{rx} = \arctan \left(\frac{\cos(lat_{rx}) \cdot \cos(long_{rx} - long_{sat}) - \frac{Ro}{Ro + h}}{\sqrt{1 - (\cos(lat_{rx}) \cdot \cos(long_{rx} - long_{sat}))^2}} \right)$$

Donde R_o es el radio terrestre ecuatorial de valor 6378,16 km y h es la distancia desde el satélite al ecuador de 35786.3 km.

- Azimut: El ángulo entre el haz de la antena y plano meridiano (medido en el plano horizontal). La referencia cero para medir el verdadero azimut es el norte, 90° este, 180° sur y 270° oeste.

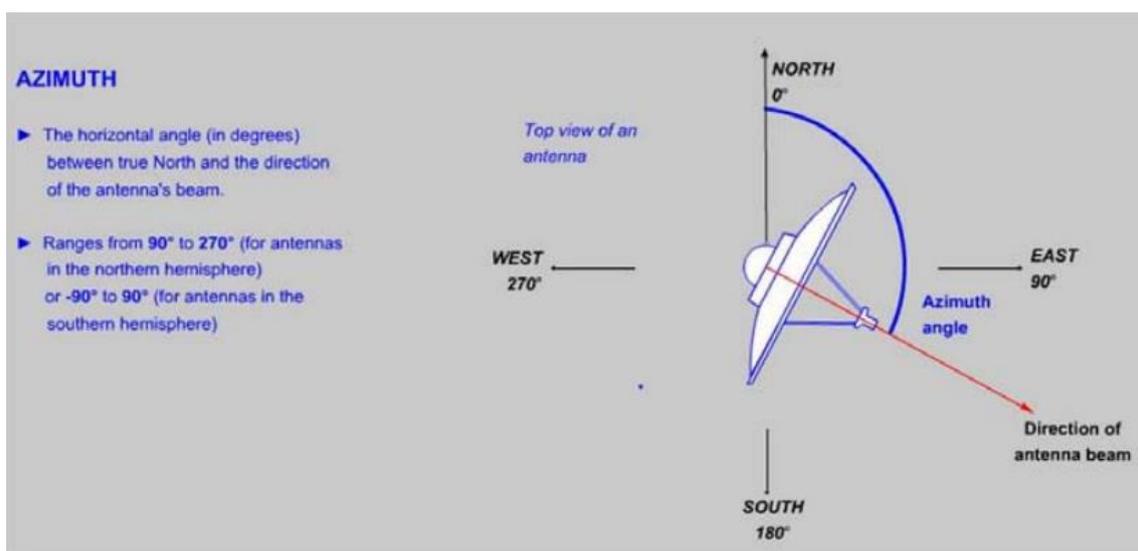


Figura 16: Azimut de la antena

La elevación sobre el azimut de la antena es el método universal para describir un correcto apuntamiento de una antena terrestre al satélite que se encuentra en la órbita correspondiente.

A continuación, se expone la fórmula con la que se calcula el Azimut a partir de la latitud, longitud de la antena receptora y la longitud del satélite:

$$AZ_{rx} = \arctan\left(\frac{\tan(long_{rx} - long_{sat})}{\sin(lat_{rx})}\right) + 180 \text{ degrees}$$

1.8.2. Diagrama de radiación de una antena

El diagrama de radiación de una antena depende del tipo de antena que sea, de su frecuencia, polarización y eficiencia. El rendimiento de la antena se modifica por el efecto de la energía reflejada en el suelo. Por otro lado, también depende de la forma en la que la antena ha sido diseñada, así como de las condiciones de su alrededor. Por ello, como resultado cada antena tiene su propio diagrama de radiación.

En general los patrones de radiación pueden tener las siguientes formas:

1. Patrón de campo eléctrico o magnético producido por la antena.
2. Patrón de potencia en el que las amplitudes del patrón son proporcionales a la densidad de potencia irradiada por la antena.

A continuación, se muestra en Figura 17, las imágenes de algunos ejemplos de diagramas de radiación de una antena.

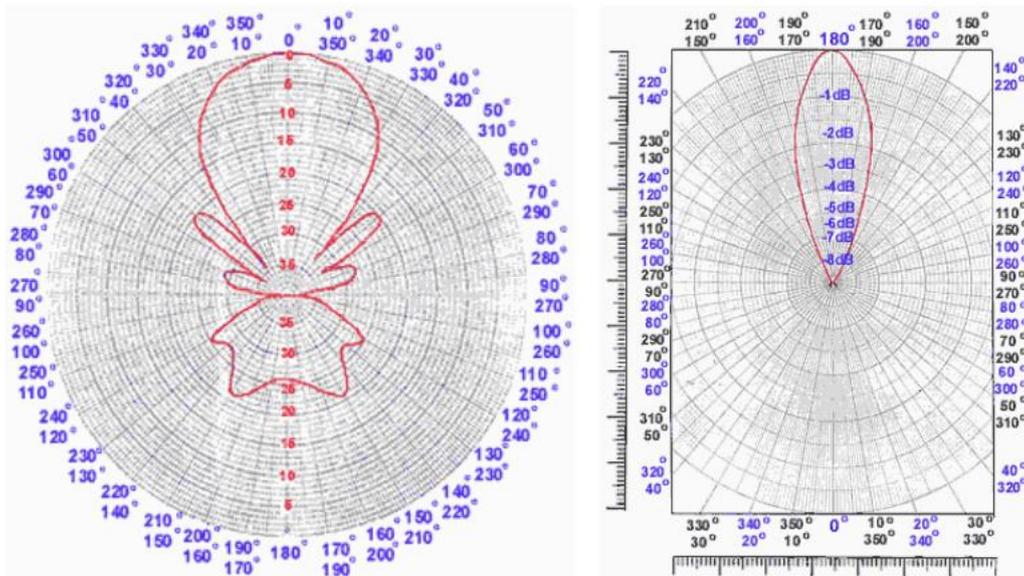


Figura 17: Ejemplos de diagramas de radiación

El patrón de radiación de cada antena se define por su lóbulo principal. Dependiendo del diámetro de la antena, el haz puede ser de entre 0.5 y 4 grados de anchura. El diagrama de radiación también está compuesto de lóbulos laterales (indeseados) que, en caso de la transmisión, radian energía en direcciones no deseadas o en caso de la recepción de alguna señal, estos lóbulos aumentan el ruido. El diagrama de radiación es individual para cada antena, pero deberían de cumplir los requisitos mínimos por el CCIR (*International Radio Consultative Committee*) y por la regulación nacional de cada país.

Tal y como se ha comentado anteriormente, la medida de la señal de la huella se realiza en unidades de EIRP, que se calcula como

$$EIRP = \text{Potencia transmitida [dBW]} + \text{Ganancia [dB]}$$

1.8.3. Polarización

Para entender bien cómo funciona el alimentador o *feed* de una antena es importante saber que todas las ondas electromagnéticas son polarizadas. La polarización se determina por la orientación de la radiación de los campos eléctricos y magnéticos de la antena transmisora. Si se utiliza la polarización con dos diferentes señales, éstas pueden ser transmitidas en el mismo rango de frecuencia sin interferencias, incluso si fuese la misma frecuencia. De esta manera se pueden transmitir diferentes señales reutilizando la frecuencia y ahorrando ancho de banda.

Las señales satelitales pueden ser transmitidas utilizando una de las siguientes polarizaciones:

- Lineal horizontal
- Lineal vertical
- Circular a izquierdas, en el sentido de las agujas del reloj , o LHCP (*left hand circular*)
- Circular a derechas, en el sentido contrario de las agujas del reloj, o RHCP (*right hand circular*)

En el caso de satélites y comunicaciones de microondas, con respecto a la polarización, todos los platos reflejan de forma focalizada la señal a un punto donde se encuentra la bocina de alimentación. El alimentador, recopila la energía y dirige las microondas por una guía de onda a la antena “real”, típicamente se coloca con precisión una pequeña sonda dentro de la guía de onda. La posición de esta sonda determina en qué sentido (lineal) de polarización es transmitida la señal al LNB. En algunas instalaciones, la bocina de alimentación tiene la capacidad de recibir señales de transpondedores horizontales y verticales de forma simultánea, y enrutarlos en separadas señales para llevarlos a uno o varios receptores.

- **Polarización lineal, horizontal o vertical**

Las señales de polarización horizontal (paralelo a la Tierra) y vertical (perpendicular a la Tierra) están separadas 90 grados una respecto de otra tal y como se ve en Figura 18.

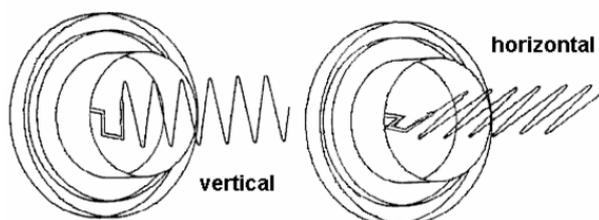


Figura 18: Polarización vertical y horizontal

El ángulo de polarización depende de la localización de la estación de la Tierra. Debido a la polarización, un desfase de más de 20 grados (referido a los ejes horizontal o vertical) es común. La señal de polarización circular no tiene este problema.

- **Polarización circular de mano izquierda LHCP, o de mano derecha RHCP**

Una señal de polarización circular vibra en un plano y viaja en forma de espiral a través del espacio con el campo eléctrico que gira en el sentido de las agujas del reloj. En Figura 19, se puede ver el sentido de cada polarización circular.

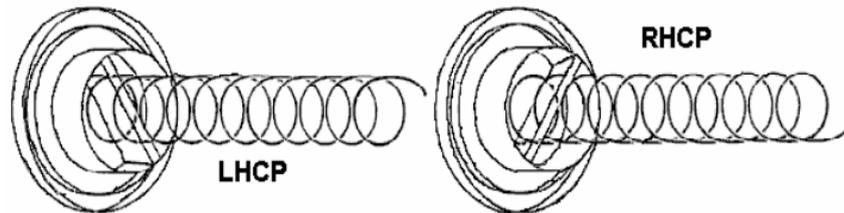


Figura 19: Polarización circular de LHCP y RHCP

Una antena de polarización lineal recibe 3 dB menos de potencia para una señal polarizada circularmente que debería ser recibida por una antena de polarización circular del mismo tamaño y con la sonda correctamente posicionada.

La radiación no deseada es conocida como señal de polarización cruzada o *cross-polarization*. El alimentador debe de estar posicionado correctamente para minimizar la interferencia *cross-pol* y evitar la pérdida de señal.

Los alimentadores de antenas de polarización circular no presentan (por defecto) radiación debida a Cross-Pol, con unos niveles de aislamiento óptimos (sin contar defectos de montaje o mala instalación).

1.8.4. Alimentador

El alimentador o *feed* de la antena de todas las estaciones terrestres realiza las siguientes funciones básicas:

- Dar forma al haz con el fin de proporcionar la iluminación uniforme requerida del reflector principal
- Separar las señales transmitidas de las recibidas con la menor posible pérdida e interferencia (función principal del dispositivo OMT, que se estudiará a continuación)

Básicamente, en una instalación VSAT (de la cual se hablará en los próximos apartados), se utilizan dos tipos de alimentador. El más común es el alimentador estándar con un LNC, *Low Noise Converter* (para aplicaciones IF) o un LNB, *Low Noise Block* (para aplicaciones de banda L), como en este caso.

Entre los componentes básicos de un alimentador se encuentran los siguientes:

- **Bocina de alimentación:**

En una instalación óptima, ajustar correctamente la bocina de alimentación es crítico para el correcto rendimiento del sistema. Es sumamente importante tener en cuenta la banda en la que el alimentador va a recibir las señales, pues su tamaño depende de la frecuencia (en el caso de antenas de banda Ku son mucho más pequeños que de banda C). Por otro lado, también depende del f/D de la antena, que es la distancia focal del plato (f), dividido por el diámetro (D).

Por todo ello, para obtener la máxima eficiencia de la antena la bocina de alimentación deberá estar colocada a la correcta distancia del centro del plato, correctamente orientada, centrada y perpendicular al plano de la antena.

- **OMT:**

Un OMT (*Ortho Mode Transducer*) es un dispositivo que puede transmitir y recibir las señales que coexisten en la misma guía de onda con la mínima interacción de la una con la otra.

Un OMT consiste en una sección circular de guía de onda con una apertura rectangular. Dicha apertura rectangular se comporta como una baja impedancia para un componente y una impedancia muy alta para el otro. En Figura 20 se representa un OMT.



Figura 20: OMT

- **Filtro de rechazo de transmisión:**

La señal RF entrante de enlace descendente, pasa a través de un filtro de rechazo de 14 GHz, en el caso de banda Ku, o de 6 GHz, para banda C, antes de entrar al LNB. Este filtro es necesario para evitar que la señal de enlace ascendente no pase al amplificador de bajo ruido (LNA). Además, proporciona un aislamiento de más de 50 dB sobre el ancho de banda transmitido.

- **Líneas de transmisión o guías de onda:**

En un sistema cerrado, la energía eléctrica normalmente se hace fluir por un cable coaxial. Sin embargo, a las frecuencias de microondas, la atenuación que sufren en las líneas de transmisión es demasiado elevada, por lo tanto, es necesario un medio alternativo de transmisión.

La atenuación debido a las pérdidas del conductor y del dieléctrico se incrementa con la frecuencia. Estas atenuaciones pueden ser reducidas con el uso de un conductor de mayor diámetro interno. Por encima de 3 GHz la atenuación del cable coaxial es aproximadamente 5 veces mayor que la de la guía de onda.

Existen dos tipos de guías de onda, tal y como se muestra en Figura 21:

1. **Guía de onda circular:** es transparente a la polarización lineal y discrimina entre las polarizaciones LHCP y RHCP. Es utilizada para retransmitir las señales desde la antena hacia el alimentador o viceversa.
2. **Guía de onda rectangular:** es una línea de transmisión polarizada que discrimina entre las señales vertical y la horizontal. Es utilizada para enrutar las señales al LNB.

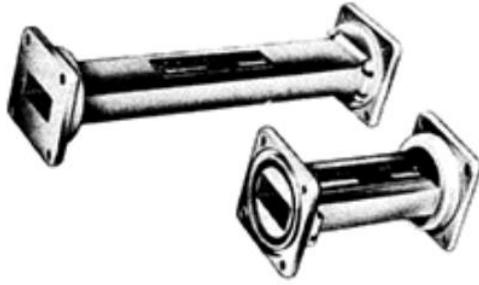


Figura 21: Guías de onda circular y rectangular

1.8.5. Convertidor hacia abajo – LNA, LNB, LNC

Un convertidor hacia abajo o más conocido como *down converter*, puede ser un LNA (*low noise amplifier*), LNB (*low noise block converter*) o LNC (*low noise converter*).

- **LNA o Low Noise Amplifier**

Un LNA es el corazón de cada sistema satelital, es el que se encarga de pre-amplificar la señal entre la antena y el receptor de la estación terrena. Un LNA es especialmente diseñado para introducir la menor cantidad posible de ruido térmico a la señal recibida. La ganancia es típicamente de entre 50 y 100 dB. Un LNA es típicamente parte de un LNB o un LNC. Para que sea más eficaz, debe colocarse lo más cerca posible a la antena, y en la mayoría de ocasiones se coloca adjunto al puerto receptor de la antena.

- **LNC o Low Noise Converter**

Un LNC es una combinación de un LNA y convertidor hacia abajo o *down converter*. Recibe la señal RF de los satélites y la convierte en una señal de IF utilizada por los demoduladores. Un LNC necesita un mezclador externo para la conversión de la señal.

La calidad de un LNC depende mucho de la combinación del factor de ruido y la ganancia total. El factor de ruido de un LNC para la banda Ku oscila generalmente entre 110 y 160°K. Sin embargo, para la banda C es ligeramente mejor. Por otro lado, la ganancia total se fija entre 80 dB +/- 5dB.

En Figura 22, se puede ver la representación básica de una configuración de un LNC de banda C o Ku.

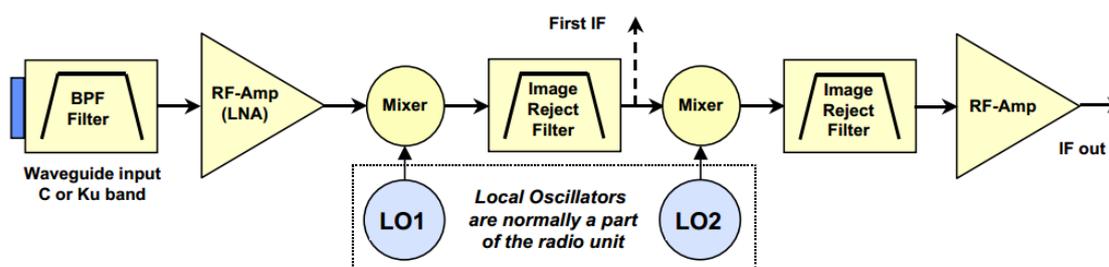


Figura 22: Configuración básica de un LNC

- **LNB o Low Noise Block Converter**

Tal y como se ha hablado en el capítulo 1.6, es un elemento imprescindible en este tipo de sistemas de comunicaciones. Se trata de un componente receptor relativamente barato, que convierte las señales de banda ancha de video y datos de enlaces descendentes de satélite a frecuencia de banda L. El dispositivo recibe la alimentación necesaria por un cable coaxial y no necesita de señales de osciladores externos para la conversión dado que están incluidos en el LNB.

