

# Conversor descendente de Banda L a UHF para la extensión de rango de analizadores de espectro en laboratorios docentes

J. M. Zamanillo, E. Aguirre, R. Toyos, C. Pérez-Vega

Departamento de Ingeniería de Comunicaciones

Grupo de RF & Microondas

Universidad de Cantabria

e-mail : [jose.zamanillo@unican.es](mailto:jose.zamanillo@unican.es)

**Abstract-** There are different measurement systems that can visualize the usual radio communications signals up to L band (0.95-2GHz) at a reasonable cost. Unfortunately, our student laboratory has only several obsolete spectrum analyzers model Hameg HM-5006 capable to measure up to 500 MHz. This frequency bandwidth is far away from the usual digital satellite and terrestrial TV signals at L band [1], so a frequency down conversion is necessary to properly view the above mentioned spectrum. The downconverter presented in this work, has been developed under the assumption of low cost and robustness, because the mainly users of this system are students, and the budget of the educational laboratories are usually low.

## I. INTRODUCCIÓN

El motivo de la presente comunicación radica en la precariedad en cuanto a instrumentación de medida de señales radioeléctricas a frecuencias superiores a 500 MHz en el laboratorio de radiocomunicaciones de la Universidad de Cantabria. En numerosos casos, la docencia no está tan bien dotada como debiera, con lo cual se hace necesario un mayor esfuerzo por parte del profesorado en cuanto a la mejora del equipamiento y recursos puestos a disposición de los estudiantes. Por esta razón, aquí se presenta un circuito conversor de frecuencia que permitirá visualizar en los analizadores de espectro disponibles en el laboratorio las señales de TV analógica y digital en las bandas de UHF y banda L, las cuales no es posible medir directamente con el equipo estándar existente en el laboratorio.

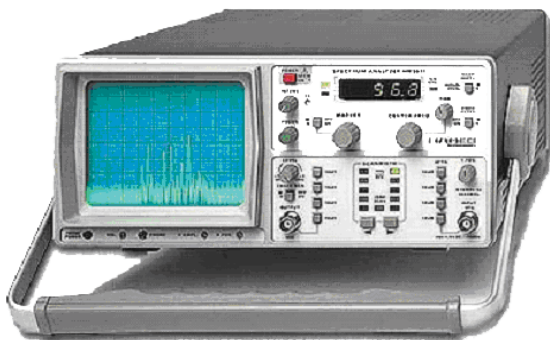


Fig. 1. Analizador de espectro Hameg, modelo HM5006.

Por otro lado es de rigor señalar el desarrollo del hardware aquí presentado ha sido realizado por D. Egoitz

Aguirre en forma de proyecto de fin de carrera de Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones.

El origen del trabajo mostrado en esta comunicación surge cuando se desea medir señales de TV de UHF y banda L para la asignatura de Televisión de Ingeniería de Telecomunicación. Debido a que los analizadores de espectro disponibles en el laboratorio de radiofrecuencia no llegaban “*ni de lejos*” a esos rangos de frecuencia, se decidió desarrollar el hardware presentado en la presente comunicación. En la figura 1 se muestra el analizador de espectro de la firma Hameg, modelo HM5006, dicho equipo, esta dotado de generador de seguimiento (“*tracking generator*”) y sus características eléctricas más importantes se muestran en la tabla 1.

Característica	Rango
Rango de frecuencias:	0,5 MHz a 500 MHz
Exactitud frecuencia central:	$\pm 100$ KHz.
Filtro de video:	4 KHz.
Rango de visualización en pantalla:	80 dB (10 dB/div)
Nivel máximo de entrada:	+20 dBm
Nivel de salida generador de tracking:	-50 dBm a +1 dBm
Ancho de banda generador de tracking:	0,1 MHz a 500 MHz

Tabla. 1. Características técnicas del analizador de espectro Hameg, modelo HM5006.

Un analizador de espectro es un instrumento capaz de mostrar una señal en el dominio de la frecuencia. En general, los analizadores de espectro solo muestran la información de la amplitud y no son sensibles a la fase de la señal, tal como ocurre con los analizadores de redes vectoriales. Como consecuencia, no permiten recuperar la señal en el dominio del tiempo haciendo uso de la transformada inversa de Fourier. Sin embargo, en muchas aplicaciones, la información de fase no es de importancia capital y con la medida de la amplitud de la señal es más que suficiente. Una clasificación clásica de los analizadores espectro [2,3] es la mostrada a continuación:

- **Analizadores con filtro de Barrido:** Utilizan un filtro paso banda de frecuencia variable “*filtro de seguimiento*” en que la frecuencia central barre un determinado rango de frecuencias, de forma muy parecida que los receptores de radiofrecuencia.

