

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UN ENLACE
ASCENDENTE VÍA SATÉLITE EN BANDA C
DE BAJO COSTE**

**(Assessment of a low cost satellite uplink at C
band)**

Para acceder al Título de

***Graduado en
Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación***

Autor: Raúl Cuerno Oruña

Marzo - 2015



E.T.S. DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACION

GRADUADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN

CALIFICACIÓN DEL TRABAJO FIN DE GRADO

Realizado por: Raúl Cuerno Oruña

Director del TFG: José María Zamanillo Sainz de la Maza

Título: “Estudio de viabilidad de un enlace ascendente vía satélite en banda C de bajo coste”

Title: “Assessment of a low cost satellite uplink at C band”

Presentado a examen el día:

para acceder al Título de

GRADUADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN

Composición del Tribunal:

Presidente (Apellidos, Nombre): Fernández Ibáñez, Tomás

Secretario (Apellidos, Nombre): Zamanillo Sainz de la Maza, José María

Vocal (Apellidos, Nombre): Pereda Fernández, José Antonio

Este Tribunal ha resuelto otorgar la calificación de:

Fdo.: El Presidente

Fdo.: El Secretario

Fdo.: El Vocal

Fdo.: El Director del TFG
(sólo si es distinto del Secretario)

Vº Bº del Subdirector

Trabajo Fin de Grado Nº
(a asignar por Secretaría)

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a mi profesor José María Zamanillo el esfuerzo, la actitud y el tiempo que me ha dedicado, para ayudarme a realizar este proyecto. Sin él no habría sido posible. Gracias Zama.

A mi padre, por todo lo que me ha enseñado, por todo lo que me ha transmitido, por todo lo que ha luchado, por sus valores. Sigo tus pasos. “Cuán grande riqueza, aun entre los pobres, el ser hijo de un buen padre”.

A mi madre, por todo. No hay palabras suficientes en este documento para agradecerle todo lo que ha hecho y hace por mí. Gracias Mamá.

A mi hermana, porque es muy importante en mi vida, estoy orgulloso de ella.

A mis abuelos, José Luis y Milagros, por todo el cariño que me han dado desde pequeño.

A mis tíos, Raúl y Susi, porque son muy especiales.

A Alfredo, por su ayuda.

A Tomás Fernández, por estar todos estos años universitarios, siempre disponible ante cualquier problema académico, por su amabilidad y empatía.

A mis compañeros de clase, que han pasado a lo largo de estos años, con los que he compartido alegrías y tristezas. Muchos de ellos se han convertido en más que compañeros.

A todos mis amigos, los de siempre y los que he encontrado por el camino. Este mundo me enseña lo importante que es cuidar de ellos.

Gracias a todo lo bueno que hay en mi vida, porque no me puedo quejar en absoluto.

“Estudio de viabilidad de un enlace ascendente vía
satélite en banda C de bajo coste”

Índice General

Índice General	5
Índice de Figuras.....	7
Índice de Tablas	9
Palabras Clave	10
Capítulo 1	11
1. Introducción	11
2. Motivación	13
3. Objetivos	13
4. Estructura del documento	14
Capítulo 2.....	15
1. Historia de las comunicaciones.....	15
2. Satélites de comunicación	17
Capítulo 3.....	19
1. Descripción general del sistema.....	19
2. Enlaces vía satélite.....	24
3. Redes VSAT	28
4. Clasificación de los satélites	32
Capítulo 4.....	39
1. Descripción general.....	39
2. Sondeo	40
3. ALOHA	42
4. FDM: Multiplexación por división en frecuencia.....	44

5. TDM: Multiplexación por división de Tiempo	44
6. CDMA: Acceso múltiple por división de código.....	45
Capítulo 5	46
1. Componentes utilizados en el diseño del enlace ascendente	49
Módem	49
Amplificador de pequeña señal (o de línea)	49
Filtro de banda L (0.98-1.15GHz)	50
Oscilador Local	51
Multiplicador	52
Mezclador.....	53
Filtro posterior del oscilador (4.9 a 6.2 GHz)	54
Atenuador	55
Amplificador de alta ganancia	56
Filtro de banda C (5.6 a 7 GHz)	57
Alimentador	58
Antena.....	59
Satélite.....	60
2. Análisis de potencia y atenuación	64
3. Simulación.....	69
4. Filtros creados con Genesys	73
Capítulo 6	79
Capítulo 7	82
Bibliografía.....	84
Acrónimos.....	86

Índice de Figuras

Ilustración 1: Satélite de comunicaciones y GPS.	12
Ilustración 2: Cinturón de Clarke.	15
Ilustración 3: Telstar 1, primer satélite activo de comunicaciones.	17
Ilustración 4: Imagen real del telepuerto de Santander.	18
Ilustración 5: Interior del telepuerto de Santander, zona de control y telemedida. ...	20
Ilustración 6: Un multiplexor, divide la señal (divisor) o la une (combinador).	21
Ilustración 7: Grandes paneles solares que generan energía al satélite.	22
Ilustración 8: Enlace ascendente – descendente	25
Ilustración 9: Bandas de frecuencia que utilizan los satélites.	26
Ilustración 10: Red VSAT.	28
Ilustración 11: Escalas de red.	39
Ilustración 12: Transmisión de tramas en ALOHA puro.	43
Ilustración 13: Rendimiento del ALOHA puro y ranurado	43
Ilustración 14: Esquema general de un enlace de radiofrecuencia.	47
Ilustración 15: Diseño del enlace ascendente con Keysight.	48
Ilustración 16: Módem satelital Idirect Evolution X3	49
Ilustración 17: Amplificador de bajo ruido del enlace.	49
Ilustración 18: Características de amplificador de bajo ruido.	50
Ilustración 19: Filtro de banda L del enlace.	51
Ilustración 20: Características del filtro de banda L.	51
Ilustración 21: Oscilador del enlace.	52
Ilustración 22: Características del oscilador	52
Ilustración 23: Multiplicador del enlace.	53
Ilustración 24: Características del multiplicador.	53
Ilustración 25: Mezclador del enlace.	54
Ilustración 26: Características del mezclador.	54
Ilustración 27: Filtro paso banda (4.9-6.2 GHz) del enlace.	55

Ilustración 28: Atenuador del enlace de 3dB.	56
Ilustración 29: Amplificador de alta ganancia.	56
Ilustración 30: Características del amplificador de alta ganancia.	57
Ilustración 31: Filtro de banda C (5.6 a 7 GHz) del enlace.....	57
Ilustración 32: Características del filtro.	57
Ilustración 33: Planos del alimentador de la antena.....	58
Ilustración 34: Fotografía del alimentador de la antena.....	59
Ilustración 35: Satélite INTELSAT 10-02 antes de su lanzamiento..	61
Ilustración 36: Huella que emite el satélite IS 10-02 hacia la Tierra para banda C. ...	61
Ilustración 37: Imagen de la zona europea activa para banda C del IS 10-02.	62
Ilustración 38: Posición de la antena (acimut y elevación) y dirección de la antena.	63
Ilustración 39: Ventana de potencia del enlace.	65
Ilustración 40: Marca, modelo y tipo de cable que usa el enlace.	67
Ilustración 41: Tabla de pérdidas del cable en función de la frecuencia.	67
Ilustración 42: Oscilador local de 5.2 GHz.....	69
Ilustración 43: Enlace ascendente con la fuente digital.	70
Ilustración 44: Señal a la entrada del enlace.	71
Ilustración 45: Señal a la salida del enlace.	72
Ilustración 46: Simulador Genesys de la compañía Keysight.....	73
Ilustración 47: IF Filter creado con Genesys.....	75
Ilustración 48: IFFilter comercial de Mini Cirtuits.	75
Ilustración 49: LOFilter diseñado con Genesys.	76
Ilustración 50: RFFilter diseñado con Genesys.....	77
Ilustración 51: RFFilter comercial de la marca Mini Circuits.....	77
Ilustración 52: Layout IF Filter diseñado con Genesys,	78

Índice de Tablas

Tabla 1: Frecuencias para banda C.....	27
Tabla 2: Características de banda C.	38
Tabla 3: Tipos de modulación que se usan con los satélites.	40
Tabla 4: Características de la antena.....	60
Tabla 5: Tabla de características del IS 10-02.	64
Tabla 6: Pérdidas por conexiones entre componentes.	66
Tabla 7: Pérdidas del cable CNT-600 con diferentes frecuencias y distancias.....	68
Tabla 8: Características del substrato Rogers RTD5880	74
Tabla 9: Presupuesto.....	80

Palabras Clave

Low-cost, Uplink, Banda C, Assessment, VSAT, Satélite, Comunicación, Telepuerto, Estación terrena, Filtro, Enlace Ascendente.

Capítulo 1

Introducción, Motivación y Objetivos

1. Introducción

En la actualidad las comunicaciones inalámbricas se han hecho indispensables para el ser humano, esto se debe a que los fenómenos que ocurren en otra parte del mundo pueden repercutirnos directamente, por ello, la importancia de tener un mundo comunicado cada vez es mayor.

El papel principal que realizan las comunicaciones vía satélite es la de enlazar dos puntos que se encuentran a gran distancia, pero conforme ha avanzado la tecnología las comunicaciones satelitales se han comenzado a utilizar de forma regional e inclusive doméstica, lo que hace a este tipo de comunicaciones una de las más demandadas para el futuro.

El hombre ha lanzado al espacio miles de satélites de distintos tipos. En la actualidad se cuentan más de cinco mil satélites en órbita, la gran mayoría utilizados para servicios comerciales. Existen distintos tipos de satélites, los más sencillos son aquellos que se utilizan únicamente como reflectores, los más comunes son los de estabilización por spin y por tres ejes, los que se encuentran girando alrededor de la Tierra en patrones elípticos y circulares de baja altitud. Los satélites que se encuentran en la órbita geoestacionaria siguen un patrón circular de órbita y tienen una velocidad angular igual a la de la Tierra, esto los hace capaces de cubrir un punto fijo, igual a un tercio del planeta.

El sistema de comunicaciones satelitales está formado por tres etapas: la estación terrena transmisora, el satélite y la estación terrena receptora, a este conjunto de etapas se le conoce como modelo de enlace, el cual tiene la tarea principal de comunicar a las estaciones terrenas ocupando al satélite como repetidor. La primera etapa está constituida por la estación terrena transmisora y la podemos entender como un modulador de FI, un elevador de FI a RF y un amplificador de potencia, etapa que será la responsable de transmitir la señal hacia el satélite, esto se conoce como enlace de subida. La segunda etapa es cuando la señal llega al satélite y cruza por el transpondedor, el cual se puede definir como un repetidor que desplaza la frecuencia y la amplifica para así poderla transmitir de regreso a la tierra, así se dice que la señal se encuentra en el enlace de bajada. Por último, la tercera etapa es la de la estación terrena receptora, que se define como un amplificador de baja potencia, un

convertidor descendente de RF a IF y un demodulador de IF. En este punto se recibe la señal y se procesa de tal manera que sea útil comercialmente.

Para hacer el correcto diseño de un sistema satelital se requiere de un análisis, el cual ayudará a determinar el gasto de potencia que recibe una señal a través de las estaciones terrenas y el satélite, análisis que se conoce como presupuesto de enlace y está constituido por distintos parámetros, los cuales generarán ganancia o pérdida de la señal según sea el caso. Los parámetros más importantes son: las ganancias de las antenas transmisoras y receptoras, la temperatura de ruido generada por los sistemas y las pérdidas por trayectoria en el espacio libre, las atmosféricas y las generadas por efectos del clima. Este último punto es uno de los más importantes, ya que cada región del mundo tiene distintos climas, esto hace que en algunos lugares las señales sean más difíciles de transmitir. El software servirá para poder manipular y corregir las transmisiones satelitales, para así tener la misma intensidad de potencia en los receptores en todo tipo de región y clima.



Ilustración 1: Satélite de comunicaciones y GPS.

2. Motivación

La idea de este presente proyecto surge como motivación por haber formado parte de un periodo de prácticas en el telepuerto de Santander y haber estado manejando dispositivos de radiofrecuencia como amplificadores, HUBs, LNAs, filtros, combinadores y guías de onda, entre otros. Tareas como instalar equipos, apuntar antenas, calcular frecuencias y potencias, contactar con proveedores de satélite y algunas más, han formado parte de mi trabajo durante meses. Todo ello ha sido una grata experiencia que además me ha aportado mucho conocimiento en el campo de las comunicaciones vía satélite. Todos estos componentes, se introducirán, y se explicará su funcionamiento en los siguientes capítulos.

3. Objetivos

El objetivo de este proyecto, es diseñar un enlace ascendente de comunicación vía satélite. En este proyecto, se diseñará y simulará un enlace ascendente de banda ancha, seleccionando componentes comerciales disponibles en el mercado, dejando como futura línea de trabajo la construcción del prototipo diseñado, así como la validación experimental del mismo incluyendo por supuesto las pruebas de campo.

Se ha incluido el precio de los componentes a título estimativo, calculando los precios de los mismos puestos en Santander. Estos precios pueden variar dependiendo del proveedor consultado, así como de la nacionalidad del mismo. Además, de todos es conocido, que los proveedores de componentes de radiofrecuencia varían sus catálogos en breves periodos de tiempo, así como sus modelos, y los precios de los mismos, ajustándose a la demanda del mercado. Por otro lado, debe resaltarse que se ha contactado con distintos fabricantes y comerciales, con la idea de estimar lo máximo posible el coste real del enlace y utilizar los componentes de coste más bajo de los existentes que hay en el mercado.

En este proyecto queda patente que las comunicaciones vía satélite están al alcance de muchas personas y empresas que en su entorno geográfico no disponen de infraestructura terrestre de banda ancha accesible, para aplicaciones como internet, teléfono y/o televisión digital, hoy en día tan presentes en nuestra vida cotidiana, en los países desarrollados y no tan presente como debiera en los países en vías desarrollo y los del tercer mundo, que es donde menos redes terrestres desplegadas hay, debido al alto coste de su construcción y donde más pueden servir las comunicaciones vía satélite.

4. Estructura del documento

En éste capítulo 1, y a modo de introducción, se ha mostrado una visión general sobre la temática de los satélites artificiales. Además, se han presentado, junto con los objetivos y la motivación que ha llevado a formar este trabajo.

En el capítulo 2, se tratará la evolución de las comunicaciones vía satélite, desde los comienzos allá por la década de los años 50' del pasado siglo XX, hasta nuestros días. Además de detallará el funcionamiento de los satélites artificiales de comunicaciones.

En el capítulo 3, se mostrarán arquitecturas típicas utilizadas en los enlaces de comunicaciones por satélite, haciendo hincapié en los componentes que lo forman, además de las redes utilizadas hoy en día, así como la clasificación actual de los satélites, según bandas, órbitas y las compañías vía satélite que ofrecen servicios en distintas zonas del mundo.

En el capítulo 4, se explicará la forma en que se organizan los datos para ser transmitidos al satélite, así como los protocolos de comunicación del enlace tierra-satélite, desde el módem en la estación terrena hasta el satélite. En la actualidad, la mayor parte de los satélites se comunican de manera digital, aunque hasta hace pocos años todavía lo hacían de forma analógica.

En el capítulo 5, se estudia en detalle cada componente que forma el enlace ascendente, así como las prestaciones de cada uno de ellos. En el proceso de diseño y simulación del enlace ascendente se ha contado con la ayuda del simulador Genesys de la compañía Keysight Technologies¹, para ver el correcto funcionamiento y la potencia total que transmite el conjunto. También se hablará del satélite a utilizar en caso de llevar a cabo, y una pequeña explicación sobre su apuntamiento. Por último, se diseñarán los filtros del enlace, para mejorar las características propias de éste en su conjunto y reducir su coste.

En el capítulo 6, se detallará un presupuesto del enlace para estimar en la medida de lo posible el coste real que llevaría hacer este proyecto.

Para finalizar, en el capítulo 7, se mostrarán las conclusiones y futuras líneas de trabajo.

¹ La empresa Keysight Technologies, anteriormente se denominaba Agilent Technologies y en el pasado también ha sido conocida como Hewlett Packard.

Capítulo 2

Historia de las comunicaciones

1. Historia de las comunicaciones

La idea de un satélite geosíncrono para comunicaciones se publicó por primera vez en 1928 por Herman Potočnik. La idea de poner objetos en el espacio en órbitas alrededor de la tierra ocurrió después de finalizar la Segunda Guerra Mundial. En 1945 un oficial de radar de la RAF (Real Fuerza Aérea) y escritor de ciencia ficción, llamado Arthur C. Clarke, escribió un artículo en la revista *Wireless World* que hablaba de colocar tres repetidores separados 120° entre sí, a una distancia de 36000 Km de la Tierra. En consecuencia, algunas veces se refiere a esta órbita como órbita de Clarke. De igual manera, el cinturón de Clarke es la zona del espacio, aproximadamente a 35.786 km sobre el nivel del mar, en el plano del ecuador donde se puede conseguir órbitas geoestacionarias.

En la siguiente figura se muestra la idea de Arthur C. Clarke con tres satélites geoestacionarios capaces de dar cobertura a todo el planeta Tierra y mantenerlo comunicado a través de las radio comunicaciones. Pero en esa época no existían los medios necesarios para colocar un satélite ni siquiera en la órbita más baja.

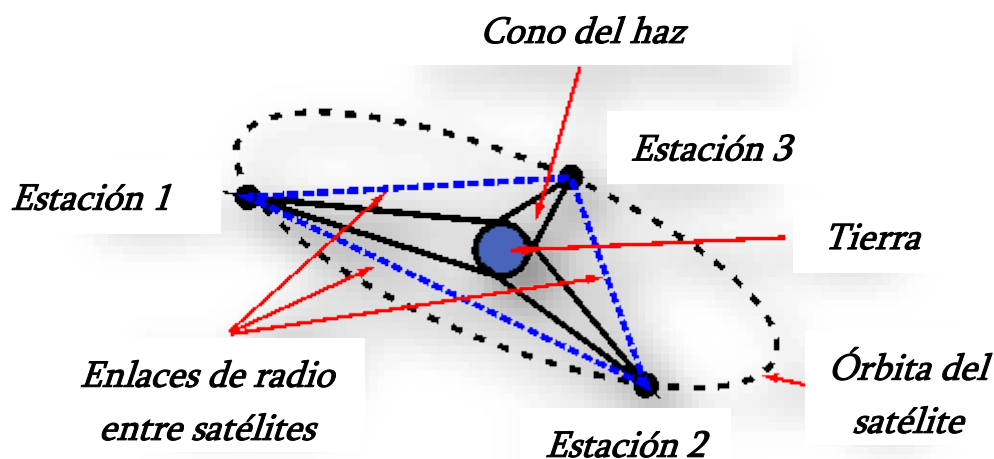


Ilustración 2: Cinturón de Clarke.

La idea de un repetidor en el espacio fue creciendo en los deseos de la humanidad y es por esto que el ejército estadounidense comenzó a utilizar la Luna como reflector, para así realizar la primera comunicación satelital en la historia de la humanidad, entre los

años de 1951 y 1955. El primer satélite espacial artificial en ponerse en órbita fue el Sputnik, el cual llevaba consigo un radio faro que emitía señales en el orden de los 20 y 40 MHz. En el año de 1958 el presidente norteamericano Eisenhower grabó un mensaje de navidad el cual fue transmitido desde el espacio gracias al proyecto SCORE, quien lanzó el misil ICBM Atlas, siendo así la primera vez en que se retransmitiría la voz humana desde el espacio. Después en el año de 1960 se lanzaría el satélite Courier 1B, un satélite militar capaz de transmitir hasta 68,000 palabras por minuto, este satélite implementó un sistema de alimentación el cual se sigue usando hasta ahora, éste es el primero en utilizar celdas solares y baterías de níquel-cadmio.

El primer satélite activo colocado en órbita fue el Telstar 1, en el año de 1962, también fue el primer satélite comercial a cargo de American Telephone and Telegraph. Un año después le seguiría el Telstar 2. Las estaciones terrenas estaban colocadas en Estados Unidos, Inglaterra y Francia. Un hecho histórico importante fue la primera transmisión a través del Atlántico, a este evento se le conoció como el nacimiento de la aldea mundial. Al Telstar 1 le seguirían satélites como el Relay 1, un satélite colocado en órbita baja en 1962 y luego el Relay 2 en 1964. Estos satélites fueron muy importantes, ya que ayudaron a comprender las limitaciones que estos vehículos podían tener. En 1963 el Syncom 2 se colocó en órbita geosíncrona alrededor del Atlántico y el 13 de septiembre del mismo año junto con el Relay 1 hicieron el enlace de tres países: Brasil, Nigeria y Estados Unidos. Para esta época los satélites empezaban a dominar la vista exterior de la Tierra, en 1964 el mundo se sobrecogió al poder ver en vivo la ceremonia de apertura de los juegos olímpicos en Japón, gracias al satélite Syncom 3. En 1964 el presidente Kennedy invitó a los distintos países a conformar una asociación en pro de la paz, esto fue de gran interés para los países que formaron el consorcio llamado INTELSAT², y así en 1965 pusieron en órbita su primer satélite, el INTELSAT 1, mejor conocido como Early Bird, el cual contaba con 240 circuitos telefónicos y estuvo en servicio durante cuatro años. En la actualidad INTELSAT cuenta con unos 39 satélites en órbita.

La red nacional más extensa de satélites fue desarrollada por la URSS en el año 1965 ya que pusieron en órbitas elípticas a sus satélites Molniya (relámpago). Este tipo de órbita duraba 12 horas y con esto podían mantener cubierto el territorio soviético en los horarios más convenientes. Las series Molniya 1 y 2 comprenden cuatro pares de cada tipo de satélite, colocados a intervalos de 90° alrededor de la órbita, le seguiría la serie Molniya 3. Los Molniya tuvieron un gran impacto social y político, y pusieron en contacto a Moscú con otros países del bloque socialista, esto fue gracias a la creación de la organización Intersputnik. La red soviética siguió creciendo con la llegada del Rafuga, cuya función era la misma que la de los Molniya, pero de órbita

² INTELSAT: Organización Internacional de satélites de comunicaciones

geoestacionaria. Para el año de 1980 los rusos crearon la primera estación terrena móvil llamada Mars que, con los satélites Gorizont lanzados en 1978, transmitieron a más de 2500 millones de personas los juegos olímpicos de Moscú en 1980.



Ilustración 3: Telstar 1, primer satélite activo de comunicaciones, lanzado el 10 de Julio de 1962.

2. Satélites de comunicación

Descripción general de los satélites

Actualmente las comunicaciones por satélite son de extrema importancia y se les ha dado una infinidad de conceptos y definiciones, los cuales han permitido hacer un análisis exhaustivo y demostrar la razón por la cual fueron creados; pero sobre todo el beneficio que proporcionan si existe una correcta funcionalidad.

El satélite de comunicaciones es un dispositivo que actúa principalmente como reflector de las emisiones terrestres.

La velocidad con que un satélite gira alrededor de la tierra está dada por la distancia entre ambos, ya que el mismo se ubicará en aquellos puntos en los que la fuerza de gravedad se equilibre con la fuerza centrífuga; cuanto mayor es esa distancia, menor es la velocidad que necesita el mismo para mantenerse en órbita. Es importante señalar

que todo aparato debe quedar por encima de los 16900 kilómetros de altitud respecto a la superficie de la Tierra, para que no sean derrumbados por la fuerza de gravedad terrestre.

Los satélites son controlados desde estaciones terrenas que reciben su información y la procesan, pero que también monitorean el comportamiento y órbita de los aparatos.

Por lo general, los centros terrestres no son grandes instalaciones, sino más bien pequeños edificios con poco personal que sin embargo controlan funciones geoespaciales especializadas.

Telepuertos

Los telepuertos o también llamados estaciones terrenas, son los que se encargan de recibir la señal enviada por el satélite. Generalmente se utilizan dos telepuertos por cada satélite. Uno de ellos es el emisor que representa el origen de la señal enviada al satélite, y el otro es el receptor de dicha señal, o receptores, porque es probable que sea más de uno sin embargo cada una de los telepuertos toma el nombre de “transceptores”.

Las telepuertos deberán obtener aprobación para tener acceso al segmento espacial de los sistemas de comunicación por satélite, además es responsabilidad de cada usuario de los telepuertos asegurar la compatibilidad de los mismos con las demás estaciones de la red a la que pertenecen y así cumplir las normas establecidas en cuanto a la interferencia entre los telepuertos y otros sistemas de satélites.