Existen dos tipos de LNB diferentes, con la principal diferencia del tipo de oscilador local, siendo uno PLL (estable y caro, utilizado para aplicaciones de banda estrecha) o DRO (funcionamiento libre y barato, utilizado para aplicaciones de banda ancha).

En Figura 23, se muestra la configuración básica de un LNB.

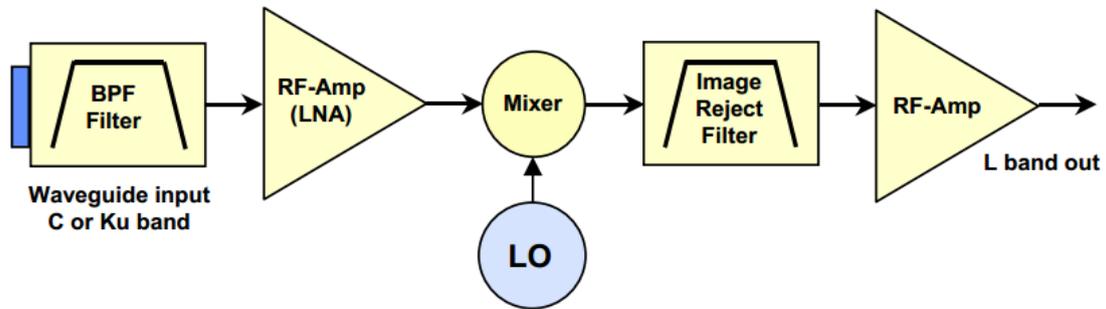


Figura 23: Configuración básica de un LNB

Todos los LNB están clasificados por la temperatura de ruido, los de banda Ku sin embargo, por la figura de ruido (o el factor de ruido). La temperatura de ruido más común para banda C oscila en un rango de entre 25 y 30 grados (0.4 dB), mientras que las de Ku por debajo de 0.8 dB (59°K).

2. Elementos que afectan la calidad de las comunicaciones

2.1. Introducción

La calidad del enlace de un sistema de comunicaciones por satélite depende en gran medida de tres aspectos. En primer lugar, del ancho de banda utilizado. Por otro lado, es de suma relevancia el tipo de modulación y las técnicas de corrección de error utilizadas, pues cuanto mejor sean, hay mayores probabilidades de que el sistema funcione más eficientemente. Por último, y no menos importante, el ruido, que podría estropear por completo la comunicación, independientemente de que sea proveniente de dispositivos internos al sistema o producido por interferencias externas.

Todos los enlaces por satélite están diseñados para proporcionar la disponibilidad necesaria para cumplir con un rendimiento requerido. El criterio que se utiliza para medir el rendimiento es utilizando el término BER (*Bit Error Rate*), de forma que se mida la disponibilidad, como porcentaje, del tiempo en que se debe cumplir o superar la BER mínima.

El BER es el número total de bits erróneos dividido por el número total de bits recibidos. Con la utilización de este término se consigue poder garantizar la funcionalidad del enlace en función de su utilización.

Los elementos que afectan la calidad del enlace, por lo general se divide en los siguientes grupos:

- Absorción atmosférica y el desvanecimiento por la lluvia
- Interferencias de satélites
- Interferencias terrestres
- Fallo de alimentación
- Ruido
- Efectos de las órbitas

2.2. Desvanecimiento por lluvia

Las señales de alta frecuencia, como por ejemplo las de banda Ku, son susceptibles a las atenuaciones causadas por la absorción y los efectos de Scattering del agua en la atmosfera. Las nubes atenúan de acuerdo con la cantidad de moléculas de agua que contienen. La total atenuación sufrida por la absorción del agua depende no sólo de la frecuencia (a mayor frecuencia, mayor atenuación), sino también del ángulo de elevación (a menos ángulo, mayor la atenuación). Esta atenuación se compensa aumentando los niveles de potencia de transmisión o disminuyendo las temperaturas de ruido de la estación de recepción en el diseño inicial del sistema.

Existen modelos de predicción que indican la cantidad de lluvia que va a haber. De esta manera se predicen a su vez el porcentaje de disponibilidad de un sistema. Por lo general, la atenuación provocada por la lluvia oscila entre 2 y 5 dB, aunque en condiciones extremas pueden superar los 15 dB.

Los sistemas de comunicaciones tienen en cuenta un margen de lluvia en su enlace, que se calcula para asegurar cierta disponibilidad anual de un enlace. Además, en las frecuencias de banda Ku, se espera la interrupción del servicio de forma ocasional debido a la lluvia, por lo que es necesario tenerlo en cuenta a la hora de asegurar el funcionamiento de un sistema a un cliente.

La magnitud máxima de la atenuación en un enlace de comunicación, pueden calcularse aproximadamente mediante modelos físicos y estadísticos. Los modelos más típicos son los expuestos en R PN.837-1 (1994) y 838 (1992) así como en el informe 564-4 (1990) de la UIT.

Cuando llueve en la zona donde está instalada una estación terrena, ya sea transmisora o receptora, las señales portadoras son atenuadas conforme se propagan a través de la región del aire en donde esté lloviendo; la distancia total "d" que las señales viajan a través del canal depende de la altura "h" de las nubes con relación al piso y del ángulo de elevación " θ " de la antena de la estación, tal y como se muestra en la Figura 24.

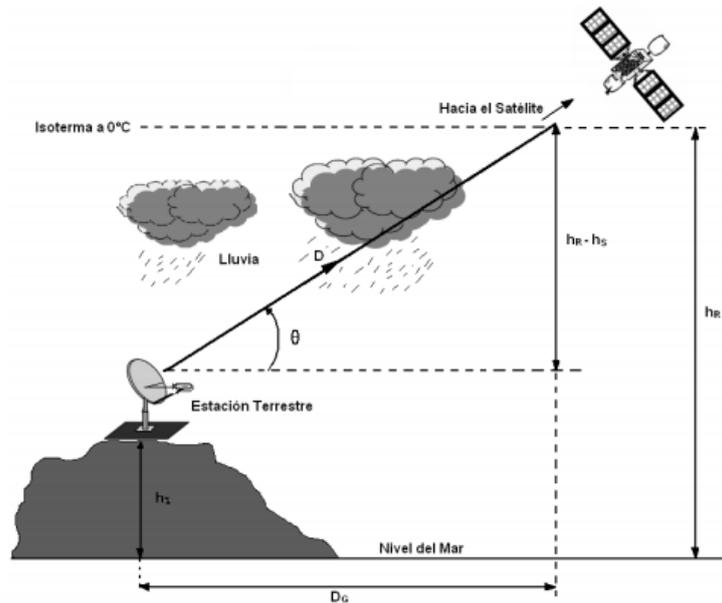


Figura 24: Representación de un enlace con los parámetros empleados para el cálculo de atenuación por lluvia

Este modelo permite obtener, para un trayecto oblicuo determinado, el valor estimado de la atenuación A_p que es excedido durante lapsos acumulados con lluvia que en conjunto representen un % p especificado de un año medio. Para predecir las estadísticas a largo plazo de la atenuación debida a la lluvia se requiere la siguiente información:

- θ : ángulo de elevación del trayecto (grados)
- τ : ángulo de inclinación de la polarización respecto a la horizontal (grados)
- f : frecuencia de la portadora
- R : intensidad de la lluvia en el punto que se trate para un año medio excedida durante el % p del año (mm/h) especificado con fines de diseño de una red, con un tiempo de integración de un minuto, obtenida de mediciones a largo plazo

En primer lugar, se debe de calcular la atenuación específica por lluvia, γ_R en dB/Km o coeficiente de atenuación por lluvia, en función de la intensidad de la lluvia y de la frecuencia. Este valor se multiplica por una longitud efectiva D_g de trayecto de lluvia y por un factor de ajuste de longitud del trayecto r en función de los demás parámetros requeridos:

$$A_p = L_R = \gamma_R D_G r \quad \text{dB}$$

Para poder llegar a esos cálculos, previamente se ha de seguir los siguientes pasos:

Frecuencia (GHz)	k_H	k_V	α_H	α_V
1	0.0000387	0.0000352	0.912	0.880
2	0.000154	0.000138	0.963	0.923
4	0.000650	0.000591	1.121	1.075
6	0.00175	0.00155	1.308	1.265
7	0.00301	0.00265	1.332	1.312
8	0.00454	0.00395	1.327	1.310
10	0.0101	0.00887	1.276	1.264
12	0.0188	0.0168	1.217	1.200
15	0.0367	0.0335	1.154	1.128
20	0.0751	0.0691	1.099	1.065
25	0.124	0.113	1.061	1.030
30	0.187	0.167	1.021	1.000
35	0.263	0.233	0.979	0.963
40	0.350	0.310	0.939	0.929
45	0.442	0.393	0.903	0.897
50	0.536	0.479	0.873	0.868
60	0.707	0.642	0.826	0.824
70	0.851	0.784	0.793	0.793
80	0.975	0.906	0.769	0.769
90	1.06	0.999	0.753	0.754
100	1.12	1.06	0.743	0.744

Tabla 3: Coeficientes

La altura efectiva de la lluvia, h_R (Km), se calcula a partir de la latitud ϕ de la estación terrena, basado en Tabla 3:

$$h_R = \begin{cases} 3.0 + 0.028\phi \rightarrow \text{para } : 0 \leq \phi \leq 36^\circ \\ 4.0 - 0.075(\phi - 36) \rightarrow \text{para } : \phi \geq 36^\circ \end{cases}$$

Por otro lado, la longitud del trayecto oblicuo D por debajo de la altura de lluvia es:

$$D = \frac{(h_R - h_S)}{\text{sen } \theta} \text{ Km}$$

, donde R_e es el radio ficticio de la Tierra 8500 Km.

La proyección horizontal de la longitud del trayecto oblicuo es:

$$D_G = D \cos \theta (\text{Km})$$

La atenuación específica o coeficiente de atenuación se determina como:

$$\gamma_R = kR^\alpha \text{ dB / Km}$$

donde k y α son coeficientes que dependen de la frecuencia y también se basan en la Figura 24:

$$k = [k_H + k_V + (k_H - k_V) \cos^2 \theta \cos 2\tau] / 2$$

$$\alpha = [k_H \alpha_H + k_V \alpha_V + (k_H \alpha_H - k_V \alpha_V) \cos^2 \theta \cos 2\tau] / 2$$

Como factor complementario de ajuste para las condiciones de 0.01% del tiempo se calcula $r_{0.01}$ en función de D_G y $R_{0.01}$ de la fórmula:

$$r_{0.01} = \frac{1}{1 + D_G / 35 \exp(-0.015 R_{0.01})}$$

Donde $R_{0.01}$ es la intensidad de lluvia excedida, que dependerá del emplazamiento y la época del año.

En definitiva con estos datos se obtendrá de forma aproximada la tenuación por lluvia. [13]

Hasta ahora sólo se ha hablado de la lluvia, pero la aguanieve, las nubes gruesas o la niebla también pueden disminuir el nivel de la señal recibida. A menor señal recibida por el satélite, menor potencia será transmitida a las estaciones receptoras.

2.3. Interferencias en transpondedores

Como resultado del aumento del uso de las comunicaciones por satélite, un criterio muy importante que han adoptado los proveedores de satélites es la capacidad del receptor para distinguir señales débiles en presencia de otras señales más fuertes, las cuales interfieren a las anteriores. Sin embargo, no siempre son capaces de distinguirlas, de forma que si son demasiado débiles o si hay demasiadas interferencias no son más que reconocidas como ruido.

Los siguientes efectos son los que pueden causar interferencias en los transpondedores:

- Interferencias por polarización cruzada
- Interferencias provocadas por canales adyacentes
- Interferencias provocadas por satélites adyacentes
- Transpondedores sobrecargados

Por otro lado, la degradación del enlace también puede ser debido a la intermodulación o a la modulación cruzada.

- **Intermodulación o *inter-modulation***

La intermodulación ocurre cuando dos o más señales se combinan de forma no lineal y como resultado generan interferencias en la señal deseada.

- **Modulación cruzada o *cross modulation***

Este efecto ocurre cuando la señal deseada es modulada por una interferente, es decir, cuando la modulación de una señal afecta a otra señal.

2.4. Interferencias entre satélites adyacentes

Las interferencias provocadas por satélites adyacentes ocurren tanto en el enlace ascendente como en el descendente. En los enlaces descendentes, sucede debido a que la antena terrestre no apunta correctamente al satélite, de forma que es capaz de captar señales a la misma frecuencia de un satélite adyacente.

Un similar problema ocurre en el lado de los satélites (enlace ascendente), pues si una antena terrestre no le apunta correctamente interfiere al satélite adyacente al cual se acerca la localización del apuntamiento. Por ejemplo, un lóbulo principal puede caer sobre el satélite deseado, sin embargo, uno de los lóbulos secundarios está transmitiendo, con menor potencia, pero a otro satélite.

Algunos ejemplos de este tipo de interferencias se muestran en Figura 25.

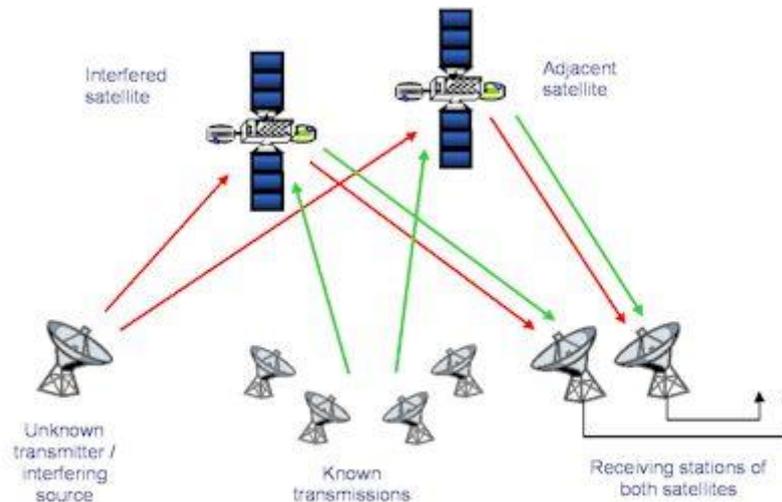


Figura 25: Interferencias intersatelital

La relación entre la potencia de la portadora C y el ruido se define como C/N para el enlace ascendente y descendente se calcula siguiendo las siguientes fórmulas:

$$\frac{C}{N}_{ascendente} = PIRE_{Estacion\ Terrena} - Lbf - L_{ascendente} + \frac{G}{T_{sat}} - k - B [dB]$$

$$\frac{C}{N}_{descendente} = PIRE_{satélite} - BO - Lbf - L_{ascendente} - Lap - L_{descendente} + \frac{G}{T_{sat}} - k - B [dB]$$

Siendo la PIRE la potencia transmisora por la ganancia transmisora, $PIRE = P_t \cdot G_t$, por otro lado, $k = 1.379 \cdot 10^{-23} \text{ W} \cdot \text{Hz}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, Lbf las pérdidas básicas, además las pérdidas L se consideran en el enlace ascendente y descendente y Lap las pérdidas ocasionadas en el transpondedor.

Por otro lado, se consideran también la relación entre la potencia de la portadora C y las interferencias entre sistemas de satélites adyacentes:

$$\frac{C}{I_{ascendente}} \approx PIRE - PIRE' + Ga - Ga' [dB]$$

$$\frac{C}{N_{descendente}} \approx \Omega - \Omega' + Ga - Ga' [dB]$$

Donde G_a es la ganancia de la antena, G_a' es la ganancia de la antena del satélite A en la dirección de la estación interferente B, del mismo modo ocurre con Ω siendo este la densidad de flujo y Ω' la densidad de flujo del satélite A en la dirección de la estación interferente B.

2.5. Interferencias terrestres (TI)

La mayoría de circuitos, detectores y cables, son sensibles a las interferencias terrestres pudiendo afectar el BER de forma negativa. Algunos de los problemas más comunes son los siguientes:

- Interferencias por señales de frecuencias 50/60 Hz: Con un espectro muy fino, y una amplitud constante, esta señal puede generarse debido al cableado eléctrico. Es fácilmente detectado.
- Interferencia impulsiva: Es el tipo de interferencia que se forma debido a los rayos y a los equipos eléctricos cercanos como los motores, ascensores, aires acondicionados, etc.
- Las estaciones de televisión, radio y radares (normalmente en bandas S y X) pueden causar serios problemas cerca de las grandes ciudades.
- Los relés de microondas también causan interferencias terrestres.

Las interferencias terrestres son un fenómeno típico que ocurre cuando un satélite recibe señales de microondas no deseadas por una fuente de microondas cercana que opera en la misma frecuencia o en una muy cercana que una señal recibida por un satélite. Algunas de las situaciones que más afectan son por las compañías telefónicas que operan en el rango de la banda C, o los sistemas de navegación de los aeropuertos, especialmente en zonas cercanas a estaciones militares donde no existen un control muy restrictivo con respecto a las frecuencias que pueden utilizar.

En general, las interferencias terrestres pueden entrar por finales de cables no terminados, conectores, conectores mal conectados a tierra, equipos expuestos o sin un correcto empaquetado, desajustes de impedancia o incluso directamente a través del LNB, pudiendo contribuir al ruido o interferir directamente la señal recibida.

Por lo que, en conclusión, la mayoría de estas situaciones pueden ser controladas con aislamientos, filtrados y realizando correctas conexiones de tomas de tierra. En otras, sin embargo, será necesario tomar otro tipo de acciones en las antenas terrestres para mitigar el efecto negativo de estas señales espurias.

