

Datos del trabajo fin de carrera

INGENIERIA DE TELECOMUNICACION

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Realizado por:

Nombre: JAIRO
Apellidos : ALONSO PAYNO

Director del TFC: TOMAS FERNANDEZ IBAÑEZ
Departamento de Ingeniería de Comunicaciones (DICOM)

Título: Diseño, simulación, construcción y medida de la cadena ascendente hasta frecuencia intermedia de un sistema LEO/MEO/GEO banda ancha para la transmisión de datos vía satélite en banda Ka.

3.- Resumen del proyecto fin de carrera

Podemos marcar el origen de las comunicaciones por satélite en la figura de Arthur C. Clarke, famoso escritor inglés de ciencia ficción autor de *2001: A Space Odyssey*, ya que en 1945 escribió un artículo en el cuál hacía referencia por primera vez a la órbita geoestacionaria y cómo con tres satélites se podría cubrir toda la superficie terrestre indicando la cantidad de aplicaciones que esta posibilidad nos ofrecía.

Aquí comienza la historia de este proyecto. Toda esta idea se desarrolla y toma forma a lo largo de la segunda mitad del siglo XX en el que se llevan a cabo toda una serie de avances en este campo. Parece que en los años 80 se entra en una crisis del sector ya que las redes terrestres parecen ofrecer mejores prestaciones para las aplicaciones usadas hasta el momento. El resurgimiento del mercado viene dado con el DBS (Direct Broadcast Satellite) para la difusión de televisión que evolucionará posteriormente hacia la televisión digital y los servicios multimedia.

Aquí está la clave de la importancia de las comunicaciones por satélite. Las comunicaciones ya no se reducen únicamente a la voz o la simple transmisión de datos sino que se mezcla la voz con los datos y el vídeo. Otro hito importante es la aparición de Internet, que cada vez tienen más usuarios y necesita de autopistas de información con mayor capacidad para poder llegar a todo el mundo. Se abandona la idea de red estática y comienza a extenderse el concepto de red móvil de forma que puedas acceder en cualquier momento y lugar a la información que necesitas con la misma calidad que desde tu PC.

Por todos estos motivos los sistemas de comunicaciones por satélite evolucionarán hacia servicios multimedia usando la banda Ka (20/30 GHz donde no hay saturación del espectro y nos permite hacer uso de banda ancha para una gran capacidad de trabajo). Previsiblemente se utilizarán los diferentes tipos de constelaciones (LEO, MEO y GEO) dependiendo de la aplicación aunque se tenderá a dejar los LEO un poco al margen debido al elevado número de satélites que se necesitan para tener una comunicación global.

Como consecuencia se espera un enorme mercado para los terminales fijos (VSAT y USAT), lo cual significa un esfuerzo de I+D para obtener soluciones de bajo costo y altas prestaciones.

El objetivo de este proyecto de I+D es definir, diseñar y desarrollar un prototipo de estaciones personales VSAT (Very Small Aperture Terminal) y USAT (Ultra Small Aperture Terminal) que operen con los futuros sistemas de satélites de telecomunicaciones de banda ancha, tanto de baja y media órbita, LEO/MEO, como geoestacionarios, GEO, los cuales operan en la banda 20/30 GHz.

El proyecto fijará las especificaciones técnicas de las estaciones, realizará una búsqueda de las soluciones técnicas más prometedoras, implementará prototipos de las partes de antena y frontal de RF y finalmente integrará y medirá éste. El desarrollo de un terminal en banda Ka representa por sí solo un reto técnico, y aquí el reto es aún mayor pues se trata de desarrollar un producto pre-comercial que ofrezca buenas perspectivas de explotación comercial futura en el mercado mundial de estaciones VSAT y USAT en la próxima década, con los condicionantes asociados de bajo costo y miniaturización de unidades.

Se pretende realizar un desarrollo modular de modo que permita aplicar fácilmente la tecnología a realizar a cualquiera de estos tipos de sistemas. El prototipo a desarrollar contendrá las partes de RF e IF, que se considera serán fácilmente adaptables a cada uno de estos sistemas y subsistemas de apuntamiento de las antenas, apartado de gran importancia en las constelaciones LEO.