Ilustración 4: Imagen real del telepuerto de Santander.³

³ <http://www.santanderteleport.com/location>

Capítulo 3

Sistemas de transmisión vía satélite

1. Descripción general del sistema

Un sistema de comunicaciones por satélite está formado por estaciones terrenas, para la transmisión y recepción de las señales, y satélites situados en cualquier órbita a una distancia de la superficie de la Tierra, que se encargan de recoger, amplificar y retransmitir las señales enviadas desde las estaciones terrenas. Además se necesitan estaciones terrenas que permitan el seguimiento del satélite, así como el control y la supervisión, tanto del satélite como de los sistemas de comunicaciones, a través de telemando y teledirigida que poseen.

En el caso de radiodifusión directa de televisión vía satélite, el servicio que se da es de tipo unidireccional, por lo que normalmente se requiere una estación transmisora única, que emite los programas hacia el satélite, y los numerosos telepuertos de recepción, solamente captan las señales provenientes del satélite. Otros tipos de servicios son bidireccionales y los telepuertos son tanto de transmisión como de recepción.

Un requisito importante del sistema es el de conseguir que los telepuertos sean lo más económicos posibles para hacerlos accesibles a un gran número de usuarios, lo que se consigue utilizando antenas de pequeño diámetro y transmisores de baja potencia.

Para poder reducir la dimensión de las antenas receptoras en tierra se requiere la utilización de tubos amplificadores de gran potencia a bordo del satélite, lo que a su vez exige la utilización de grandes paneles solares que generen la potencia primaria necesaria para alimentar a estos tubos.

En principio la cadena de recepción no es estrictamente necesaria en la estación transmisora de los servicios de radiodifusión que implican una comunicación de tipo unidireccional, sin embargo sería conveniente supervisar las portadoras transmitidas a través del satélite por lo que se debe considerar la cadena de recepción como parte integrante de la estación transmisora.

El control y supervisión del sistema de comunicaciones debe realizarse en otra estación separada, en la que se ubique el centro de control en el que se procesa la información, que permite tomar las decisiones necesarias de estructuración del sistema y además permite tomar las medidas correctoras que pudieran necesitarse.



Ilustración 5: Interior del telepuerto de Santander, zona de control y telemedida.⁴

El sistema de comunicaciones completo consta de los siguientes elementos:

La antena de recepción que tiene una ganancia relacionada con las dimensiones deseadas de la estación transmisora de tierra y, fundamentalmente, del área de cobertura o de la zona de servicio.

El receptor de bajo ruido cobra importancia debido a la gran distancia a la que se encuentra el satélite. Esto provoca que la señal enviada por la estación terrena sea recibida muy débilmente y deba utilizarse un receptor cuyo ruido interno sea muy inferior a la señal recibida, para que no se degrade la calidad.

El multiplexor de entrada tiene como función extraer de la banda asignada, amplificada y trasladada en frecuencia por el receptor, cada uno de los canales que tenga asignados el servicio. Cada una de las salidas del multiplexor se conecta a un canal formado por una etapa amplificadora y el tubo de potencia.

El amplificador de canal lleva incorporado un atenuador variable en etapas, y es telecomandado desde tierra, que a su vez permite ajustar el punto de trabajo del repetidor al valor deseado. El amplificador de canal tiene como misión proporcionar parte de la ganancia de la cadena repetidora y obtener el nivel de señal adecuado para el ataque al amplificador de potencia en su punto óptimo de trabajo.

Para asegurar una potencia de salida constante, esta unidad puede estar equipada con un control automático de nivel. La parte de la cadena repetidora encargada de suministrar la potencia a transmitir consta de un amplificador de ondas progresivas TWT de elevada potencia así como el equipo auxiliar encargado de suministrar la alimentación eléctrica a los electrodos del mismo.

El multiplexor de salida tiene como misión reunir en una misma salida, las señales procedentes de cada uno de los canales y encaminarlas todas a la antena transmisora.

⁴ <http://www.santanderteleport.com/infraestructure>



Ilustración 6: Un multiplexor, puede servir para dividir la señal (divisor) o para unirla (combinador).

En el diseño de esta unidad deben tenerse en cuenta dos limitaciones: por una parte la alta potencia que debe soportar al recibir la salida de los amplificadores de potencia de los canales, y por otra parte las bajas pérdidas que debe presentar debido a que de lo contrario la potencia entregada por los tubos de emisión se disiparía incrementando mucho la temperatura.

La antena de transmisión debe estar diseñada para cubrir la zona de cobertura que se desee.

Dado que no es posible acceder al satélite una vez puesto en órbita, es necesario asegurar su pleno funcionamiento ante la posibilidad de fallos en los equipos, lo que obliga a que las partes más críticas tengan un determinado nivel de redundancia, en función del grado de fiabilidad que se quiera alcanzar.

La fiabilidad del satélite vendrá determinada por la de cada uno de los subsistemas que lo integran y por la redundancia de los equipos. Existe un compromiso entre redundancia, peso y complejidad del satélite, por lo que la redundancia va dirigida a aquellos equipos o subsistemas que tienen un fuerte impacto en el correcto funcionamiento del satélite o aquellos cuya fiabilidad es menor.

Por otra parte, el diseño del satélite para un sistema de comunicaciones es un proceso complicado debido a que involucra la interacción de varias disciplinas. El primer problema es el propio satélite, ya que debe ser tan pequeño y ligero como sea posible, teniendo en cuenta que un kilo de peso en órbita geoestacionaria es muy caro; y, el satélite debe utilizar el mínimo de energía posible.

Generar la electricidad necesaria para el satélite, requiere tanto peso como área de paneles solares, ya que la capacidad de comunicaciones es lo que proporciona las ganancias del satélite. Éste debe ser capaz de llevar tantos canales de comunicaciones como sea posible. Los satélites y sus lanzamientos son caros, el satélite debe ser capaz de funcionar sin mantenimiento por muchos años en un entorno hostil de alto vacío, a través de ciclos térmicos muy severos y bajo el constante bombardeo de la radiación de partículas subatómicas y micro meteoritos. De igual forma, puesto que la tecnología de comunicaciones cambia rápidamente, el diseño de los satélites debe hacerse tan flexible como sea posible.



Ilustración 7: Grandes paneles solares que generan energía al satélite.

Otra consideración es la distancia entre el satélite y la Tierra, una distancia de aproximadamente 36.000 kilómetros, que corresponde a aproximadamente el 90% de un recorrido del Ecuador de la Tierra, y una señal debe atravesar esta distancia una vez para alcanzar el satélite geoestacionario y otra vez para volver a tierra. Las pérdidas son enormes, de aproximadamente 200 dB en cada trayecto y además en las frecuencias por encima de 10 GHz se le añaden las pérdidas causadas por la lluvia.

En el enlace ascendente, se pueden utilizar transmisores con mucha potencia y antenas grandes, pero tanto uno como otro son muy caros e inconvenientes; mientras que en el enlace descendente el tamaño de la antena y la potencia del transmisor están limitados, uno por la electricidad que pueda generar el satélite y el otro por la zona de servicio que deba cubrirse; y, las señales recibidas en tierra son extremadamente débiles, más débiles que las encontradas en cualquier otro tipo de sistema de comunicación. Por este motivo, debe prestarse atención a la ganancia de la antena, eficiencia del transmisor, la figura de ruido del receptor y demás aspectos de

modulación y codificación de la señal, sin embargo, las limitaciones técnicas y económicas del hardware requieren un gran esfuerzo en todos los aspectos de software de comunicaciones por satélite. Por ello se dedica mucho trabajo al desarrollo de esquemas de modulación y codificación para detectar y corregir los errores de transmisión introducidos por el ruido. Mejorar el software de modulación y codificación de la señal, conlleva directamente el ahorro físico de fabricar componentes más grandes y/o potentes.

El acceso múltiple es también un problema ya que un satélite puede tener muchos usuarios dispersos en un país o incluso en un hemisferio completo. Para maximizar el retorno económico, el satélite debe permitir el servicio a un gran número y cambiante de usuarios de manera simultánea y eficiente con el mínimo control externo posible.

Los canales del satélite ofrecen una excelente alternativa a las fibras ópticas y a los cables de transmisión para grandes distancias y en particular, en rutas dispersas en las que el tráfico de comunicaciones es pequeño.

Los satélites tienen la característica de proporcionar un medio de acceso múltiple que es inapreciable para comunicaciones de acceso aleatorio de un gran número de usuarios, sin embargo los satélites poseen la limitación de la potencia disponible para la transmisión, ya que esta potencia se obtiene de la energía solar. Además, se debe tener en cuenta que la configuración de los vehículos de lanzamiento limita el tamaño de las antenas de transmisión y recepción del satélite.

En conclusión, los satélites se utilizan para comunicaciones a gran distancia entre dos antenas terrestres, donde el satélite actúa normalmente como un repetidor no regenerativo, es decir, el satélite simplemente recibe una señal desde una estación terrena transmisora, la amplifica y la retransmite hacia otra estación terrena receptora.

Aplicaciones

La CAMAR⁵ o WARC asigna frecuencias para las radiocomunicaciones según los distintos servicios. Se encarga de llevar a cabo los principales servicios de radiocomunicaciones espaciales bajo los auspicios de la ITU⁶, formada por las distintas administraciones del mundo. Los servicios se detallan a continuación:

- ***Servicio Fijo por Satélite*** para comunicaciones a través de uno o más satélites entre estaciones terrenas localizadas en puntos fijos.
- ***Servicio de Radiodifusión vía Satélite*** que permite la recepción de sonido e imagen a través de satélite por receptores individuales o colectivos.

⁵ Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones

⁶ International Telecommunication Union

- ***Servicio Móvil por Satélite*** proporciona comunicaciones entre estaciones terrenas móviles a través del satélite. Si las estaciones terrenas están situadas a bordo de barcos se tiene el Servicio Móvil Marítimo, si es a bordo de aviones el Servicio Móvil Aeronáutico y si es a bordo de vehículos en tierra el Servicio Móvil Terrestre. Este servicio se usa también para detectar y localizar señales de socorro y emergencia.
- ***Servicio de Exploración de la Tierra*** desde Satélite para meteorología, geodesia, exploración de recursos, etc.
- ***Servicio de Exploración del Espacio*** en el que el satélite u otras plataformas se utilizan para investigación técnica o científica.
- ***Servicio de Operación Espacial*** para la operación del satélite, que puede ser teledirigida, teledirigida y seguimiento.
- ***Servicio de Radio determinación por Satélite*** para poder determinar la posición y velocidad de un objeto usando uno o varios satélites.
- ***Servicio de Radioaficionados por Satélite*** que permite el acceso al satélite para los radioaficionados.
- ***Servicio entre Satélites*** para enlaces únicamente entre satélites.

2. Enlaces vía satélite

El satélite provee un enlace de radio entre puntos separados sobre la superficie de la tierra, gracias a un repetidor ubicado que está en órbita, para realizar intercambio de información entre dichos puntos.

Las características que pueden determinar un enlace realizado por satélite son:

- Clase de información a administrar: voz, imagen, datos.
- Posición de los puntos a enlazar: fijos, móviles.
- Tipo de enlaces: punto a punto, punto a multipunto, multipunto a multipunto.

Se necesita una línea de vista para cada uno de los puntos ya que se producen caminos de enlace a puntos donde el acceso es muy difícil. El diseño de los caminos separados, entre estos puntos sobre la tierra y el satélite, y su combinación, son los elementos principales del análisis de los sistemas de transmisión.

Aparece una situación especial cuando los enlaces vía satélite son usados para radioenlace entre satélites, ya que este tipo de enlaces está siendo explotado comercialmente, con servicios globales, y se vislumbra su incremento en el futuro cercano. Existen sistemas globales con intercambio vía satélite, como el GPS⁷ que proporciona un servicio técnico a nivel mundial; el servicio INMARSAT⁸ que ofrece

⁷ Global Positioning System

⁸ International Maritime Satellite Organization

cobertura global de comunicaciones móviles comerciales independientes punto a punto.

Los caminos de radiotransmisión pasan a través de la atmósfera y están influenciados por una serie de efectos de propagación como reflexión, “difracción”, “atenuación” y múltiples fluctuaciones. Panorámicamente el enlace vía satélite puede ser representado de la siguiente manera:

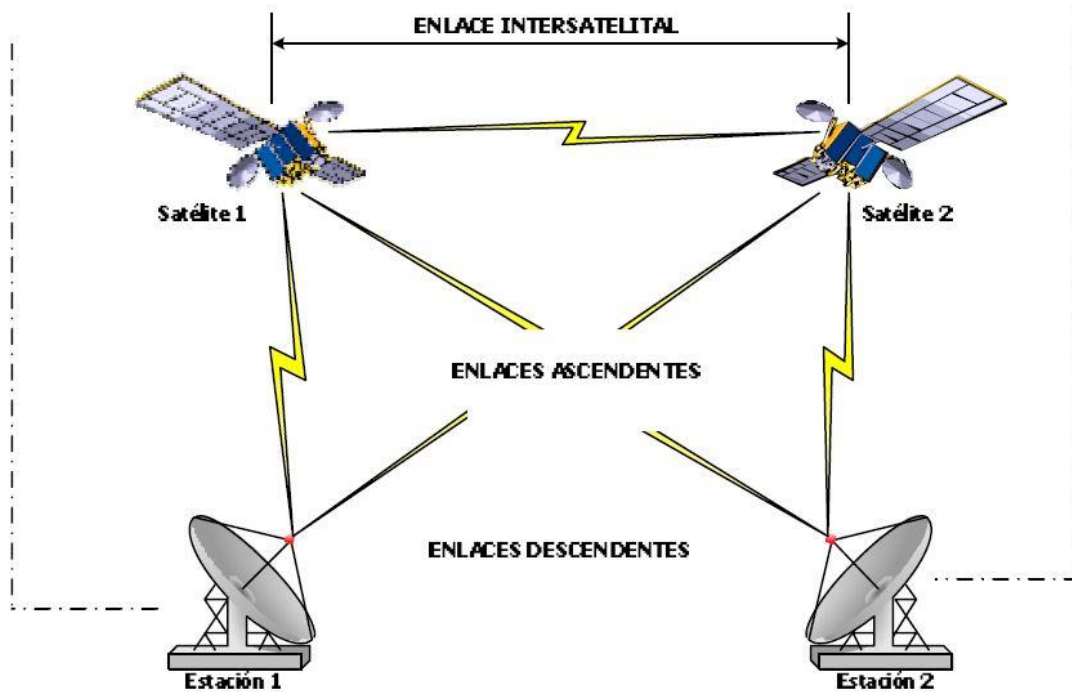


Ilustración 8: Enlace ascendente – descendente

El tiempo de vida del satélite se ve afectado por muchos factores, como autonomía en abastecimiento de energía, problemas mecánicos de la órbita, problemas de fallos en sus sistemas electrónicos de comunicaciones, control y telemetría.

El diseño de los enlaces vía satélite utiliza las mismas ecuaciones básicas de los sistemas de transmisión terrestres; sin embargo, se debe tener en cuenta que hay una gran diferencia en la magnitud de muchos de los resultados numéricos ya que las pérdidas del enrutamiento son considerablemente mayores, y las señales recibidas son mucho menores; a pesar de eso, los enlaces vía satélite pueden ser diseñados con márgenes relativamente pequeños, como las condiciones de “propagación” inherentemente estables.

Bandas de frecuencia

Cuando se trata de satélites de comunicaciones, la porción del espectro radioeléctrico que utilizarán lo determina prácticamente todo: la capacidad del sistema, la potencia y el precio. La mayoría de las personas de este medio se refieren a los segmentos del espectro de radio por una clasificación de bandas basadas en letras. A partir de la segunda guerra mundial, los científicos nombraron partes del espectro con letras, tales como: L, C, Ku, Ka, por lo tanto estas bandas poseen una letra que las identifica de acuerdo a las características que poseen cada una, de esta manera se tiene la Banda L, Banda C, Banda Ku o Banda Ka.

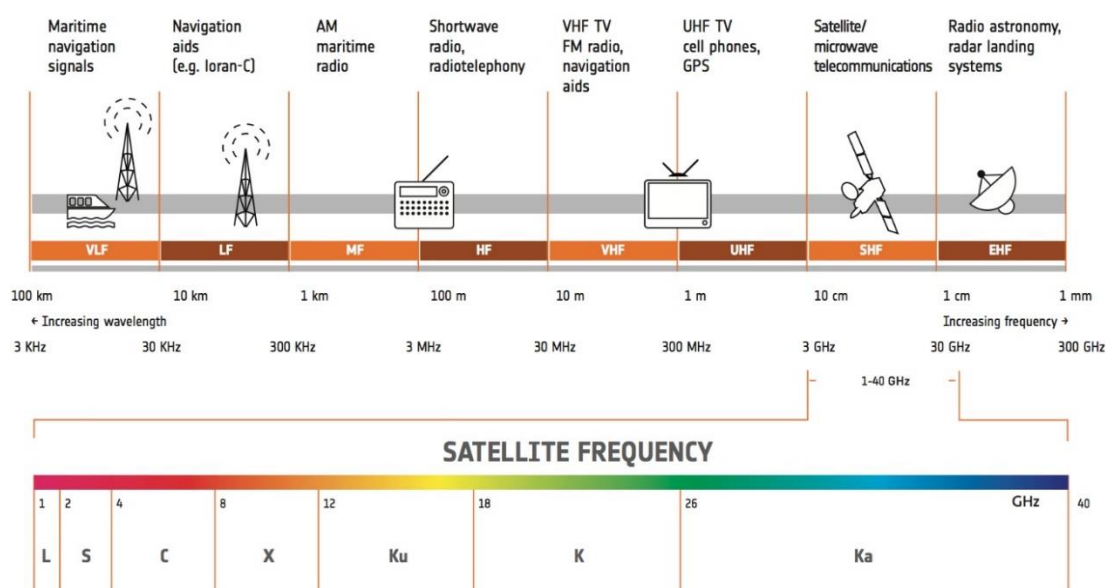


Ilustración 9: Bandas de frecuencia que utilizan los satélites.

La banda C fue la primera en destinarse al tráfico comercial por satélite; en ella se asignan dos intervalos de frecuencia, el más bajo para tráfico de enlaces descendentes y el superior para tráfico de enlaces ascendentes. Estas bandas ya están sobre pobladas porque también las usan las portadoras comunes para enlaces terrestres de microondas.

La Banda Ku es la banda más utilizada actualmente por las portadoras de telecomunicaciones comerciales. Esta banda proporciona más potencia que la C y, en consecuencia, el plato de la antena receptora puede ser más pequeño, del orden de 1.22 metros de diámetro, aunque la cobertura es mayor.

A la banda Ku, no le afectan las interferencias terrestres pero sí las inclemencias meteorológicas, por ejemplo la lluvia, que produce distorsiones y ruido en la transmisión; las tormentas fuertes casi nunca abarcan áreas extensas, de modo que con usar varias estaciones terrenas ampliamente separadas en lugar de una sola, se puede resolver el problema, a expensas de gastar más en antenas, cables y circuitos electrónicos para conmutar con rapidez entre estaciones.

Las longitudes de onda diferentes poseen propiedades diferentes. Las longitudes de onda largas pueden recorrer grandes distancias y atravesar obstáculos. Las grandes longitudes de onda pueden rodear edificios o atravesar montañas, pero cuanto mayor sea la frecuencia más fácilmente pueden detenerse las ondas.

Cuando las frecuencias son lo suficientemente altas hablando de decenas de GHz, las ondas pueden ser detenidas por objetos como las hojas o las gotas de lluvia. Para superar esto se necesita mucha más potencia, lo que implica transmisores más potentes o antenas más enfocadas, que provocan que el precio del satélite aumente.

La ventaja de las frecuencias elevadas es decir en las bandas Ku y Ka, es que permiten a los transmisores enviar más información por segundo. Esto es debido a que la información se deposita generalmente en cierta parte de la onda: la cresta, el valle, el principio o el fin. El compromiso de las altas frecuencias es que pueden transportar más información, pero necesitan más potencia para evitar los bloqueos, mayores antenas y equipos más caros.

El motivo de realizar el presente proyecto en la banda denominada C, que abarca de los 4 a los 6 GHz, principalmente son por dos razones; la primera, el coste de los equipos es más bajo debido a que trabajan a menores frecuencias que Ku y Ka; y además, llevan décadas en funcionamiento con enorme fiabilidad a lo largo de estos años, mejorando cada vez más los equipos comerciales. Por tanto, se puede decir que es una banda consolidada y que presenta la mejor relación coste/fiabilidad.

A continuación se muestran las tablas referentes a las bandas de frecuencia de los satélites INTELSAT en sus diferentes bandas.

Nombre Actual	Anchura de Banda Enl. Ascendente	Anchura de Banda Enl. Descendente	Nomenclatura Abreviada
4/6 GHz Banda C	5.925-6.425 (500 MHz)	3.700-4.200 (500 MHz)	Banda C
	5.850-6.425 (575 MHz)	3.625-4.200 (575 MHz)	Banda C
	6.425-6.650 (225 MHz)	3.400-3.625 (225 MHz)	Banda C

Tabla 1: Frecuencias para banda C.

3. Redes VSAT

Las redes VSAT⁹ son redes privadas de comunicación de datos vía satélite para intercambio de información punto-punto o, punto-multipunto (broadcasting) o interactiva.

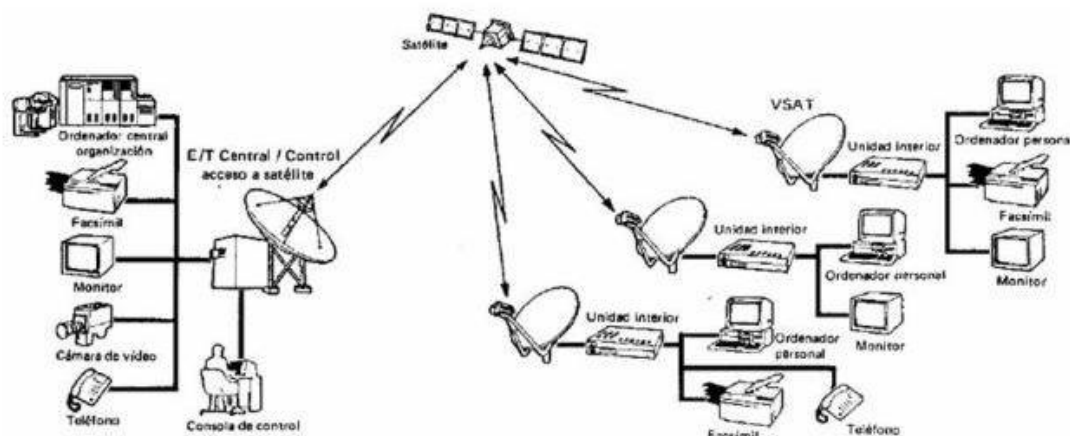


Ilustración 10: Red VSAT

Características

- Redes privadas diseñadas a la medida de las necesidades de las compañías que las usan.
- El aprovechamiento de las ventajas del satélite por el usuario de servicios de telecomunicación a un bajo coste y fácil instalación.
- Las antenas montadas en los terminales necesarios son de pequeño tamaño (menores de 2.4 metros, típicamente 1.3m).
- Las velocidades disponibles suelen ser del orden de 56 a 64 kbps.
- Permite la transferencia de datos, voz y video.
- La red puede tener gran densidad (1000 estaciones VSAT) y está controlada por una estación central llamada HUB que organiza el tráfico entre terminales, y optimiza el acceso a la capacidad del satélite.
- Enlaces asimétricos.
- Las bandas de funcionamiento suelen ser Ku o C, donde se da alta potencia en transmisión y buena sensibilidad en recepción.

Debido a esto, entra a competir directamente con redes como la Red Pública de Transmisión de Paquetes X.25¹⁰, o la Red Digital de Servicios Integrados.

⁹ Very Small Aperture Terminal

¹⁰ Estándar ITU para redes de área amplia de conmutación de paquetes.

Cabe destacar su rápida y masiva implantación en todo el mundo, lo que está facilitando un acercamiento sin precedentes de las ventajas del satélite al usuario de servicios de telecomunicación.

Ventajas y desventajas de una red VSAT

- Flexibilidad
- Gran fiabilidad
- Ventajas económicas

Flexibilidad

- Fácil gestión de la red.
- Servicio independiente de la distancia.
- Cobertura global e inmediata.
- Fácil y rápida implantación en lugares de difícil acceso.
- Debido a la gran variedad de configuraciones que puede adoptar una red VSAT éstas se pueden adaptar a las necesidades propias de cada compañía.
- Los enlaces asimétricos se adaptan a los requerimientos de transferencia de datos entre una estación central hacia estaciones lejanas que responden.
- Facilidad para reconfigurar y para realizar una ampliación de la red.
- El uso de un satélite hace que se pueda establecer contacto con cualquier punto dentro de su área de cobertura. Las recepciones pueden cambiar de ubicación cambiando la reorientación de su antena.
- La introducción de un nuevo terminal no afecta al funcionamiento de los demás.