- **Analizadores con filtros en Paralelo:** Utilizan una serie de filtros colocados en paralelo, de forma que cada uno de ellos filtra una porción del espectro registrando así cuanta potencia hay en cada zona del espectro.

- **Analizadores Superheterodinos:** La técnica usada en este tipo de analizadores, consiste en disponer de un solo filtro de gran calidad por el que se hace pasar todo el espectro. Para ello se usa un mezclador que mezcla la señal de un oscilador controlado por tensión con la señal de entrada. Esta mezcla “mueve” el espectro a una frecuencia intermedia, de forma que todo el rango de interés pasa por el filtro. En lugar de mover el filtro se mueve el espectro logrando el mismo resultado que si el filtro fuera el que filtrase las diferentes frecuencias de todo el rango.

- **Análisis de espectro Virtual:** Mediante un conversor analógico digital se transforma la señal en datos numéricos, a los que se les aplican técnicas de cálculo numérico (por ejemplo la transformada rápida de Fourier, FFT) para obtener todo tipo de resultados: espectro de frecuencia, amplitud, fase, ruido, distorsión, forma de onda, etc.

- **Analizadores de espectro ópticos:** Son analizadores de RF de alta velocidad que consisten en convertir las señales de RF al dominio de las frecuencias ópticas. De esta forma se obtiene una señal óptica cuyos componentes espectrales pueden descomponerse en forma de colores utilizando un prisma.

Generalmente, el tipo de analizador de mayor difusión, o que puede ser tachado como de propósito general, es el “superheterodino”, siendo el resto de utilidad en aplicaciones concretas. El conversor descendente que ha sido desarrollado y es objeto de la presente comunicación se basa en un analizador de este tipo. Aunque la entrada del analizador HM5006 es de  $50\Omega$ , se ha adaptado la entrada del conversor inferior a  $75\Omega$  (estándar en TV), y la salida del mismo a  $50\Omega$ , para evitar la aparición de ondas reflejadas que perturben el proceso de medida. El nivel de potencia suministrado por el conversor al analizar de espectro va desde los  $8.75\text{dB}\mu\text{V}$  a los  $121.75\text{dB}\mu\text{V}$ , ambos sobre  $50\Omega$ . De esta manera, se aprovecha al máximo, el rango dinámico del analizador Hameg HM5006.

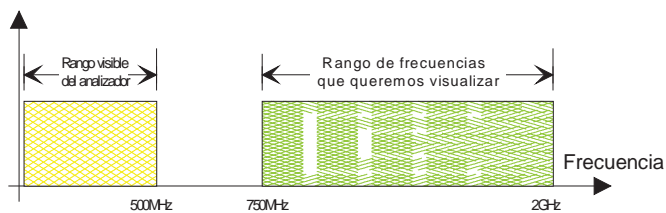


Fig. 2. Diagrama de la conversión del espectro de frecuencias.

En cuanto al nivel de las señales de entrada a las que es sensible el convertidor, éste se ha diseñado de forma que pueda utilizarse cualquier señal sin tener en cuenta su origen. No obstante, este estudio se centra en las señales de TV digital radiadas en el espacio libre bien procedan de una transmisión terrestre o vía satélite [1,4,5], con las limitaciones mostradas en la figura 2, seguidamente, se revisarán los rangos de frecuencias tanto de TV terrestre, como vía satélite.

- **Televisión terrestre:** El rango de frecuencias de estas señales para las señales analógicas es de  $50\text{MHz}$ – $300\text{MHz}$  banda VHF y  $300\text{MHz}$ – $850\text{MHz}$  banda UHF. Sin embargo las señales de la TV digital terrestre (TDT) solamente se encuentran en las frecuencias superiores de la banda UHF (de  $750\text{MHz}$  a  $850\text{MHz}$  aproximadamente). El nivel de esta señal dependiendo de la situación del receptor puede estar

entre  $32$  y  $58\text{dB}\mu\text{V}$ , sobre  $75\Omega$  teniendo en cuenta que el conversor puede perder  $6$  o  $7\text{dB}$  este margen queda entre  $25$  y  $50\text{dB}\mu\text{V}$  a la entrada del analizador.