En la siguiente figura se presenta un diseño funcional en forma de diagrama de bloques a realizar:

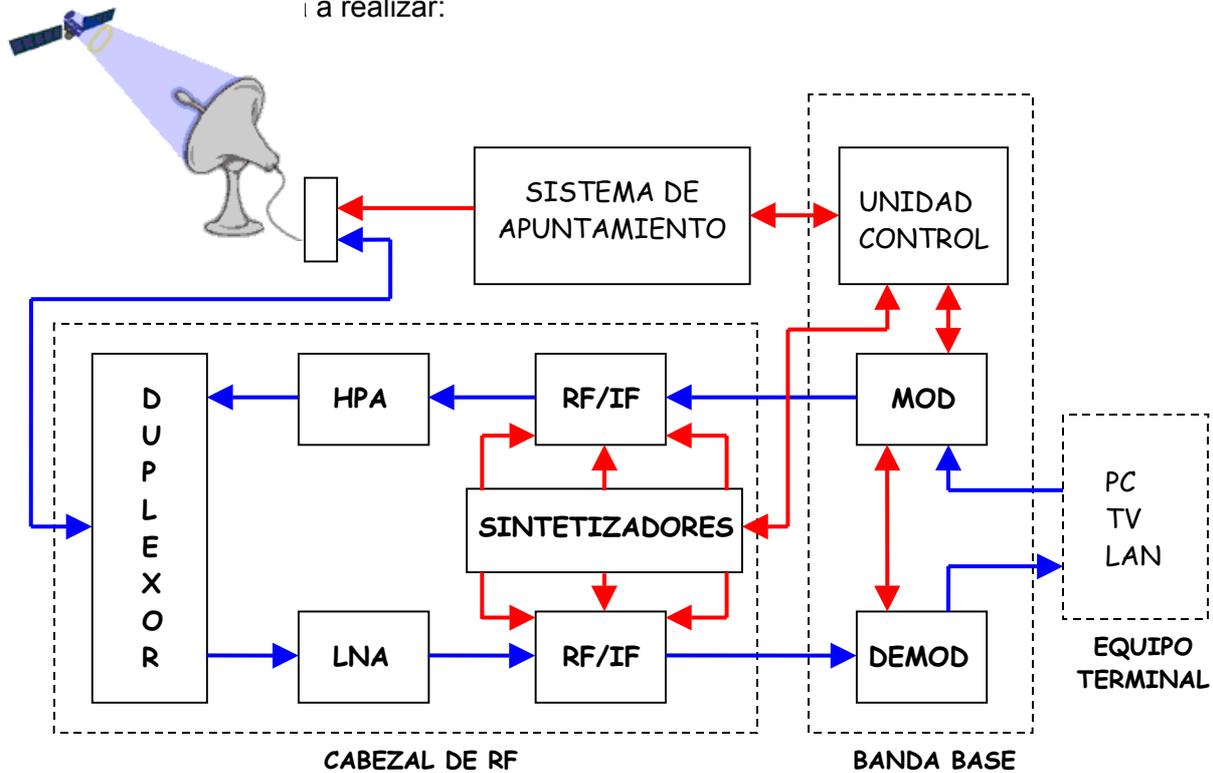


Figura 1.- Esquema general del diagrama de bloques de VSAT

Este proyecto está encuadrado dentro de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología y está cofinanciado con fondos FEDER. Además de la Universidad de Cantabria colaboran en este proyecto la Universidad Politécnica de Madrid así como dos empresas privadas. Los objetivos han sido repartidos entre los integrantes del proyecto de forma que la UC es la responsable del cabezal de RF y subsistema IF.

Aún así todo el frontal de RF es un trabajo muy costoso que requiere de la colaboración de varias personas debido a que trabajamos en un rango de frecuencias muy amplio que va desde la salida del módem de datos a 70 MHz hasta el amplificador de potencia de salida en transmisión a 30 GHz. El abanico de frecuencias es muy amplio así que es muy laborioso para una única persona.