Fiabilidad

- Se suele diseñar para tener una disponibilidad de la red del 99.5% del tiempo y con una BER¹¹ de 10^{-7} .

Ventajas Económicas

- Estabilidad de los costes de operación de la red durante un largo periodo de tiempo. Una empresa puede ser propietaria de prácticamente todos los segmentos de la red. Esto hace que el presupuesto dedicado a comunicaciones se pueda establecer con gran exactitud. El único segmento del que la empresa no puede ser propietario es del segmento espacial pero sus precios son muy estables.

¹¹ Bit Error Ratio

- Evita las restricciones que impone una red pública en cuanto a costes y puntos de acceso.
- Aumento de la productividad de la organización: Centro de monitorización y control de la red. Por lo tanto, la organización puede responder rápidamente a las peticiones de sus clientes gracias a un medio de comunicación fiable, lo que repercute en un aumento de la satisfacción de los mismos y un aumento de las ventas.
- Se puede implantar una red corporativa insensible a fluctuaciones de las tarifas.

Desventajas de una red VSAT

- Problemas Económicos.
- Problemas Radioeléctricos.
- Problemas de Privacidad.

Problemas Económicos

- Las inversiones iniciales son elevadas y en algunos países no son claramente competitivas frente a redes basados en recursos terrestres. Este problema puede ser atenuado recurriendo al alquiler del HUB.

Problemas Radioeléctricos

- El retardo de propagación típico de 0.5s (doble salto). Problema para aplicaciones: Telefonía y videoconferencia, pero existen aplicaciones insensibles como actualización de software, e-mail y transferencia de ficheros.
- Toda la red depende de la disponibilidad del satélite.
- Si el problema está en un transpondedor, un simple cambio de frecuencia y/o polarización soluciona el problema.
- En caso de ser todo el satélite, se reorientan las antenas a otro satélite.
- Sensible a interferencias provenientes tanto de tierra como del espacio.

Problemas de Privacidad

- El uso de un satélite geoestacionario como repetidor, hace posible que cualquier usuario no autorizado, pueda recibir una portadora y demodular la información. Para prevenir el uso no autorizado de la información se puede encriptar.

Aspectos económicos de una red VSAT

Ventajas económicas

- Estabilidad de los costes de operación de la red durante un largo periodo de tiempo. Una empresa puede ser propietaria de prácticamente todos los segmentos de la red. Esto hace que el presupuesto dedicado a comunicaciones se pueda establecer con gran exactitud. El único segmento del que la empresa no puede ser propietario es del segmento espacial pero sus precios son muy estables.
- Evita las restricciones que impone una red pública en cuanto a costes y puntos de acceso.
- Aumento de la productividad de la organización. Centro de monitorización y control de la red. Por lo tanto la organización puede responder rápidamente a las peticiones de sus clientes gracias a un medio de comunicación fiable, lo que repercute en un aumento de la satisfacción de los mismos y un aumento de las ventas.
- Se puede implantar una red corporativa insensible a fluctuaciones de las tarifas.

Ventajas redes VSAT frente a redes digitales terrestres

Las redes de transmisión vía satélite VSAT entran a competir directamente con sistemas de transmisión digital terrestres como red conmutada de paquetes o redes de fibra óptica. La implantación de las redes telemáticas VSAT comienzan a ser rentables a medida que aumenta el número de nodos (terminales terrestres) de la red.

Otras ventajas

- Coste insensible a la distancia.
- La red es fácilmente ampliable frente a redes terrestres que requieren obras de infraestructura para incorporar nuevos nodos.
- Los terminales son reubicables fácilmente.
- Baja potencia de emisión ya que la antena es de pequeñas dimensiones lo que se traduce en un bajo coste por terminal (nodo de la red).
- Velocidades similares a las ofertadas por otras redes.
- Actualmente la expansión de las redes vía satélite permiten la incorporación de servicios no incorporados en redes terrestres como teleconferencia interactiva y TV de larga distancia.
- Posibilidad de establecer enlaces asimétricos (VSAT a HUB: baja velocidad; HUB A VSAT: alta velocidad) mientras que en redes terrestres se establecen enlaces simétricos con lo que el usuario paga por algo que quizás este infrautilizando.
- El proveedor del segmento de satélite garantiza unos precios estables mientras que los precios de las redes de datos terrestres fluctúan mucho.

4. Clasificación de los satélites

Sistemas Vía satélite Fijos (FSS)

Este tipo de sistemas se basan en los requerimientos de cobertura, por lo tanto se puede citar a los siguientes:

- Satélites Domésticos DOMSAT¹²: Son aquellos satélites que limitan su cobertura al territorio nacional. Existen varios satélites domésticos en órbita brindando servicios nacionales a un buen número de países alrededor del mundo. El sistema DOMSAT en Ecuador ha sido considerado para suministrar servicios de telecomunicaciones a varias poblaciones rurales de la parte oriente del país.
- Sistemas Regionales: Estos satélites limitan su cobertura a un grupo de países para un servicio conjunto de comunicaciones. Por ejemplo:
 - EUTELSAT¹³ o red regional para el tráfico internacional europeo, el cual opera en la banda Ku (14/11-14/12 GHz).
 - ARABSAT¹⁴ opera en la banda C (6/4 GHz) para los países árabes.
 - PANAMSAT¹⁵, con cuatro haces: para el Norte, Centro, Sur.
 - Continental, que opera en la banda C. Actualmente se encuentran en órbita 5 satélites de PANAMSAT (PAS 1, 2, 3, 4 y 5).
 - HISPASAT¹⁶, cubre la región ibérica y latinoamericana.
- Sistemas Internacionales: Estos sistemas proveen servicio global a todos los países visibles desde una simple posición orbital.

El sistema INTELSAT y el INTERSPUTNIK son ejemplos de este tipo de sistemas, ambos trabajan en las bandas C y Ku. Además, existen redes globales de satélites como el GPS y el INMARSAT. Se debe tener en cuenta que existen varias regiones que a medida que ha pasado el tiempo, han ido colocando en órbita varios satélites que han permitido el desarrollo de la tecnología y sobre todo, han alcanzado metas como la transmisión de TV vía satélite como lo hicieron algunos países de Asia anteriormente. De igual forma existen satélites que cubren las regiones de América Latina y Europa, permitiendo así la comunicación entre todo el continente, gracias a estos sistemas de comunicación.

¹² Domestic Satellite

¹³ European Telecommunications Satellite Organization

¹⁴ Arab Satellite Communications Organization

¹⁵ Panamerican Satellite

¹⁶ Operador de satélites de comunicaciones español

- **Región Asia Pacífico:** En esta región se produce la revolución regional de las comunicaciones vía satélite gracias al sistema Palapa-A1 construido por Hughes en Julio de 1976, siendo Indonesia la tercera nación, después de EE.UU. y Canadá, en operar su propio sistema vía satélite doméstico. Indonesia con más de 200 millones de habitantes está dispersa sobre más de 13000 islas con cientos de kilómetros de distancia. Este país ha encontrado como solución ideal a sus comunicaciones el servicio vía satélite doméstico. Los sistemas PALAPA estaban en la serie C luego de haber pasado 3 generaciones. Este sistema era conocido como el servicio SATELINDO y ocupaba las bandas C y Ku.

En extremo oriente el sistema vía satélite de Malasia, contratado en Mayo de 1974, también construido por Hughes, operó como el servicio MEASAT¹⁷ diseñado para ofrecer servicios directos al usuario, con capacidades de telefonía, televisión, servicios de negocios y transmisión de datos, en una base regional que abarcaba desde Malasia hasta las filipinas y desde Beijing hasta el sur Indonesia y el norte de Australia. La construcción de estos satélites incluyó las celdas solares de arseniuro de galio que proporcionaban un 40% más de capacidad de potencia, con un peso más ligero, alta ganancia y antenas mejoradas.

Mientras el sistema MEASAT era uno de los más importantes de la región, Hughes estaba trabajando en otros programas. Entre ellos, el sistema APSTAR construido para la compañía de satélite APT de Hong Kong. Este sistema innovador estaba enlazando un satélite HS¹⁸ 376 con una aeronave de Hughes. El satélite APSTAR I fue lanzado en Julio de 1994 por el cohete China's Long March 3, y el modelo HS601 fue lanzado a principios de 1995.

La constelación de satélites THAICOM de Tailandia desde octubre de 1991 ha sustituido algunos servicios de INTELSAT y del sistema PALAPA de Indonesia, con dos satélites 376 de Hughes. El primer satélite THAICOM I puesto en órbita por el Ariane, introdujo el servicio DBS-I¹⁹, con un satélite HS 601. El THAICOM II, colocado en Octubre de 1996 es también un HS 601. Estos satélites tenían cada uno 2 transpondedores de 47 vatios en la banda Ku y 10 transpondedores en la banda C. El nivel de potencia en la banda Ku era excelente para aplicaciones directas del usuario, como televisión directa y difusión de audio digital, así como servicios de negocios, incluyendo redes VSAT, buscapersonas digital, transmisión de datos, videoconferencia y enlaces de comunicaciones móviles.

¹⁷ Malaysia East Asia Satellite.

¹⁸ Hughes Space

¹⁹ Direct Broadcast Service o Difusión Directa de Televisión

Los servicios vía satélite para Australia y Japón también han sido construidos por Hughes. En el año 1988, Australia fue la primera nación en contratar los sistemas HS 601, seleccionando dos aeronaves para evolucionar e incrementar los requerimientos de las telecomunicaciones. Los satélites HS 601 Optus eran tres veces más potentes y tenían el doble de vida útil que sus predecesores. Estos proporcionaban difusión directa de televisión a las casas en todo el territorio australiano, comunicaciones de voz a comunidades del sector urbano y rural, y transmisión digital de datos. La mayoría de esta serie de satélites, están dados de baja.

En Japón, Hughes ha proporcionado varias generaciones de satélites a diferentes compañías. La compañía JSAT²⁰ decidió añadir un satélite HS 601, junto con JCSAT-3 a una constelación de dos HS 393. Este nuevo satélite cubría no sólo Japón sino también Australia, el sur de Nueva Zelanda y el este de Hawai y proporcionaba comunicaciones de voz, datos y video; este sistema poseía 28 transpondedores en la banda Ku y 12 transpondedores en la banda C.

- **Región América Latina:** El lanzamiento de la primera generación de satélites que Hughes construyó para México se produjo en Noviembre de 1982, debido a esto se abrió el mercado en América Latina para las comunicaciones vía satélite domésticas dedicadas. Sin embargo, cabe destacar que muchas naciones de América Latina usaban la capacidad de INTELSAT IV y de los satélites IVA de Hughes operando en la red global de INTELSAT.

México confirmó su papel de liderazgo en comunicaciones por satélite en América Latina al firmar el contrato en Mayo 1991 con Hughes para dos satélites HS 601. Los dos nuevos satélites Solidaridad complementaban al sistema Morelos de México compuesto por dos aeronaves HS 376 y extendieron la presencia en el espacio de la nación por muchos años. El primer satélite Morelos fue retirado de su servicio en 1994.

Con el sistema Solidaridad se proporcionó más capacidad y potencia a los clientes, como también se ofreció un sistema regional para tener mayor flexibilidad en sus comunicaciones. Con la aparición de la banda L, TELECOMM²¹ estuvo en la posición para proveer servicios móviles y con esto revolucionó los conceptos de comunicaciones en México.

Solidaridad 1 fue lanzado por Ariane en Noviembre de 1993; Solidaridad 2 le siguió once meses después. Cada satélite soportaba 18 transpondedores activos

²⁰ Japan Satellite Systems Inc.

²¹ Telecomunicaciones de México

en la banda C y 16 transpondedores activos en la banda Ku y 1 canal en la banda L para aplicaciones móviles.

Todas las bandas cubrían México. Con los transpondedores en la banda C y Ku se alcanzaba la parte sudoeste de Estados Unidos. La señal de la banda Ku alcanzaban a muchas ciudades de Estados Unidos como Chicago, Dallas, Los Ángeles, San Francisco, Miami, y New York, mientras que la cobertura con la banda C se extendía hacia el Caribe, Centro y Sudamérica incluyendo los siguientes países: Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Chile, Argentina, Paraguay, Uruguay y Bolivia. Los servicios típicos incluían telefonía, fax y comunicación de datos, redes de negocios y aprendizaje a distancia pero con la característica de que podían ser todos servicios móviles. El impacto en América Latina fue por los precios competitivos y la mayor capacidad para los clientes de toda la región que brinda Solidaridad.

El Solidaridad 1 se perdió totalmente en el año 2000 por su segundo fallo en los controles de procesamiento global. El Solidaridad 2 tiene una prórroga consecutiva hasta este año 2015, fecha en la cual, estarán en órbita los nuevos satélites del sistema MEXSAT.

La segunda generación de satélites comerciales constituían los dos satélites de Brasil, las series Brasilsat B, con versiones HS 376 ampliadas, que reemplazaban a los dos modelos anteriores HS 376 que operaban desde 1985. Brasilsat B1 fue lanzado por Ariane en Agosto de 1994 y el segundo satélite fue lanzado en Diciembre de 1994.

Los nuevos satélites HS 376W ofrecían una mayor capacidad de comunicaciones, empleando 28 transpondedores activos en la banda C. Cada satélite llevaba además un transpondedor en la banda X para las aplicaciones del gobierno Brasileño. El Brasilsat B1 fue movido de su posición orbital (70°W a 68°W) y fue reemplazado por el Brasilsat B4. En junio de 2008, este último fue movido también (84°W a 70°W) y reemplazado por el Star One C2. El Brasilsat B4 está actualmente a 75°W.

Dentro de los requerimientos de las comunicaciones del Brasil, el segundo satélite Brasilsat B2 fue diseñado para alcanzar la agrupación de naciones como Brasil, Argentina, Uruguay y Paraguay con el fin de realizar transacciones de negocios entre estos países. Actualmente no está en servicio.

Región Europa: Desde el lanzamiento del Sputnik, la SES²² de Luxemburgo que opera el sistema ASTRA directo a casa, primero de Europa, seleccionó satélites Hughes HS 601 de alta potencia en la banda Ku para enviar servicios de difusión y para televisión digital de alta definición.

²² Sociedad Europea de Satélites, actualmente SES, S.A.

El primer satélite de la nueva serie HS 601 para SES, Astra 1C, lanzado en Mayo de 1993, contenía 18 transpondedores en la banda Ku con una potencia efectiva radiada isotrópica de 51 dBW. Niveles de potencia de esta magnitud permitían el uso de platos muy pequeños que podían ser instalados fácilmente por dueños de casas y otros usuarios.

Los principales servicios que brindaban eran: incrementar el número de circuitos para teléfono sobre el océano Atlántico, y hacer posible la televisión en vivo entre Europa y Estados Unidos. Este satélite dio sus servicios por finalizados en el año 2011.

Características de los satélites fijos

Una órbita geoestacionaria o GEO es una órbita geosíncrona en el plano ecuatorial terrestre, con una excentricidad nula (órbita circular) y un movimiento de Oeste a Este. Desde tierra, un objeto geoestacionario parece inmóvil en el cielo y, por tanto, es la órbita de mayor interés para los operadores de satélites artificiales de comunicación y de televisión. Esto es porque su periodo orbital es igual al periodo de rotación sidéreo de la Tierra, 23 horas, 56 minutos y 4,09 segundos. Debido a que su latitud siempre es igual a 0°, las localizaciones de los satélites sólo varían en su longitud.

Las órbitas geoestacionarias son útiles debido a que un satélite parece estático respecto a un punto fijo de la Tierra en rotación. El satélite orbita en la dirección de la rotación de la Tierra, a una altitud de 35.786 km. Esta altitud es significativa ya que produce un período orbital igual al período de rotación de la Tierra, conocido como día sideral. Como resultado, se puede apuntar una antena a una dirección fija y mantener un enlace permanente con el satélite. Se utiliza una órbita de transferencia geoestacionaria para trasladar un satélite desde órbita terrestre baja hasta una órbita geoestacionaria.

Los satélites permanecen en órbita como resultado del equilibrio entre las fuerzas centrífuga y gravitacional. Si un satélite viaja a demasiada velocidad, su fuerza centrífuga supera a la gravedad de la Tierra, y el satélite se sale de órbita y se pierde en el espacio. Cuanto más cerca esté de la Tierra, mayores son la fuerza gravitacional y la velocidad necesaria para evitar que se caiga a la Tierra. Los satélites geosíncronos giran en círculo directamente sobre el ecuador a 35.786 km sobre la superficie de la Tierra a una velocidad de 11.070 km/h.

Las órbitas geosíncronas son circulares, centradas en la Tierra, por lo que su velocidad orbital es constante. La órbita geoestacionaria es un caso particular de la órbita geosíncrona, que está situada en el plano ecuatorial. Sólo existe una órbita geoestacionaria terrestre; sin embargo está ocupada por una gran cantidad de satélites ya que es el anillo de más interés, al no requerir las estaciones terrenas un cambio continuo en el ángulo con que se apunta al satélite. Para un observador estático en la

superficie de la Tierra, un satélite geoestacionario se percibiría como situado en un punto inmóvil en el cielo. Debido a ello no se necesita un equipo especial de rastreo, y las antenas terrestres se apuntan directamente al satélite en forma permanente.

En el caso ideal, los satélites geoestacionarios deberían permanecer fijos en un lugar sobre el Ecuador, sin embargo factores como fuerzas gravitacionales de la Luna, el Sol, los vientos solares y la forma esférica de la Tierra, ejercen una fuerza que hace que el satélite se aparte gradualmente de sus lugares asignados.

VENTAJAS:

- Los satélites geosíncronos permanecen casi estacionarios con respecto a una determinada estación terrena. En consecuencia, las estaciones terrenas no necesitan costosos equipos de rastreo.

DESVENTAJAS:

- Requieren a bordo dispositivos complicados y pesados, de propulsión, para mantenerlos en órbita fija.

Los sistemas vía satélite fijos se caracterizan por el tipo de banda que utilizan, en este caso existen dos tipos de banda más usuales que son las Bandas C y Ku que trabajan de la siguiente manera:

Satélites de Banda C (6/4 GHz): La tecnología de banda C está altamente desarrollada en términos de componentes y subsistemas de estaciones terrenas, debido a que inicialmente fue usada para comunicaciones vía satélite porque presentaba favorables características de propagación para estas frecuencias.

Las específicas bandas de mayor uso son: 5925 a 6425 MHz para enlaces ascendentes y 3700 a 4200 MHz para enlaces descendentes. Los transpondedores espaciales usados en estas bandas emplean normalmente amplificadores de tubos de ondas progresivas para potencias de 5 a 10 W., mientras que los amplificadores de poder de estado sólido se usan para potencias de hasta 8,5 watts, y gracias a la buena linealidad que presentan, su utilización ha ido creciendo rápidamente.

Otra posibilidad de operación en la banda C es el uso de la banda de 6425 a 6725 MHz para enlaces ascendentes y la de 4500 a 4800 MHz para descendentes. El empleo de estas bandas fue autorizado a partir de la Conferencia Mundial de Administración de Radio en 1979, como se comenta en el capítulo 3, donde aparece una tabla con las frecuencias de banda C por INTELSAT. La misma tecnología de la banda C convencional es aplicable a estas últimas bandas. El uso de estas nuevas bandas es parte de un plan establecido en 1988 por la segunda sesión del WARC.

Los anchos de banda de 36 MHz para los transpondedores de la banda C son los más comunes y están dados sobre frecuencias centrales de 40 MHz. El uso vía satélite en polarización simple puede proveer hasta 12 transpondedores; y, hasta 24 con técnicas de doble polarización, además se usan transpondedores de 72 MHz en sistemas de alta velocidad como transmisión digital.

A continuación se muestra la tabla que indica las características de la Banda C:

PARÁMETRO	TIPO DE COBERTURA		
<i>Ganancia de Antena de satélite dBi</i>	GLOBAL	REGIONAL	NACIONAL
<i>TRANSMISIÓN</i>	17-19	21-25	28-34
<i>RECEPCIÓN</i>	17-19	21-24	30-34
<i>Temperatura de Ruido del Receptor K</i>	800 - 2000	800 - 2000	800 - 2000
<i>Ganancia de Temperatura G/T, dB/K</i>	-17 a -14	-12 a -5	-3 a +5
<i>PIRE, dBw</i>	22 - 24	26 - 31	30 - 39

Tabla 2: Características de banda C.

Sistemas de Banda Ku (14/11 o 14/12 GHz): Son sistemas relativamente más nuevos en el FSS, el primer satélite fue lanzado en 1976. Las mayores pérdidas de propagación en estas frecuencias requieren mayores potencias “isotrópicas” radiadas para conseguir las mismas características de transmisión que en la banda C, y esto se obtiene con el uso de mayores ganancias en las antenas espaciales.

Las altas potencias que son factibles permiten el uso de estaciones terrenas con antenas muy pequeñas, y la combinación de estos factores hace posible ubicar estaciones terrenas cerca de otros usuarios. Se consigue una importante ventaja económica para muchos servicios, siendo la banda de 12 GHz muy conveniente.

El sistema PANAMSAT que opera con Ecuador, tiene en su estructura seis transpondedores de 72 MHz en esta banda para comunicaciones entre EEUU y Europa.

Capítulo 4

Protocolos de asignación de canal de comunicación para enlaces vía satélite

1. Descripción general

Existen ciertos tipos de redes WAN²³ basadas en comunicación vía satélite, las mismas que utilizan canales de acceso múltiple. Uno de los puntos clave del diseño es la manera de repartir los canales del transpondedor, sin embargo, a diferencia de las redes LAN²⁴, es imposible la detección de la portadora, debido al retardo de propagación de aproximadamente 270 milisegundos. Cuando una estación detecta el estado de un canal de enlace descendente, lo escucha con 270 milisegundos de retardo. La detección del canal de enlace ascendente generalmente es imposible. Como resultado, los protocolos CSMA/CD no pueden usarse con los satélites. Por eso surge la necesidad de otros protocolos que permiten realizar ciertas actividades diferentes a las que se realizan en las redes LAN. El problema principal es con el canal de enlace ascendente, ya que en el enlace descendente sólo tiene un transmisor que es el satélite y por tanto no tiene el problema de reparto del canal.

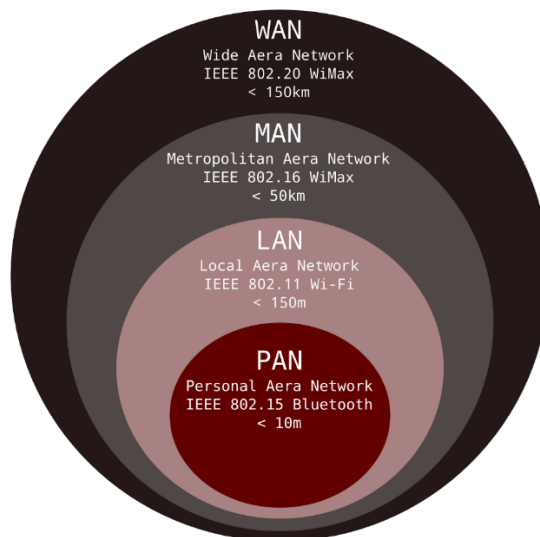


Ilustración 11: Escalas de red.

²³ Wide Area Network

²⁴ Local Area Network

En la siguiente tabla se muestra un resumen de algunos de los métodos de reparto de canal más importantes.

MÉTODO	DESCRIPCIÓN
FDM	Dedica una banda de frecuencia a cada estación
TDM	Dedica una ranura de tiempo a cada estación
ALOHA puro	Transmisión no sincronizada en cualquier momento
ALOHA ranurado	Transmisión aleatoria en ranuras de tiempo bien definidas
MACA, MACAW	Protocolos LAN inalámbricos
GSM	FDM más TDM para radio celular
CDPD	Radio en paquetes con un canal AMPS
CDMA	Todos hablan a la vez, pero en idiomas diferentes
DQDB	Encolamiento distribuido en una MAN de dos canales
FDDI	Token ring de fibra óptica
Canal de fibra	Barras cruzadas usando fibra óptica
SPADE	FDM con reparto dinámico del canal
ACTS	TDM con reparto centralizado de ranuras
Binder	TDM con ALOHA cuando el dueño de la ranura no está interesado
Crowther	ALOHA en el que el dueño de la ranura la conserva
Roberts	Tiempo de canal reservado por adelantado con ALOHA

Tabla 3: Tipos de modulación que se usan con los satélites.

Se emplean cinco clases de protocolos en el canal de acceso múltiple de enlace ascendente:

- Sondeo
- ALOHA
- FDM
- TDM
- CDMA

2. Sondeo

La forma tradicional de repartir un solo canal entre usuarios competidores es que alguien los sondee. Hacer que el satélite sondee por turno cada estación para ver si tiene un marco es prohibitivamente caro. Sin embargo, si todas las estaciones de tierra también están conectadas a una red de conmutación de paquetes generalmente de poco ancho de banda, es concebible una variación menor de este concepto.