- **Televisión por satélite:** En la antena parabólica se recibe una señal de  $2\text{GHz}$  de ancho de banda situada entre  $10700\text{MHz}$  y  $12700\text{MHz}$  (banda Ku). Controlando la polarización del LNB se convierte la señal de la banda FSS “Fixed Satellite Service” ( $10,7\text{GHz}$ – $11,7\text{GHz}$ ) banda inferior, de la banda DBS “Direct Broadcast Satellite” ( $11,7\text{GHz}$ – $12,5\text{GHz}$ ) o bien la de la banda FSS superior ( $12,5\text{GHz}$ – $12,75\text{GHz}$ ) a la banda L ( $950\text{MHz}$ – $2\text{GHz}$ ). La potencia recibida al igual que en caso de la televisión terrestre depende de diversos factores, tomando un caso en particular el nivel de señal recibido podría situarse entorno a los  $20$ – $30\text{dB}\mu\text{V}$  sobre  $75\Omega$ . En ambos casos sería conveniente introducir un amplificador, ya que el margen de amplitud a la hora de visualizar el espectro resulta algo pobre.

## II. CONVERSIÓN DEL ESPECTRO

La señal del oscilador local combinada con la señal de entrada, mediante un mezclador va a proporcionar la señal adaptada a la entrada del analizador de espectro. El mezclador genera varias replicas de la señal de entrada en las diferentes zonas del espectro, tal como se muestra en (1), así como una serie de armónicos de menor potencia.

$$\left. \begin{aligned} f_{OUT} &= f_{IN} - f_{OL} \\ f_{OUT} &= f_{IN} + f_{OL} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Donde  $f_{OUT}$  representa la frecuencia de salida del mezclador,  $f_{IN}$  la de entrada y  $f_{OL}$  la frecuencia de oscilador local. La conversión de la banda L se realiza aprovechando la diferencia del mezclador con la señal de TV, de modo que la diferencia máxima en MHz viene dada por la expresión (2).

$$f_{OUT} = (1000,2000) - (700,1700) = 300\text{MHz} \quad (2)$$

En todo el proceso de diseño del conversor, se ha tenido una especial precaución con la parte del espectro “negativo”, cuya mezcla con el oscilador local podría interferir, en algunos casos con la señal que realmente interesa visualizar. Dicha porción del espectro viene dada por la expresión (3).

$$f_{OUT} = (-1000,-2000) + (700,1700) = (-300,700)\text{MHz} \quad (3)$$

Para ello se ha establecido un límite en cuanto al ancho de banda de la señal en relación a la frecuencia mínima de visualización dada por la expresión (4).

$$f_{VISUALIZADA} = \frac{BW_{IN}}{2} \quad (4)$$

La anterior condición clarifica el hecho de que, el ancho de banda se haya fijado a  $1\text{GHz}$  y la frecuencia de visualización debe situarse a un máximo fijado por el analizador HM5006 de  $500\text{MHz}$ , por lo que el rango del oscilador local OL queda reducido de  $700\text{MHz}$  a  $1500\text{MHz}$ .

En cuanto a lo que refiere a la señal de televisión terrestre, bien sea analógica o digital, recibida mediante antena Yagui, cualquiera de los canales puede estar comprendido entre  $50\text{MHz}$  y unos  $850\text{MHz}$ , lo cual ofrece un ancho de banda total entorno a los  $800\text{MHz}$ . En este caso,

se aprovecha la parte del espectro negativo de modo que la frecuencia de salida del convertidor viene dada por la expresión (5).

$$f_{OUT} = (-900, -50) + (1200, 350) = 300\text{MHz} \quad (5)$$

Sin embargo, dado que las señales de TV digital se encuentran en las frecuencias superiores de la banda UHF (700MHz-850MHz), se comprueba que el mismo oscilador local utilizado en el caso anterior sirve para este caso, con el único inconveniente de que el espectro esta invertido en la frecuencia. Es decir, las frecuencias superiores de la banda se convierten en inferiores y viceversa, tal como se muestra en la figura 3. Como el objetivo primordial de este trabajo es que los alumnos visualicen la forma del espectro de TV con los medios disponibles en el laboratorio, se les explica que dicha inversión es consecuencia de la conversión de frecuencia, lo cual es interesante desde el punto de vista didáctico.