Este proyecto fin de carrera va a centrar sus esfuerzos en el diseño, simulación, construcción y medida del frontal de radiofrecuencia hasta la frecuencia intermedia haciendo uso de componentes comerciales (mezcladores, amplificadores, ...) y componentes de diseño propio (filtros, sintetizadores, ...) para obtener a su salida la señal de información con la frecuencia y la potencia requerida por el sistema en su etapa de alta frecuencia.

Este proyecto propone una solución global para resolver la conversión en frecuencia de la cadena ascendente del frontal de radiofrecuencia de la VSAT propuesta con un objetivo último de producto comercial. Para lograr obtener un primer prototipo de dicho dispositivo se ha seguido todo un proceso de diseño para la obtención del objetivo final.

El primer paso es el diseño puramente conceptual del sistema teniendo claras las especificaciones que debemos de cumplir para tomar las decisiones oportunas en la elección de componentes y arquitectura del sistema. Esta fase del proyecto es crítica ya que si nos equivocamos en el proceso nos llevará a la producción de circuitos erróneos o que no cumplen las especificaciones fijadas.

Del paso inicial se obtienen unos diagramas de bloques que serán el esqueleto del producto final. Para lograr con mayor seguridad que el diseño inicial es lo más fiable posible pasamos a simular el sistema completo. Para ello se ha utilizado un potente simulador de Hewlett-Packard con un abanico muy amplio de posibilidades. El simulador, ADS (Advanced Design System), es muy complejo de utilizar debido a la gran variedad parámetros con los que define a los componentes que utiliza pero, de esta forma, se consiguen unos resultados muy parecidos a los obtenidos en la realidad. Con los resultados obtenidos podemos ver que el plan de frecuencias elegido es correcto, ya que no hay espurios de importancia que entren en banda, y que el balance de potencias es adecuado.

Una vez que hemos llegado a este punto es hora de pasar a realizar alguno de los componentes que van a ser diseño propio del proyecto y no se van a comprar como elementos comerciales. Es el caso de los filtros y los sintetizadores.

La parte del filtrado de señal es muy importante para lograr que el sistema funcione correctamente. Para una mayor riqueza del proyecto se han realizado diseños en componentes discretos y con líneas acopladas con el fin de estudiar las ventajas e inconvenientes que presentan ambas estructuras y elegir para cada caso la mejor opción.

Los sintetizadores son unos elementos muy comunes en los circuitos de telecomunicación y son de gran importancia para conseguir la restricción de ruido de fase. Esta especificación es básica para el funcionamiento final del sistema.

El siguiente paso es el montaje de los circuitos completos. Con el fin de simplificar el diseño y localizar con mayor facilidad posibles problemas se ha optado por un diseño modular del mismo. En el capítulo 7 del proyecto se realiza la medida de los módulos construidos comparando la utilización de filtros discretos y filtros de líneas acopladas. Además, se realizan las medidas de la cadena ascendente completa y se puede ver como se cumplen las especificaciones iniciales del diseño con lo que se ha conseguido lograr el objetivo con éxito.

Como se ha podido ver en este proyecto se ha seguido el proceso completo de diseño de un sistema de telecomunicación ya que se ha empezado por el **diseño**, comprobando su viabilidad más tarde en la **simulación** y así **construir** los módulos para finalmente hacer las **medidas** y comprobar que se cumplen las especificaciones iniciales.

4.- Motivaciones

Este proyecto opta al **Premio ALCATEL al Mejor Proyecto Fin de Carrera en Redes de Acceso**.

La razón por la cuál el proyecto concursa en este apartado es que, como se ha desarrollado en el resumen del mismo, el sistema completo en el que se encuentra englobado el presente proyecto fin de carrera es el desarrollo de terminales USAT y VSAT que nos permitan el acceso a una red de telecomunicaciones vía satélite de banda ancha.