La idea es disponer de todas las estaciones en un anillo lógico, de modo que cada estación conozca su sucesor. Por este anillo terrestre circula una ficha. El satélite

nunca ve la ficha. Sólo permite a una estación transmitir por el enlace ascendente cuando ha capturado la ficha. Si el número de estaciones es pequeño y constante, el tiempo de transmisión de la ficha es corto y las ráfagas enviadas por el canal de enlace ascendente son mucho más grandes que el tiempo de rotación de la ficha, el esquema es moderadamente eficiente.

Sondeo por lista: El Sondeo por lista es la forma clásica de sondeo, consiste en que el controlador “pasa lista” a cada uno de los terminales, presentándoles si tienen información para transmitir, mediante un mensaje de sondeo con el código de dirección correspondiente al terminal. Si éste tiene algún mensaje grabado, lo transmite, en caso contrario, rechaza la gestión a transmitir y el controlador pasa a sondear el siguiente terminal de la lista.

Sondeo con prueba: Cuando la actividad de los terminales es baja y su número es elevado, el controlador desperdicia mucho tiempo en sondear terminales que casi nunca tienen información para transmitir. Una alternativa más eficiente, en esas circunstancias, es el sondeo con prueba, que consiste en agrupar a los terminales en diferentes grupos, de modo que cada terminal reconoce dos direcciones: una individual y otra de grupo. Al reconocer un terminal su dirección de grupo, si tiene información pendiente transmite una indicación, en caso contrario permanece en silencio. El controlador al sondear un grupo, envía su dirección global; si algún terminal tiene información, se activará la línea y entonces el controlador efectuará un sondeo individualizado dentro del grupo; en caso contrario, ningún terminal tiene información; la línea permanece inactiva y el controlador procede a sondear otro grupo.

Sondeo Circular: En el sondeo por lista los mensajes de sondeo recorren cada vez el trayecto desde el controlador hacia el terminal; si éstos están distribuidos a lo largo de una extensa línea de transmisión, con un retardo de propagación elevado, se desperdicia mucho tiempo, pues los mensajes de sondeo sucesivos recorren largos trayectos, que coinciden en su mayor parte.

Una solución más eficiente, es el sondeo circular conocido como ***hub polling***, que consiste en comenzar el tráfico de datos enviando un mensaje predefinido a un terminal, y éste, se vacía una vez (si es que no estaba ya vacío), envía un mensaje a otro terminal y se repite el proceso hasta que el último terminal envía un mensaje de respuesta al controlador.

Con protocolos orientados a bit, se ha realizado una eficiente forma de sondeo circular, asociada a una red en bucle que utiliza como mensaje de sondeo el octeto 01111111.

De forma que, cuando un terminal recibe este octeto, si no tiene nada que transmitir lo retransmite con un retraso de un bit, pero si tiene un mensaje preparado invierte el último bit y el mensaje de sondeo se orienta en el guion de apertura de trama, 01111110, y a continuación envía el mensaje; los demás terminales retransmiten el mensaje hacia el controlador.

Se han descrito las técnicas de sondeo circular utilizando un campo de aplicación clásico, las redes de acceso a un recurso central. No obstante, su fundamento operativo, es decir, el paso de un testigo para ceder el turno de transmisión, también es identificable en ciertos sistemas de acceso múltiple como son el Token passing bus²⁵ o Token passing ring²⁶, usados en el ámbito de redes locales.

La diferencia consiste en el hecho de poder transmitir a cualquier otro interlocutor conectado a la línea y no sólo al recurso central; pero sigue siendo necesaria la presencia de un controlador o, mejor dicho, de un supervisor que evite el bloqueo del sistema al extraviarse el testigo, por ejemplo por caída del terminal que detecta el turno de transmisión.

3. ALOHA

“Es un método para resolver reparto de canal”, inventado en los años 70 por Abramson en la Universidad de Hawai. Usando radiotransmisores en tierra, es aplicable a cualquier sistema con un canal. Existen dos tipos de Aloha y se detallan a continuación:

ALOHA puro: Es fácil de implementar ya que cada estación simplemente envía cuando quiere. El problema es que la eficiencia del canal es de sólo el 18%. En general, un factor de uso tan bajo es inaceptable para satélites que cuestan decenas de millones de dólares cada uno. Este método tiene las siguientes características:

- *Se transmiten tramas en cualquier instante*
- *Si hay colisiones las tramas se destruyen*
- *El emisor cuando detecta las colisiones, se encarga de retransmitir.*

²⁵ Protocolo para redes de área local diseñado para topologías en bus.

²⁶ Protocolo para redes de área local diseñado para topologías en anillo.

El siguiente gráfico muestra la transmisión de tramas por medio de Aloha Puro:

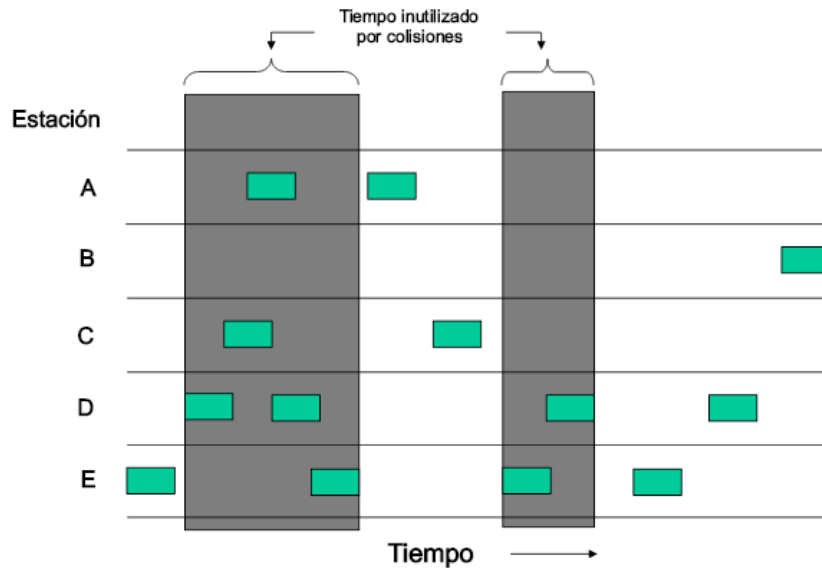


Ilustración 12: Transmisión de tramas en ALOHA puro

ALOHA dividido: Es un método para duplicar la capacidad del sistema ALOHA, este se encarga de dividir el tiempo en intervalos discretos sincronizados. En cuanto a rendimiento, el ALOHA dividido proporciona un 37% de intervalos vacíos al igual que de tramas transmitidas con éxito, y un 26% de colisiones. Este método tiene las siguientes características:

- Divide el tiempo en intervalos discretos
- Cada intervalo corresponde a una trama
- Los usuarios están de acuerdo en los límites de intervalos
- Se transmiten las tramas únicamente al inicio de los intervalos

A continuación se muestra una figura comparativa de los dos tipos de ALOHA:

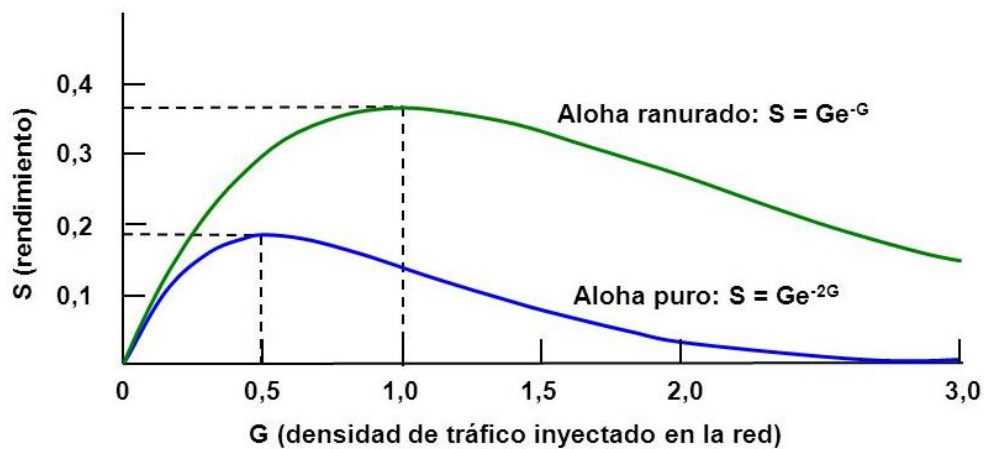


Ilustración 13: Rendimiento del ALOHA puro y ranurado

4. FDM²⁷: Multiplexación por división en frecuencia

Para poder efectuar una comunicación vía satélite real, las señales llegan a los receptores y transmisores del satélite a través de canales, los mismos que están divididos en subcanales y poseen diferentes frecuencias. Separados por bandas de protección, con la finalidad de no permitir que existan interferencias entre ellos.

Cuando un usuario desea enviar información al satélite desde una estación terrena, hace una llamada telefónica, a la cual se le asigna un subcanal. Este subcanal se usa exclusivamente para esa llamada telefónica durante todo el tiempo que dure la transmisión, al final de la cual, se libera.

Es importante recalcar que todo el ancho de banda de este subcanal, es únicamente para esa llamada determinada.

FDM presenta ciertos problemas y son los siguientes:

- Necesita separar las bandas, es decir tratar de utilizar el ancho de banda no utilizado
- Necesidad de controlar cuidadosamente la energía transmitida, podría pasar a otras bandas, o lo que es lo mismo controlar la interferencia
- Técnica analógica, no muy bien implementada

Si el número de estación es fijo y pequeño se pueden asignar los canales de manera previa, mientras que si el número de canales varía rápidamente existe la necesidad de asignar bandas de frecuencia dinámicamente.

5. TDM²⁸: Multiplexación por división de Tiempo

Este protocolo tiene la particularidad de asignar particiones tiempo, esto quiere decir “asigna a cada usuario un enésimo intervalo de tiempo” funciona de manera centralizada o descentralizada. Las características principales son:

- Asignación dinámica
- Asume que hay más particiones que estaciones
- Cada estación tiene una partición base
- Particiones extra se asignan a cualquiera
- Si una partición no se usa queda disponible
- El dueño puede recuperar su “slot”

²⁷ FDM es el acrónimo Frequency Division Multiple Access.

²⁸ TDM es el acrónimo Time Division Multiple Access.

Además TDM se encarga de que cuando una estación hace una transmisión exitosa en la participación, tiene derecho a seguir utilizándola, así como si una partición queda sin uso, las estaciones pueden competir para utilizarla.

De igual manera, se encuentra que algunas estaciones piden canal antes de transmitir, se tienen mini-particiones de reserva, entonces si la reserva es exitosa, se toma la partición, en otros casos las estaciones necesitan tener una pista de cuánto tiempo reservaron la partición para saber cuándo se desocupa.

A diferencia del protocolo FDM, aquí los canales no se dividen en subcanales por frecuencia, sino por tiempo. Así, cada cual se divide en ranuras agrupadas en tramas, y la información puede ser colocada en un ancho de banda de una sola ranura, basándose en un esquema de división de tiempo.

6. CDMA²⁹: Acceso múltiple por división de código

Asigna un código diferente a cada nodo. Los nodos diferentes realizan su transmisión simultáneamente, utilizando una codificación única.

Los receptores saben su esquema de codificación respectivo y reciben correctamente los bits, a pesar de que ciertas transmisiones son interferidas por las de otros nodos. En este caso las colisiones se suman, y el esquema de decodificación del receptor recupera el original de un emisor dado. Es muy utilizado por los militares porque es de espectro amplio, muy difícil de detectar y de congestionar.

Actualmente se está utilizando por la presencia de teléfonos celulares digitales. CDMA se caracteriza por no tener problemas de “sincronización” ni de asignación de canal, pero posee ciertas desventajas que se indican a continuación.

- Capacidad en presencia de ruido y estaciones no coordinadas, es más baja que la de TDM
- No es muy conocido
- Utilizado por militares
- Se está utilizando más en aplicaciones comerciales

²⁹ CDMA es el acrónimo de Code Division Multiple Access.

Capítulo 5

Estudio de la instalación y simulación

Los principales componentes que forman un enlace ascendente son:

- Un módem, o en su defecto, una fuente que emita una señal analógica o digital.
- Un amplificador de línea que incrementa la potencia de la señal que emite el módem.
- Un filtro que deja pasar la frecuencia que interesa y elimina el resto, mejorando la relación señal-ruido.
- Un oscilador local que sube la frecuencia y la combina con la señal transmisora consiguiendo la frecuencia a la banda deseada.
- Un mezclador que combina las señales de entrada del módem, con la frecuencia procedente del oscilador local, que es mucho más alta. Con el fin de conseguir la frecuencia deseada que saldrá por la antena y se enviará al satélite.
- Un atenuador que reduce la señal de potencia de la cadena, para que esta señal entre al amplificador sin dañarlo.
- Un amplificador de gran ganancia, que incrementa la potencia de la señal en decenas de dB. Es uno de los componentes más caros y delicados de todo el enlace.
- Un filtro, a la frecuencia final, que permite pasar el ancho de banda de la señal con la información, y además, elimina el ruido y espurios de la cadena, procedentes del amplificador.

A continuación se muestra un esquema general de un enlace completo con sus principales componentes.

De este esquema global de un enlace, este proyecto estudia la parte que transmite desde Tierra hasta el satélite.

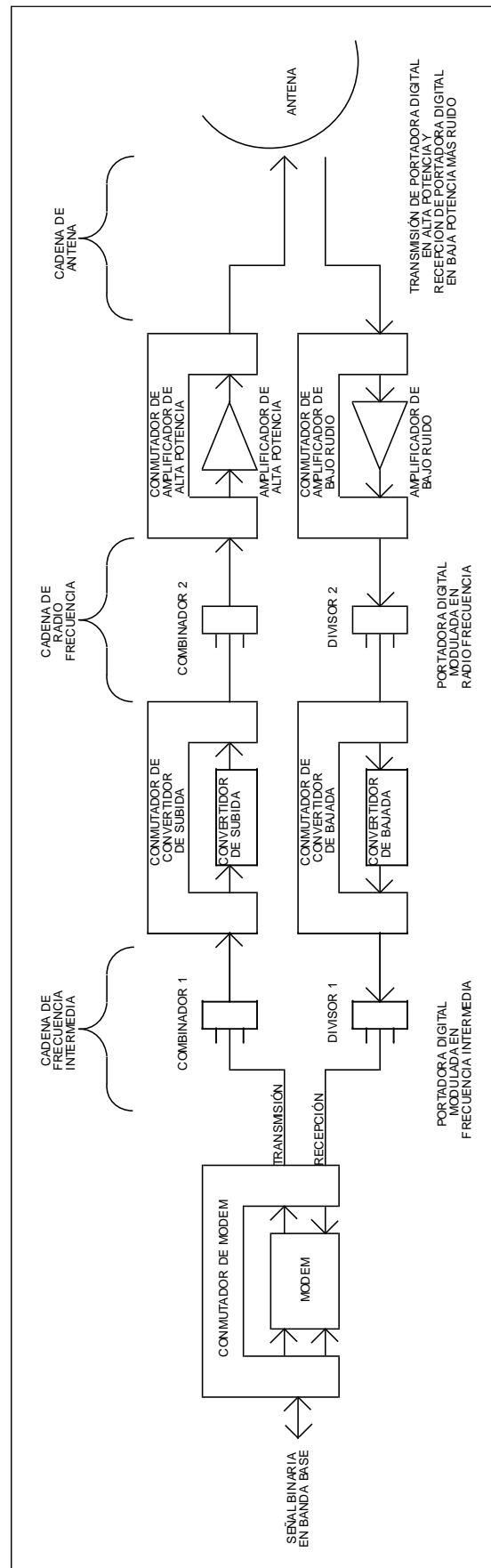


Ilustración 14: Esquema general de un enlace de radiofrecuencia.

En la siguiente ilustración, se muestra la simulación con el programa Genesys, con los componentes que forman el enlace ascendente:

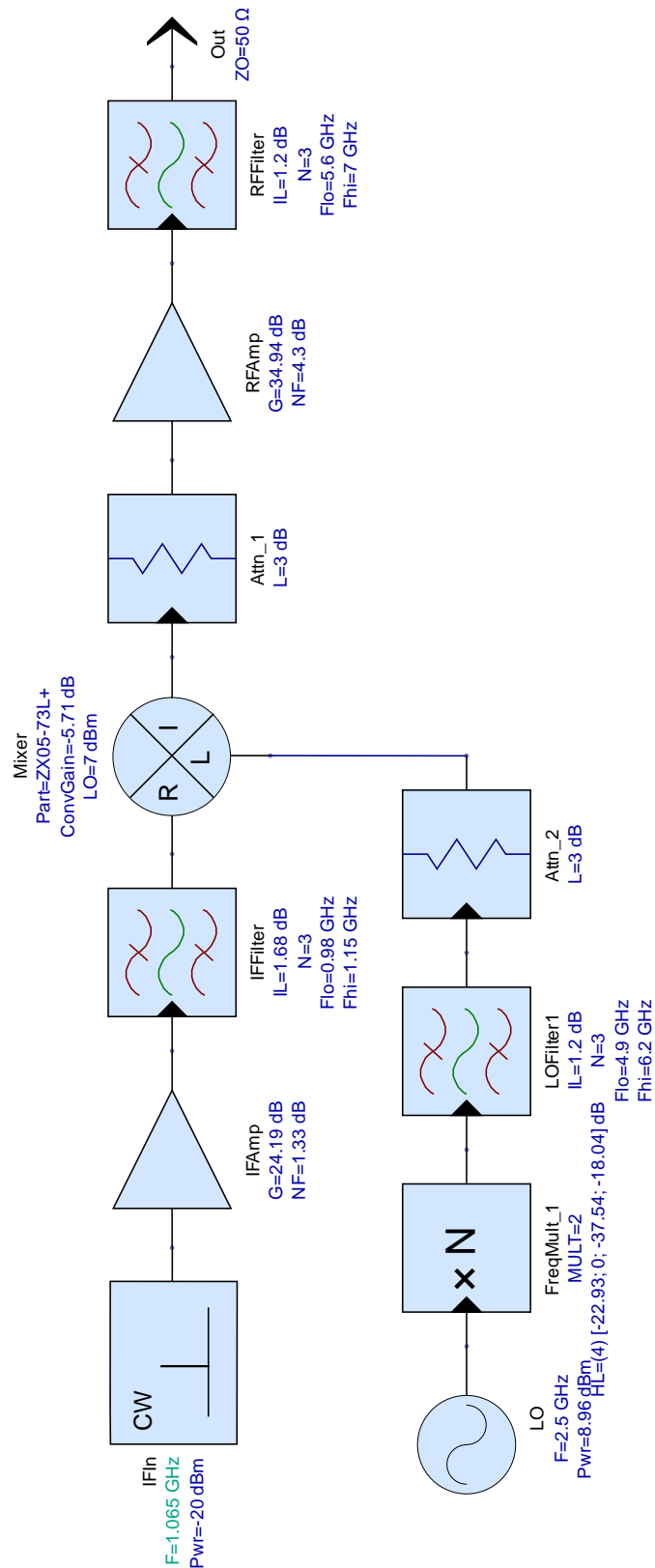


Ilustración 15: Diseño del enlace ascendente con Keysight.

1. Componentes utilizados en el diseño del enlace ascendente

Módem

El módem vía satélite es el primer equipo del enlace. Su función en la transmisión es modular la señal binaria de banda base, entregando una portadora digital modulada en frecuencia intermedia (FI), que puede estar en 70 @ 18 MHz o 140 @ 36 MHz o directamente en banda L. A la vez, en recepción, realiza la función inversa, es decir demodular la portadora digital del extremo remoto de FI a una señal binaria de banda base.

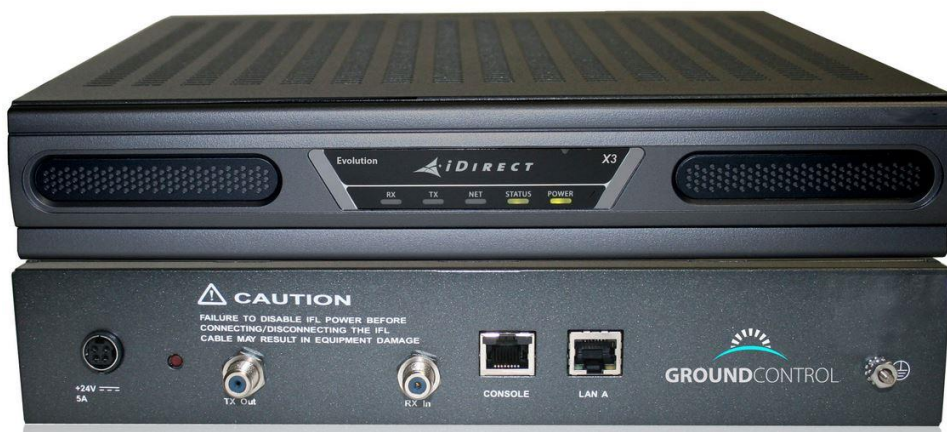


Ilustración 16: Módem satelital Idirect Evolution X3

Amplificador de pequeña señal (o de línea)

Los amplificadores de línea, como su nombre indica, aumentan el nivel de potencia. Su función es entregar el nivel de potencia necesario en la entrada del siguiente equipo de la cadena, o simplemente aportar ganancia para lograr el nivel final de potencia buscado. En este caso, el nivel de ganancia es entregado por el fabricante para cada amplificador.

Coaxial

Low Noise Amplifier

50Ω 800 to 1200 MHz


Features

- very low noise figure, 1.5 dB max.
- wideband, 800 to 1200 MHz
- rugged, shielded case

Applications

- UHF
- cellular
- PCS/GSM

ZEL-0812LN



Case Style: EEE132

Connectors	Model	Price	Qty.
SMA	ZEL-0812LN	\$274.95 ea.	(1-9)

Ilustración 17: Amplificador de bajo ruido del enlace.

A continuación se muestran las características del amplificador:

Electrical Specifications					
Parameter	Frequency (MHz)	Min.	Typ.	Max.	Units
Frequency Range		800		1200	MHz
Noise Figure	800-1200	—	—	1.5	dB
Gain	800-1200	20	—	—	dB
Gain Flatness	800-1200	—	—	±1.0	dB
Output Power at 1dB compression	800-1200	—	+8	—	dBm
Output third order intercept point	800-1200	—	+18	—	dBm
Input VSWR	800-1200	—	—	2.5	:1
Output VSWR	800-1200	—	—	2.5	:1
DC Supply Voltage		—	15	—	V
Supply Current		—	—	70	mA

Noise Figure specified at room temperature, increases to 2 dB typical at +85°C
 Open load is not recommended, potentially can cause damage.
 With no load derate max input power by 20 dB

Ilustración 18: Características de amplificador de bajo ruido.

Filtro de banda L (0.98-1.15GHz)

Un filtro eléctrico o filtro electrónico es un elemento que discrimina una determinada frecuencia o gama de frecuencias de una señal eléctrica que pasa a través de él, pudiendo modificar tanto su amplitud como su fase.

Con independencia de la realización concreta del filtro, salvo que debe ser lineal, (analógico, digital o mecánico) su forma de comportarse se describe por su función de transferencia. Ésta determina la forma en que la señal aplicada cambia en amplitud y en fase, para cada frecuencia, al atravesar el filtro. La función de transferencia elegida tipifica el filtro. Algunos filtros habituales son:

- Filtro de Butterworth, con una banda de paso suave y un corte agudo
- Filtro de Chebyshev, con un corte agudo pero con una banda de paso con ondulaciones.
- Filtros elípticos o filtro de Cauer, que consiguen una zona de transición más abrupta que los anteriores a costa de oscilaciones en todas sus bandas.
- Filtro de Bessel, que, en el caso de ser analógico, aseguran una variación de fase constante.

Este filtro va a dejar pasar el ancho de banda de trabajo, eliminando espurios y demás señales que proporcionan ruido al circuito.

Coaxial

Bandpass Filter

50Ω 980 to 1150 MHz

Maximum Ratings

Operating Temperature	-55°C to 100°C
Storage Temperature	-55°C to 100°C
RF Power Input*	7W at 25°C

*Passband rating, derate linearly to 3W at 100°C ambient. Permanent damage may occur if any of these limits are exceeded.


Features

- Good Rejection, 30dB up to 11GHz
- Low insertion loss
- Excellent power handling, 7W
- Temperature stable LTCC internal structure
- Rugged stainless steel unibody
- Protected by US Patent 6,943,646

Application

- Harmonic rejection
- Transmitters/receivers
- Lab use
- Test instrumentation

VBFZ-1065+



CASE STYLE: FF1145

Connectors	Model	Price	Qty.
SMA	VBFZ-1065-S+	\$39.95 ea.	(1-9)

+RoHS Compliant
The +Suffix identifies RoHS Compliance. See our web site for RoHS Compliance methodologies and qualifications

Ilustración 19: Filtro de banda L del enlace.