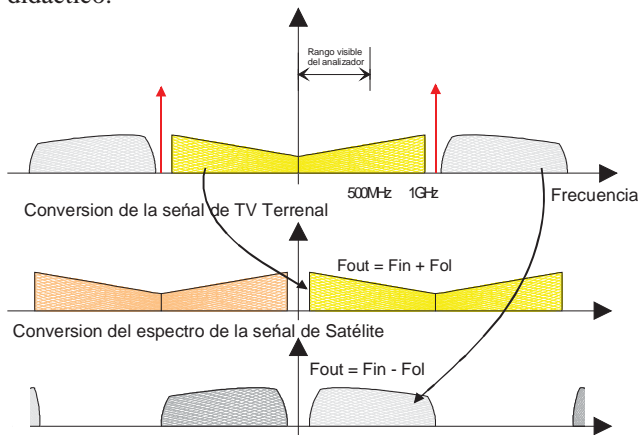


Fig. 2. Representación de las señales en el dominio de la frecuencia y su conversión.

### III. EL CIRCUITO CONVERTOR

En la figura 3(a) se muestra un esquema eléctrico del circuito desarrollado, y en la figura 3(b) una fotografía del mismo. El circuito se alimenta con un voltaje de 24V distribuyendo y adaptándolo a cada modulo. (0 a 12V al modulo amplificador, 12V al oscilador y de 1 a 24V de tensión de sintonía  $V_{TUNE}$  para el oscilador controlado por tensión). Se ha utilizado un regulador lineal comercial modelo LM317T para ajustar la tensión de alimentación del amplificador monolítico utilizado en el diseño. El amplificador es un MAR-6SM del fabricante MINICIRCUITS [6] con un rango de frecuencia de operación de DC a 2GHz y ganancia mínima de 9dB. En la figura 3 se muestra el esquema eléctrico del convertidor:

El VCO es el modelo ROS-1700W [7] de la firma MINICIRCUITS cuya frecuencia de oscilación se puede variar entre los 700MHz y los 1700MHz. El nivel de potencia suministrado por el VCO es capaz de funcionar con un mezclador de nivel 7 (7dBm). Es por esta razón que se haya utilizado en el diseño un mezclador de dicho nivel, en concreto, el modelo ADE-30 también de la misma firma MINICIRCUITS [6]. Las diferentes frecuencias de la señal de entrada al mezclador, así como las generadas por el VCO, pueden encontrarse en el rango de 200MHz a 3GHz. Mientras que el rango de señales a la salida del mezclador puede variar entre DC y 1GHz.

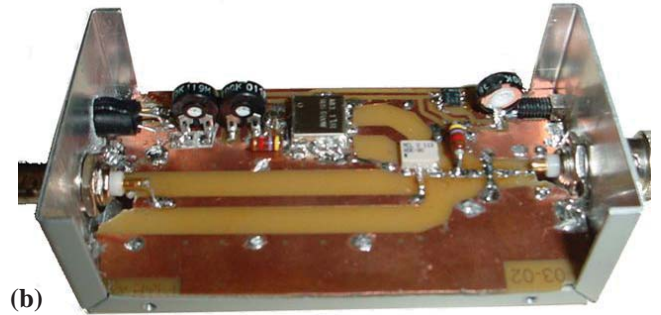
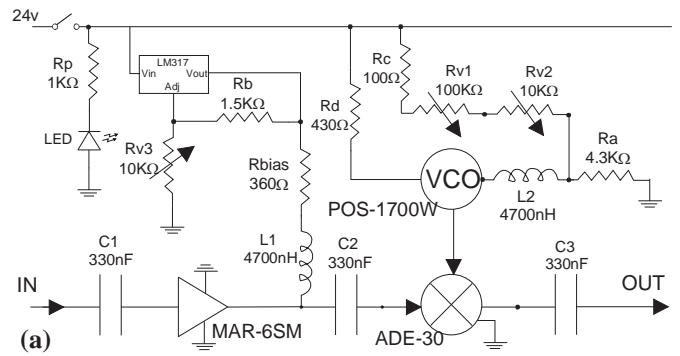


Fig. 3. (a) Esquema eléctrico del convertidor descendente desarrollado. (b) Fotografía del circuito convertidor acabado.