2.6. Fallo de alimentación

Los fallos en los sistemas de alimentación son uno de los factores por el que se producen más cortes en las estaciones terrestres. Es el factor que tanto directa como indirectamente se responsabiliza de la falta de energía suministrada y por tanto de un 80% de cortes producidos a su consecuencia.

En la mayoría de casos se ha detectado que los fallos de cortes de energía se deben en un 60% a fallos de baterías.

Por ello, para proteger a un sistema de los fallos de alimentación, el proveedor del servicio debe de contratar un sistema ininterrumpido de suministro de potencia.

2.7. Ruido

El ruido es una señal indeseada que interfiere con la información que se desea recibir pudiendo afectar la señal de forma dramática. El ruido se presenta en toda la temperatura de la materia sobre el cero absoluto. El ruido proveniente del ambiente se vuelve mayor cuanto mayor sea la temperatura.

En general, las fuentes de ruido se dividen en los siguientes grupos:

- Ruido externo:
 - i. Ruido atmosférico, solar y cósmico
 - ii. Ruido térmico del planeta
 - iii. Ruido generado por el hombre (por ejemplo, con vehículos)

- Ruido interno:
 - i. Ruido resistivo (causado por todos los resistores utilizados en el circuito) y efecto térmico en semi conductores
 - ii. Otros efectos similares producidos por los propios equipos del sistema

Cuando se habla de ruido, se habla de señales indeseadas. A continuación, se divide el ruido en tres grupos generales.

- **Ruido de fondo**

El ruido de fondo o *background noise*, es el ruido que menos afecta a nuestro sistema. La señal deseada, se puede amplificar sobre este ruido, sin embargo, una vez que se entierra en el ruido de fondo, esta no se puede recuperar. Esto se debe a que la LNB amplifica la débil señal del satélite que recibe y si la señal deseada es tan débil como el ruido, no podrán ser distinguidas. Un ejemplo se muestra en Figura 26.

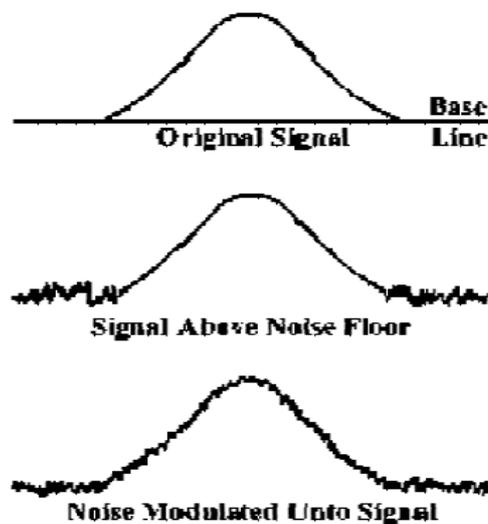


Figura 26: Ruido de fondo

- **Ruido de modulación**

El ruido de modulación es una señal indeseada que entra en el sistema y se mezcla con la señal, por medio del sistema de alimentación, produciendo efectos indeseados, por ejemplo, en la calidad de vídeo.

- **Ruido por interferencias**

Las interferencias son ruido que se encuentra en las mismas frecuencias que la señal deseada y camufla partes o toda la señal deseada.

En definitiva, se puede hacer poco con respecto el ruido externo. Por otro lado, un diseño meticuloso y cuidadoso del sistema puede evitar que estos problemas se conviertan en importantes, pues el correcto diseño evitaría numerosos de los problemas de ruido citados anteriormente.

2.8. Efectos de las órbitas

La calidad de las señales puede ser afectada por los siguientes efectos de orbitas:

- Desplazamiento Doppler
- Pérdida de espacio libre
- Retraso en la transmisión
- Centelleo
- Corte debido al sol
- Eclipse

2.8.1. Desplazamiento Doppler

La posición del satélite sobre el ecuador puede desviarse debido a la atracción gravitacional de la luna y el sol. Debido a este desplazamiento, la órbita de un satélite tiende a ser no circular e inclinada. Sin una corrección, la desviación va aumentando ciertos grados cada año. Además, sin esta corrección la inclinación de la órbita hace que el satélite trace un patrón en forma de ocho en cualquier período de 24 horas. Incluso a pesar del mejor mantenimiento y corrección, la posición del GEO satélite con respecto de la Tierra presenta 3 variaciones diarias de dimensión cíclica.

Todas estas variaciones afectan al tiempo de velocidad de datos en el lado de la recepción siendo ligeramente diferente en el lado de transmisión. El tiempo de desplazamiento por el efecto Doppler, es típicamente de 600 us, y si el satélite, además, opera en una órbita inclinada, los desplazamientos temporales pueden llegar a ser de 5 ms o más.

Por todo ello, los modems de los satélites localizados en la Tierra tienen en cuenta el efecto de Doppler para poder proporcionar un constante reloj (tiempo de datos) al equipo adjunto, que es sensible a variaciones en frecuencia.

2.8.2. Pérdida de espacio libre

La propagación de las ondas en el espacio libre es completamente diferente que por cable o guías de onda. Con respecto a la propagación de la señal, estos últimos son sistemas unidimensionales y las ondas no pierden energía en estos viajes, excepto debido a la absorción o el efecto de la dispersión (*scattering*). En ondas tridimensionales irradian de forma esférica. A medida que viajan las ondas, la superficie que ocupan aumenta conforme a la distancia recorrida. Sin embargo, dado que la energía se conserva, la energía por unidad de superficie debe disminuir proporcionalmente al cuadrado de la distancia. Por lo tanto, la potencia de las ondas del espacio libre sigue la ley del cuadrado inverso. Para cada duplicación de la distancia entre la fuente y el receptor, experimenta una pérdida de 6 dB.

Las pérdidas del espacio libre de enlaces punto a punto en dB, según Rec. UIT-R P.525-2 se calcula como:

$$L_{bf} = 32,4 + 20 \log f + 20 \log d$$

Donde d es la distancia entre el enlace en Kilómetros y f la frecuencia del sistema en MHz.

Para todas las frecuencias incluso las de onda milimétricas, esta pérdida de espacio libre es la fuente más importante de pérdida. Debido a esto, los sistemas de espacio libre generalmente requieren mucha más energía que los sistemas de cable o fibra.

Un ejemplo de sistema afectado por el espacio libre conforme aumenta la frecuencia, se muestra en Figura 27.

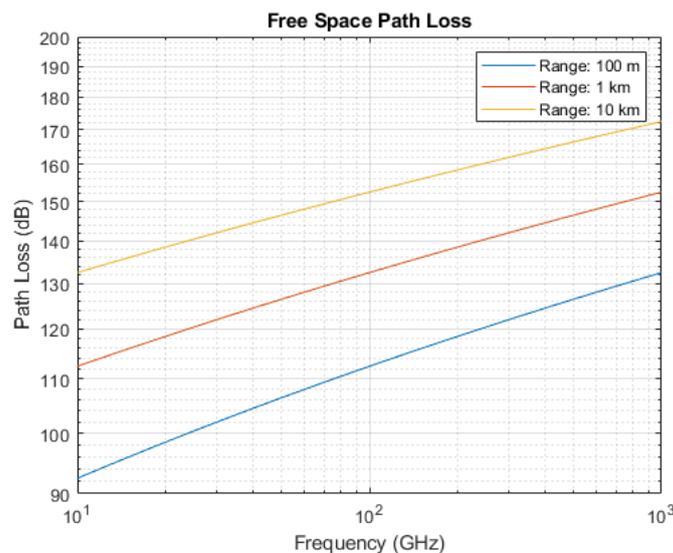


Figura 27: Pérdida de espacio libre

Otro ejemplo que se ajusta a los sistemas VSAT estudiados, serían las pérdidas básicas de un enlace por el satélite a la frecuencia de 1003.184 MHz desde un punto cualquiera de la tierra, por lo que tendría una distancia aproximada de 36000 km. Con estos datos las pérdidas básicas serían las siguientes:

$$L_{bf} = 32.4 + 20 \log 1003.184 + 20 \log 36000 \approx 183.5 \text{ dB}$$

Con este ejemplo se puede ver que a estas distancias las pérdidas básicas son bastantes elevadas, de esta forma juega un papel muy importante el óptimo diseño del sistema para que la señal deseada pueda ser recibida o enviada de forma correcta.

2.8.3. Centelleo

En algunos momentos, que no son predecibles, los niveles de la señal recibida del satélite fluctúan rápidamente hacia arriba y hacia abajo.

Esto ocurre debido a que las señales de microondas se propagan a través de la atmósfera por un camino de forma inclinada, por lo que la señal sufre variaciones de amplitud y fase. Esta forma inclinada se debe a que las masas de aire que comprenden la atmósfera no son homogéneas. Esto se produce por la mezcla turbulenta de la masa de aire a diferentes temperaturas y humedades, y por la suma aleatoria de partículas tales como lluvia, hielo y humedad.

Se han registrado cambios de hasta 12 dB durante hasta 3 horas. Estos cambios se pueden observar en una estación terrena cuando por ejemplo en otra a 200 km no se ha visto afectado.

2.8.4. Cortes debido al sol y a eclipses

Los cortes debidos a la radiación solar ocurren cuando el sol pasa justo detrás del satélite geoestacionario de forma que el apuntamiento de la antena de una estación terrestre queda alineado con el satélite y el sol, tal y como se ve en Figura 28.

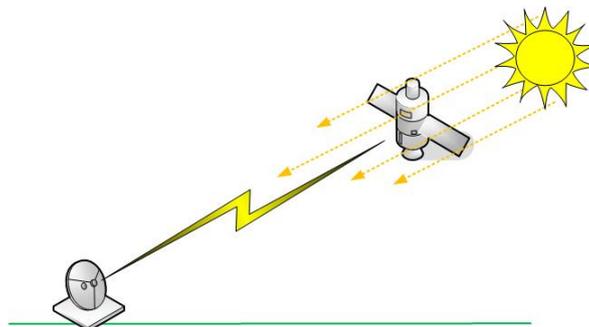


Figura 28: Corte del sistema debido al sol

Durante el tiempo en el que ocurra esta alineación (este fenómeno se da dos veces al año, durante los equinoccios de primavera y otoño), la señal de energía RF proveniente del sol, que es superior a la del satélite, da lugar a una pérdida de comunicación (en la mayoría de los casos) o una degradación del tráfico del satélite. La duración del corte del sistema depende de los siguientes factores:

- Ancho del haz del satélite visto desde la antena receptora terrestre.
- Localización de la estación terrestre y el satélite y el tamaño de las antenas
- Radio aparente del sol visto desde la Tierra (más o menos 0.25°)
- Energía extra que el sol transmite
- Potencia transmitida por el satélite
- Ganancia y calidad de la señal del equipo receptor terrestre

- Las duraciones de estos cortes debidos a la radiación solar son medibles y están controlados.
- Los proveedores de servicio de comunicaciones por satélite suelen aprovechar este tiempo para realizar mantenimientos preventivos de sus antenas en tierra.

Por otro lado, el ruido por eclipses ocurre cuando los satélites pasan por la parte de la Tierra o de la Luna que no se ven, es entonces cuando la potencia del satélite debe extraerse de las baterías de almacenamiento de a bordo.

3. Instalaciones VSAT marítimas

3.1. Introducción

Los telepuertos son centros o “hubs” intermodales del mundo de banda ancha y difusión. Son las pasarelas necesarias para conectar los satélites con circuitos de microondas o de fibra óptica terrestres. Al tender un puente sobre la brecha entre la tierra y el cielo, les permite a los radiodifusores, emisores de cable y operadores de redes públicas y privadas subcontratar funciones que son críticas para sus negocios.

En la Figura 29, se puede ver como ejemplo, el Telepuerto de Santander, que provee servicios en banda C, Ku y banda X con un total de 25 antenas terrestres de diferentes diámetros (desde 3.1 hasta 15.2 metros).



Figura 29: Telepuerto de Santander

Sin embargo, en un sistema no sólo es importante el telepuerto y el satélite, sino que para que un cliente puede obtener un servicio por satélite es imprescindible de la instalación de un sistema VSAT.

VSAT es otro tipo de estación terrestre posicionada en el lado del cliente y es la abreviación en inglés de terminal de apertura muy pequeña o *Very Small Aperture Terminal*. Este tipo de instalación se caracteriza por sus reducidas dimensiones y por ser capaz de transmitir y recibir un volumen de tráfico limitado. Los sistemas VSAT están pensados para operar con antenas de 3.8 metros de diámetro o menos. Su tamaño depende directamente de los datos que se quieran transmitir o recibir y de la ubicación del sistema.

Un sistema VSAT en general proporciona conectividad punto a punto o punto a multipunto, lo que permite ofrecer una gran variedad de servicios a toda la superficie terrestre, ya sea instalado en una nave aérea, marítima o en una estación terrena.

Las principales ventajas que ofrece un sistema VSAT son las siguientes:

- Única red para todos los servicios (voz, datos, vídeo, correo electrónico y fax)
- Generalmente, no es afectado por barreras geográficas
- Instalaciones rápidas
- Anchos de banda personalizables
- Alta disponibilidad de red

Por todo ello este tipo de sistemas son ideales para los clientes finales.

3.2. Instalación VSAT marítima típica

En este apartado, se estudiarán los equipos mínimos que tiene que tener todo sistema VSAT marítimo, como los que se gestionan desde Santander Teleport.

Una instalación típica de un sistema VSAT marítimo, como la que se muestra en Figura 30 consta de tres secciones, los cuales se explicarán en los próximos apartados:

- Unidad exterior o ODU (*Outdoor Unit*): Equipos del sistema que se agrupan en el interior de la instalación.
- Unidad interior o IDU (*Indoor Unit*): Equipos del sistema que se agrupan en el exterior de la instalación.
- Cables de enlace de interfaz o cables IFL (*Inter-facilities link*): Cables normalmente coaxiales que interconectan la unidad interior con la exterior.

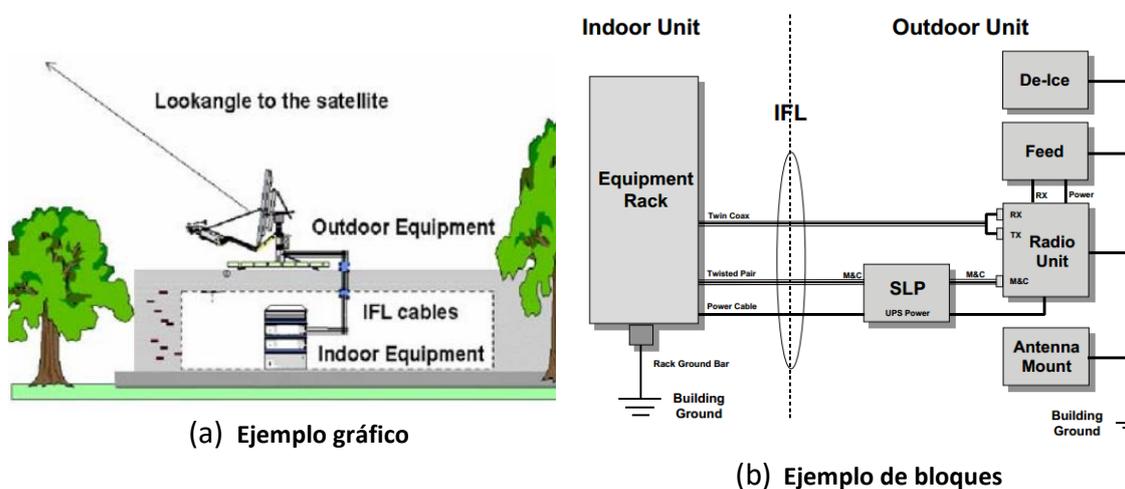


Figura 30: Instalación típica de un sistema VSAT

Como dato informativo, todas las instalaciones estándar deberán incluir una guía de usuario para realizar la misma, una licencia local en caso de ser necesario, guía de instalación del IDU/IFL/ODU, guía con instrucciones para el usuario final, así como una prueba del funcionamiento del servicio.

Por otro lado, en caso de realizar una instalación de una antena de entre 1 y 2.4 metros es necesario que la instalación sea realizada por un técnico cualificado, así como una persona asistente en el lugar de instalación. Asimismo, si la antena fuese de 3.8 metros se necesitará un técnico especializado y dos asistentes.

3.2.1. Unidad exterior, ODU

La típica unidad exterior u ODU se compone de una antena, un sistema de alimentación, un transceptor y opcionalmente un sistema anti-hielo.

La antena es un elemento pasivo y su tamaño es directamente proporcional al ancho de banda al que se desea transmitir. La diferencia entre antenas de 1.2, 1.8, 2.4 y 3.7 metros se encuentra en la ganancia y la eficiencia de esta.

Los conceptos básicos de los que se compone una ODU ya se ha hablado en anteriores capítulos, sin embargo, como concepto innovador en la tecnología satelital, los fabricantes de antenas VSAT han comenzado a desarrollar antenas con alimentador (o *feed*) dual.

Las antenas con *feed* dual, por norma general, son antenas formadas por un único plato con un subreflector y dos *feeds* que permiten utilizarla para apuntar tanto a satélites de banda C como de banda Ku, es decir son antenas que pueden utilizarse para dos bandas de frecuencia diferente, por supuesto, no a la vez. La tecnología de estas antenas hace que se pueda seleccionar el tipo de banda en la que se quiere transmitir, de forma que esta sea capaz de cambiar el alimentador de manera mecánica y automática (sin necesidad de intervención humana) para recibir y transmitir señales en cada una de estas frecuencias sin problema ninguno.

Las antenas de VSAT suelen estar cubiertas por un domo o *radome*, de fibra de vidrio, cuya función es la de proteger la antena, dejando pasar las señales de RF a su través. Estos se encargan además de mantener la temperatura interior entre los límites establecidos y necesarios para que las antenas funcionen correctamente.