A continuación se muestran las características del filtro:

Bandpass Filter Electrical Specifications (T _{AMB} = 25°C)							
CENTER FREQ. (MHz) Fc	PASSBAND (MHz) (Loss < 2.3dB) F1 - F2	STOPBANDS (MHz)				VSWR (:1)	
		(Loss > 20dB)		(Loss 30dB Typ)		Passband	
		F3	F4	F5	F6	Typ.	Max.
1065	980 - 1150	630	1800	600	1800 - 11000	1.4	2.1
							20

Ilustración 20: Características del filtro de banda L.

Oscilador Local

Un oscilador local es un oscilador electrónico utilizado para generar una señal, normalmente con el propósito de convertir una señal de interés a una frecuencia diferente usando un mezclador. Este proceso de conversión de frecuencia, también conocido como heterodino, produce la suma y diferencia de frecuencias de la frecuencia del oscilador local y la frecuencia de la señal de entrada de interés. Estas son las frecuencias de batido. Normalmente, la frecuencia de batido se asocia con la menor banda lateral, la diferencia entre los dos.

El rendimiento de un sistema de procesamiento de la señal depende de las características del oscilador local. El oscilador local debe permanecer estable en la frecuencia. Debe producir suficiente potencia para conducir eficazmente las etapas subsiguientes, tales como mezcladores o multiplicadores de frecuencia. Se debe tener bajo ruido de fase, donde la temporización de la señal es crítica. En un sistema receptor canalizado, la precisión de sintonización del sintetizador de frecuencia debe ser compatible con el espaciado de canales de las señales deseadas.

En la siguiente ilustración se muestra el oscilador seleccionado para el enlace.

Coaxial

Voltage Controlled Oscillator

Wide Band 2120 to 3360 MHz


Features

- low phase noise
- low pushing
- low pulling
- protected by US patent 6,790,049

Applications

- r & d
- lab
- instrumentation
- wireless communications
- satellite systems
- military communications
- radar

ZX95-3360+



CASE STYLE: GB956

Connectors	Model	Price	Qty.
SMA	ZX95-3360-S+	\$49.95 ea.	(1-9)

+RoHS Compliant
The +Suffix identifies RoHS Compliance. See our web site for RoHS Compliance methodologies and qualifications

Ilustración 21: Oscilador del enlace.

Este oscilador, tiene un ancho de banda utilizable que va desde 2120MHz hasta 3360MHz. Se usará la frecuencia central de 2.5GHz.

Electrical Specifications

MODEL NO.	FREQ. (MHz)		POWER OUTPUT (dBm)	PHASE NOISE dBc/Hz SSB at offset frequencies,kHz Typ.				TUNING					NON HARMONIC SPURIOUS (dBc)	HARMONICS (dBc)		PULLING pk-pk @ 12 dB (MHz)	PUSHING (MHz/V)	DC OPERATING POWER	
								VOLTAGE RANGE (V)	SENSI- TIVITY (MHz/V)	PORT CAP (pF)	3 dB MODULATION BANDWIDTH (MHz)	Vcc						Current (mA)	
	Min.	Max.	Typ.	1	10	100	1000	Min.	Max.	Typ.	Typ.	Typ.	Typ.	Typ.	Max.	Typ.	Typ.	Max.	
ZX95-3360+	2120	3360	+8.5	-68	-95	-116	-137	0.5	18	65-113	30	170	-90	-26	-12	3	1	12	45

Maximum Ratings

Operating Temperature

-55°C to 85°C

Storage Temperature

-55°C to 100°C

Absolute Max. Supply Voltage (Vcc)

13V

Absolute Max. Tuning Voltage (Vtune)

20V

All specifications

50 ohm system

Permanent damage may occur if any of these limits are exceeded.

Ilustración 22: Características del oscilador

Multiplicador

Un multiplicador es un dispositivo que cambia la frecuencia de una señal, obteniendo a su salida una frecuencia más alta, siendo su relación con la de entrada un número entero.

Están formados por circuitos no lineales, con ganancia o no, de modo que se crean armónicos de la señal de entrada. Se diseña para potenciar la aparición del armónico deseado y cancelar en lo posible la aparición de los demás. La señal se filtra a la frecuencia de salida para evitar armónicos indeseables y, eventualmente, se amplifica.

El motivo de usar un multiplicador, se debe a que el oscilador no llega a obtener la frecuencia deseada. Aunque existen en el mercado osciladores con la frecuencia final deseada, sale mejor económicamente utilizar un oscilador de menor frecuencia y aumentarla con un multiplicador.

X2 Frequency Multiplier

50Ω Output 3400 to 7200 MHz

Maximum Ratings

Operating Temperature	-55°C to 100°C
Storage Temperature	-55°C to 100°C
RF Input Power, 25°C	23 dBm

Permanent damage may occur if any of these limits are exceeded.

Coaxial Connections

INPUT	2
OUTPUT	1


Features

- broadband
- low conversion loss, 11 dB typ.
- rugged construction
- protected by US Patent 6,790,049

Applications

- synthesizers
- local oscillators

ZX90-2-36+



CASE STYLE: JA1242

Connectors	Model	Price	Qty.
SMA	ZX90-2-36-S+	\$36.95	(1-9)

+RoHS Compliant
The +Suffix identifies RoHS Compliance. See our web site for RoHS Compliance methodologies and qualifications

Ilustración 23: Multiplicador del enlace.

A continuación se muestran las características del multiplicador:

Electrical Specifications												
MULTIPLICATION FACTOR	FREQUENCY (MHz)		INPUT POWER (dBm)		CONVERSION LOSS (dB)		*HARMONIC OUTPUT (dBc)					
	F1	F2					F1		F3		F4	
	Input	Output	Min.	Max.	Typ.	Max.	Typ.	Min.	Typ.	Min.	Typ.	Min.
2	1700-3600	3400-7200	8	13	11	15	18	11	32	22	17	10
	2100-2700	4200-5400	8	13	10	14	23	14	35	22	17	10

* Harmonics of input frequency below the power level of F2

Ilustración 24: Características del multiplicador.

Mezclador

Un mezclador es un circuito no lineal variante con el tiempo o un dispositivo capaz de mezclar dos señales de entrada, a frecuencias diferentes, produciendo a su salida una mezcla de señales de diferentes frecuencias igual a una combinación lineal de las dos frecuencias de entrada.

- La suma de las frecuencias de las señales de entrada
- La diferencia entre las frecuencias de las señales de entrada
- Las dos señales originales, habitualmente consideradas como parásitas que se eliminan mediante filtros de frecuencia.

Se utiliza habitualmente para hacer una conversión de frecuencias en sistemas de transmisión o recepción de señal, en todas las bandas de frecuencias.

Coaxial Frequency Mixer

Level 7 (LO Power +7 dBm) 3700 to 7000 MHz

Maximum Ratings

Operating Temperature	-55°C to 100°C
Storage Temperature	-55°C to 100°C
RF Power	50mW
IF Current	40mA

Permanent damage may occur if any of these limits are exceeded.

Coaxial Connections

LO	2
RF	1
IF	3

Features

- wide frequency range, 3700 to 7000 MHz
- low conversion loss, 5.0 dB typ.
- high L-I isolation, 36 dB typ.

Applications

- SATCOM
- instrumentation
- defense & federal communications
- SHF

ZMX-7GR



CASE STYLE: BU413

Connectors	Model	Price	Qty.
SMA	ZMX-7GR	\$71.95 ea.	(1-9)

Ilustración 25: Mezclador del enlace.

El mezclador consigue combinar la señal de entrada con la señal procedente del oscilador local, para ello con la función suma, consigue sumar, 1GHz procedente del módem, más 5 GHz procedente del oscilador, proporcionando a la salida la frecuencia total de 6GHz. Este mezclador tiene unas pérdidas de 5.71 dB.

A continuación se muestran las características del mezclador:

Electrical Specifications							
FREQUENCY (MHz)		CONVERSION LOSS (dB)			LO-RF ISOLATION (dB)		LO-IF ISOLATION (dB)
LO/RF	IF			Total Range			
$f_L - f_U$		\bar{X}	σ	Max.	Typ.	Min.	Typ. Min.
3700-7000	DC-1000	5.0	0.30	8.2	30	20	36 20

1 dB COMP.: +1 dBm typ.

Ilustración 26: Características del mezclador.

Filtro posterior del oscilador (4.9 a 6.2 GHz)


Este filtro paso banda, tiene la misma descripción teórica que el resto de filtros, su función es dejar pasar un ancho de banda determinado. Su diferencia con el anterior, es la frecuencia de la señal que deja pasar.

Coaxial

Bandpass Filter

50Ω 4900 to 6200 MHz

VBFZ-5500+



Maximum Ratings

Operating Temperature	-55°C to 100°C
Storage Temperature	-55°C to 100°C
RF Power Input*	7W at 25°C

*Passband rating, derate linearly to 3W at 100°C ambient. Permanent damage may occur if any of these limits are exceeded.

Features

- Good Rejection, 30dB up to 17GHz
- Low insertion loss
- Excellent power handling, 7W
- Temperature stable LTCC internal structure
- Rugged stainless steel unibody
- Protected by US Patent 6,943,646

Applications

- Harmonic rejection
- Transmitters/receivers
- Lab use
- Test instrumentation

CASE STYLE: FF1145

Connectors	Model	Price	Qty.
SMA	VBFZ-5500-S+	\$39.95 ea.	(1-9)

+RoHS Compliant

The +Suffix identifies RoHS Compliance. See our web site for RoHS Compliance methodologies and qualifications

Ilustración 27: Filtro paso banda (4.9-6.2 GHz) del enlace.

Atenuador

Los atenuadores, como su nombre indica, atenúan o reducen el nivel de potencia sin distorsión apreciable de su forma de onda. Su función es ecualizar las cadenas de transmisión o recepción, o también para evitar entrar con excesivo nivel de potencia a algún equipo.

El nivel de atenuación está escrito en el chasis de cada atenuador, también existen los atenuadores variables, que tienen la posibilidad de, en algún momento, modificar su atenuación dentro de un rango determinado por el mismo.

También pueden expandir el rango dinámico en amplificadores y otros dispositivos. Usados en muchos diseños electrónicos, los atenuadores de RF se fabrican de muchos tipos tales como el tipo N, el SMA y el BNC, que tienen cada uno su propia conectividad, potencia y especificaciones eléctricas. La tecnología también equilibra los niveles de señal en líneas de transmisión. Hay muchas maneras de hacer uno de estos dispositivos usando el software para el diseño construido con componentes electrónicos básicos y herramientas de soldadura.

Es justo lo opuesto a un amplificador, aunque los dos trabajan por diferentes métodos. Mientras un amplificador proporciona ganancia, un atenuador proporciona pérdidas, o ganancia menores que 1.

Este atenuador, disminuye la potencia en 3dB, al igual que el atenuador de la cadena del oscilador, y van a simular la atenuación del cable y las conexiones entre componentes.

Coaxial
SMA Fixed Attenuator

50Ω 1W 3dB DC to 12000 MHz

FW-3+

Maximum Ratings

Operating Temperature	-45°C to 100°C
Storage Temperature	-55°C to 100°C

Permanent damage may occur if any of these limits are exceeded.

Features

- wideband coverage, DC to 12000 MHz
- 1 watt rating
- rugged unibody construction
- off-the-shelf availability
- very low cost

Applications

- impedance matching
- signal level adjustment

Outline Drawing

Connectors
SMA

CASE STYLE: FF704

Model	Price	Qty.
FW-3+	\$18.95 ea.	(1-9)

+RoHS Compliant
The +Suffix identifies RoHS Compliance. See our web site for RoHS Compliance methodologies and qualifications

Ilustración 28: Atenuador del enlace de 3dB.

Amplificador de alta ganancia

Los amplificadores de RF son sencillamente dispositivos en los que se tienen en cuenta parámetros que incrementan proporcionalmente con la frecuencia y que influyen en la respuesta del mismo con el tiempo, estos dispositivos son importantes para poder analizar fenómenos y utilizarlos a más grande escala.

Estos amplificadores por lo general son proyectados con transistores FET como su componente activo, los transistores BJT pueden ser usados, pero se prefieren los FET por su alta impedancia de entrada, lo que mejora mucho la sensibilidad del circuito. Los amplificadores de poder de RF son las últimas etapas activas antes de la antena de transmisión. Suministran toda la amplificación de potencia necesaria para radiar la señal de RF al espacio. Suele ser el equipo más caro y delicado de todo el enlace.

Este amplificador tiene una elevada ganancia de 35dB.

Coaxial
Amplifier

50Ω Medium High Power 2000 to 8000 MHz

ZVE-8G+

Features

- wideband, 2 to 8 GHz
- low noise, 4 dB typ.
- high IP3, +40 dBm typ.
- high dynamic range
- high gain, 30 dB min
- laser sealed case

Applications

- satellite communications
- line-of-sight transmitters
- signal generators
- spread-spectrum communication

Connectors
SMA

CASE STYLE: BN333

Model	Price	Qty.
ZVE-8G+	\$1095.00 ea.	(1-9)
ZVE-8GX+	\$1020.00 ea.	(1-9)

+RoHS Compliant
The +Suffix identifies RoHS Compliance. See our web site for RoHS Compliance methodologies and qualifications

Ilustración 29: Amplificador de alta ganancia.

A continuación se muestran las características del amplificador:

Electrical Specifications												
MODEL NO.	FREQUENCY (MHz)		GAIN (dB)		MAXIMUM POWER (dBm)		DYNAMIC RANGE		VSWR (:1) Max.		DC POWER	
	f _L	f _U	Min.	Flatness Max.	Output (1 dB Compr. Min.)	Input (no damage)	NF (dB) Typ.	IP3 (dBm) Typ.	In	Out	Volt (V) Nom.	Current (A) Max.
ZVE-8G+	2000	8000	30	±2.0	+30**	+20	4	+40	2.0	2.0	12	1.2
ZVE-8GX*	2000	8000	30	±2.0	+30**	+20	4	+40	2.0	2.0	12	1.2

* Heat sink not included

** At 25°C; +30 dBm typ. at 54°C ambient.

Open load is not recommended, potentially can cause damage.

With no load derate max input power by 20 dB

To order without heat sink, add suffix X to model number. Alternative heat sinking and heat removal must be provided by the user to limit maximum base-plate temperature to 85°C, in order to ensure proper performance. For reference, this requires thermal resistance of user's external heat sink to be 1.3°C/W Max

Ilustración 30: Características del amplificador de alta ganancia.

Filtro de banda C (5.6 a 7 GHz)

El último filtro paso banda, de RF, deja pasar el ancho de banda de la señal final que sale a través del alimentador, la antena y al medio de propagación hacia el satélite.

Coaxial

Bandpass Filter

50Ω 5600 to 7000 MHz

Maximum Ratings

Operating Temperature -55°C to 100°C

Storage Temperature -55°C to 100°C

RF Power Input* 7W at 25°C

* Passband rating, derate linearly to 3W at 100°C ambient. Permanent damage may occur if any of these limits are exceeded.


Features

- Good Rejection, 30dB up to 18GHz
- Low insertion loss
- Excellent power handling, 7W
- Temperature stable LTCC internal structure
- Rugged stainless steel unibody
- Protected by US Patent 6,943,646

Applications

- Harmonic rejection
- Transmitters/receivers
- Lab use
- Test instrumentation

VBFZ-6260+



CASE STYLE: FF1145

Connectors	Model	Price	Qty.
SMA	VBFZ-6260-S+	\$39.95 ea.	(1-9)

+RoHS Compliant
The +Suffix identifies RoHS Compliance. See our web site for RoHS Compliance methodologies and qualifications

Ilustración 31: Filtro de banda C (5.6 a 7 GHz) del enlace.

A continuación se muestran las características del filtro.

Bandpass Filter Electrical Specifications ($T_{AMB} = 25^{\circ}\text{C}$)								
CENTER FREQ. (MHz) F_c	PASSBAND (MHz) (Loss < 2dB) $F_1 - F_2$	STOPBANDS (MHz)				VSWR (:1)		
		(Loss > 20dB)		(Loss 30dB Typ)		Passband		Stopband
		F_3	F_4	F_5	F_6	Typ.	Max.	Typ.
6260	5600 - 7000	4200	9300	4100	9300 - 18000	1.4	2.1	20

Ilustración 32: Características del filtro.

Alimentador

El alimentador de la antena es de tipo circular, que favorece la transmisión del plato sin hacer cambios de polarización horizontal y vertical. Además, se puede acoplar la recepción con los mismos componentes, únicamente añadiendo un “switch” que conmute los periodos de transmisión y recepción, pero como se indicó al principio del proyecto, éste trabajo se encargará de la parte ascendente.

La página del fabricante dispone de los planos del alimentador, que se muestran a continuación:

PRODELIN

1.8M and 2.4M C-Band Circular Polarized Feed

Specifications	1.8M and 2.4M
Operating Frequency	
Receive (side port)	3.7 - 4.2 GHz
Transmit (through port)	5.925 - 6.425 GHz
Midband Gain	
Receive (side port)	38.0 dBi
Transmit (through port)	42.1 dBi
Voltage Axial Ratio	
RX	1.30 (2.30 dB)
TX	1.25 (1.94 dB)
Cross-Pol Isolation	
Rx	17 dB
Tx	19 dB
Port-to-Port (Rx/Tx) Isolation	75 dB
VSWR Max	1.33
Feed Interface	
Rx	WR-229
Tx	Type N or WR-137
Feed Length	23.56 inch

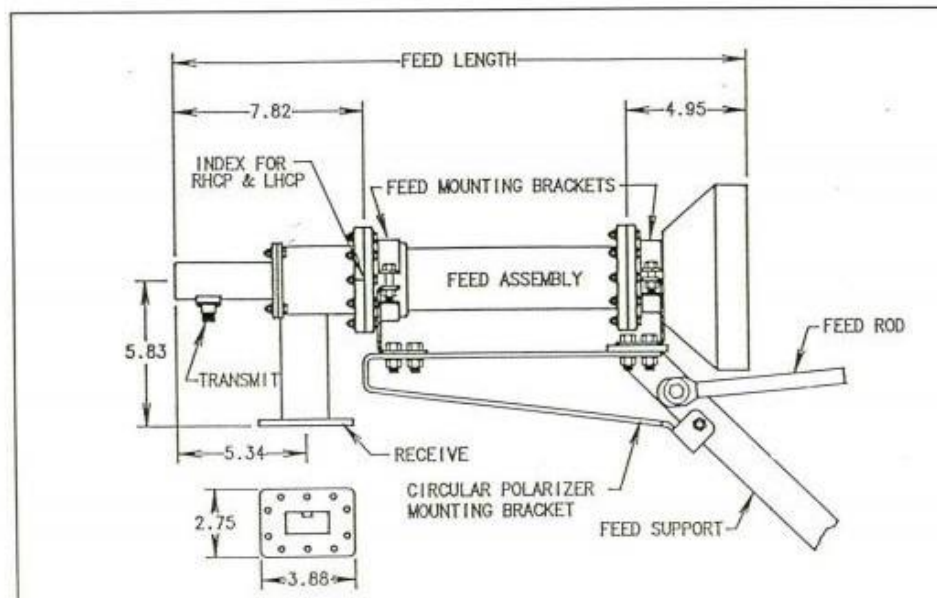
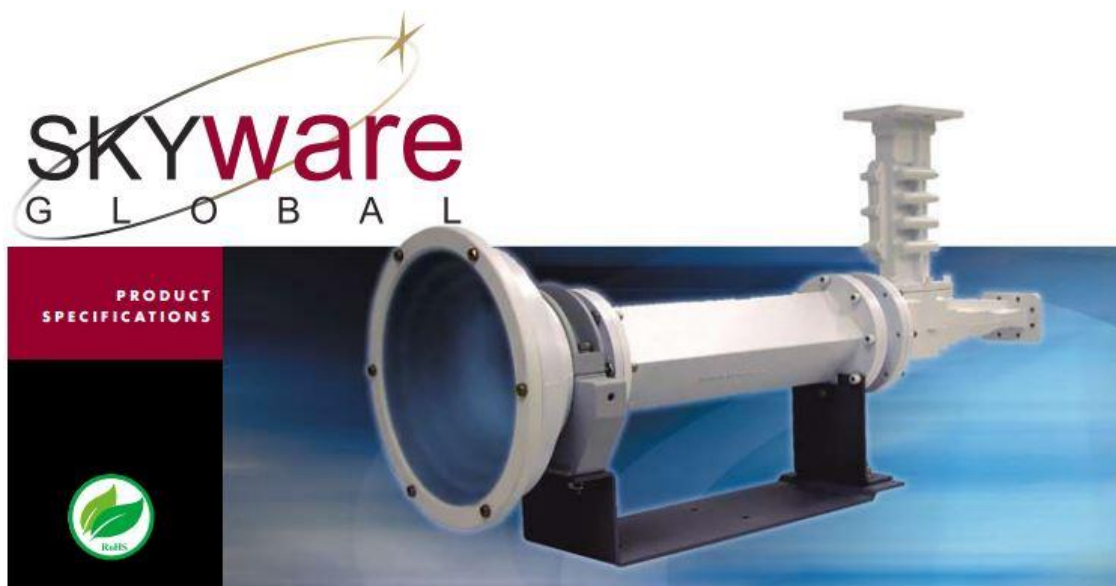


Ilustración 33: Planos del alimentador de la antena.

La página web del fabricante muestra el modelo de alimentador, pero no especifica para qué banda, su forma es igual para todas las bandas, simplemente varían sus dimensiones.



C-band Circular-Polarized RxTx

Skyware Global C-band Circular-Polarized Feed has been specifically designed for our line of offset reflectors. Electrically tested and matched, this die-cast feed assembly provides maximum performance for demanding commercial applications.

- Includes mounting bracket, LNB hardware and gaskets.
- Field replaceable feed horn window.
- All materials comply with EU directive No. 2002/95/EC (RoHS).

Ilustración 34: Fotografía del alimentador de la antena.

Antena

Esta antena de 2.4m vale para transmitir en banda C, además de otras bandas. Ofrece un rendimiento excepcional tanto para transmitir como para recibir.

Es un tipo de antena que se caracteriza por llevar un reflector parabólico, cuya superficie es en realidad un paraboloide de revolución. Las antenas parabólicas pueden ser transmisoras, receptoras o full dúplex, llamadas así cuando pueden transmitir y recibir simultáneamente. Suelen ser utilizadas a frecuencias altas y tienen una ganancia elevada.

En las antenas parabólicas transmisoras, la llamada parábola refleja las ondas electromagnéticas generadas por un dispositivo radiante que se encuentra ubicado en el foco del paraboloide. Los frentes de onda inicialmente esféricos que emite ese dispositivo se convierten en frentes de onda planos al reflejarse en dicha superficie, produciendo ondas más coherentes que otro tipo de antenas.

En las antenas receptoras, el reflector parabólico se encarga de concentrar en su foco, donde se encuentra un detector, los rayos paralelos de las ondas incidentes.

A continuación se muestra una tabla con las características de la antena:

PARÁMETROS TÉCNICOS	
Panel (Número de sectores)	6 Paneles
Diámetro (cm)	240 cm
Material	Placa de acero
Acabado del reflector	Polyester con recubrimiento
Tipo de montaje disponible	Montaje en poste
Longitud del foco	92.4
Ganancia en banda C	38.39 dB +/- 1dB
Ganancia en banda Ku	-
Temperatura de funcionamiento	-40 °C \approx +60 °C
Eficiencia de apertura	>80%
Velocidad máxima de viento	25 m/s
Humedad relativa	0-100%
Relación F/D	0.38
Acimut (°)	360/360

Tabla 4: Características de la antena.

Satélite

Los satélites geosíncronos o geoestacionarios se ubican en la latitud del Ecuador, a una distancia de aproximadamente 35.786 kilómetros del nivel del mar. Como se explicó en el capítulo 3, tienen una órbita circular y se mueven de Oeste a Este a la misma velocidad que la rotación de la tierra. Por eso, vistos desde nuestro planeta, los satélites no se mueven. Eso permite que sirvan como "puente" para las telecomunicaciones.

El satélite que se usará, será de tipo geoestacionario, que son el tipo de satélites que se usan para transmitir/recibir información de forma continua en el tiempo.

El satélite que se va a utilizar para el enlace tiene la siguiente nomenclatura:

IS 10-02 de INTELSAT. Es un satélite de banda C (también disponible en banda Ku) situado en la longitud 359° E que debido a su posición en la órbita, es posible conectar desde Santander con una buena calidad de conexión, debido a su cercanía respecto a otros satélites situados en zonas más lejanas, que aumentan las pérdidas y disminuyen la calidad de la señal tanto transmitida como recibida. El satélite IS 10-02 fue lanzado el 16 de Junio de 2004, por tanto es un satélite de mediana edad.