### IV. RESULTADOS

Antes de finalizar el proceso de construcción y prueba del convertidor descendente se llevaron a cabo una campaña de medidas utilizando el conjunto analizador de espectro HM5006+Convertidor y un analizador de espectros de microondas modelo Agilent E4408B el cual permite la medida de señales de RF y microondas desde 9KHz a 26.5GHz. A modo de ejemplo, en la figura 4(a) y 4(b) se comparan los espectros obtenidos mediante un analizador cuyo rango de frecuencias de entrada permite visualizar la señal a 850MHz y la señal que proporciona el convertidor en un analizador HM-5006 cuya frecuencia máxima de operación es de 500MHz. Se puede observar que el espectro esta invertido pero la forma es muy similar. La señal mostrada en las figuras 4(a) y 4(b) se corresponde a una emisión de TV terrestre de 16 canales digitales comprimidos en un ancho de banda equivalente a 4 canales de televisión analógica (32MHz) y situados en torno a 850MHz. (desplazada a 300MHz aprox. en el caso del analizador junto con el convertidor).

En las figuras 5(a) y 5(b) se compara el espectro de una señal de un satélite a la salida del LNB. Estas señales se sitúan en torno a 1GHz y se ven tanto señales analógicas como digitales. En este caso el espectro se muestra igual en ambos casos al contrario que en el caso anterior. Dado el gran ancho de banda (1GHz) en cualquiera de los casos mostrados, es difícil filtrar todos los productos de intermodulación que aparecen en la ventana frecuencial, lo que provoca solapamientos de espectros. A simple vista es difícil distinguirlos a no ser por que al desplazar el espectro, variando el voltaje de control de sintonía del VCO ( $V_{TUNE}$ ), hay zonas que se mueven de forma incoherente a la variación producida, produciéndose incluso desplazamientos en dirección contraria a lo esperado debido a la inversión de espectro, así como desplazamientos equivalentes a dos veces



la variación de la frecuencia del oscilador local debidos a productos de intermodulación de tercer orden.

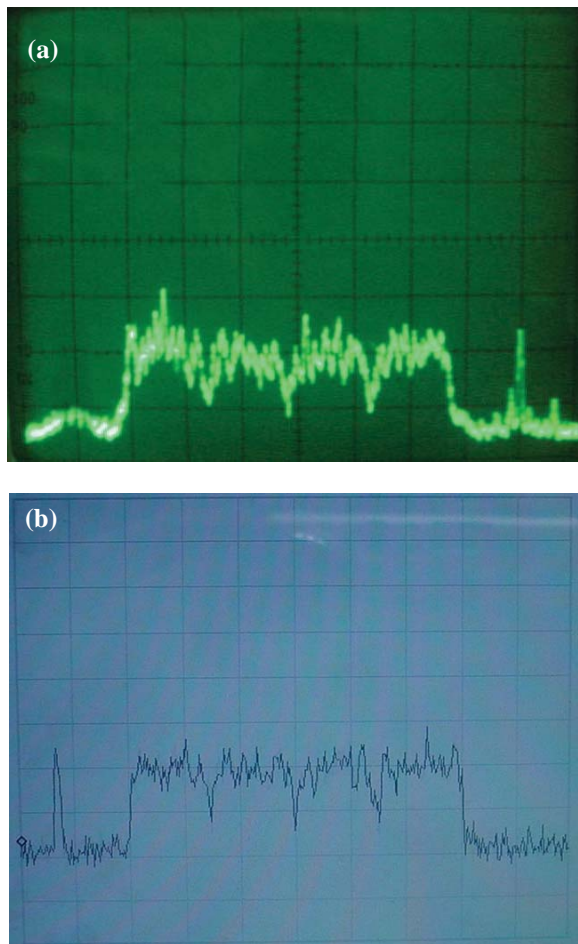


Fig. 4. (a) Fotografía del espectro obtenido con el conjunto HM5006+convertor.  
(b) Fotografía del espectro obtenido con un analizador de espectros comercial modelo Agilent E4408B. (Nótese la inversión de espectro producida en (a) respecto de (b)).