Las actuales redes de acceso de telecomunicación son vía cable (como el acceso de la línea telefónica), vía radio (como las aplicaciones LMVDS) y vía satélite (como el DBS). Ya que tratamos de desarrollar terminales pre-comerciales de bajo costo y altas prestaciones para la **red de acceso** de un sistema satélite creo que este proyecto puede concursar en este apartado de la convocatoria.

5.- Publicaciones

El proyecto fin de carrera que se presenta a concurso se llevó a cabo dentro de un proyecto FEDER que tenía como fin el desarrollo de una estación VSAT en banda Ka, tanto de la parte de IF (Banda L) como de RF. En el marco de este proyecto FEDER, mi trabajo de fin de carrera se hizo cargo del diseño, simulación, construcción y caracterización del subsistema correspondiente a la cadena transmisora de IF de la VSAT. Una vez que el trabajo estaba prácticamente acabado se pensó en la posibilidad de enviar el trabajo realizado para su publicación en alguna revista o congreso de nuestro campo de trabajo. Puesto que el congreso URSI es el primero al que se pudo concurrir, se envió como ponencia, teniendo en cuenta que el congreso URSI constituye el mejor foro de discusión nacional en el campo de las telecomunicaciones.

El departamento de Ingeniería de Comunicaciones de la Universidad de Cantabria creyó conveniente presentar este trabajo teniendo en cuenta del reto tecnológico que supone el diseño de un sistema de banda ancha para aplicaciones multimedia y de tan alta frecuencia teniendo en cuenta que se persigue el objetivo de un prototipo pre-comercial, característica ésta difícil de encontrar en el ámbito universitario. La ponencia se aceptó y se presentó dentro de la sesión Sistemas de Telecomunicación II, en Madrid, Septiembre de 2001. En la presentación quedó puesto de manifiesto la magnitud del trabajo desarrollado (con el avance tecnológico correspondiente), así como la bondad de los resultados obtenidos.

Como datos complementarios que certifican la realización de la ponencia, se adjuntan dos documentos. Por un lado la separata del artículo en formato electrónico, donde se pueden encontrar las fotocopias del libro de actas y la sesión en la que tuvo lugar la presentación además del artículo fotocopiado del libro de actas. El segundo documento es la citada publicación en formato electrónico (postscript) para una lectura más sencilla de la ponencia.

[Acceso a la separata](#)

[Acceso a la publicación](#)

6.- Méritos

Como ya se ha apuntado en otros apartados de este breve resumen, el objetivo perseguido es la realización de un prototipo pre-comercial que rápidamente pueda incorporarse al mercado. El estado final en el que el presente trabajo deja al proyecto no puede considerarse como producto fabricable. Asienta las bases para dicho prototipo pero se ha de pasar de la modularidad a la integración del sistema.

Este paso es el que se ha continuado en el Departamento de Ingeniería de Comunicaciones de la Universidad de Cantabria. Aprovechando los resultados obtenidos con este proyecto fin de carrera se ha pasado a la integración de la cadena ascendente en un único módulo. Dicho proceso no está exento de problemas ya que, introducir en un mismo sistema cuatro sintetizadores no es una tarea fácil.

Como resultado de dicha integración obtenemos el prototipo de la cadena ascendente que se puede observar en la figura 2.