A continuación se muestra una imagen antes de su lanzamiento:

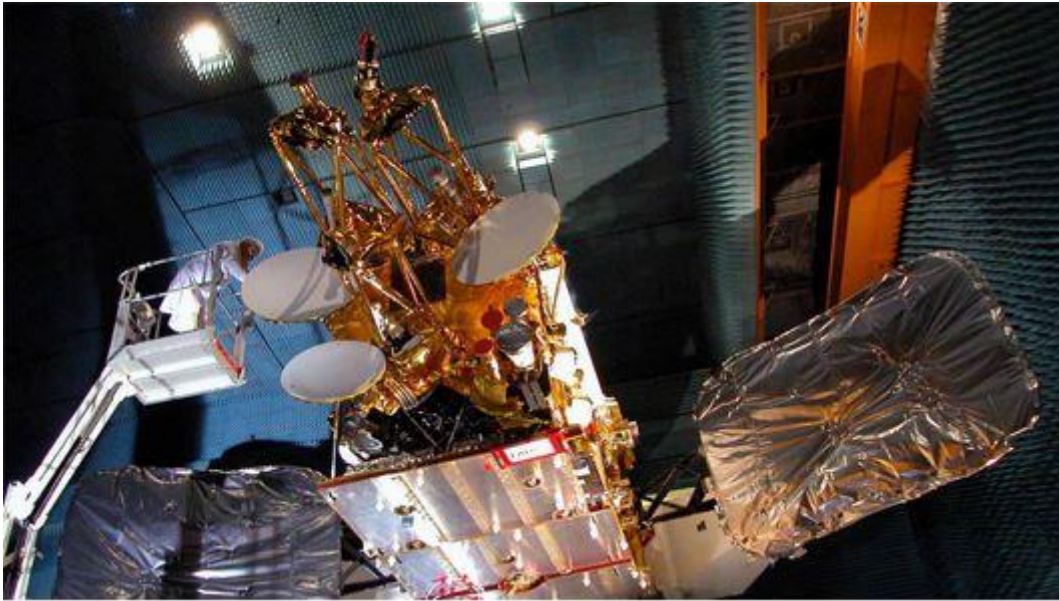


Ilustración 35: Satélite INTELSAT 10-02 antes de su lanzamiento. El más potente de la compañía.

A continuación se muestra una imagen ofrecida por la página de INTELSAT donde aparece la cobertura que ofrece este satélite en toda la Tierra.

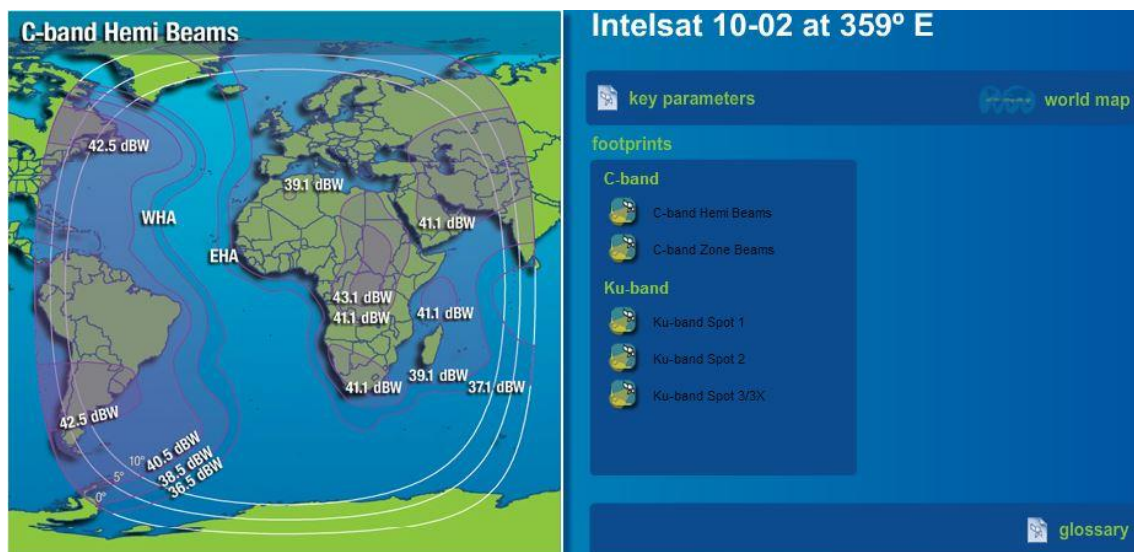


Ilustración 36: Huella que emite el satélite IS 10-02 hacia la Tierra para la banda C.

La siguiente imagen muestra la zona activa en banda C del satélite.

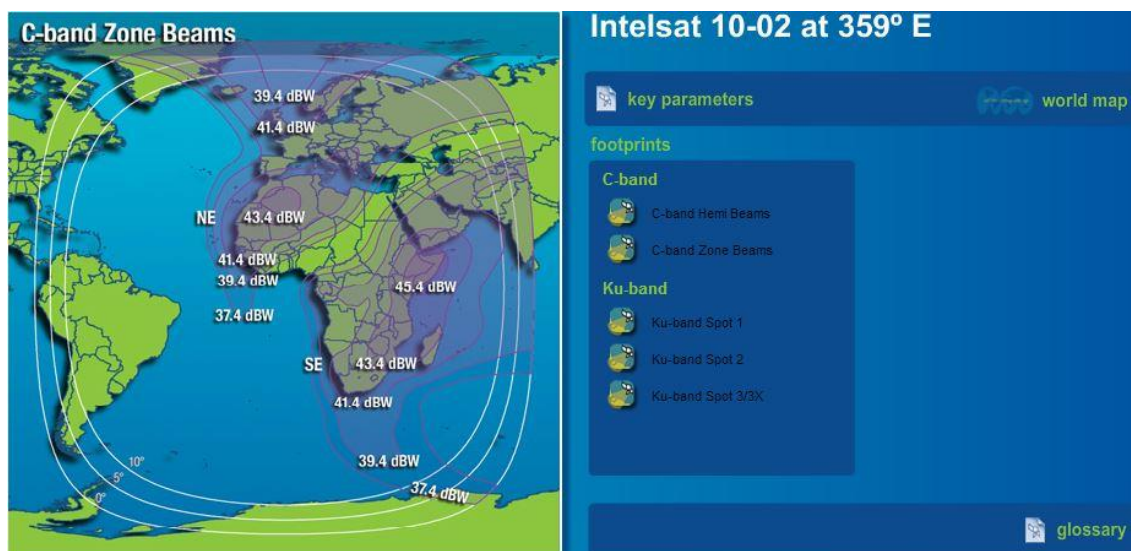


Ilustración 37: Imagen de la zona europea activa para banda C del IS 10-02.

A continuación se detalla el apuntamiento de una antena a cualquier satélite desde una posición terrestre determinada. En este trabajo se han utilizado las técnicas aprendidas por el proyectando durante su experiencia laboral en el telepuerto de Santander. De esta manera, la página indica exactamente los grados de acimut y elevación donde se tiene que apuntar la antena. Con ayuda de una brújula (o cualquier dispositivo electrónico con GPS) y un inclinómetro (indicará los grados de elevación que deberá elevarse la antena), se podrá llevar a cabo de manera sencilla.

Se escoge una localización desde un punto cerca del campus donde se pueda instalar a modo de ejemplo, y a su vez, en caso real, pueda implementarse sin problemas evitando obstáculos o demás factores que imposibiliten la conexión tales como árboles o edificios colindantes. Se ha determinado que un buen lugar, entre otros posibles, pueda ser, encima del edificio de la Escuela de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación de la Universidad de Cantabria, dado que no ocupa espacio de zonas viandantes ni aparcamientos, se aprovecha el espacio del tejado y además, éste último, al estar a más altura respecto del suelo, evita obstáculos como árboles u otros edificios que interfieran en la dirección de la señal.

Con la ayuda de la página *Dishpointer*³⁰, citada anteriormente como herramienta, se elige el satélite a utilizar y se selecciona la zona donde se quiere transmitir/recibir. El

³⁰ <http://www.dishpointer.com/>

programa predice automáticamente las coordenadas a la que debe apuntar la antena hacia el satélite para que conecte de forma correcta.

Como de momento no hay opción de recibir la señal que se emite, y saber si se está apuntando al satélite correcto, la mejor manera es, mientras se apunta la antena y se envía un señal con una determinada potencia, contactar con el proveedor del satélite (INTELSAT) por teléfono, para estar en contacto en todo momento y saber si la antena está bien apuntada y transmite con normalidad. INTELSAT dirá la potencia necesaria para que llegue la señal correctamente y no se sature el satélite por excesiva potencia.

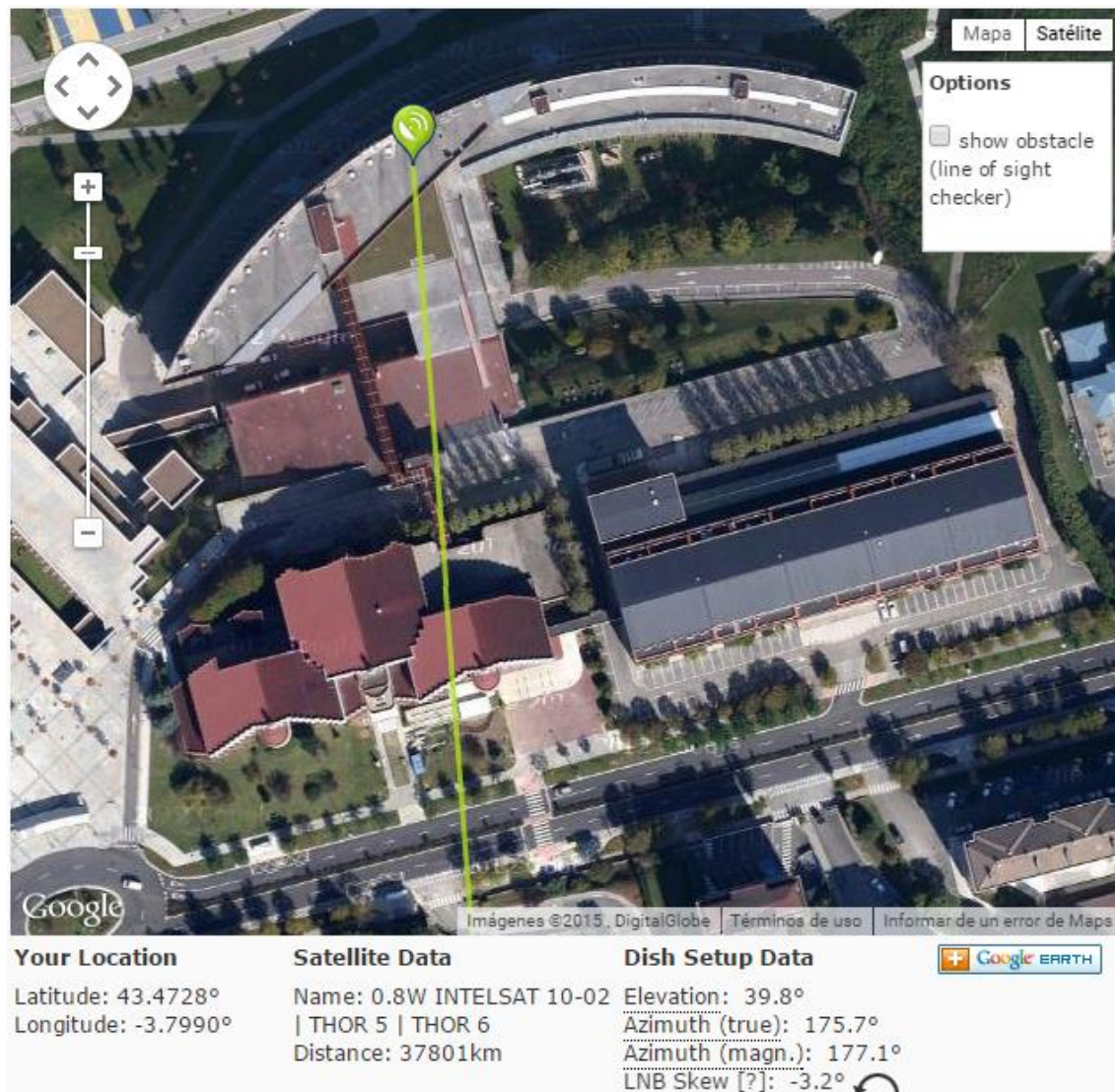


Ilustración 38: Posición de la antena (acimut y elevación) y dirección a la que apunta el haz de la antena.

La línea verde indica la dirección donde apunta la antena, es decir a 175.7° Sur, con una elevación de 39.8°, que unidos a un mástil propio de la antena hacen posible que evite los obstáculos del terreno, ya que tiene bastante elevación (entre el tejado del edificio más el mástil).

Cuanta más elevación tenga la antena en grados (39.8°), más cercano está el satélite, siendo la distancia óptima la mínima posible en un punto situado en el ecuador, donde la antena apunte 90° hacia arriba. Cuanto más lejano esté el satélite de la antena, menos grados de elevación, deberá tener la antena y aumentará su sensibilidad a las interferencias terrestres, sobre todo en banda C.

Cabe decir, que este satélite, es de los más idóneos para conectar desde cualquier punto de la península ibérica, en términos de cercanía. El hecho de que se elija o no, es su disponibilidad y precio entre otros factores.

A continuación se muestran los parámetros del satélite:

Parámetros clave en banda C

Total Transpondedores		up to 70 (eq.36MHz)
Polarización		Circular
Frecuencia de bajada		3625 to 4200 MHz
P.I.R.E (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente)	Haz Global:	32.0 up to 36.0 dBW
	Haz Mitad Oeste (WH):	37.0 up to 43.5 dBW
	Haz Mitad Este (EH):	37.0 up to 44.1 dBW
	Haz Zona Nordeste (NE):	37.0 up to 44.4 dBW
	Haz Zona Sudeste (SE):	37.0 up to 46.4 dBW
Frecuencia de subida		5850 to 6425 MHz
Tasa G/T (Borde de Cobertura Máximo del haz)	Haz Global:	-10.7 up to -7.7 dB/K
	Haz Mitad Oeste (WH):	-4.6 up to 2.4 dB/K
	Haz Mitad Este (EH):	-6.5 up to -0.1 dB/K
	Haz Zona Nordeste (NE):	-4.0 up to 2.3 dB/K
	Haz Zona Sudeste (SE):	-4.6 up to 3.0 dB/K
Borde de Cobertura Alcance SFD³¹		-89.0 to -67.0 dBW/m ²

Tabla 5: Tabla de características del IS 10-02.

³¹ SFD: Acrónimo en inglés que significa Densidad Flujo de Saturación.

2. Análisis de potencia y atenuación

En este apartado se va a calcular la suma de potencias y atenuaciones del circuito. Para ello se ha simulado el circuito con el programa Genesys, donde se encuentra una función llamada “Channel Power”, que calcula el nivel de potencia, que lleva la señal al pasar por cada uno de los componentes, tanto activos como pasivos, hasta llegar al final de la cadena con una determinada potencia final.

En la siguiente ilustración, se muestra la ventana “Channel Power” realizada con Genesys.

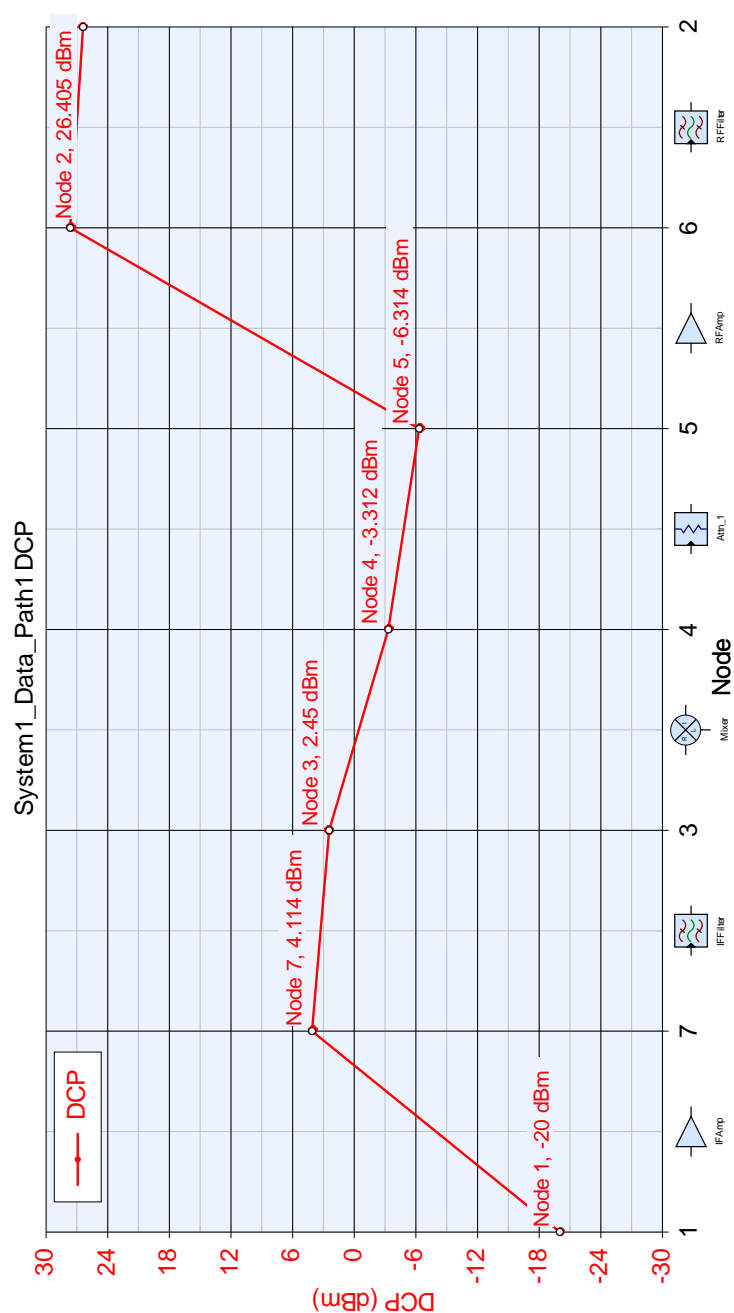


Ilustración 39: Ventana de potencia del enlace.

Como se aprecia en la anterior ilustración, la potencia final que sale del último componente, que es el filtro de RF, es de 26.405 dBm.

El programa simula las pérdidas que tiene cada componente en base a los datos proporcionados por las hojas de características de los propios fabricantes. De modo que, si el primer amplificador tiene una ganancia específica de 24.19 dB, el programa Genesys suma esa ganancia, a la potencia que lleva la cadena, y si es pasivo, como un atenuador, por ejemplo, lo resta. Es conocido por todos, que puede existir una diferencia entre los valores teóricos y prácticos, de modo que a la hora de efectuar la simulación se han utilizado los valores más realistas posibles y de peor caso. De esta forma se asegura que los resultados de simulación serán lo más cercanos al funcionamiento real del enlace.

Se propone una atenuación por la conexión entre componentes de entre 0.25 y 0.5 dB. En la cadena, se encuentran 7 componentes en la parte principal del circuito. Por tanto, la siguiente tabla muestra la relación número de componentes y atenuación por conexión:

Nº componentes / Atenuación por conexión	Mejor caso: 0.25 dB atenuación	Peor caso: 0.5 dB atenuación
6 componentes	1.50 dB	3.00 dB
7 componentes	1.75 dB	3.50 dB
8 componentes	2.00 dB	4.00 dB
9 componentes	2.25 dB	4.50 dB

Tabla 6: Pérdidas por conexiones entre componentes.

Se tomará el peor caso de atenuación por la conexión entre componentes, es decir 0.5 dB por cada conexión.

En la anterior tabla está resaltado en color amarillo la atenuación total por conexión de 7 componentes:

$$\text{Atenuación total}_{\text{conexión}} = \text{Pérdidas}_{\text{conexión}} * N^{\circ}_{\text{conexiones}} = 0.5 \text{ dB} * 7 = 3.5 \text{ dB}$$

La siguiente parte muestra la atenuación del cable, que varían en función de la frecuencia y la distancia, principalmente. Sigue una regla más bien sencilla, a mayor distancia y frecuencia, mayor atenuación. Hay otros valores, como la temperatura, que también varían la atenuación. Se ha escogido el cable CNT-600, que presenta las siguientes características:

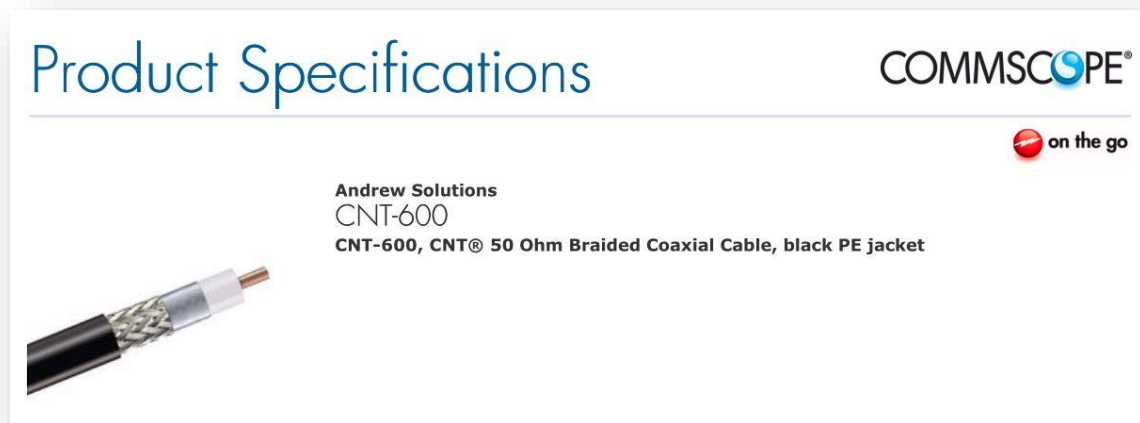


Ilustración 40: Marca, modelo y tipo de cable que usa el enlace.

Dicho cable, presenta la siguiente tabla de atenuación según la frecuencia. Se ilustra a continuación:

Electrical Performance		
Frequency	Attenuation (dB/100 m)	Attenuation (dB/100 ft)
30 MHz	1.60	0.49
50 MHz	1.97	0.60
150 MHz	3.20	0.97
220 MHz	3.80	1.17
450 MHz	5.60	1.71
900 MHz	8.20	2.50
1500 MHz	10.80	3.30
1800 MHz	12.10	3.70
2000 MHz	12.80	3.90
2400 MHz	14.44	4.40
2500 MHz	14.80	4.50
3000 MHz	16.40	5.00
4000 MHz	19.36	5.90
4500 MHz	21.00	6.40
5000 MHz	22.31	6.80
5200 MHz	22.97	7.00
5500 MHz	23.62	7.20
5800 MHz	24.28	7.40
6000 MHz	24.93	7.60

Ilustración 41: Tabla de pérdidas del cable (dadas por el fabricante) en función de la frecuencia.

Por tanto, para éste enlace, se han estimado 4 metros de cable en la etapa anterior al mezclador. Que trabaja a una frecuencia central de 1.065 GHz. Otros 4 metros de cable para la parte que va del oscilador local hasta el mezclador, que trabaja a una frecuencia de 5 GHz. Por último, 10 metros de cable para la parte final, que llega hasta el alimentador de la antena, y que trabaja a una frecuencia de 6.065 GHz.

En la siguiente tabla se ha hecho un cálculo de la atenuación del cable en función de la distancia y la frecuencia.

Metros / Frecuencia	1.065 GHz	5 GHz	6.065 GHz
4 metros	0.36 dB	0.89 dB	1 dB
5 metros	0.45 dB	1.12 dB	1.25 dB
6 metros	0.54 dB	1.34 dB	1.50 dB
7 metros	0.63 dB	1.56 dB	1.75 dB
8 metros	0.72 dB	1.78 dB	2.00 dB
9 metros	0.81 dB	2.01 dB	2.25 dB
10 metros	0.90 dB	2.23 dB	2.5 dB

Tabla 7: Pérdidas del cable CNT-600 con diferentes frecuencias y distancias.

Los datos resaltados en color amarillo, indican las pérdidas que hay que sumar a la cadena. Estas pérdidas, como se ha comentado anteriormente, son los 4 metros de cable anterior al mezclador con una atenuación total de 0.36 dB, más 4 metros de cable de la parte del oscilador que presentan una atenuación de 0.89 dB, más los 10 metros de cable de la parte posterior al mezclador que va hasta la antena y presenta unas pérdidas de 2.5 dB.