Se muestra un ejemplo de radomo en Figura 31.



Figura 31: Imagen de un radomo de Intellian con la antena que se coloca en su interior.

3.2.2. Cables de enlace de interfaz o Cables IFL

En toda instalación VSAT, se requieren tres tipos de cables IFL instalados entre la antena y el equipo de unidad interior. Las señales de transmisión y recepción de frecuencia intermedia IF (50 – 70 MHz) son transportadas entre el interior y el exterior por cables coaxiales.

Las pautas generales para asegurar que los cables coaxiales del IDU al ODU estén debidamente preparados e instalados son:

- Antes del plan de instalación, hay que seguir la ruta que seguirá el IFL cable. Planificar la ruta para minimizar la longitud del cable entre la IDU y la ODU.
- Asegurarse de que se haya agregado un alivio de tensión a ambas conexiones de cables.
- Usar la herramienta correcta para crimpar los conectores a los cables.
- Asegurarse de que todos los conectores externos estén sellados e impermeabilizados.
- Con los cables coaxiales desconectados de la unidad de RF, hay que medir la tensión de AC entre el cable coaxial y el cable de tierra. Si no hay voltaje AC presente, será necesario cambiar leer la resistencia del cable IFL a tierra. La resistencia debe ser de 25 Ohm o menos.

Los cables coaxiales se definen por ser utilizados para transportar señales eléctricas de alta frecuencia. Posee dos conductores concéntricos, uno central, llamado núcleo (*inner conductor*), encargado de llevar la información, y uno exterior, de aspecto tubular, llamado malla, blindaje, trenza (o *shield*) que sirve como referencia de tierra y retorno de las corrientes. Entre ambos se encuentra una capa aislante llamada dieléctrico (*dielectric*), de cuyas características dependerá principalmente la calidad del cable y las impedancias que presentan. Todo el conjunto suele estar protegido por una cubierta aislante, también denominada camisa exterior (*jacket*).

El conductor central puede estar constituido por un alambre sólido o por varios hilos retorcidos de cobre; mientras que el exterior puede ser una malla trenzada, una lámina enrollada o un tubo corrugado de cobre o aluminio. En este último caso resultará un cable semirrígido. [7]

En Figura 32, se pueden ver los principales componentes de un cable coaxial.

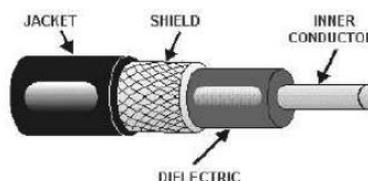


Figura 32: Cable coaxial

3.2.3. Unidad interior, IDU

Su función es la de sintonizar y demodular la señal, utilizando un demodulador adecuado al tipo de transmisión recibida. Para sintonizar un canal se utiliza un oscilador de frecuencia variable; la señal en esta frecuencia se lleva al receptor y este recupera las señales para posteriormente descodificarlas.

El equipo para interiores puede integrarse en uno o más bastidores estándar de 19 pulgadas de ancho. La ubicación de este gabinete se selecciona para minimizar el tendido de cables al equipo terminal de datos del cliente local. El equipo de interior requiere un área razonablemente limpia y ambientalmente controlada, como una sala de ordenadores.

Un equipo bastidor o *rack* típico para sistemas VSAT suele constar de los siguientes elementos fundamentales para poder proporcionar servicios por satélite:

- Modem
- Enrutador o *router*
- Unidad de control de antena o ACU (*Antenna Control Unit*)
- Conmutador o *Switch*
- Suministrador de energía ininterrumpida, UPS (*Uninterrupted Power Supply*)
- Ventiladores
- Analizador de espectros (opcional)

3.2.3.1. Modem y Enrutador

El corazón de todo bastidor es el modem que incluye la interfaz al equipo del cliente, el codificador/decodificador y el modulador/demodulador. El modem genera la señal del enlace ascendente y demodula la señal recibida del enlace descendente. Además, se conecta a la unidad exterior, ODU, a través de los cables IFL.

Existen diversos tipos de modem que hacen variar al sistema por la capacidad que pueden ofrecerle. En múltiples ocasiones, el propio modem actúa de enrutador por lo que no será necesario este dispositivo adicional.

Generalmente, en Santander Teleport se utilizan modems que son capaces de proporcionar al usuario un ancho de banda de hasta aproximadamente 20 Mbps, por lo que a excepción de que el cliente tenga mayores necesidades de ancho de banda u otros requisitos que este modelo no lo cumpla, se utilizarán por lo general estos modelos. Esto tiene como ventaja, el poder manejar diferentes anchos de banda a los clientes con el mismo modelo y saber a priori, que generalmente si el cliente quiere ampliar dentro de este rango su ancho de banda se pueda reconfigurar el equipo sin necesidad de nuevas instalaciones físicas. Esta propiedad permite dar mayor manejabilidad y flexibilidad tanto al cliente como al equipo a cargo del sistema.

Las principales luces utilizadas en un modem como el mostrado en Figura 33, del fabricante iDirect®, uno de los utilizado por Santander Telepor, para realizar la

investigación de dichos problemas son la de Tx, Rx y NET, las cuales deberán estar siempre en color verde si el sistema funciona correctamente. De lo contrario habrá que hacer un estudio minucioso del fallo.



Figura 33: Modem, modelo X7 de iDirect

Una función de valor añadido que algunos modems comerciales realizan es la de dar la posibilidad al sistema a cambiarse de satélite de forma automática o manual (satellite roaming). A continuación, se enumeran las diferentes opciones asociadas a esta característica:

- **Opción de cambio automático de satélite**

Esta configuración se caracteriza por proporcionar a las antenas, la habilidad de cambiarse a cualquier satélite de forma autónoma, sin la intervención humana. Es importante que, para ello los parámetros de los satélites estén perfectamente configurados en el modem.

- **Opción de cambio manual de satélite**

La configuración manual es aquella que permite al sistema cambiar de satélite, pero tal y como su nombre indica, realizándose de forma manual, a través de la interacción humana, donde la persona encargada de realizar el cambio de satélite debe de introducir una serie de comandos en el modem, necesarios para esta operación.

- **Opción de Satélite fijo**

Por último, en esta configuración no es posible cambiar de satélite a no ser que se genere y cargue un nuevo fichero en el modem, restando dinamismo y automoción a la operación; por ello no es la preferida por los usuarios.

Hablemos ahora del enrutador. Un ejemplo de enrutador, se muestra en Figura 34, siendo su función principal enviar o encaminar paquetes de datos de una red a otra, es decir, interconectar subredes.

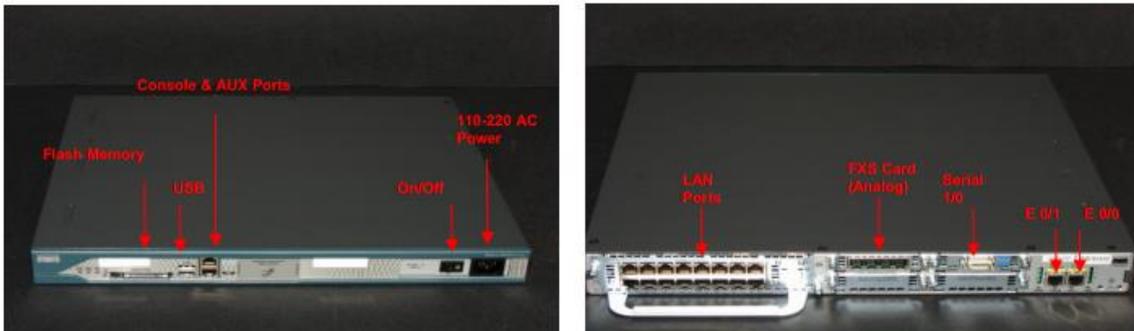


Figura 34: Enrutador

3.2.3.2. Unidad de control de antena, ACU

La Unidad de Control de Antena (ACU), es desarrollada para el control remoto de la antena, pudiendo ajustar parámetros relativos al apuntamiento y funcionamiento correcto de la misma desde una ubicación alejada de la ODU. Es la parte principal del sistema, que incluye además control de motores, drivers, codificadores, etc.

Ciertos fabricantes de antenas suelen poner a disposición del usuario un acceso a todos los modos operativos del ACU y parámetros de configuración a través de una interfaz local, aplicación o acceso web, además del acceso directo a la unidad a través de los botones y/o pantalla táctil del dispositivo físico.

Este dispositivo, tal y como su nombre indica, es utilizado para controlar la antena. Pueden comprobarse y también configurarse los parámetros del satélite, la geolocalización del sistema VSAT (latitud, longitud), el rumbo (o *heading*), hacia donde se dirige el remoto, en caso de no estar fijo, así como parámetros propios de la antena (por ejemplo, su elevación, azimut, nivel cruzado o *cross level*, etc). Todos estos datos, como es de intuir, son los mínimos necesarios que configurar para que la antena sea capaz de rastrear el satélite deseado, por lo que es un elemento completamente imprescindible.

En Figura 35, se puede ver un ejemplo de ACU, del fabricante Seatel©.



Figura 35: ACU, Fabricante Sea-Tel modelo DAC 2202

Estos dispositivos son también esenciales para tratar de resolver posibles problemas con el sistema, pues permiten desde buscar manualmente un satélite hasta comprobar que tanto este como otros dispositivos anexos funcionen correctamente. También dispone de chivatos esenciales de su funcionamiento, los leds como *target*, *searching* *tracking* o *error*, nos puede indicar el estado en el que está la antena.

3.2.3.3. Conmutador o switch

Un conmutador o *switch* es el dispositivo digital lógico de interconexión de equipos que opera en la capa de enlace de datos del modelo OSI. Su función es interconectar dos o más host de manera similar a los puentes de red, pasando datos de un segmento a otro de acuerdo con la dirección MAC de destino de las tramas en la red y eliminando la conexión una vez finalizada ésta.

Los conmutadores se utilizan cuando se desea conectar múltiples tramos de una red, fusionándolos en una sola red. Al igual que los puentes, dado que funcionan como un filtro en la red y solo retransmiten la información hacia los tramos en los que hay el destinatario de la trama de red, mejoran el rendimiento y la seguridad de las redes de área local (LAN). En Figura 36, se puede ver un ejemplo de un conmutador de la marca CISCO©. [8]



Figura 36: Conmutador

3.2.3.4. Suministrador de energía ininterrumpida, UPS

Un UPS, Figura 37, es un dispositivo que, gracias a sus baterías u otros elementos almacenadores de energía, durante un apagón eléctrico puede proporcionar energía eléctrica por un tiempo limitado a todos los dispositivos que tenga conectados. Otra función que se puede añadir a estos equipos es mejorar la calidad de la energía eléctrica que llega a las cargas, filtrando subidas y bajadas de tensión y eliminando armónicos de la red en caso de usar corriente alterna. [9]



Figura 37: Dispositivo UPS

3.2.3.5. Ventiladores

La ventilación de los bastidores, tal y como se ven en Figura 38, es imprescindible en todo sistema pues es necesario mantener todos los dispositivos en su rango de temperatura óptimo, de lo contrario, podrían sobrecalentarse y dejar de funcionar.



Figura 38: Ventilación de bastidores

3.2.3.6. Analizador de espectros

Los analizadores de espectro son dispositivos que ayudan al usuario final a visualizar el nivel de la señal recibida y poder detectar fácilmente si existen posibles interferencias o si de lo contrario la señal del satélite se recibe sin distorsión. A pesar de ser un elemento opcional al sistema VSAT, resulta de gran ayuda y por tanto su instalación es recomendable. Existen además modelos de analizadores de espectros remotos, que permiten realizar las mismas mediciones desde un programa de ordenador, disminuyendo así el espacio ocupado en el rack.



Figura 39: Analizador de espectros

3.3. Servicios ofrecidos en sistemas VSAT marítimos

Todo sistema VSAT es capaz de ofrecer en cualquier momento y lugar a un sistema de comunicaciones, acceso a los servicios contratados, que pueden ser los siguientes mencionados:

- **Servicios de televisión analógica por satélite**

La televisión analógica por satélite no se diferencia apenas de la terrestre con la diferencia de que las transmisiones analógicas por satélite son FM y las terrestres por lo general AM. La transmisión FM analógica de televisión requiere canales de ancho de banda de 27 o 36 MHz mientras que el mismo canal en AM terrestre sólo ocupa 8 MHz.

- **Servicios de televisión digital por satélite**

Actualmente, la lucha por desarrollar sistemas de televisión digital es cada vez mayor. La compresión digital hace de este mundo algo mucho más interesante donde múltiples canales se transmiten en un ancho de banda comparado con el de un único canal analógico. Entre 5 y 10 canales de televisión y muchos más de audio pueden ser comprimidos en un transpondedor.

La tecnología digital y la transmisión por satélite también es capaz de soportar la encriptación y los métodos de acceso seguros, por lo que un sistema digital por satélite será tan seguro como el terrestre.

En definitiva, la difusión digital permite al usuario final disponer de más canales y mejores imágenes, recepción móvil (un claro ejemplo es de la recepción de televisión a barcos, que continuamente se mueven navegando por el mar) y la posibilidad de utilizar pantallas menores gracias al aumento de calidad de los servicios.

- **Internet por satélite**

No cabe a duda que hoy en día la necesidad de disponer internet en todo momento, poder abrir páginas web, correos electrónicos, datos, audio y videos y un largo etcétera, hace que este tipo de servicio sea uno de los más importantes.

Todo usuario final desea un servicio rápido, instantáneo y seguro, y nosotros podemos proporcionárselo.

- **Voz sobre IP, VoIP**

Por otro lado, lo que hace especial este tipo de servicio es que también incluye líneas de teléfono, de forma que los usuarios de los barcos puedan tanto realizar llamadas, como recibirlas.

- **Multidifusión IP por satélite**

La principal ventaja de la multidifusión es la de poder distribuir información electrónica a un grupo de usuarios geográficamente distribuidos desde un único punto central.

Se habilitan plataformas especiales para proporcionar este tipo de servicios resultando ser muy útil para aplicaciones de actualización de sistemas, formaciones corporativas, etc.

- **Transmisión multimedia**

La transmisión multimedia es el método de transferir multimedia digital dentro de una red (típicamente internet), de modo que el audio o vídeo se reproduce inmediatamente en lugar de tener que esperar hasta que archivo se descargue por completo para visualizarlo y/o escucharlo.

El método más común de descarga es bajo demanda, de forma que sólo se descarguen archivos cuando son requeridos por un usuario, de esta forma no se satura la red. Además, la mayor parte de redes corporativas incluyen conexiones de alta velocidad, facilitando más aun este trabajo.

Todos estos servicios están disponibles para todo usuario que desee contratarlos, siendo 100% compatibles entre ellos, donde su contratación dará lugar a un sistema completo con múltiples usos.

4. Cálculos teóricos previos para definir un enlace VSAT en Santander Teleport

4.1. Introducción

En este apartado queda recogido la información general necesaria para poder realizar el cálculo de un balance de enlace de un sistema de comunicaciones por satélite, tal y como se realizan en Santander Teleport.

En esta parte del proyecto se realizará la descripción de un ejemplo de balance de enlace y de una de las aplicaciones que se utiliza para tal fin. Es necesario comentar que por la ley de protección de datos no ha sido posible añadir toda la información para realizar un balance de enlace completo. Sin embargo, el ejemplo utilizado (con datos de dispositivos reales) es completo en su conjunto y sirve para ilustrar correctamente un balance de enlace real.

4.2. Información necesaria para realizar un balance de enlace o *link Budget*

La información general necesaria para realizar un balance de enlace se describe a continuación.

- **Remoto o sistema VSAT integrado en el barco**

Para realizar un cálculo de balance de enlace o *link budget*, primero debemos conocer el modelo de antena remota y el tamaño de BUC. Una vez que conocemos el modelo, podemos encontrar la hoja de especificaciones del vendedor, *datasheet* y obtener la información relevante del mismo que será: el tamaño, la ganancia de transmisión (utilizada para las rutas) y el G/T (utilizado para las salidas).

La siguiente información que necesitaremos es la ubicación exacta o el área donde se mantendrá el sistema remoto. Si se proporciona una ubicación exacta, tomaremos nota de las coordenadas de latitud y longitud.

- **HUB**

Para el HUB, necesitaremos la misma información que para el sistema remoto. Podemos encontrar esta información en las especificaciones dadas por cada telepuerto donde esté instalado el HUB. Algunos telepuertos no brindan esta información, así que solo tomaremos nota del tamaño de la antena.

La ubicación del HUB será fija y, en general, se encontrara en uno de los Telepuertos que la empresa usa habitualmente.

- **Satélite**

El tercer paso es conocer el satélite que se utilizará para cubrir el servicio. Dependiendo del satélite, utilizaremos una herramienta diferente (o ninguna) para hacer el cálculo del balance de enlace.

- ❖ **Satélites SES:** Usamos la aplicación CLBT
- ❖ **Satélites Intelsat:** Usamos la aplicación LST5
- ❖ **Satélites Telesat:** Usamos la aplicación TLBT
- ❖ **Satélites E172A:** Tenemos una herramienta específica para este satélite actualmente administrada por Eutelsat. La herramienta es GELBT
- ❖ **RSCC, Arabsat y otros proveedores:** utilizaremos Satmaster Pro si tenemos la información requerida.

Una vez que conocemos el satélite, verificaremos el haz que se utiliza para cubrir las ubicaciones (puede no ser el mismo para las ubicaciones de enlace ascendente y de enlace descendente) y los transpondedores que se utilizan.