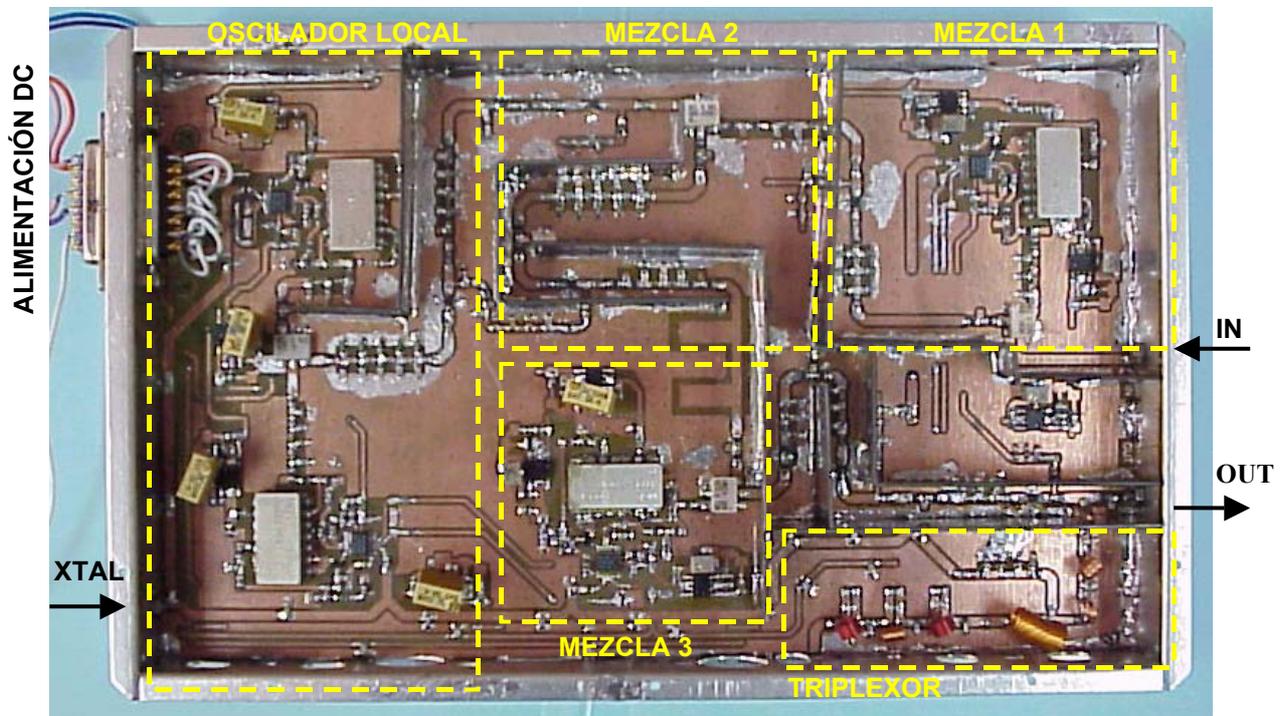


Figura 2.- Prototipo de la cadena ascendente integrada de la VSAT

Para hacerse una idea del tamaño real del módulo las dimensiones de la caja son de 220 mm x 140 mm. En la figura se ha marcado las diferentes partes de las que consta la cadena de radiofrecuencia y que corresponden a los módulos que se construyeron en el proyecto fin de carrera. Debido a la integración y añadiendo mejoras al diseño inicial se pueden apreciar algunos detalles que podemos explicar a continuación:

- 1) Para abaratar los costes del producto final y facilitar su comercialización se ha hecho uso de otro sustrato para la elaboración del prototipo. En este caso se utiliza fibra de vidrio FR4 que es un material mucho más barato que el GML1000 usado en los primeros módulos. Además, para el rango de frecuencias de trabajo este sustrato tiene unas prestaciones muy similares.

- 2) Como se puede apreciar en la figura se han colocado tabiques metálicos para aislar lo más posible la radiación que introducen los VCO's que forman los sintetizadores del sistema.
- 3) En las salidas de cada módulo se han incluido filtros paso bajo con el objetivo de disminuir los espurios que aparecían en la salida del sistema. Persiguiendo el mismo fin podemos encontrar trampas de frecuencia con stubs que eliminan las señales indeseadas.
- 4) En la alimentación de los sintetizadores se ha hecho uso de reguladores de tensión. De esta forma la alimentación de los VCO's es más estable y se consigue mejorar el ruido de fase.
- 5) Como dispositivo adicional se ha incluido un triplexor. Teniendo en cuenta las necesidades de la VSAT completa, se ha decidido que la alimentación de DC y la señal del cristal de referencia (XTAL) sean inyectados a la parte de alta frecuencia del transmisor desde la cadena de IF. Por esta razón el triplexor une la señal de DC, el XTAL y la señal en banda L en una única línea de salida que se corresponde con la entrada del módulo de alta frecuencia.