Por tanto, la suma total de atenuación del cable que presenta el conjunto del enlace son las siguientes:

$$\begin{aligned}
 \text{Atenuación}_{\text{cable}} &= \text{Atenuación}_{\text{hasta mezclador}} + \text{Atenuación}_{\text{oscilador}} \\
 &+ \text{Atenuación}_{\text{hasta la antena}} = 0.36 \text{ dB} + 0.89 \text{ dB} + 2.5 \text{ dB} \\
 &= 3.75 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

La atenuación total que presenta el cable es de 3.75 dB.

Se estima que estas pérdidas, tanto del cable como de las conexiones entre componentes, están incluidas en el diseño del enlace, con dos atenuadores de 3 dB cada uno, que disminuyen la potencia 6 dB, situados uno en la segunda cadena, que procede del oscilador, y el otro en la primera, posterior al mezclador. Por tanto, no se van a restar a la potencia final que muestra Genesys en la Ilustración 39: Ventana de potencia del enlace. Ilustración 39: Ventana de potencia del enlace.

El alimentador de la antena tiene una ganancia de 21 dB y la ganancia del plato de la antena es de 38 dB.

La ecuación que se utiliza para obtener las pérdidas por trayectoria en el espacio libre es:

$$L_p(dB) = 92.4 + 20 * \log(f \text{ en GHz}) + 20 * \log(D \text{ en km})$$

$$= 92.4 + 20 * \log(6.065) + 20 * \log(36000) = 198.19 \text{ dB}$$

La PIRE³² que se va a transmitir, consta de tres variables, la potencia que sale del amplificador de RF, las pérdidas de atenuación totales y la ganancia de la antena, que es el conjunto del alimentador más el plato:

$$PIRE(dBW) = P - L_1 + G_t = -4dBW - 198dB + 59dB = -143dBW$$

La potencia que llega al satélite es -143 dBW.

3. Simulación

En la ilustración 43 se muestra el sistema utilizado en la simulación con la fuente de modulación digital. Dicho sistema está formado por los mismos componentes que el enlace formado por la fuente de señal continua. Salvo la ausencia del multiplicador, que dio problemas y no se conseguía simular el circuito. Tras contactar con los expertos de Genesys, éstos nos informaron que tanto el multiplicador como el divisor son componentes que no simula Genesys con una fuente de modulación digital. Debido a esto, se ha sustituido el oscilador de 2.5 GHz por uno con 5GHz para no alterar el diseño del circuito. Cabe decir, que en el mercado existe gran variedad de osciladores de 5GHz. La razón de haber utilizado primeramente un oscilador de tal frecuencia, es que el conjunto oscilador más multiplicador pudiera salir más barato que un oscilador del doble de potencia. Esto no siempre es así, ya que se encuentra en el mercado el siguiente oscilador:

2X Fundamental

Voltage Controlled Oscillator

Frequency Doubling 5194 to 5200 MHz

Features

- frequency based on multiplication of carrier frequency
- low phase noise
- low pushing
- low pulling
- protected by US patent 6,790,049

Applications

- r & d
- lab
- instrumentation
- wireless communications
- industrial communications

ZX95-5200C+



CASE STYLE: GB956

Connectors	Model	Price	Qty.
SMA	ZX95-5200C-S+	\$ 54.95 ea.	(1-9)

+RoHS Compliant

The +Suffix identifies RoHS Compliance. See our web site for RoHS Compliance methodologies and qualifications

Ilustración 42: Oscilador local de 5.2 GHz.

³² Potencia Radiada Isotrópica Equivalente

El multiplicador mostrado en la ilustración 42, solamente es 5\$ más caro que el oscilador seleccionado en el proyecto, lo que supondría el ahorro del multiplicador. Además se reduciría la atenuación entre las conexiones de los componentes ya que se elimina un componente del circuito.

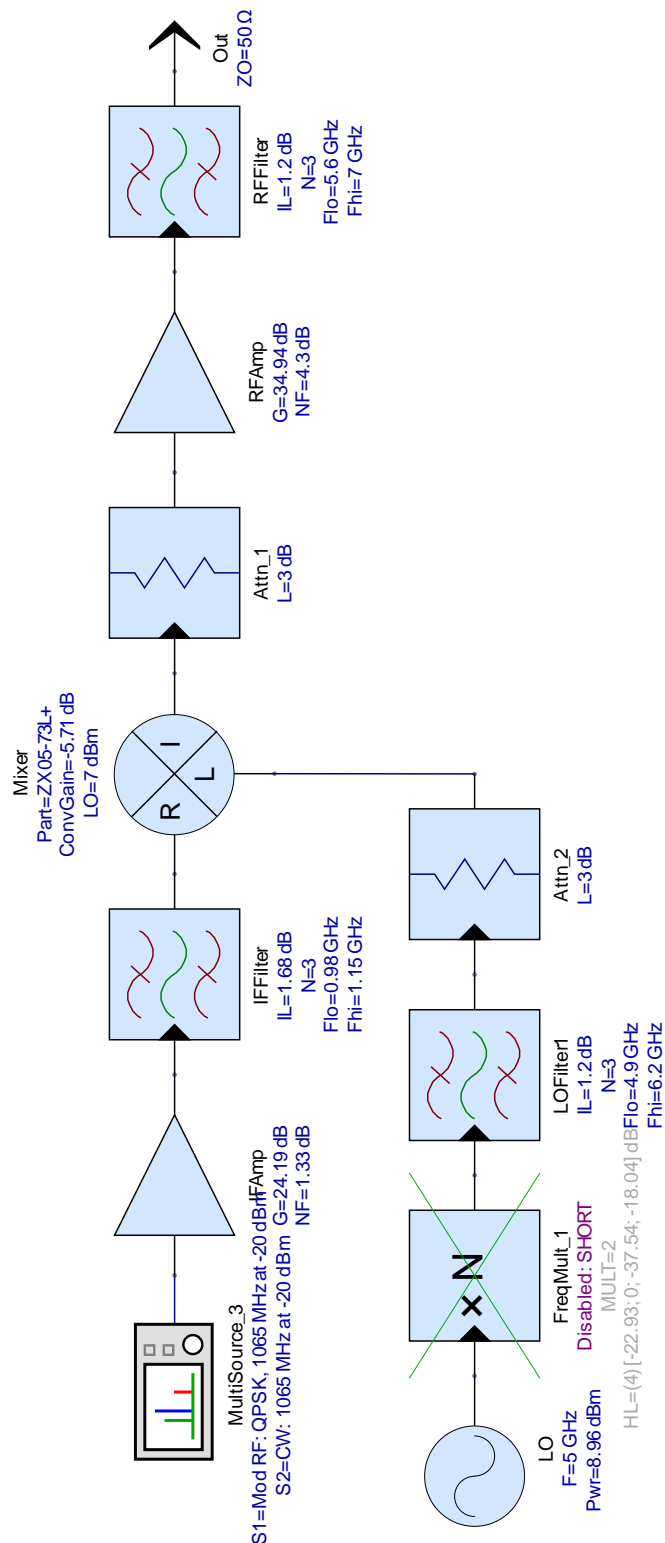


Ilustración 43: Enlace ascendente con la fuente digital.

A continuación se muestran las imágenes de la señal a la entrada:

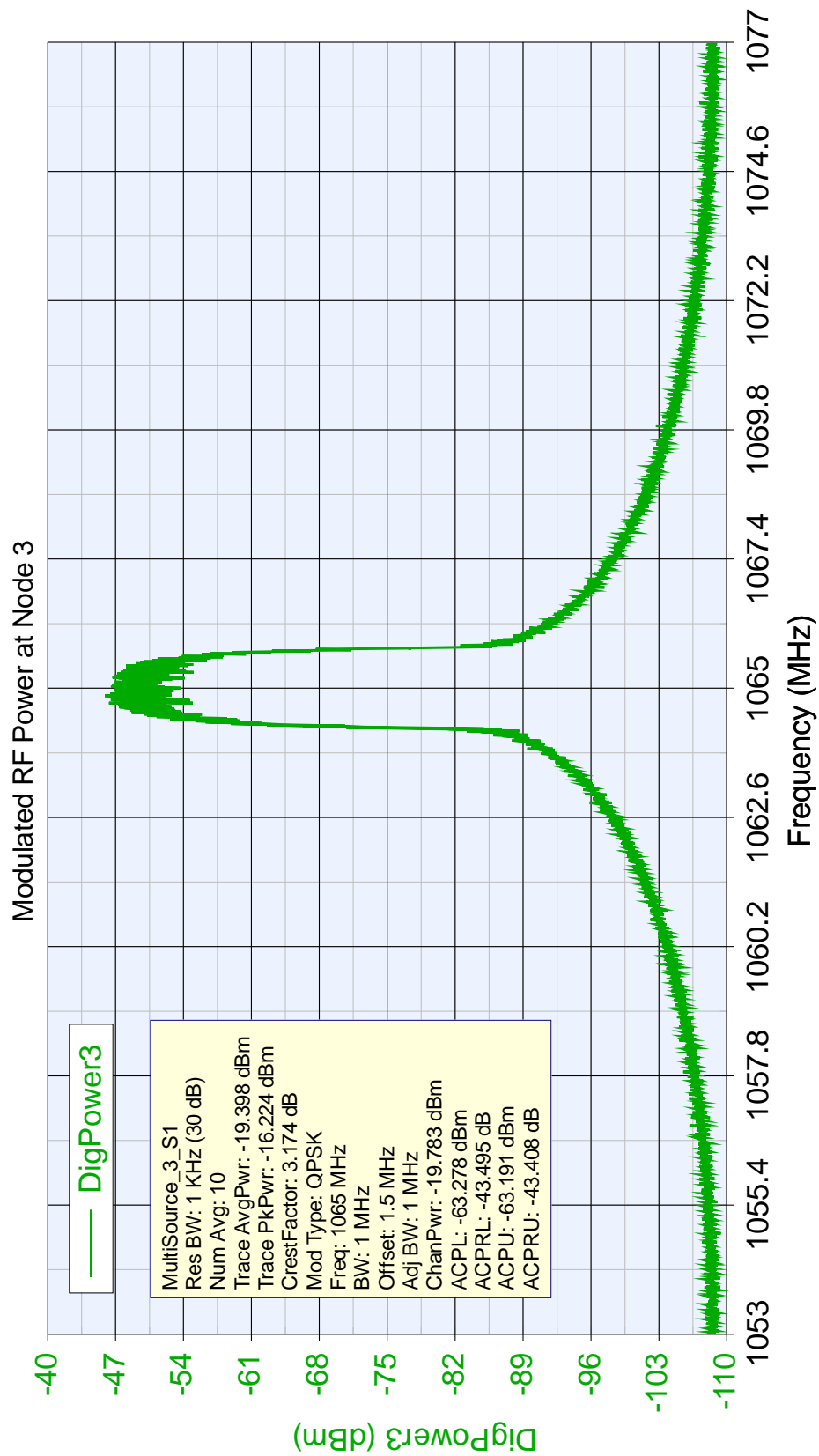


Ilustración 44: Señal a la entrada del enlace.

Y a la salida del enlace:

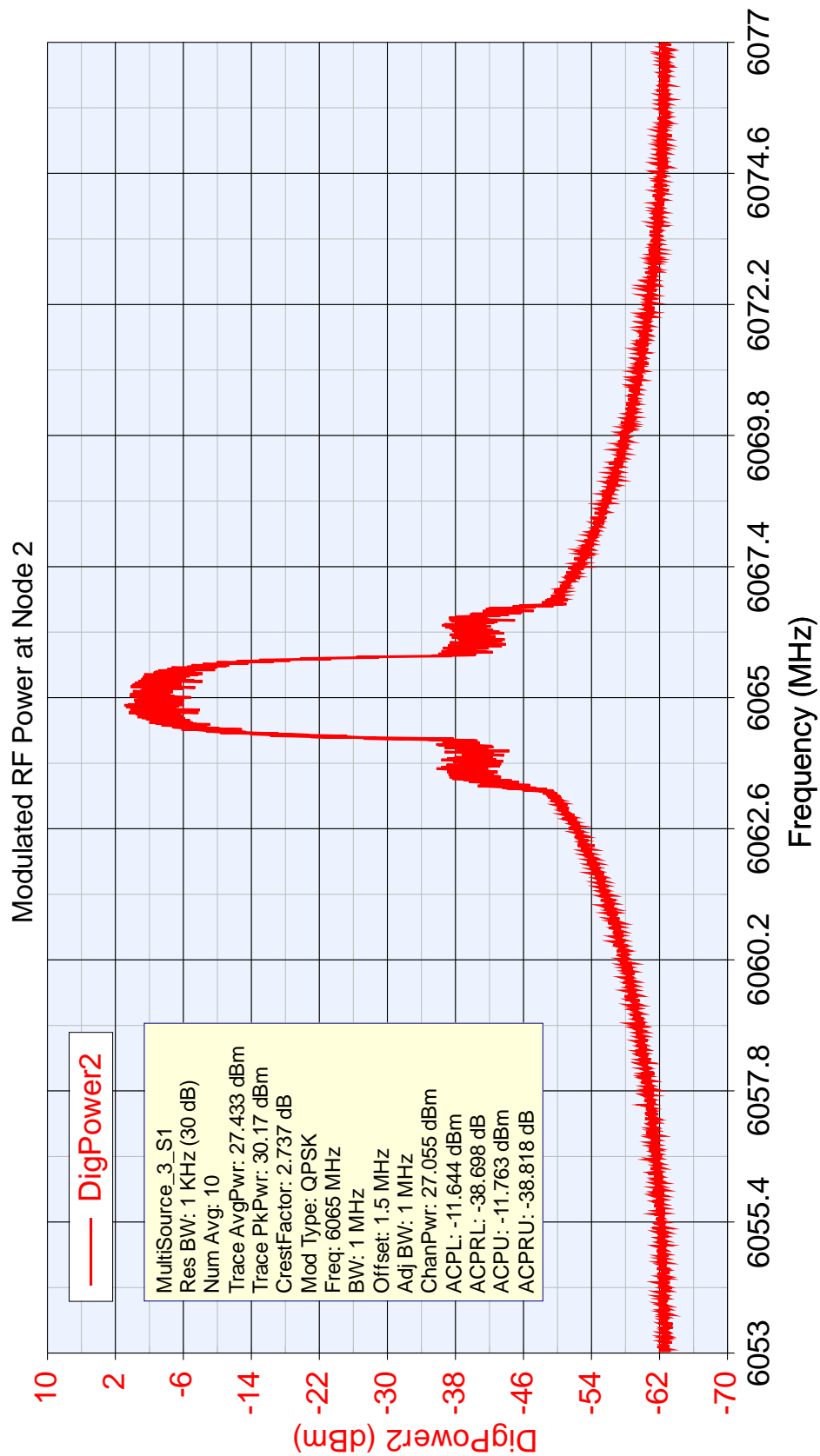


Ilustración 45: Señal a la salida del enlace.

Los dos hombros que aparecen en la gráfica de salida, es completamente normal. Son los núdulos secundarios. Pudiendo aparecer en ocasiones núdulos terciarios, que en este caso, no se han originado. A la salida de la antena, debería parecerse lo máximo posible a ésta última gráfica, pero con más potencia. Desde luego que la forma deberá ser la misma, pero a pequeña escala, aunque no será exactamente igual y variará un mínimo, debido a los paneles de la antena, el alimentador y demás componentes que no son perfectos y producen variaciones.

4. Filtros creados con Genesys

En este apartado se van a crear los filtros y serán sustituidos, en caso necesario, por una mejora en el diseño del enlace o por una disminución del coste total, por los filtros que han sido seleccionados en el proyecto, que son de una marca comercial. La razón por la que han sido creados, es el ahorro que supone fabricar los filtros una vez se dispone de un sustrato, dado el coste extremadamente bajo del sustrato, sólo queda su simulación y fabricación. Además se pueden hacer con bastante facilidad con ayuda del software como el que se está utilizando. Éste último, saca automáticamente el layout, las gráficas con los parámetros S y más información valiosa disponible en el programa.

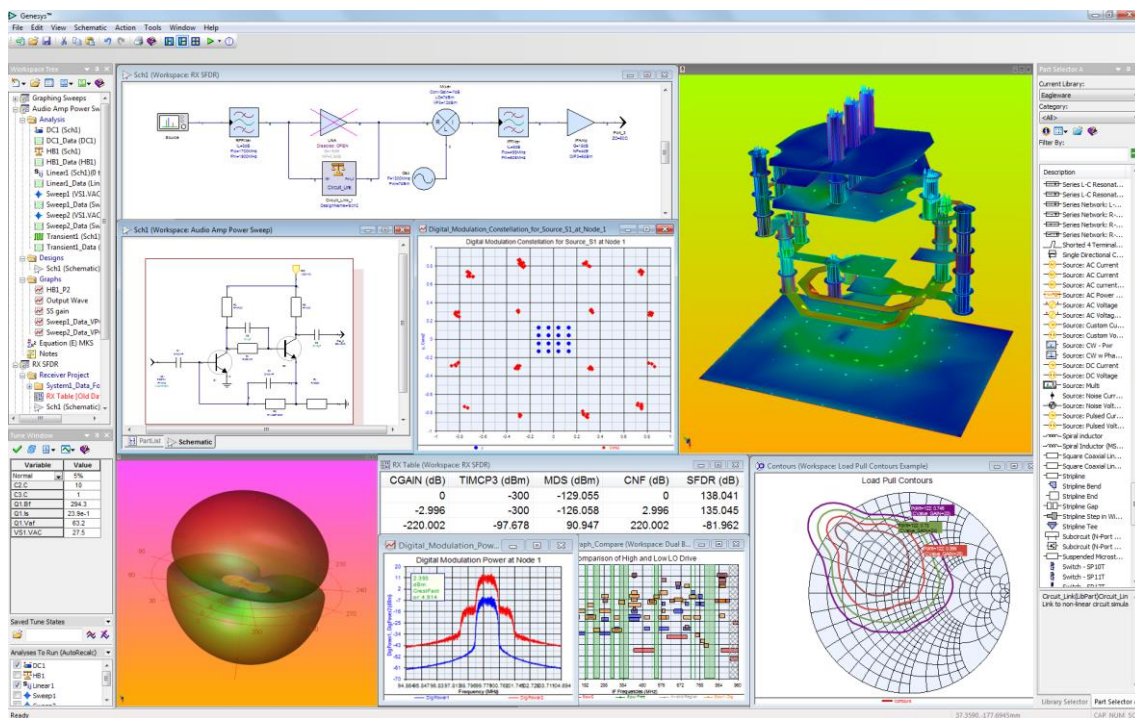


Ilustración 46: Simulador Genesys de la compañía Keysight.

Lo primero de todo será mostrar las gráficas de los filtros creados con el mismo sustrato para los tres. El sustrato en cuestión es el Rogers RTD5880 ½ Rolled 15 mil. Con ayuda del datasheet del presente sustrato, el fabricante proporciona las características que se muestran en la siguiente tabla:

PROPIEDAD	VALOR TÍPICO		UNIDADES
	RT/duroid 5880		
Constante Dieléctrica	2.20+-0.02 spec		N/A
Factor Disipación	0.0004 0.0009		N/A
Coeficiente Térmico	-125		ppm/°C
Resistividad Volumétrica	2 X 10 ⁷		Mohm cm
Resistividad Superficial	3 X 10 ⁷		Mohm
Módulo de tracción	Test a 23º C	Test a 100º C	MPa (kpsi)
	1070 (156)	450 (65)	
	860 (125)	380 (55)	
Máximo Estrés	29 (4.2)	20 (2.9)	
	27 (3.9)	18 (2.6)	
Máxima Deformación	6.0	7.2	%
	4.9	5.8	
Módulo de Compresión	710 (103)	500 (73)	MPa (kpsi)
	710 (103)	500 (73)	
	940 (136)	670 (97)	
Máximo Estrés	27 (3.9)	22 (3.2)	
	29 (5.3)	21 (3.1)	
	52 (7.5)	43 (6.3)	
Máxima Deformación	8.5	8.4	%
	7.7	7.8	
	12.5	17.6	
Temperatura Específica	0.96 (0.23)		J/g/K (cal/g/C)
Absorción de Humedad	0.02		%
Conductividad Térmica	0.20		W/m/K
Coeficiente de Expansión Térmica	31		ppm/°C
	48		
	237		
Td	500		°C TGA
Densidad	2.2		gm/cm³
Corteza de cobre	31.2 (5.5)		pli (N/mm)
Inflamabilidad	V-0		N/A
Libre Plomo	Yes		N/A

Tabla 8: Características del sustrato Rogers RTD5880

El primer filtro que se muestra es llamado en el esquema “IF Filter” que corresponde al filtro que va a continuación de la señal del módem. Es un filtro de tipo Chebyshev creado con la tecnología interdigital. La gráfica del filtro se muestra a continuación:

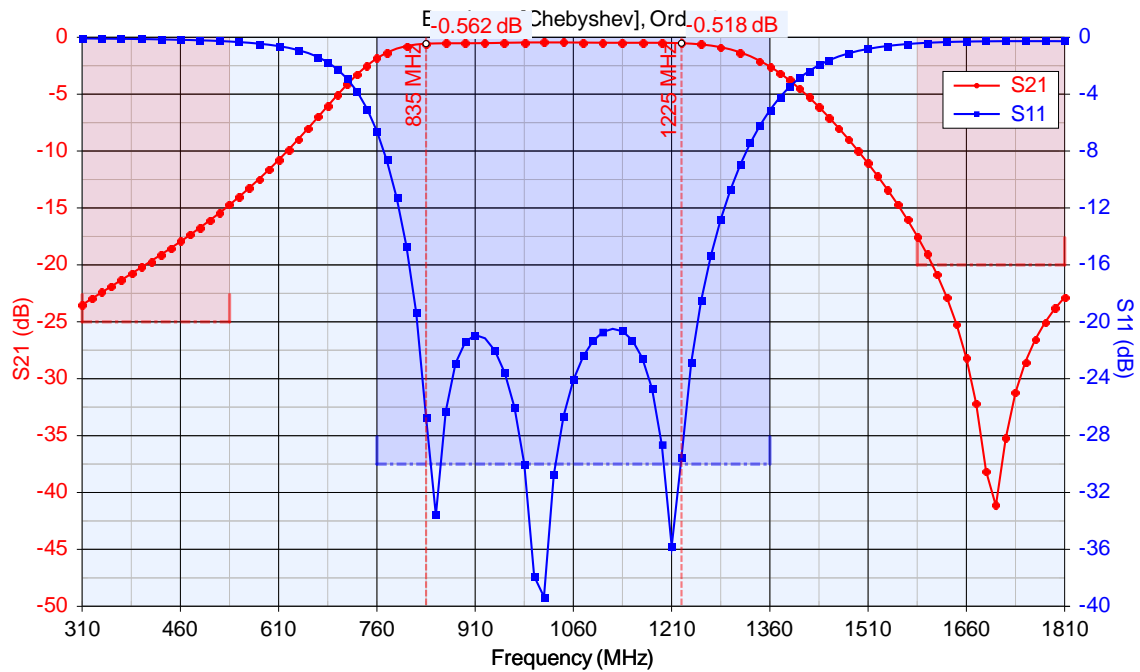


Ilustración 47: IF Filter creado con Genesys.

Comparando la gráfica del filtro diseñado con el filtro comercial:

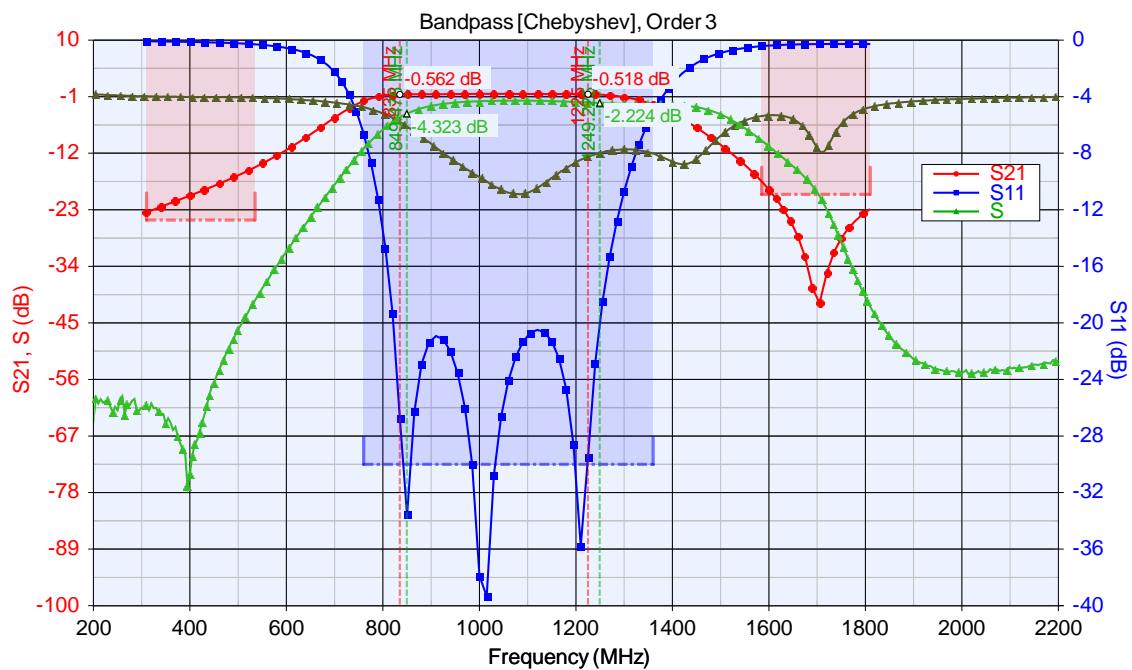


Ilustración 48: IFFilter comercial de Mini Circuits.