La mayoría de las aplicaciones para balances de enlace tienen ya integrado en el software ciertos parámetros de entrada comunes al satélite. En caso de no ser así, deberíamos introducirlos manualmente. Estos son:

- ❖ Referencia G / T: un valor G / T que se utilizará como referencia.
- ❖ Referencia de SFD: es la sensibilidad del satélite, mientras más negativa sea, más sensible será. Las unidades son dBW / m2. Este valor debe corresponder a la misma ubicación que la referencia G / T. No importa si la ubicación es el pico del haz, el borde del haz o un contorno aleatorio, siempre que los dos valores estén referenciados en la misma ubicación.
- ❖ EIRP saturado en la ubicación del enlace descendente: el valor de contorno EIRP para la ubicación del enlace descendente. Si estamos calculando un enlace de retorno, la ubicación del enlace descendente será la ubicación central. Si es una salida, la ubicación del enlace descendente será la ubicación del remoto.

- **Portadora o carrier**

El cuarto elemento necesario para ejecutar el *link budget* es la portadora o *carrier*. Se requerirán los siguientes datos:

- ❖ Velocidad de símbolo o *Symbol Rate*
- ❖ MODCOD (*Modulation and Coding*), modulación y codificación,
- ❖ Tamaño de carga útil o Payload Size

Con todos estos valores, la velocidad de información se puede determinar fácilmente usando la siguiente expresión:

$$R_b = R_s * FEC * m$$

Dónde:

R_b = Velocidad de información (esta tiene una sobrecarga y será mayor que la velocidad de datos de IP)

R_s = Velocidad de símbolo

FEC = corrección de errores hacia adelante (1/2, 2/3, 4/5 ...)

m = orden de modulación (BPSK = 1, QPSK = 2, 8PSK = 3, 16APSK = 4, 32APSK = 5)

Si nos preguntan si cierto sistema remoto o sistema VSAT de un barco podrá obtener cierta cantidad de rendimiento en nuestras redes, tendremos que verificar con una herramienta propietaria. El sistema del remoto deberá poder cerrar el enlace en una *carrier* lo suficientemente grande como para soportar el requisito de ancho de banda, pero lo suficientemente pequeño como para no requerir más energía que la disponible.

4.3. Aplicaciones informáticas utilizadas para los cálculos del enlace

Uno de los proveedores de satélite que nos permite mostrar la aplicación que utiliza es el grupo SES. Siendo la aplicación CLBT.

En este apartado se mostrarán algunas imágenes de la aplicación con una breve explicación de su uso y un pequeño ejemplo real. Entre los múltiples departamentos de los que consta Santander Teleport, uno de ellos se encarga de realizar estos cálculos, especialmente para sistemas que requieren unas propiedades especiales, como puede ser un ancho de banda muy grande.

Al abrir CLBT encontramos la ventana mostrada en Figura 40.

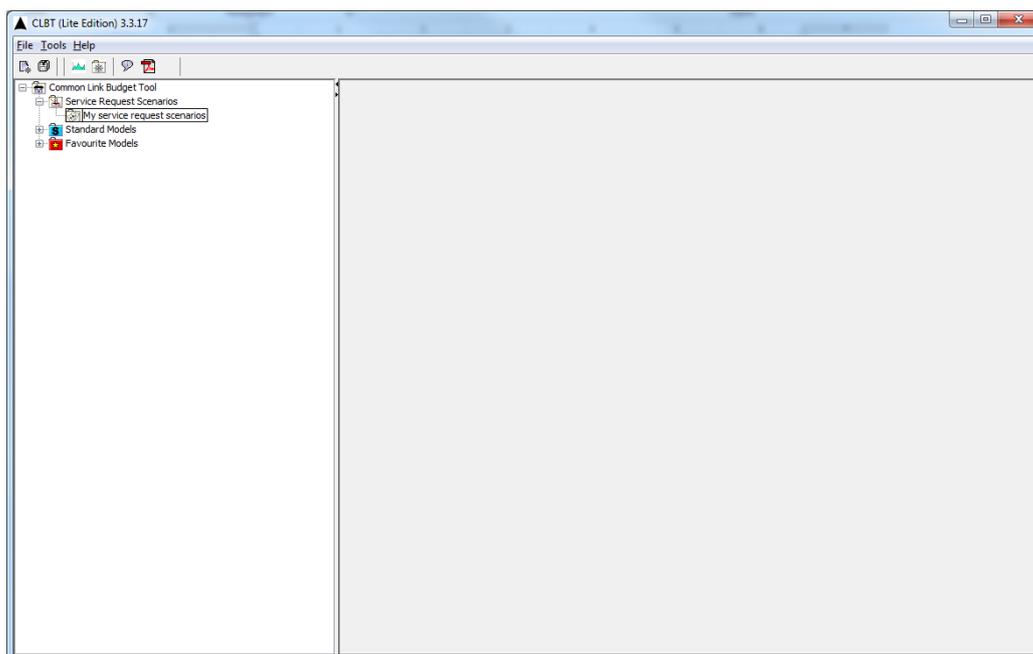


Figura 40: Ventana principal de CLBT

Deberemos hacer clic derecho en “Service Request Scenarios” or “File → Create service request scenario”

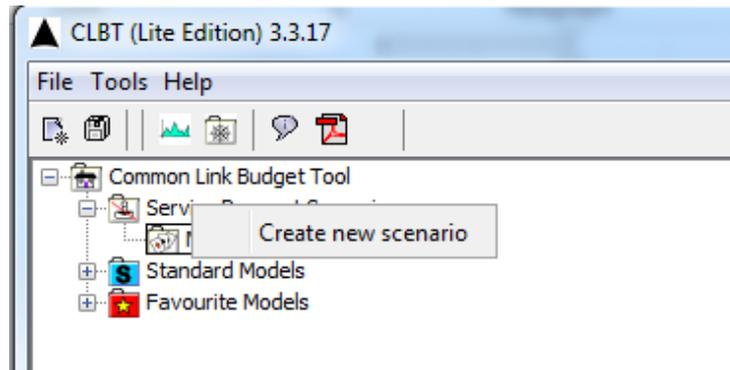


Figura 41: Creación de un escenario nuevo

El tercer paso es ingresar la información del satélite e ingresar la disponibilidad del enlace ascendente y la disponibilidad del enlace descendente para el análisis. La disponibilidad de enlace ascendente y de enlace descendente define la cantidad de dB de margen de lluvia que se considerará para cada lado del enlace. Para un TDMA *inroute* los valores para banda Ku serán como norma general, 99.6 % para enlace ascendente y 99.9 % para el descendente tal y como los que se muestran en la Figura 42. Sin embargo, para la banda C los valores serán, 99.91% para enlace ascendente y 99.99% para el descendente.

Los dos valores pueden modificarse posteriormente para cada enlace definido en el presupuesto del enlace.

Figura 42: Definición de disponibilidad y creación de satélites

La definición de una disponibilidad del 99.6% para el enlace ascendente y del 99.9% para el enlace descendente nos lleva a una disponibilidad general del 99.5 %:

$$0.996 \cdot 0.999 = 0.995 \rightarrow 99.5 \%$$

Del mismo modo, definir una disponibilidad del 99,91% para el enlace ascendente y del 99,99% para el enlace descendente nos lleva a una disponibilidad global del 99,9%:

$$0.9991 \cdot 0.9999 = 0.9990 \rightarrow 99.9 \%$$

Solo en algunos lugares específicos con desvanecimientos de lluvia realmente grandes necesitaremos sintonizar un poco estos dos valores.

Ahora que hemos definido el satélite y las disponibilidades, estamos listos para crear el transpondedor. Los pasos son los siguientes:

1. Definir la conectividad requerida (C, Ku o una mezcla).
2. Indicar el haz del enlace ascendente del enlace descendente.
3. Indicar el número del canal.
4. Definir el SFD en el centro del haz para el transpondedor que se utilizará.

De forma que al introducir los datos necesarios quedará una ventana como la mostrada en la Figura 43.

The screenshot shows a software dialog box for configuring a transponder. The title bar reads 'Add a custom transponder to NSS-7-340'. The dialog is organized into several sections:

- Identification:** Transponder ID is set to 'CAH3/NAH3'.
- Configuration:** Connectivity is 'Ku', Uplink beam is 'CAH', Downlink beam is 'NAH', Channel number is '03', Bandwidth is '54 MHz', Channel start frequencies are '14134 / 11834 MHz', Beam centre G/T is '7.07 dB/K', and Beam centre saturated EIRP is '51.78 dBW'.
- Operational Conditions:** Beam centre SFD is '-92 dBW/m²'. There is a note: 'Check operational/recommended SFD for this transponder with SES WORLD SKIES before performing analysis'. The 'FGM' radio button is selected, with 'ALC' unselected. Below are 'OBO' and 'Range' fields, both currently empty with '- dB' units. The 'Loading' dropdown is set to 'Multi carrier'. 'Input back off' is '6 dB' and 'Output back off' is '3 dB'.
- An 'Add' button is located at the bottom right of the dialog.

Figura 43: Definición del transpondedor

Con el transpondedor ya creado (puede que se necesite agregar más dependiendo del balance de enlace que se desee ejecutar), podemos configurar la topología de nuestra red. Siempre usaremos la opción Simplex y agregaremos tantos simplex como enlaces que deseemos estudiar, esto hará que sea más fácil verificar los requisitos y que SES los verifique, tal y como se ve en la Figura 44.

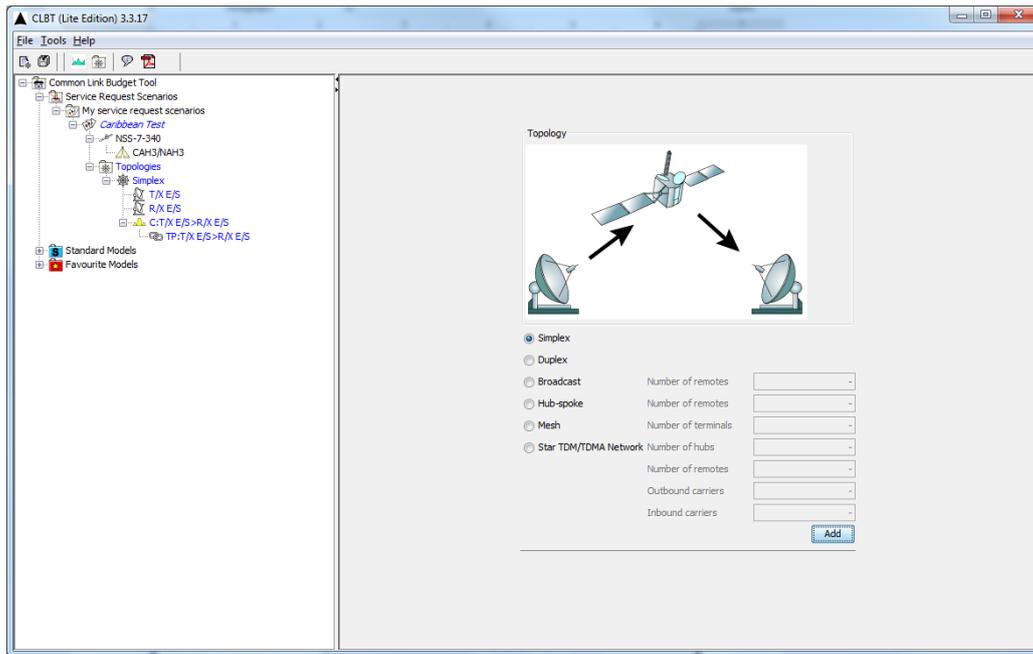


Figura 44: Creación de topología de red

Para nuestro ejemplo, consideraremos un barco que realiza la ruta entre Aruba y Barbados. La siguiente huella muestra ambas ubicaciones sobre la huella G / T para unos de los satélites operados por SES en banda KU: NSS7 Caribe (longitud: 20W). Se puede observar en la Figura 45, que uno de los lugares (Aruba) está casi 3 dB mejor ubicado que el otro en términos de G / T, por lo que para nuestro análisis tomaremos el de menor ganancia, en este caso, Barbados. El buque operara en banda KU y dispone de una antena modelo Seatel 4012 y un BUC de 8 W a bordo.

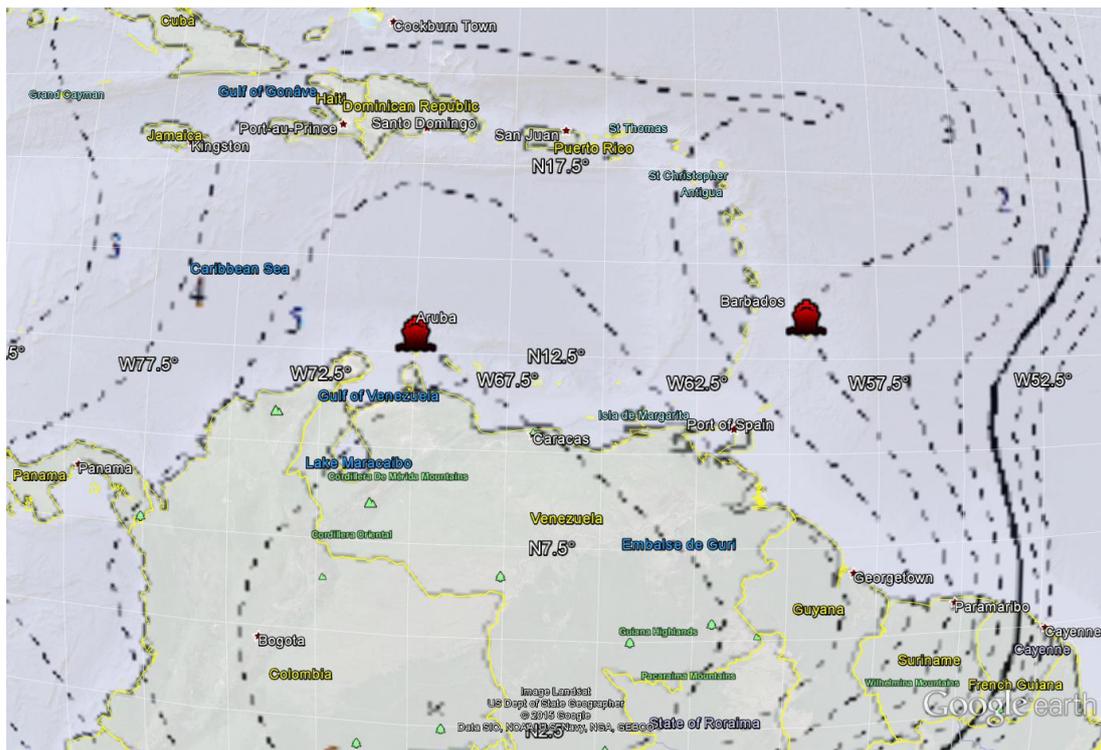


Figura 45: Huella de NSS7 CA con dos ubicaciones para el VSAT remoto

En este ejemplo, la estación terrena TX será el sistema VSAT o remoto y la estación terrena RX el HUB en el telepuerto.

Para definir el remoto necesitaremos ingresar la información de la que hablamos al principio:

1. Ubicación remota (Barbados)
2. Antena (ganancia de transmisión de 1m, 40.6dBi)
3. Pérdidas HPA: Introduciremos típicamente 0.5dB para la banda Ku (para Banda C, entre 0.8dB y 1.5dB, dependiendo del margen que deseemos y si hay problemas conocidos con ese remoto específico, típicamente 1dB para la banda C será bueno).
4. Retroceso HPA: Usaremos 0.5dB para Ku y 1dB a 1.5 dB para C.

A veces necesitaremos ajustar las ganancias de la antena para que los valores de transmisión coincidan con las especificaciones. Si una ganancia mostrada implica una eficiencia superior al 65%, reduciremos la eficiencia al 65%. Si la ganancia está por encima del valor que necesitamos, lo reduciremos al valor que conocemos. La ganancia en recepción no hará nada en este lado del enlace. En Figura 46, se ven estos datos.

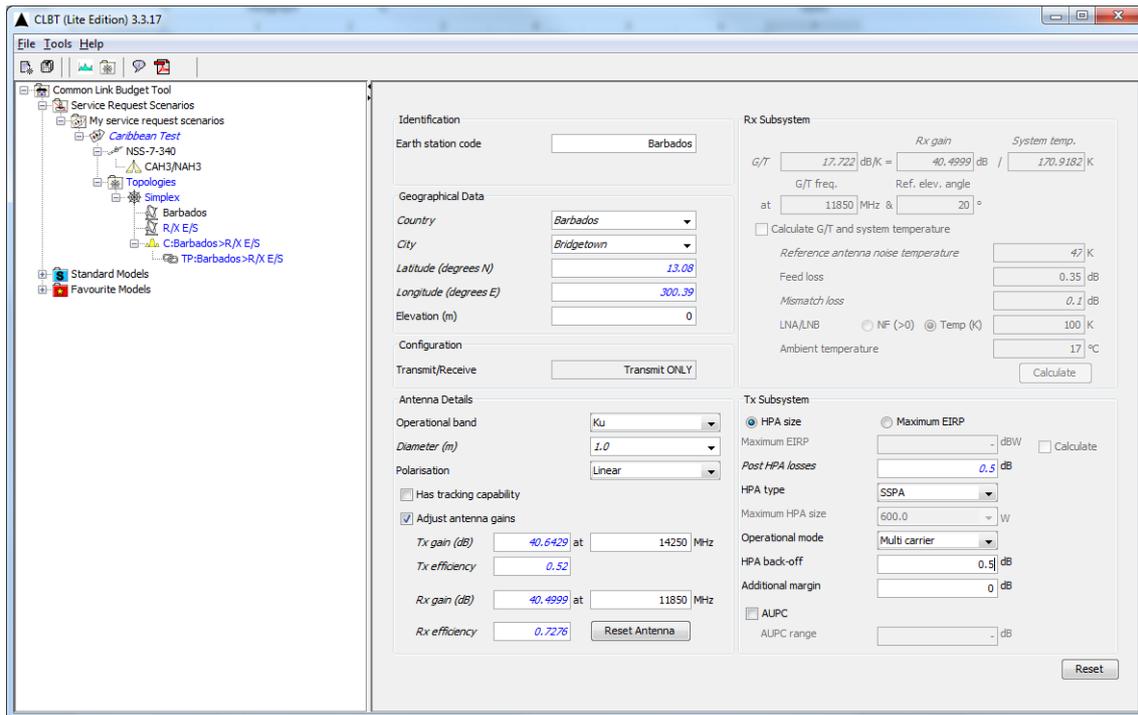


Figura 46: Definición del remoto

Para definir el HUB tendremos que ingresar la siguiente información:

1. Ubicación del HUB (Telepuerto de Holmdel, Nueva Jersey)
2. Antena (ganancia de transmisión de 6.1m, 57.1dBi y 34dB/K G/T)

En Figura 47, se define el HUB en la pestaña correspondiente de la aplicación.