En la figura 3 se presenta un ejemplo de la señal de salida que se obtiene de la versión integrada de la cadena ascendente. Si se compara con los resultados obtenidos en el proyecto se puede ver que ha habido una disminución en el nivel de espurios en banda. Además, la potencia de salida es algo diferente ya que se ha ajustado a las nuevas exigencias de la parte de alta frecuencia, unos pocos decibelios más que cuando se realizó el presente trabajo fin de carrera.

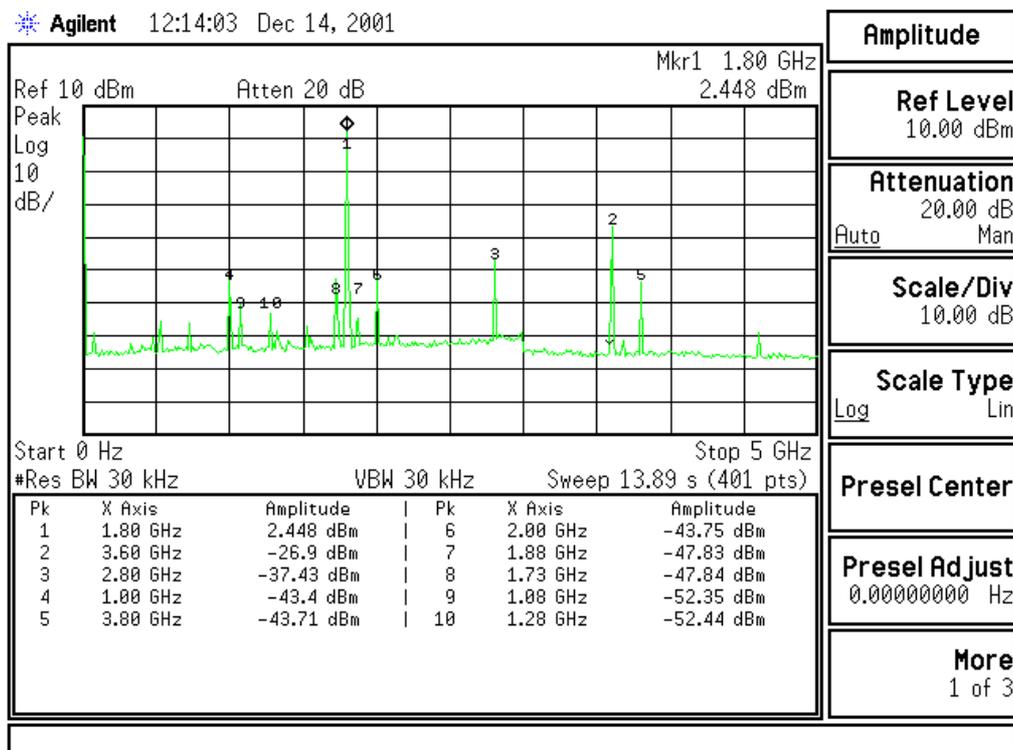


Figura 3.- Gráfica de la señal de salida de la cadena ascendente integrada

Como **conclusiones** podemos decir que el trabajo realizado posterior al proyecto fin de carrera se ha reducido a integrar los circuitos ya diseñados en un único sistema de manera que sea más compacta y se vaya encaminando hacia el objetivo de prototipo pre-comercial. Este trabajo no es trivial ya que hay muchos problemas a la hora de integrar sistemas pero, el trabajo de diseño más complicado, ya estaba realizado y ha servido como pilar fundamental e importante base de datos para la realización de este primer prototipo de la cadena ascendente.

La integración no ha terminado ni mucho menos. Hay que tener en cuenta que el sistema completo esta formado, además de la cadena ascendente de IF, por una cadena descendente de IF y la parte de alta frecuencia correspondiente al transmisor y al receptor. Estas cuatro partes están repartidas como paquetes de trabajo en el Departamento de Ingeniería de Comunicaciones. En la actualidad se llevan a cabo las medidas del sistema completo formado por los cuatro prototipos para entrar en la integración final del sistema pre-comercial completo.