Como se aprecia en las ilustraciones, las características del filtro creado con Genesys son mejores, rondando en 0.5-0.6 dB de pérdidas en la zona de trabajo mientras que el filtro comercial ronda los 2-4 dB de pérdidas. Siendo especialmente relevante la buena adaptación del filtro diseñado con Genesys frente al filtro comercial.

El siguiente filtro diseñado, es llamado en el diseño “LOFilter” y corresponde al filtro que va a continuación del oscilador local. Es un filtro de tipo Chebyshev de orden 3 con la siguiente curva de características que se muestra a continuación:

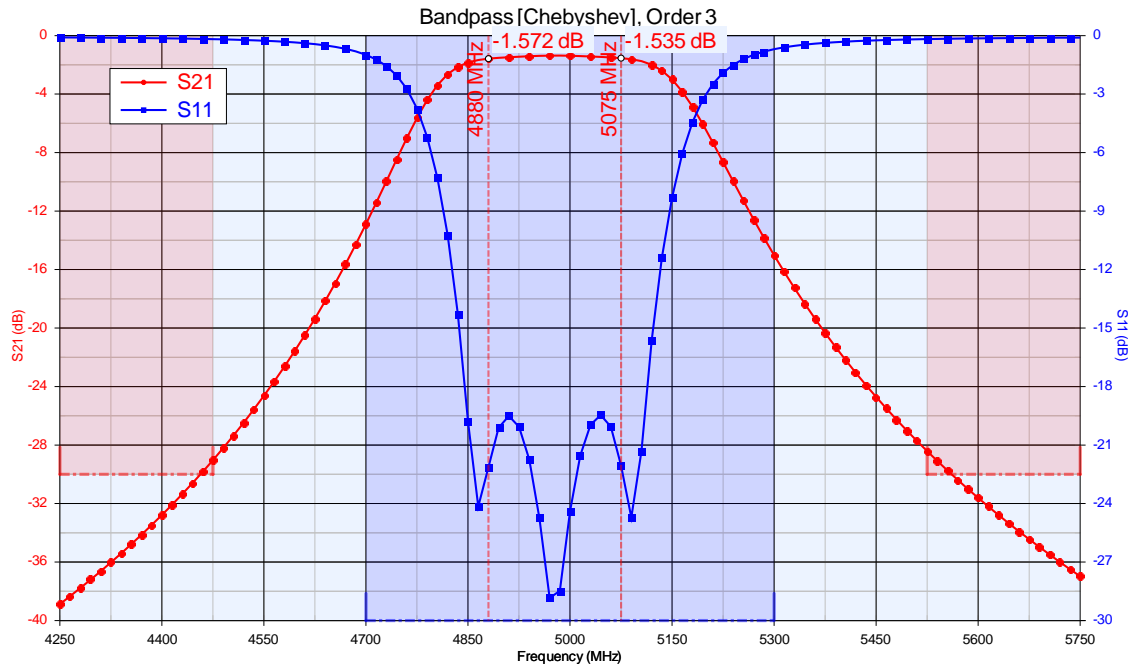


Ilustración 49: LOFilter diseñado con Genesys.

El filtro comercial no tiene disponible la simulación en la página web del fabricante, como los otros dos filtros, es de extrañar que no hayan dejado disponible sus características ya que se trata de la misma marca que los dos filtros que hay en el enlace. Hemos contactado con el fabricante y éste, ha respondido amablemente que no disponen de estas simulaciones.

Como último diseño, se trata de mostrar el filtro de la cadena de RF, el llamado “RFFilter”. Se ha diseñado de la misma manera que los dos filtros anteriores respetando las características propias de un filtro de este tipo. Es un filtro de tipo Butterworth con tecnología interdigital.

A continuación se muestra la curva de características, los parámetros S11 y S21:

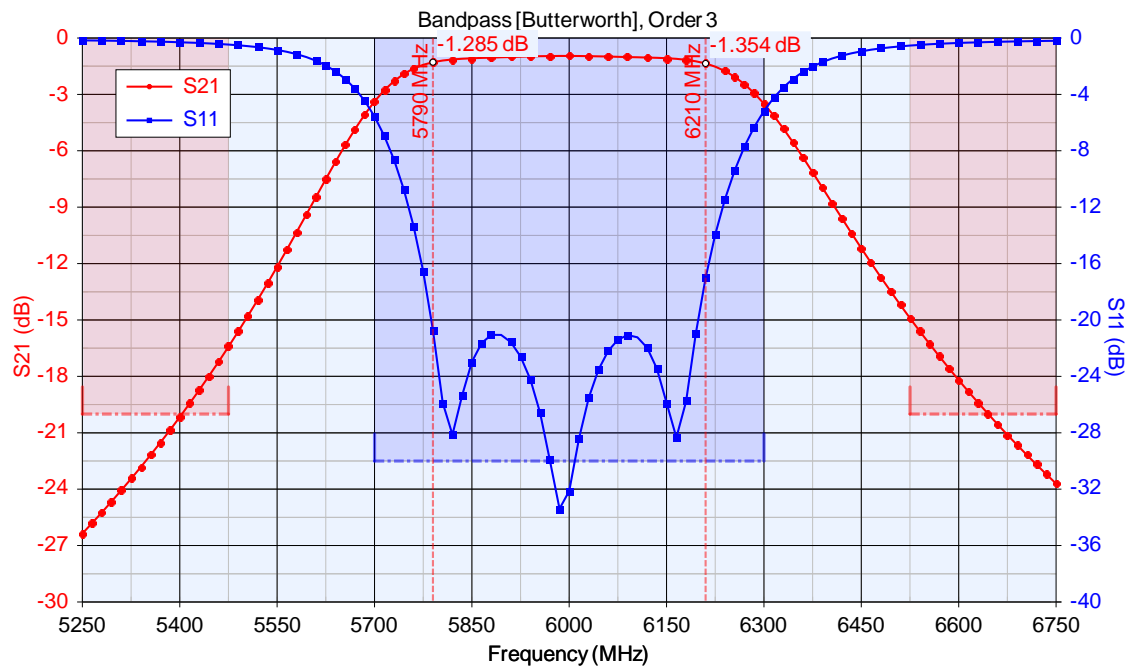


Ilustración 50: RFFilter diseñado con Genesys.

Se aprecia en la ilustración que la zona de paso, ronda los 1.2-1.4 dB de pérdidas, lo cual es una buena cifra.

En la siguiente ilustración se muestra la comparativa del filtro diseñado con el filtro comercial:

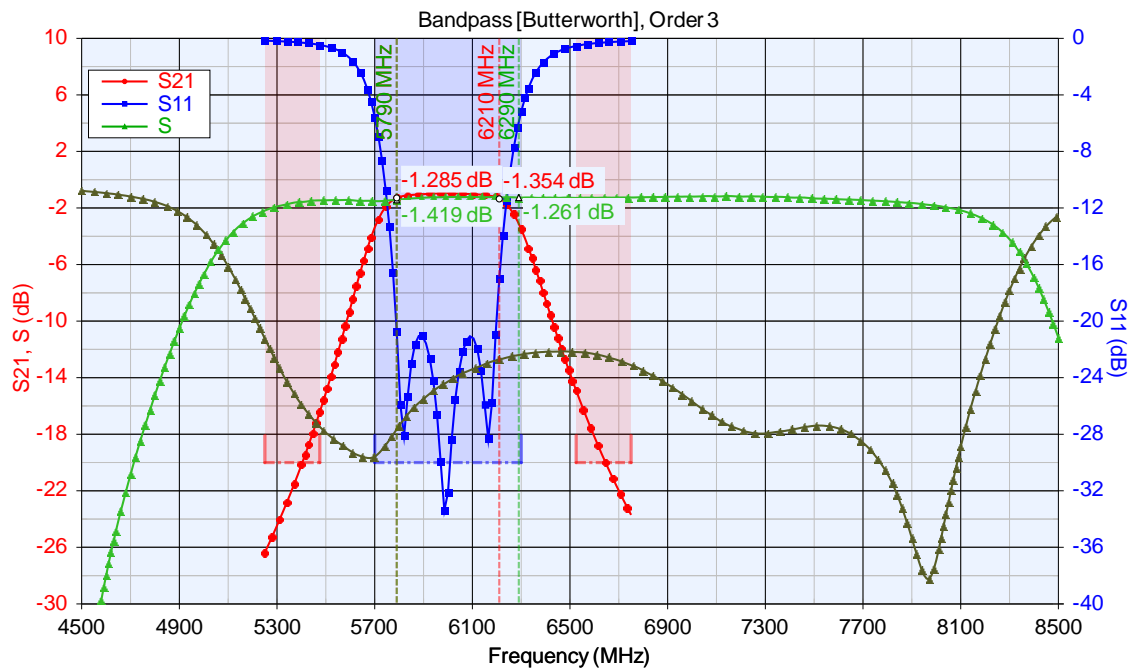


Ilustración 51: RFFilter comercial de la marca Mini Circuits.

Las pérdidas son similares en ambos filtros, en este caso el rendimiento del filtro comercial es muy bueno, así que no supone una notable mejora, se debería trabajar en mejorar sus pérdidas o su coste para que merezca la pena el cambio. Como mejora principal del filtro diseñado en tecnología de líneas acopladas, es que está en el centro de la banda que se quiere transmitir, por tanto es más simétrico, ya que obviamente, está hecho a medida para este enlace.

Las gráficas de entrada y salida del circuito no varían ni en su forma ni en su potencia, respecto a las gráficas mostradas con los filtros comerciales. Por lo tanto, se puede decir que no ha variado el enlace con los filtros diseñados con Genesys.

A continuación, a modo de ejemplo para los tres filtros, se muestra el layout del “IF Filter”:

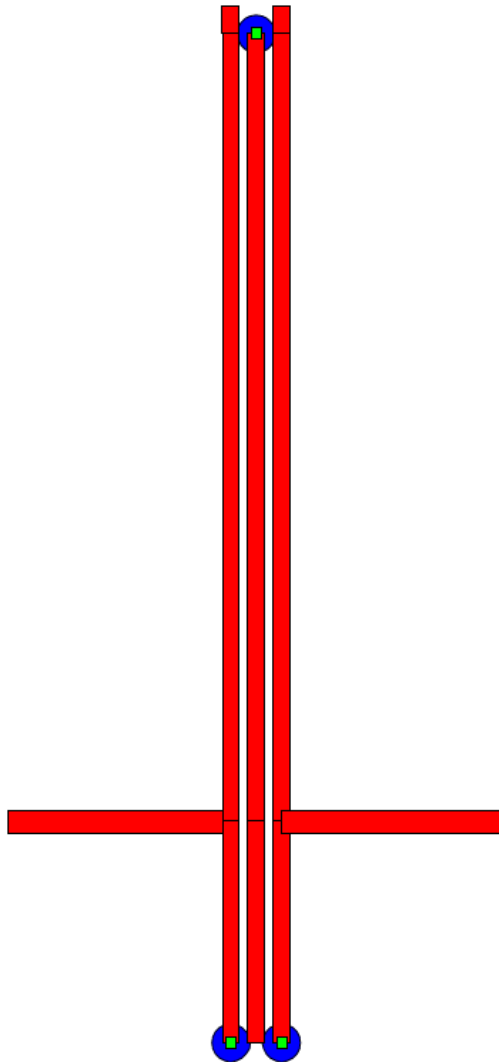


Ilustración 52: Lay out IF Filter diseñado con Genesys,

Las líneas rojas, son las líneas microstrip del filtro. Los pequeños cuadrados verdes, son los agujeros metalizados a masa de la placa.

Capítulo 6

Presupuesto del enlace

En esta sección detalla el coste de los componentes del enlace, para ello se ha contactado con los fabricantes de los componentes, vía mail y vía web. Algunos de estos responsables de venta de componentes han enviado un presupuesto. Otros componentes, no ha sido necesario, porque están marcados en las páginas web de los fabricantes.

Se han escogido componentes de bajo coste para minimizar el presupuesto, teniendo en cuenta la máxima fiabilidad global posible, lo que se traduce a su vez en la ausencia de componentes de back up, lo que disminuye su fiabilidad pero reduce aún más su coste.

El presupuesto viene especificado por el coste de cada equipo, unido además a los componentes propios de una instalación de este tipo, como cables, guías de onda, tornillería, etc.

Cabe señalar, que todos los componentes seleccionados tienen conexión SMA, salvo el alimentador, de esta manera se hace una muestra del enlace más fácilmente sin tener que soldar. Esto quiere decir que, una vez implementado, diseñado y en funcionamiento el enlace, sólo queda, hacer tiradas de este prototipo con diferentes encapsulados de los componentes, que son más económicos que el encapsulado con conexión SMA. Normalmente los encapsulados más económicos, deben ser soldados debido a que carecen de conexiones estándares como SMA, BNC, N, F, etc. Cabe decir, que a más unidades pedidas, más barato sale cada componente y en consecuencia, el coste total.

La mayoría son componentes procedentes de EEUU y su precio está en dólares americanos, así que, se ha convertido el valor de los dólares americanos a euros, sabiendo que esto puede variar dependiendo del valor de las monedas en el mercado.

Por otra parte, hay componentes de vendedores europeos y españoles. El cable CNT-600, por ejemplo, lo suministra una empresa española con un precio de venta de 5.5€/m + IVA.

La tornillería, se estima un gasto de unos 200€. Puede parecer elevado el precio, y justificar estos pequeños componentes es una tarea pesada, pero son importantes y costosos, sobre todo para un uso más profesional, como por ejemplo, la tornillería galvanizada, que lleva un proceso químico para proteger la superficie del metal de los agentes externos.

Componente	Precio (€)
Módem:	605.26 € (Tasa aduana + IVA)
Amplificador de bajo ruido	241.18 € (Tasa aduana + IVA)
Filtro de paso banda (980 a 1150MHz)	35.04 € (Tasa aduana + IVA)
Mezclador	63.11 € (Tasa aduana + IVA)
Oscilador Local (2.5GHz)	32.41 € (Tasa aduana + IVA)
Multiplicador x2	43.82 € (Tasa aduana + IVA)
Filtro de paso banda (4900 a 6200MHz)	35.04 € (Tasa aduana + IVA)
Atenuador SMA (3dB) x2	33.24 € (Tasa aduana + IVA)
Amplificador de gran ganancia	894.74 € (Tasa aduana + IVA)
Filtro de paso banda (5600 a 7000MHz)	35.04 € (Tasa aduana + IVA)
Plato Antena con mástil (2.4m)	65.79 € (Tasa aduana + IVA)
Feeder	372.81 € (Tasa aduana + IVA)
Cable de RF (20m)	110.00 € (5.50 €/m + IVA)
Tornillería (200uds)	200.00 € (+ IVA)
Transición SMA N	4.38 € (Tasa aduana + IVA)
Herramientas y varios	300.00 € (+ IVA)

Tabla 9: Presupuesto

Total productos fuera unión europea:

$$Total_1 = 605.26 + 241.18 + 35.04 + 63.11 + 32.41 + 43.82 + 35.04 + 33.24 + 894.74 + 35.04 + 65.79 + 372.81 + 4.38 = 2461.86 \text{ €}$$

$$Total_{12} = Total_1 + Tasa aduanera 3\% + impuesto IVA 21\% = 3068.22 \text{ €}$$

Total productos europeos:

$$Total_2 = 110 + 200 + 300 = 610 \text{ €}$$

$$Total_{22} = Total_2 + Impuesto IVA 21\% = 738.10 \text{ €}$$

Presupuesto total final:

$$Total = Total_{12} + Total_{22} = 3068.22 + 738.10 = 3806.32 \text{ €}$$

El coste total del enlace ronda los 4000€. Ésta cifra puede parecer alta, pero hay que tener en cuenta que se trata del primer diseño. Y éste precio, no sería el coste comercial una vez es producido en cadena. Según la teoría cada componente puede reducirse más de un 50% si se compran las unidades requeridas, con lo cual se está hablando que el coste quedaría en menos de la mitad. Para una empresa mediana esto no supone un gasto elevado.

Capítulo 7

Conclusión y líneas de trabajo futuras

En este presente proyecto, se ha demostrado la posibilidad de montar un enlace ascendente vía satélite con un coste asequible a cualquier empresa, institución o incluso, para uso particular.

En los últimos años, se ha visto una tendencia a utilizar más la banda Ku, en contra de la banda C, debido a la tendencia a aumentar la frecuencia en los componentes y en las comunicaciones. Como principales ventajas están la reducción del tamaño del plato en las antenas parabólicas y su mayor transmisión de datos, además de otros. Como principal desventaja son la mayor potencia necesaria para transmitir, el mayor costo de los componentes y una tasa de error de datos más grande.

La banda C ha sido la primera en utilizarse de manera comercial, siendo una banda consolidada en el mercado mundial y donde regiones del planeta como Latinoamérica o partes de Asia continúan utilizando este tipo de banda como la principal, debido a su relación coste/fiabilidad.

En este proyecto, se empezó eligiendo un enlace ascendente de banda Ku, pero como uno de los principales objetivos, era obtener un bajo coste total del proyecto, se decidió pasar a la banda C, ya que todos sus componentes trabajan a menores frecuencias y consecuentemente, son mucho más baratos que los de banda Ku. Sobre todo, componentes “delicados” como amplificadores, osciladores, o mezcladores. Además se cuenta con la fiabilidad de todos estos componentes en banda C que llevan funcionando durante muchos años.

Por otra parte, como línea de trabajo futura, queda por desarrollar la parte del enlace descendente, es decir, la recepción. Quedaría añadir algún componente más, y algo de coste al proyecto, pero mucho menos de lo que se puede llegar a pensar, debido a que los principales y costosos componentes ya están comprados; como amplificadores, osciladores o mezcladores. De esta manera se consigue hacer una comunicación completa desde la Tierra hacia el satélite y viceversa. Así funcionan los telepuertos y estaciones terrenas que operan en todas partes del mundo, usando componentes más potentes, que transmiten mayor cantidad de potencia, y a su vez, de datos.

Además queda por profundizar la modulación, donde se ha hecho un resumen de cómo se transmiten los datos hoy en día, los diferentes tipos de modulación, sus ventajas e inconvenientes, pero queda por complementar la forma en que se va a transmitir y

cual sería más eficiente para este ejemplo, en modo resumen, la parte telemática. El estudio de la señal.

Para llevar a cabo el proyecto de manera real, hay que contactar con el proveedor de satélite que alquilará un ancho de banda determinado, será usado por nosotros o más clientes, dependiendo del presupuesto disponible, a mayor cantidad de datos o servicios, lógicamente, mayor será su coste. Este proveedor, además certificaría la antena, si cumple los patrones de radiación correspondientes, tanto para transmitir como para recibir, enviando una señal procedente del satélite y en nuestro caso, transmitiendo otra a una determinada potencia y frecuencia. En este caso no se ha contactado con el proveedor de satélite debido a la dificultad de llevar a cabo el proyecto, al menos a corto plazo.

Bibliografía

- [1] Sistemas de Telecomunicación, Constantino Pérez Vega, Universidad de Cantabria, 2007
- [2] Comunicación por satélite, AHICET, 2000, Carlos Rosado, 1998
- [3] Comunicaciones por satélite, curso 2008-09, Ramón Martínez, Miguel Calvo.
- [4] Transmisión por radio, Hernando Rábanos, ed. Ramón Areces 2006
- [5] Software para análisis del presupuesto de enlace para comunicaciones vía satélite, Tesis de Sergio Peredo Álvarez, Universidad de las Américas Puebla.
- [6] Estimación de parámetros para un módem satelital y su cadena de transmisión y recepción. Memoria de Claudio Daniel Valenzuela Bascuñan, Universidad Técnica Federico Santa María
- [7] Tesis de grado: Transmisión satelital, UTN-FICA-EISIC, Universidad Técnica Nacional
- [8] Estudio de un prototipo de antena parabólica que funcione en banda C de microondas para la recepción de comunicaciones satelitales. Carina J. Universidad Central de Venezuela
- [9] Radio communications in the Digital Age. VHF/UHF Technology, Volume Two. Harris Corporation, 2000.
- [10] Repositorio Digital de la Facultad de Ingeniería – UNAM
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/>
- [11] Wikipedia general, búsqueda de satélites, historia, filtros, componentes, fechas,
<http://www.wikipedia.com/es>
- [12] Base de datos Unican: IEEE Xplore → <http://www.buc.unican.es/>
- [13] Hispasat, <http://www.hispasat.com/es/informacion-util/en-defensa-de-la-banda-c>
- [14] Intelsat, <http://www.intelsat.com/>
- [15] ServSat Communications, Inc., <http://www.servsat.com/es/default.aspx>
- [16] Mini.Circuits., <http://194.75.38.69/homepage/homepage.html>
- [17] Eutelsat, “Estándares para la operación de servicios de comunicación vía satélite”, <http://www.eutelsatamericas.com/files/contributed/PDF/support/Estandar-Tecnico-2014.pdf>

- [18] Alibaba.com Global Trade Starts Here, <http://www.alibaba.com/>
- [19] Radcom Radiocomunicaciones,
<http://www.radcom.es/index.shtml?url=/catalog/accesorios/cables-rf/index.html>
- [20] iDirect, <http://www.idirect.net/>
- [21] RFShop, <http://rfshop.com.au/>
- [22] DishPointer, <http://www.dishpointer.com/>
- [23] Universidad Politécnica de Valencia, Antenas, <http://www.upv.es/antenas/>
- [24] <http://www.upv.es/satelite/trabajos>
- [25] Genesys 2014 Overview- YouTube,
https://www.youtube.com/watch?v=JP_m6fMFCgI&index=1&list=PLtq84kH8xZ9E8S_y5dmCXtJFPo14NsCtt
- [26] Antenas con reflector parabólico, Constantino Pérez Vega. Dpto de ingeniería de comunicaciones. Universidad de Cantabria, 2008.
- [27] Microwaves101.com,
<http://www.microwaves101.com/encyclopedias/attenuator-calculator>
- [28] <http://www.inf.uct.cl/~amellado/archivos/redes1.pdf>
- [29] <http://www.rogerscorp.com/documents/606/acm/RT-duroid-5870-5880-Data-Sheet.pdf>
- [30] Base de datos IEEE Xplore Digital Library proporcionada por Unican.

Acrónimos

Low-cost: En español; bajo coste. Es el término al que se refiere cuando se habla de un proyecto, producto, artículo a un precio mucho más bajo que el coste normal.

Uplink: En español; enlace ascendente, es uno de los caminos para transmitir información entre satélites de comunicación y dos puntos de la Tierra.

Banda C: Es la primera banda utilizada comercialmente para comunicaciones por satélite.

Assessment: En español; estudio de viabilidad. Es el estudio que dispone el éxito o fracaso de un proyecto a partir de una serie de datos base de naturaleza empírica.

VSAT: En español; Terminal de apertura muy pequeña. Designa un tipo de antena para comunicación de datos vía satélite y por extensión a las redes que se sirven de ellas, normalmente para intercambio de información, punto a punto, punto a multipunto o interactiva.

Satélite: Se refiere a satélite artificial de comunicaciones. Un medio muy apto para emitir señales de radio en zonas amplias o poco desarrolladas, ya que pueden utilizarse como enormes antenas suspendidas del cielo.

Comunicación: Es el proceso mediante el cual se puede transmitir información de una entidad a otra, alterando el estado de conocimiento de la entidad receptora.

PIRE: Potencia isotrópica radiada equivalente es la cantidad de potencia que emitiría una antena isotrópica teórica para producir la densidad de potencia observada en la dirección de máxima ganancia de una antena.

BPF: Sus siglas en inglés, significa, Filtro de Paso Banda. Es un tipo de filtro electrónico que deja pasar un determinado rango de frecuencias de una señal y atenúa el paso del resto.