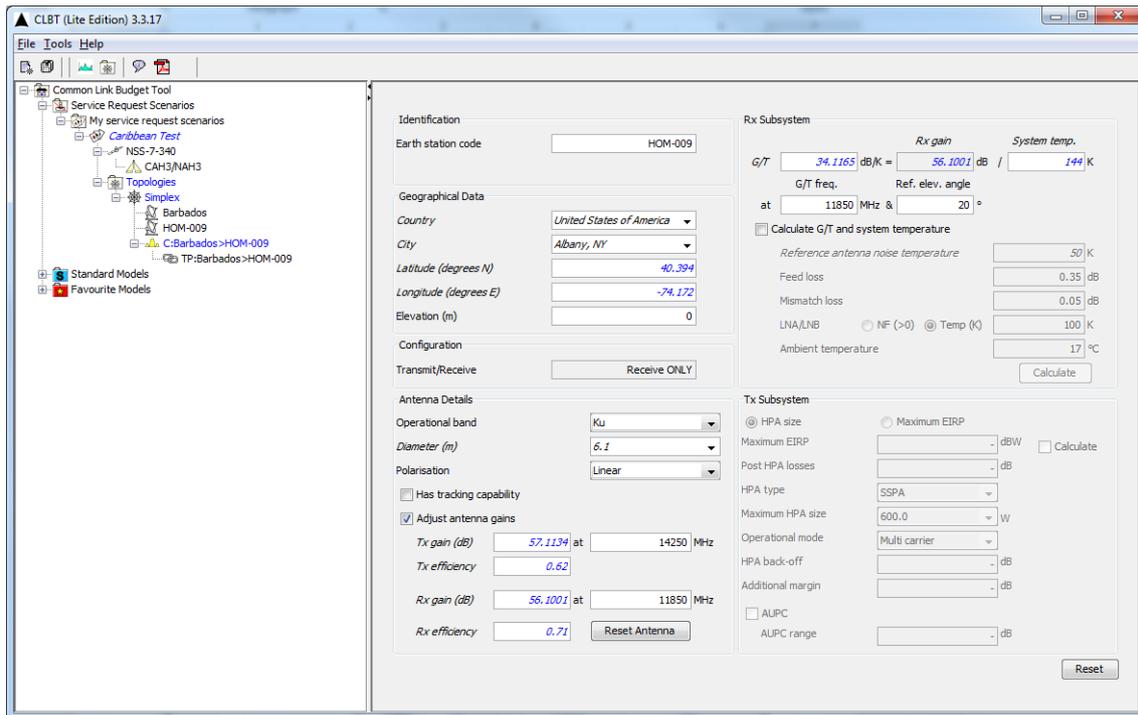


Figura 47: Definición del Hub

El siguiente paso es configurar la portadora, en este caso la configuración de las portadoras de la redes la mostrada en Figura 48:

Hub Name	Carrier Na...	Type	Symbol Rate	Symbol Ra...	Uplink Cen...	Downlink ...	Spreading ...	IGC#1
SPARE_XLC-...	.9Msps_IR_...	Adaptive	900.000	1.000	14186.625	11886.625	No Spreadi...	QPSK3/4
SPARE_XLC-...	.6Msps_IR_...	Adaptive	600.000	0.667	14187.600	11887.600	No Spreadi...	QPSK3/4

Figura 48: Configuración de las portadoras

Ahora que ya sabemos cómo está configurada la red, podemos ingresar los valores necesarios en la configuración de la carrier en CLBT.

Se verificará con la Carrier más grande, 900 ksps de Symbol Rate y se introducirán los datos anteriormente mencionados como se ve en la Figura 49.

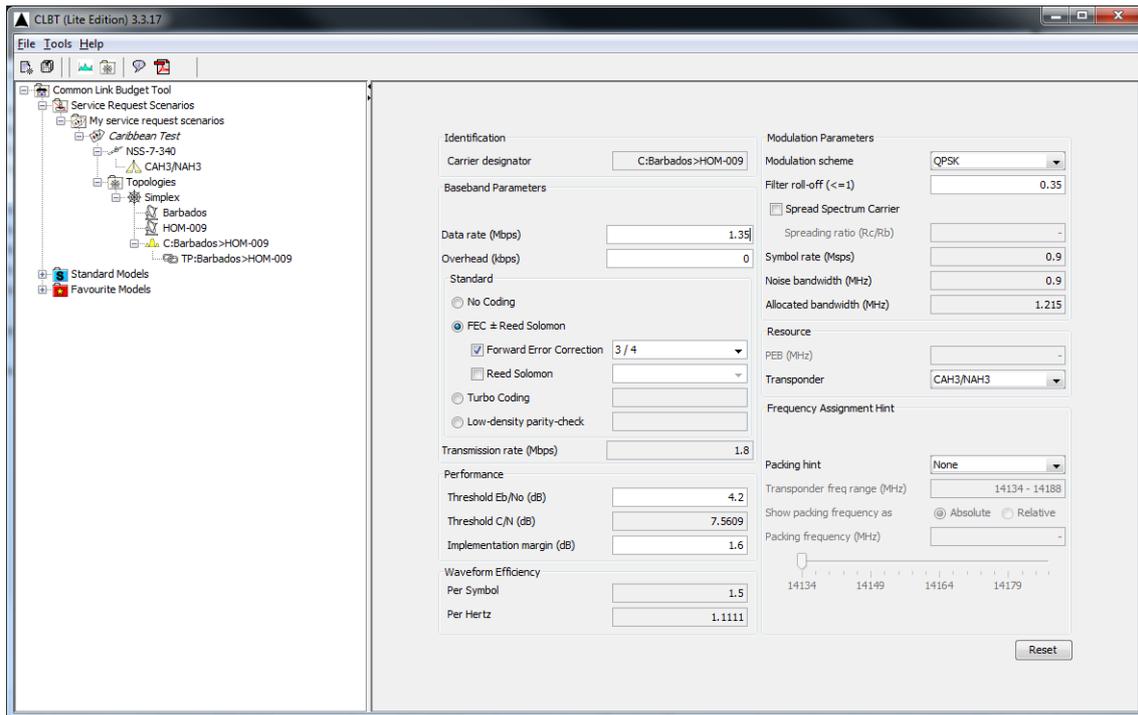


Figura 49: Definición de la portadora en la aplicación

A continuación, como se ve en la Figura 50, se deberá introducir los datos del enlace, dejar todos los valores tal como están y simplemente cambiar la disponibilidad del enlace ascendente y del enlace descendente al 99.6% y al 99.9%. Se puede jugar con estos valores y verificar qué ocurre con el resultado. Básicamente, cuanto mayor sea la disponibilidad del enlace ascendente, mayor será el desvanecimiento por lluvia que necesitaremos compensar y se necesitará más potencia en el remoto.

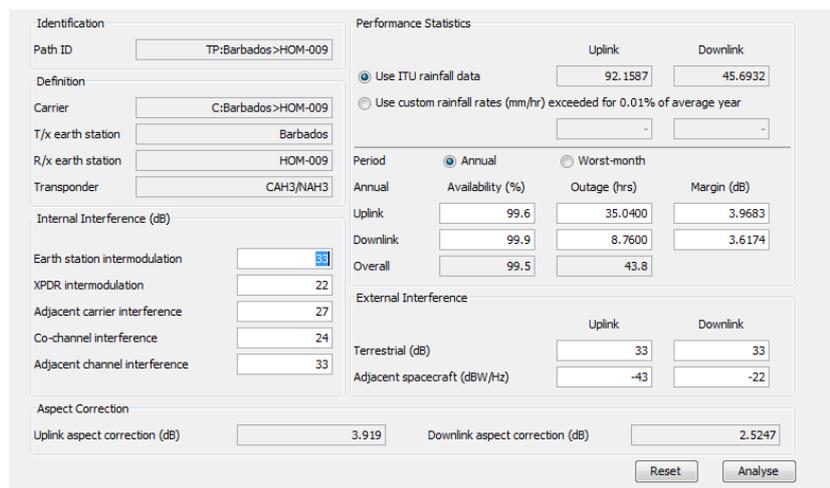


Figura 50: Definición del enlace

Finalmente, presionando el botón de analizar la herramienta nos proporcionará el resultado. En este caso la potencia de HPA requerida que se ve en la Figura 51, es de al

menos 10.4Watts, pero solo tenemos 8Watts, por lo que el enlace no podrá cerrarse en las peores condiciones (probablemente en condiciones de cielo despejado será factible).

	A	B	C	D	E	F	G
Power density and ITU Limits							
Uplink							
On-axis power spectral density:		dBW/Hz	-50.4				
Off-axis EIRP density per 4 kHz:		dBW/4 ...	2.72				
ITU limit -3 degrees:		dBW/4 ...	17.07				
Margin to ITU limit:		dB	14.4				
Downlink							
On-axis power spectral density:		dBW/Hz	-29.9				
PSD at earth's surface per 4 kHz:		dBW/4 ...	-156.86				
ITU limit per 4 kHz:		dBW/4 ...	-148.00				
Margin to ITU limit:		dB	8.9				
Interference and Intermodulation							
Earth station intermodulation:		dB	33.0				
Transponder intermodulation:		dB	22.0				
Adjacent carrier interference:		dB	27.0				
Co-channel interference:		dB	24.0				
Adjacent channel interference:		dB	33.0				
Terrestrial interference uplink:		dB	33.0				
Terrestrial interference downlink:		dB	33.0				
ASI uplink:		dBW/Hz	-43.0				
ASI downlink:		dBW/Hz	-22.0				
HPA Sizing							
Earth Station:			Barbados				
Antenna diameter:		m	1.0				
Total number of carriers:			1				
Total EIRP required:		dBW	49.7				
Peak antenna gain:		dB	40.6				
UPC:		dB	n/a				
Post HPA losses:		dB	0.5				
HPA type:			SSPA				
HPA mode:			Multi carrier				
Required backoff:		dB	0.5				
Additional margin:		dB	0.0				
Required HPA size:		Watts	10.4				
Recommended HPA size:		Watts	16.0				

Figura 51: Pantalla de resultados para una portadora de 900 kbps

5. Reconfiguración del Sistema VSAT Marítimo del Crucero X de acuerdo con su nuevo itinerario

5.1. Introducción

El trabajo objetivo de este proyecto es el planteado por un cliente actual de la empresa (el crucero X) que tiene contratado un servicio de internet por satélite, con el sistema VSAT ya instalado. Este cliente ha informado de que su itinerario va a cambiar, proporcionándonos uno nuevo, de forma que solicita que actualicemos su sistema para que en todo momento el barco siga teniendo cobertura de internet.

En este caso, no será necesario de ninguna instalación adicional de los equipos ni modificarla, ya que para este tipo de solicitudes únicamente será necesario reconfigurar el sistema para adaptarse a las nuevas condiciones del cliente. Se trata de un problema típico a resolver por un técnico del NOC.

Por ello, mi trabajo como ingeniero del NOC, ha consistido en definir la nueva configuración requerida por el cliente, es decir se ha tenido que estudiar y analizar el sistema VSAT instalado, siendo lo más relevante conocer qué tipo de antenas tiene y cómo están interconectadas. Una vez se sepan las antenas que tienen y en qué banda funcionan, se ha analizado el itinerario y las diferentes opciones de satélites que hay, seleccionando aquellos que optimicen el sistema de forma que se pueda proporcionar conexión a internet en todo el itinerario del barco, minimizando las pérdidas de conexión y consiguiendo así una mayor disponibilidad y eficiencia del sistema. Finalmente, con ayuda de una aplicación propietaria, se han configurado los satélites seleccionados en los modems, donde se ha debido de configurar los parámetros más relevantes asociados al satélite y las características del sistema VSAT del crucero X.

Es importante recordar que es de suma importancia el estudio que se ha realizado de los sistemas de comunicaciones por satélite y todos los componentes que lo integran, de lo contrario no seríamos capaces de realizar las configuraciones básicas de éstos. Es decir, la finalidad de este apartado es la de aplicar todo lo anteriormente aprendido, siendo capaces de manejar y poder configurar todos los equipos de los que consta el sistema.

En este caso, se trata de un sistema VSAT marítimo, que consta de dos antenas, una de banda C, siendo esta la antena primaria y otra de banda Ku, siendo la secundaria, utilizada de apoyo o *“backup”*.

En Figura 52, se muestra la parte superior del barco donde se pueden apreciar las dos antenas instaladas cubiertas por sus respectivos radomos.



Figura 52: Fotografía del sistema VSAT marítimo objeto de estudio en este proyecto

5.2. Sistema VSAT objeto de estudio y modificación

En este apartado, se describe el sistema VSAT que el crucero X tiene, donde además se analizan para a continuación poder realizar las configuraciones necesarias para poder satisfacer la solicitud del cliente.

A continuación, en Figura 53 se muestra el esquemático del sistema del crucero X.

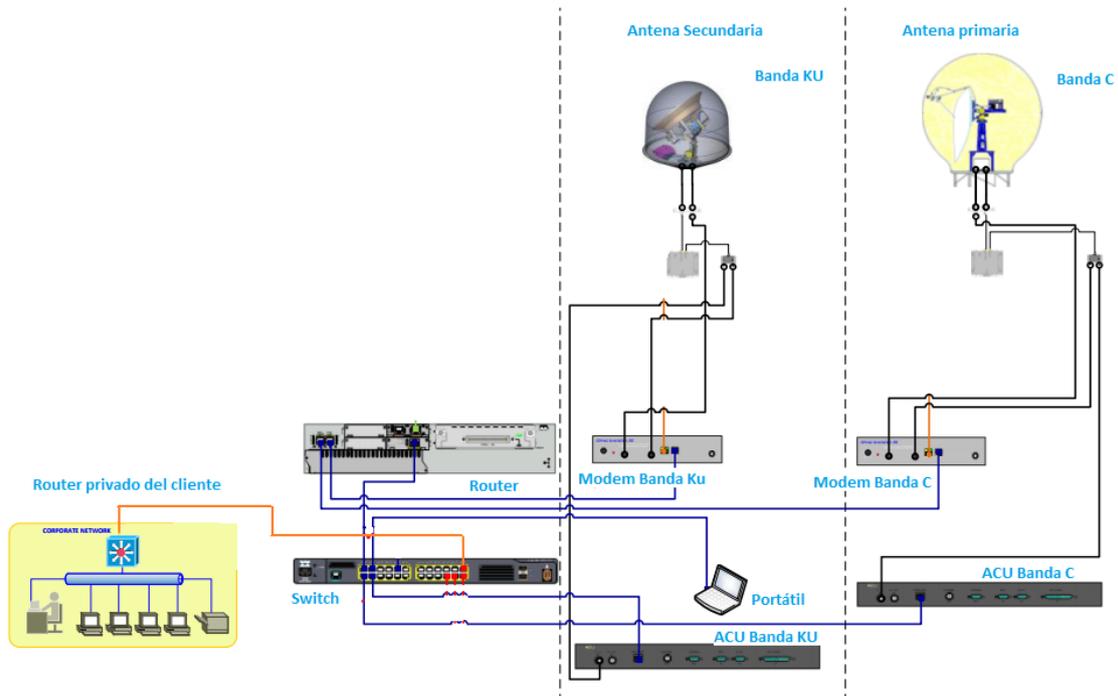


Figura 53: Esquemático del sistema VSAT marítimo del crucero X

Este sistema VSAT se compone de dos antenas, una de banda C y una de banda Ku (utilizada de *backup*), de esta forma se consigue brindar al sistema de mayor redundancia.

Además, un sistema integrado por dos antenas, una de cada banda, permite dar mayor flexibilidad al usuario y asegurar mayor disponibilidad del servicio contratado por el cliente. Si la antena primaria se encuentra en bloqueo o es afectada por interferencias (recordemos que las frecuencias en banda C se veían más afectadas por este fenómeno que las de banda Ku), se podrá mantener el sistema en línea en la banda Ku, siempre y cuando no existan otros impedimentos para la conexión de esta. Aunque la ventaja no es sólo para el usuario, sino también para el equipo de ingenieros encargado de dar soporte al cliente desde el NOC, ya que les permite monitorear y controlar el sistema de forma remota a través de uno de los sistemas si el otro está caído.