## V. CONCLUSIONES

El convertor desarrollado permite extender el rango útil del analizador HM5006 con una calidad más que suficiente para la visualización de la señal analógica y digital en las bandas de UHF y L a muy bajo coste. El coste completo del convertor descendente una vez terminado no ha superado los 40€ Sin embargo, el precio a pagar son los productos de intermodulación que se solapan con la señal que realmente se desea observar. Este pequeño inconveniente puede superarse situando el espectro en otra zona del rango visible del analizador ya que como se ha comentado anteriormente el desplazamiento del espectro de la señal deseada no es igual que el de los espectros indeseados. Además, haciendo de las señales espurias una virtud y no un defecto se puede mostrar a los alumnos los efectos o inconvenientes de los mezcladores, en intermodulación. Dado que casi todos los problemas que surgen, se deben a que al ser la señal de entrada de banda ancha es imposible filtrar las señales indeseadas, cabe la posibilidad de reducir el ancho de banda de esta señal utilizando filtros, y mediante la síntesis digital del VCO.

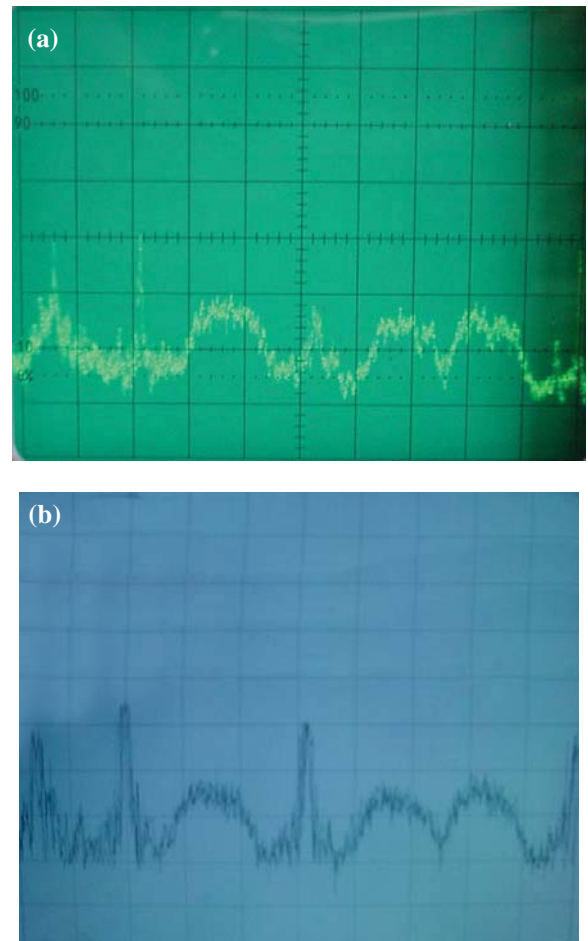


Fig. 5. (a) Fotografía del espectro obtenido con el conjunto HM5006+convertor.  
(b) Fotografía del espectro obtenido con un analizador de espectros comercial modelo Agilent E4408B. (Nótese que en este caso no existe inversión de espectro).

De esta forma se podría mejorar considerablemente el aspecto del espectro sin elevar demasiado el coste del convertor y de hecho actualmente se está trabajando en este sentido.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer al grupo de RF & Microondas de la Universidad de Cantabria las facilidades prestadas para la realización del presente trabajo.

## REFERENCIAS

- [1] C. Pérez-Vega, J.M. Zamanillo. "Fundamentos de Televisión Analógica y Digital", Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cantabria, Diciembre 2003, 1ª Edición. ISBN 84-8102-355-8.
- [2] Electrical spectrum and network analyzers. A Practical Approach. Albert D Helfrick. Editorial Academia Press, Inc.
- [3] Merrill Skolnik. "Radar Handbook" Editorial. Mc Graw Hill, New York, 1990.
- [4] J.L. Fernández Carnero y R.M Los Santos., Sistemas para recepción de TV Analógica y Digital, Ediciones Televés 1ª Edición 1997
- [5] R.M Los Santos. y J.L Fernández Carnero., Sistemas para recepción de TV Terrestre-Satélite, Ediciones Televés 2ª Edición 1994.
- [6] RF/IF Designer's Guide. Application Note No. DG-2001. Mini-Circuits
- [7] VCO Designer's Handbook. Application Note No.VCO/HB-01. Mini-Circuits.2001.