Tal y como se ha descrito anteriormente, cada antena necesita su ACU para poder controlar cada una de ellas sin necesitar subir a cubierta. Por otro lado, el sistema

dispone de los correspondientes modems, que se configurarán de acuerdo a las necesidades del sistema.

Estos modem están conectados al switch, a través del cual podrán tener acceso al resto de componentes de la red (ya que todos se conectan a sus puestos para poder comunicarse), como son: ACU Banda C, ACU Banda Ku, portátil, enrutador (para poder gestionar el tráfico y elegir por qué modem sale la información) y al router privado del cliente al que se asignara una IP pública.

5.2.1. Características de los dispositivos

En este apartado se comenta algunos de los parámetros principales de los dispositivos de los que consta el sistema, incluyendo además la referencia de la hoja de características o *datasheet* de estos.

- **Antena Primaria, Banda C**

Se trata de una antena Sea-Tel modelo 9707D con un diámetro de 2.4 metros de plato de la antena.

Además, tiene una ganancia de transmisión de 41.7 dBi @ 6.18 GHz y una ganancia de recepción de 38.5 dBi @ 3.95 GHz. El *datasheet* de este modelo de antena, junto con el resto de parámetros de la misma, se puede encontrar en [14].

Por otro lado, el Controlador de Antena o ACU, es un modelo Seatel MXP.

- **Modem Banda C**

El modelo del modem es un iDirect X7, siendo uno de los modelos más nuevos de la gama, que proporciona altas prestabilidades al usuario final.

- **Antena Secundaria, Banda Ku**

Se trata de una antena Sea-Tel modelo 6012 con un diámetro de 1.5 metros de plato de la antena.

Además, tiene una ganancia de transmisión de 45.1 dBi @ 14.25 GHz y una ganancia de recepción de 44.0 dBi @ 12.5 GHz. El *datasheet* de este modelo de antena, junto con el resto de parámetros de la misma, se puede encontrar en [15].

Por otro lado, el Controlador de Antena o ACU, es un modelo Seatel MXP.

- **Modem Banda Ku**

El modelo del modem es un también un iDirect X7

- **Router**

El router es un modelo CISCO 2821, con las características reflejadas en el datasheet [16].

- **Switch**

El conmutador o switch es un modelo CISCO 3400, pudiéndose ver las características en el datasheet [17].

5.3. Itinerario

Una vez realizada la instalación física del sistema VSAT, para que el servicio sea proporcionado correctamente, se debe proceder a configurar los modems, de tal manera que dispongan de los satélites necesarios para cubrir el itinerario del barco.

En el crucero X el sistema VSAT ya está instalado pues ya era cliente de la empresa, además se considera ya calculado el balance de enlace para el equipo instalado, habiendo concluido que las características del sistema instalado permiten el libre uso de cualquiera de los satélites a continuación descritos en todas y cada una de las localizaciones dentro del itinerario del barco.

Tras esto, el ingeniero de NOC procede a analizar el itinerario y las redes disponibles, concluyendo que los satélites a continuación indicados cumplen por completo con las necesidades del sistema y procede a su configuración en los modems.

El cliente nos indica que, en su nuevo itinerario, su actual posición en el mar Rojo, es su Punto de partida, de este nuevo trayecto. El destino número 1 será Puerto de Mumbai, a continuación, navegará por el mar Árabe hacia el Puerto de Galle, su segundo destino. Finalmente, atravesará el Golfo de Bengala para llegar a su último destino, Isla de Hatia o Hatiya Island.

Tras un análisis exhaustivo de los satélites disponibles en el área, se procede a borrar de la configuración del modem, los satélites que ya no necesita y a comenzar a configurar los nuevos. Hay que tener especial cuidado en no borrar el satélite al que el barco se encuentra conectado en ese momento, pues en ese caso se provocará una desconexión del sistema. El crucero X, cuando solicitó el cambio y se encontraba en el mar Rojo estaba conectado a NSS12 Global en Banda C y SES9 WIOR en Banda Ku, que además cubre parte de su nuevo itinerario, por lo que estos satélites no se deben borrar. Sin embargo, el resto de satélites no cubren el itinerario por lo que se eliminan de los modems.

En Figura 54, se puede ver en negro, el itinerario del barco proporcionado por el cliente donde se muestra tanto el punto de partida como los dos destinos. A su vez en este mapa, se pueden apreciar las huellas de los satélites seleccionados para ser configurados en el modem secundario, de banda Ku.

En primer lugar, se muestran las huellas de banda Ku dado que son más regionales y hay que ser más preciosos a la hora de su elección, que las de banda C que son huellas globales.

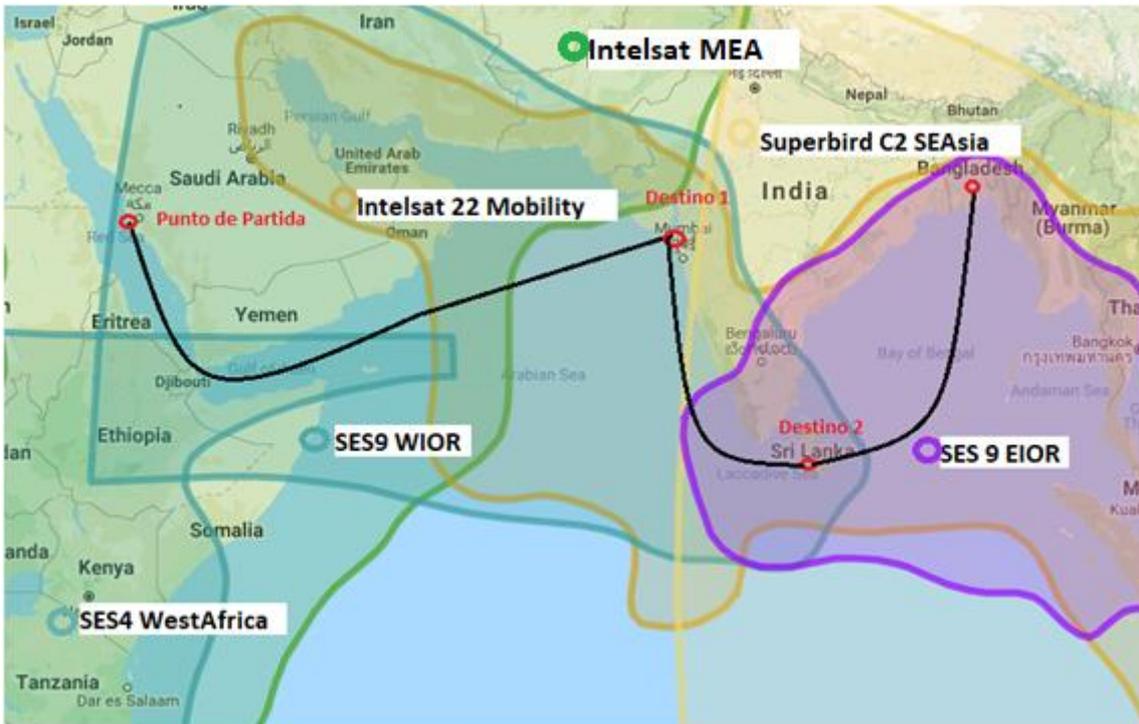


Figura 54: Itinerario y satélites de banda Ku configurados

Los satélites seleccionados son los siguientes:

- **Intelsat 22 MEA (Middle East & Africa beam):** Satélite de longitud 72 E
- **Intelsat 22 Mobility:** Satélite de longitud 72 E
- **SES 4 (o NSS14) WestAfrica:** Satélite de longitud 22 W
- **SES9 WIOR:** Satélite de longitud 108 E
- **SES 9 EIOR:** Satélite de longitud 108 E
- **Superbird C2 SEAsia:** Satélite de longitud 144 E

[12]

Por otro lado, los satélites de huellas globales seleccionados para el sistema primario, en Banda C, son mostrados en Figura 55, donde se puede ver que un satélite, por ejemplo NSS 12, puede llegar a cubrir el itinerario del barco.

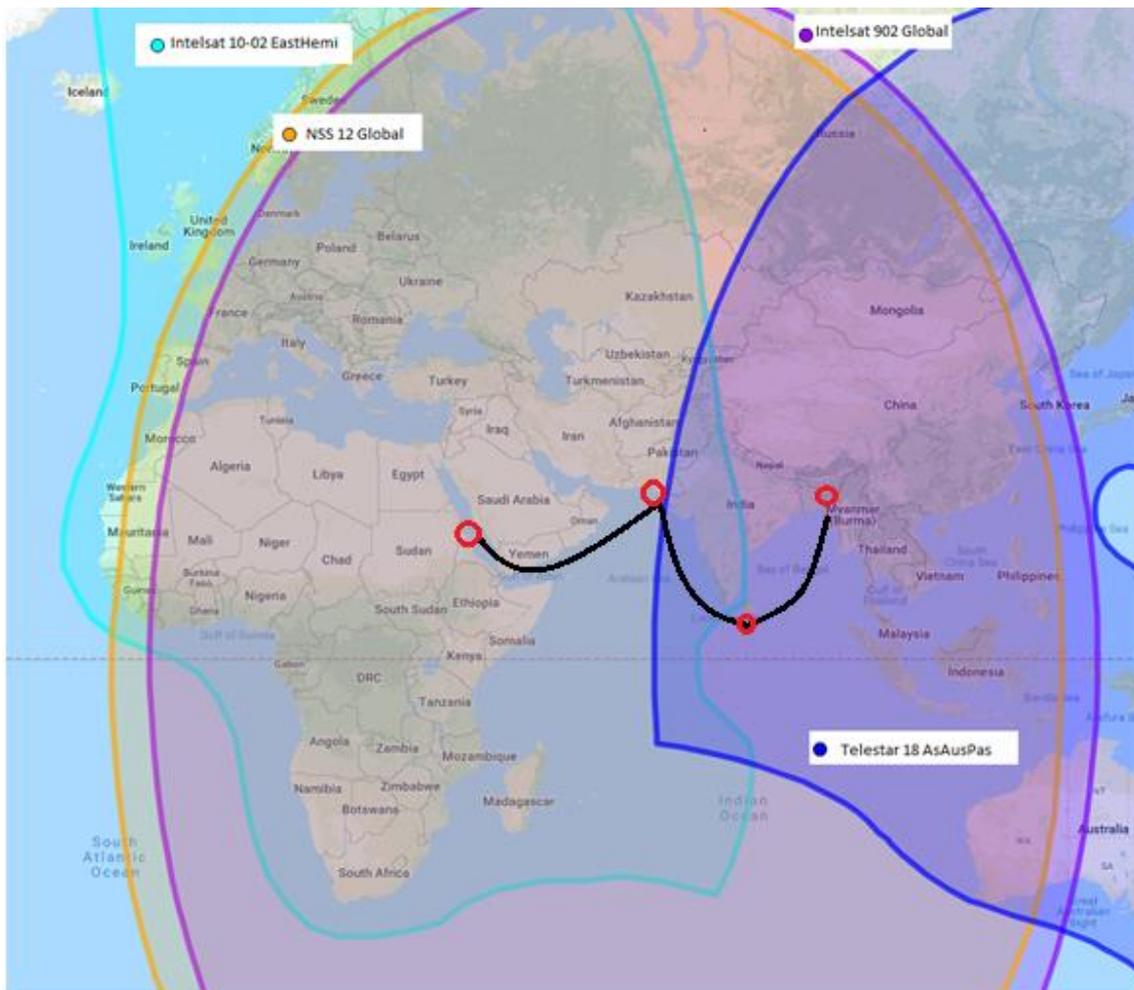


Figura 55: Satélites de banda C configurados

Los satélites seleccionados en banda C según el itinerario son los siguientes:

- **Intelsat 10-02 EastHemi:** Satélite de longitud 1 W
- **NSS 12 Global:** Satélite de longitud 57 E
- **Intelsat 902 Global:** Satélite de longitud 62 E
- **Telestar 18 AsAusPas:** Satélite de longitud 138 E

[12]

El fabricante de estos modelos de modem (iDirect) recomienda no configurar más de 6 satélites por modem, para no sobrecargarlo innecesariamente y evitar problemas de rendimiento del módem.

Una vez realizada la selección, hay que configurar cada uno de los modems (Banda C y banda Ku) con los nuevos satélites utilizando un programa propietario, donde se modificará el archivo de opciones del modem (archivo que se carga en el modem, el cual reúne la configuración completa de éste). Teniendo en cuenta que los datos del sistema aparecen predefinidos ya en la aplicación (como puede ser el tipo de BUC o incluso el

ancho de banda contratado), los datos principales que hay que configurar para cada satélite añadido son los siguientes:

- Localización del satélite
- Frecuencia de seguimiento del satélite
- Polaridad de transmisión de la antena
- Polaridad de recepción de la antena
- Tipo de LNB (banda de recepción del satélite)
- Potencia máxima de transmisión, P_{1dB} (este dato ya estaba definido en el Crucero X ya que al no tratarse de una nueva instalación y el sistema al trabajar correctamente en términos de potencia, no ha sido necesario modificarlo. En caso de que hiciese falta el ingeniero del NOC se pondrá en contacto con el proveedor del satélite correspondiente y conjuntamente realizarán la prueba que determinará este valor)
- Potencia inicial de transmisión (valor de potencia configurado en el módem, con el cual el sistema se conecta al satélite). Por otro lado, una vez el sistema se enganche a satélite, la potencia de transmisión es gestionada por el HUB en función de las características RF del sistema.

Estos son algunos de los parámetros más significativos que se ha de definir al configurar un nuevo satélite en el modem. Como ya se ha dicho anteriormente, existen otros parámetros que ya aparecen definidos en la aplicación, de esta forma aquellos datos que no cambian (como por ejemplo lo referente al sistema instalado, es decir a los dispositivos) quedarán seleccionados por defecto. Esto agiliza el trabajo y minimiza los posibles errores humanos en la configuración.

Con la configuración de todos estos parámetros, permite al sistema recalcular los datos a las nuevas necesidades del sistema en cuanto a por ejemplo potencia durante todo el recorrido realizado por el crucero, esto quiere decir que a medida que está navegando, el sistema se va actualizando constantemente adaptándose a sus necesidades en función de su localización y las condiciones de RF.

Como dato informativo, siempre que se configure o actualicen los ficheros de los modems de un sistema, para que el cambio se aplique es necesario reiniciarlos, de forma que los dispositivos sean capaces de reconfigurarse de nuevo.

Por otro lado, todo ingeniero de NOC ha de realizar análisis diarios de las redes contratadas y trabajar en balanceos de carga de las mismas de tal manera que las redes se encuentren en condiciones óptimas para todos los clientes y se les garantice un servicio de calidad. Esto quiere decir que aunque el cliente no pida una actualización de sus satélites, es posible que el ingeniero de NOC actualice su archivo de opciones con otros satélites para ofrecer al cliente el mejor servicio, en todo momento.

5.4. Apuntamiento de la antena y sus zonas de bloqueo

A todo centro de operaciones de red, o NOC, se proporcionan cartas de bloqueo de cada antena instalada, de forma que sabremos a priori donde la antena dejará de recibir señal debido a que habrá un área que bloquea la línea de visión directa entre de la antena y el satélite.

Por ello, en este apartado se ha realizado un estudio de la disponibilidad del sistema (teniendo en cuenta únicamente bloqueos externos por infraestructuras del barco) en los destinos del crucero X. Se ha tomado como referencia, valores de posicionamiento y dirección reales de otros barcos que han estado atracados en estos puntos. De esta manera, nos podremos anticipar o conocer con anterioridad posibles bloqueos e interrupciones en el sistema, buscando siempre opciones alternativas para evitarlo.

En las cartas de bloqueo, se indica el Azimut relativo y la elevación donde se encontrará dicho bloqueo.

Para calcular el valor del azimut relativo, basta con conocer la localización del barco, Latitud (lat_{rx}) y Longitud ($long_{rx}$), así como el rumbo del barco o *Heading (HDG)* y la posición del satélite ($long_{sat}$). Previamente se ha de calcular el Azimut y Elevación tal y como se ha visto en el capítulo 1.8.1, aplicando las siguientes fórmulas:

$$EL_{rx} = \arctan \left(\frac{\cos(lat_{rx}) \cdot \cos(long_{rx} - long_{sat}) - \frac{Ro}{Ro + h}}{\sqrt{1 - (\cos(lat_{rx}) \cdot \cos(long_{rx} - long_{sat}))^2}} \right)$$

$$AZ_{rx} = \arctan \left(\frac{\tan(long_{rx} - long_{sat})}{\tan(lat_{rx})} \right) + 180 \text{ degrees}$$

Y finalmente, se calcula el Azimut relativo como:

$$REL = HDG - AZ_{rx} \pm AZ_{offset}$$

siendo el AZ_{offset} los grados en Azimuth que el sistema varía cuando consigue conectarse al satélite en comparación con el teórico.

Para optimizar los cálculos, se ha creado una calculadora en Excel, donde con solo meter los parámetros de entrada: latitud, longitud, posición del satélite y Heading, nos proporcionará el Azimut, la elevación y el relativo teórico.

Una vez recordados los conceptos teóricos, se muestra en Figura 56 y Figura 57 las cartas de bloque del crucero X de la antena primaria y secundaria respectivamente.

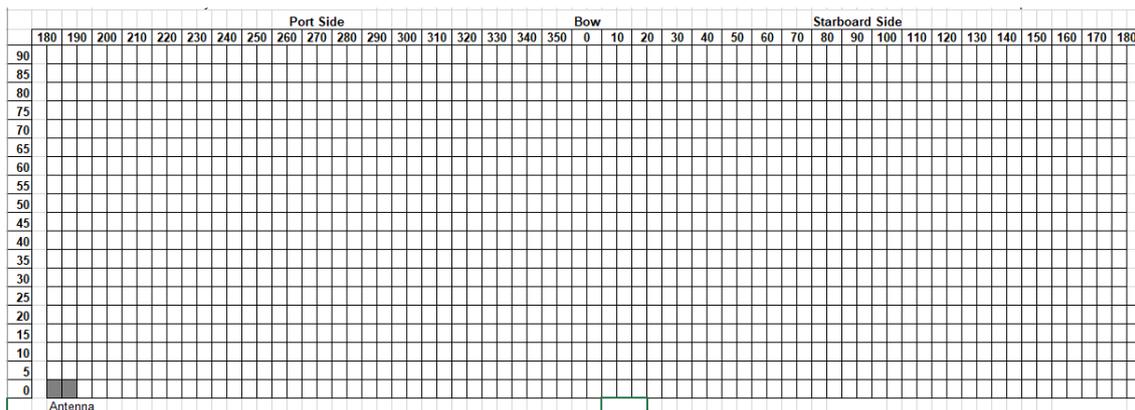


Figura 56: Carta de bloqueo Antena primaria, Banda C

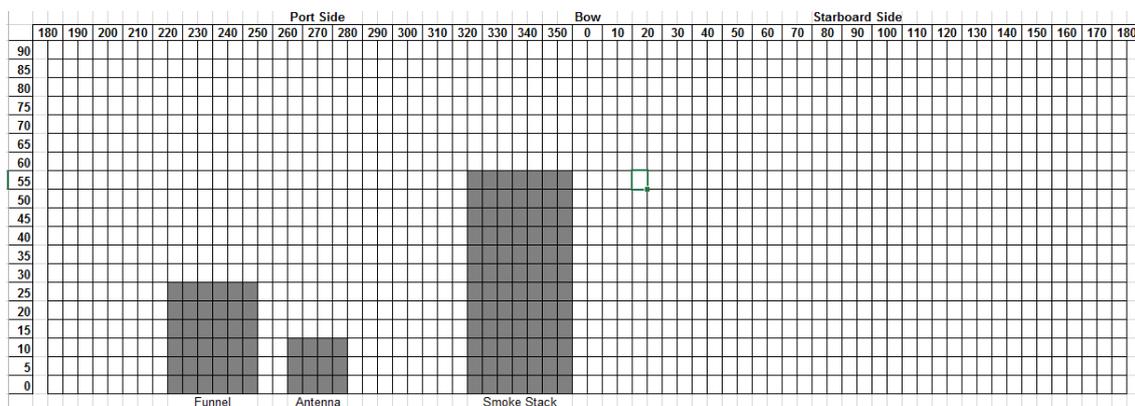


Figura 57: Carta de bloqueo Antena secundaria, Banda Ku

Como se ha podido ver en Figura 56, la antena primaria sólo sufrirá de bloqueo (teniendo en cuenta únicamente la infraestructura del barco) si apuntase a la antena secundaria, entre valores relativos de 180-190 y una elevación menor de 5. Esto quiere decir, que es bastante improbable que esta antena se vea afectada por este bloqueo, dado que con elevaciones menores de 10 grados, el fabricante (antena Seatel) no garantiza un apuntamiento ni recepción adecuados.

Sin tener en cuenta otros factores externos, en principio se podrán utilizar sin problema en todo su itinerario todos los satélites configurados en el modem de Banda C ya que hay pocas probabilidades de que se pierda la señal debido a un bloqueo externo (como se mencionó anteriormente, existen múltiples factores externos que podrían causar un desvanecimiento o una pérdida total de la señal, pero este caso de estudio solo se centra en los bloqueos debidos a la estructura del barco).

Sin embargo, fijándose en Figura 57, la antena secundaria sí que podrá verse afectada por bloqueos de la infraestructura del barco.

A continuación, se mostrarán varios ejemplos del apuntamiento de la antena secundaria en diferentes localizaciones donde se podrá comprobar si la antena ha sido afectada por bloqueo o no.

- **Destino 1: Puerto de Mumbai**

El barco se localiza en el punto geográfico LAT 18.94N LONG 72.85E con *heading* de 0 grados, apuntando al satélite INTELSAT 22 MOBILITY. Los datos se introducen la calculadora programada en Excel tal y como se puede ver en Tabla 4.

ANTENNA LATITUDE	18.94	n
ANTENNA LONGITUDE	72.85	e
SATALLITE POS	72	E
HEADING	0	
	Calculated	
AZIMUTH	182.6	Degrees
ELEVATION	67.8	Degrees
RELATIVE	182.6	Degrees

Tabla 4: Cálculos de AZ y EL para Destino 1

Una vez obtenida la Elevación de la antena de 67.8 grados y el Relativo de 182.6, se puede ver en la carta de bloqueos como, no existe obstáculo para dicho apuntamiento tal y como se puede ver en la Figura 58 (marcado en amarillo).

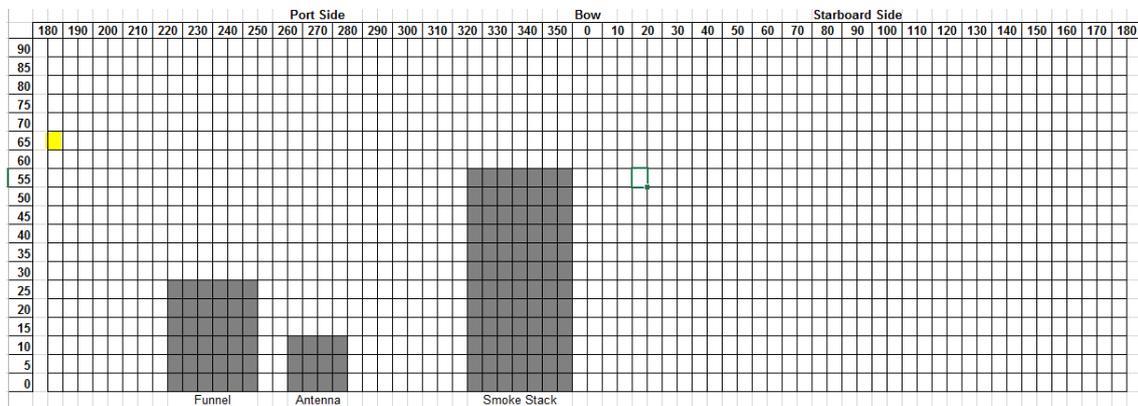


Figura 58: Carta de bloqueo para Destino 1

- **Destino 2: Puerto de Galle**

El barco se localiza en el punto LAT 6.032N LONG 80.23E con *heading* de 120 grados, apuntando al satélite SES9 EIOR. Los datos se introducen en la calculadora programada en Excel tal y como se puede ver en Tabla 5.

ANTENNA LATITUDE	6.032	n
ANTENNA LONGITUDE	80.23	e
SATALLITE POS	108	e
HEADING	120	
	Calculated	
AZIMUTH	101.3	Degrees
ELEVATION	56.9	Degrees
RELATIVE	341.3	Degrees

Tabla 5: Cálculos de AZ y EL para Destino 2

Una vez obtenida la Elevación de la antena de 56.9 grados y el Relativo de 341.3 grados, se puede ver en la carta de bloqueos como, en este caso sí existe obstáculo para dicho apuntamiento tal y como se puede ver en la Figura 59 (marcado en amarillo).

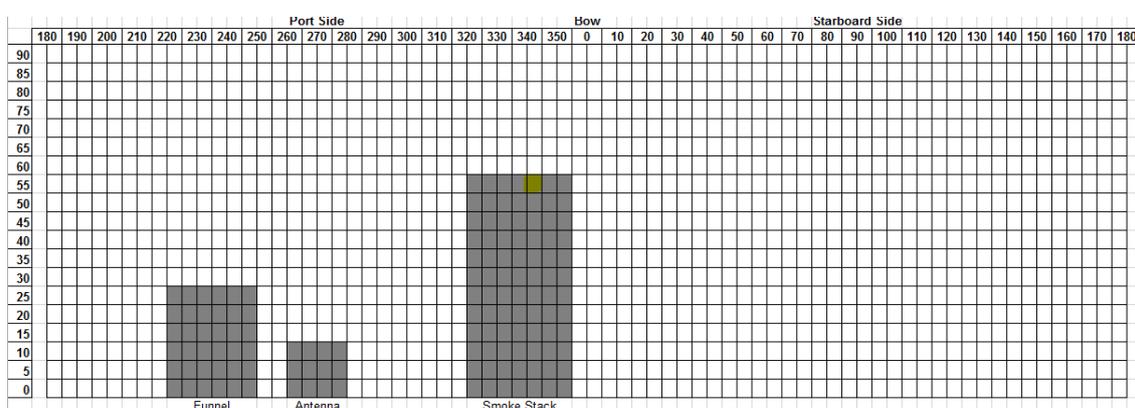


Figura 59: Carta de bloqueo para Destino 2

Al tratarse de un bloqueo dejaríamos de tener señal del satélite. Sin embargo, en este caso específico, como la antena apunta al borde del bloqueo, podría tratarse de un bloque parcial (la antena está constantemente conectando y desconectando del satélite, es decir apunta al satélite - bloqueo - satélite - bloqueo...) por lo que, para tratar de recuperar la cobertura, una opción es reajustar manualmente el apuntamiento de la antena. Es decir, en este caso se debería de elevar la antena un grado y analizar si llega suficiente señal al sistema.

Otra opción es probar con el otro satélite disponible que cubre la ubicación del barco. Se trata del satélite Intelsat 22 Mobility, 72 E.

En la Tabla 6, se ve como el Relativo de 114 grados con una Elevación de 78 grados libra por completo cualquier bloqueo, siendo esta una buena alternativa al anterior satélite.

ANTENNA LATITUDE	6,032	n
ANTENNA LONGITUDE	80,23	e
SATALLITE POS	72	e
HEADING	120	
	Calculated	
AZIMUTH	234,0	Degrees
ELEVATION	78,0	Degrees
RELATIVE	114,0	Degrees

Tabla 6: Cálculos de AZ y EL para Destino 2. Alternativa

▪ Destino 3: Hatiya Island

El barco se localiza en el punto LAT 22.39N LONG 91.10E con un *heading* de 334 grados, apuntando al satélite Superbird C2 SEAsia. Los datos se introducen en la calculadora programada en Excel tal y como se puede ver en Tabla 7.

ANTENNA LATITUDE	22,39	n
ANTENNA LONGITUDE	91,1	e
SATALLITE POS	144	e
HEADING	334	
	Calculated	
AZIMUTH	106,1	Degrees
ELEVATION	26,1	Degrees
RELATIVE	132,1	Degrees

Tabla 7: Cálculos de AZ y EL para Destino 3

Una vez obtenida la Elevación de la antena de 26.1 grados y el Relativo de 132.1 grados, se puede ver en la carta de bloqueos como, en este caso sí existe obstáculo para dicho apuntamiento tal y como se puede ver en la Figura 60(marcado en amarillo).

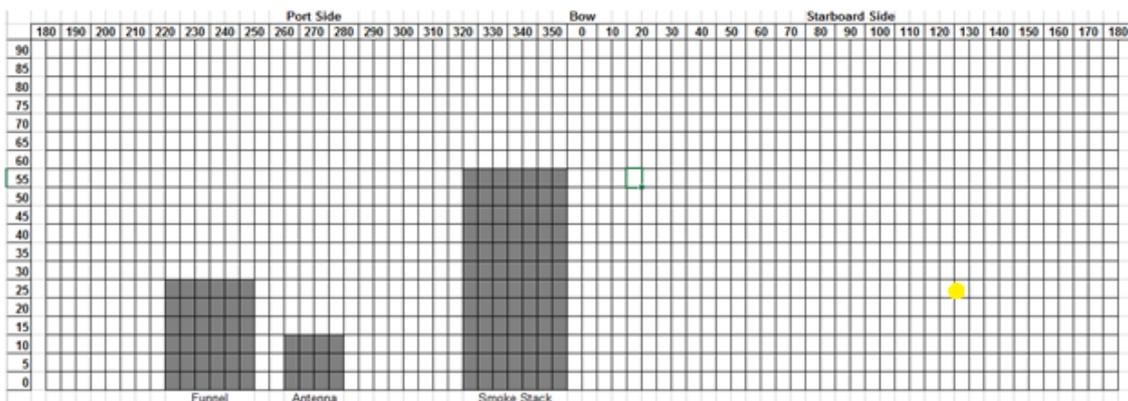


Figura 60: Carta de bloqueo para Destino 3

Con estos ejemplos se pretende demostrar la importancia de conocer en todo momento dónde se encuentra el barco y hacia dónde se dirige, así como tener una antena de *backup* que, pueda proporcionar al sistema redundancia para que le permita dar servicios cuando la otra se encuentre sin conexión.

6. Conclusiones

Una vez en órbita y en funcionamiento, la calidad de los servicios prestados por los satélites es excepcionalmente alta. No hay preocupaciones sobre cables desenterrados, parones energéticos en la red terrestre o fallos de repetidores.

Si se quiere ofrecer, por ejemplo, un servicio europeo, el satélite tiene una gran ventaja. Los sistemas satelitales son una excelente opción para las comunicaciones entre puntos muy separados en la tierra. Si el cliente es casi su vecino, un enlace terrestre probablemente se adaptará mejor en el presupuesto que uno por satélite, pero si regularmente intercambia información masiva sobre una línea arrendada entre dos países, esta solución podría ser muy costosa, ineficaz y menos fiable que un enlace por satélite.

El sistema VSAT puede ser incluso la mejor alternativa para acceder a entornos en los que las infraestructuras terrestres están aún en desarrollo, especialmente cuando el terreno es problemático y los volúmenes de tráfico proyectados pueden no ser compatibles con una red terrestre. Además, no requiere inversión del usuario en infraestructura terrestre, excepto en los puntos de terminación.

La transmisión por satélite es una forma de radiodifusión de frecuencia muy eficiente y ecológica. Con un rango de frecuencias muy amplio, son capaces de cubrir un área tan grande como Europa. El uso del espectro de transmisión satelital es tan eficiente porque se puede usar el mismo rango de frecuencias desde un satélite ubicado a tres grados de distancia de otro, cubriendo las mismas regiones geográficas.

En cuanto al manejo del sistema VSAT se ha visto que, para realizar cualquier cambio, configuración o simplemente monitorear un sistema, es imprescindible entender todos los conceptos de un sistema de comunicaciones por satélite y comprender el completo funcionamiento de los dispositivos de los que se componen. Esto es tan importante porque cualquier mínimo fallo, podría suponer en una interrupción del servicio del cliente. Además, conocer el funcionamiento de éstos, ayuda a entender y deducir con mayor rapidez si cualquier fallo aparece, evitando al cliente una interrupción larga.

Por otro lado, como se ha visto en el ejemplo mostrado de un sistema VSAT marítimo, la gran flexibilidad que puede ofrecer a, en este caso, un barco, que está constantemente en movimiento, con desplazamientos muy grandes. Con este sistema permite configurar el sistema bajo las necesidades del barco, cubriendo por completo el itinerario de éste, y pudiendo modificarlo siempre y cuando lo necesiten.

Además, introduciendo más antenas, se puede optimizar el sistema, no sólo ampliando el ancho de banda, sino dando la posibilidad de operar en diferentes bandas frecuenciales o simplemente teniendo un sistema auxiliar que evite cortes por, por ejemplo, posibles obstáculos entre una antena y el satélite, pues la otra posiblemente al estar ubicada en otro emplazamiento (sería lo óptimo) sea capaz de transmitir y recibir sin problema ninguno.

En definitiva, un sistema VSAT con cada vez tecnologías más avanzadas, es capaz de brindar de múltiples ventajas a los usuarios, la posibilidad de proporcionar redundancia

al sistema o poder combinar diferentes tecnologías hace que se trate de un sistema muy óptimo, siendo la opción favorita de cada vez más clientes.

7. Bibliografía

- [1] *VSAT Installation & MAintenance Training. Level 1.* The Global VSAT Forum Education & Training Working Group. February 2006
- [2] *VSAT Installation & MAintenance Training. Level 2.* The Global VSAT Forum Education & Training Working Group. February 2006
- [3] *VSAT Installation & MAintenance Training. Level3.* The Global VSAT Forum Education & Training Working Group. February 2006
- [4] Intelsat: <http://www.intelsat.com>
- [5] *Santander Teleport Documentation*
- [6] *Navegación.* <http://www.manualvuelo.com/NAV/NAV72.html>
- [7] Wikipedia. *Cable coaxial*
- [8] Wikipedia. *Conmutador (switch)*
- [9] Wikipedia. *Sistema de alimentación ininterrumpida.*
- [10] <http://www.satixfy.com/beam-hopping-make-possible-part-1>
- [11] *Operating in an EpicNG Environment,* Intelsat.
- [12] <https://www.satbeams.com>
- [13] *Atenuación por lluvia en un sistema de comunicación estación-satélite.* Revista electrónica de estudios telemáticos. Dennys Moncada y J. R. Fermin.
- [14] Sea Tel 9707D VSAT C Band Data Sheet.
- [15] Sea Tel 6012 VSAT Ku-Band Data Sheet
- [16] Cisco 2811 and Cisco 2821 Integrated Services Router FIPS 140-2 Non Proprietary Security Policy Datasheet.
- [17] Cisco ME 3400E Series Ethernet Access Switches Datasheet.