

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN

Laboratorio de Comunicaciones Espaciales

(Manual de Prácticas)

Práctica 4:

Sistemas de difusión de televisión por satélite (DBS-TV)

Curso 2009-2010

AUTORES:

Fernando Quesada Pereira

Alejandro Álvarez Melcón

1. Introducción

En esta práctica se van a estudiar los distintos elementos que componen un sistema de difusión DBS (Direct Broadcast Satellite), entre ellos, las antenas parabólicas, los alimentadores y los conversores (LNB). También se estudiará el concepto de cobertura de los satélites y por último como apuntar una antena parabólica a un satélite de DBS y como sintonizar los diferentes canales recibidos en función de su frecuencia y de su polarización (si son analógicos) y de su frecuencia, polarización, tasa binaria y F.E.C (Forward Error Code, si son digitales). Para sintonizar los canales se hará uso de un medidor de campo analógico/digital del que se estudiarán las prestaciones fundamentales.

2. Sistema básico de difusión de televisión por satélite

En un sistema de transmisión de TV por satélite, el programa de TV se transmite desde una estación terrena hacia un satélite artificial de comunicaciones situado en órbita geostacionaria (ver la Fig. 1). El satélite está equipado con receptores que captan la señal, equipos que la procesan y transmisores que vuelven a dirigir hacia la Tierra la señal amplificada (transpondedores). En los hogares, esta señal es recogida por antenas parabólicas que transfieren la señal a los receptores conectados a los aparatos de televisión tras realizar la distribución por el edificio y amplificación de cabecera.

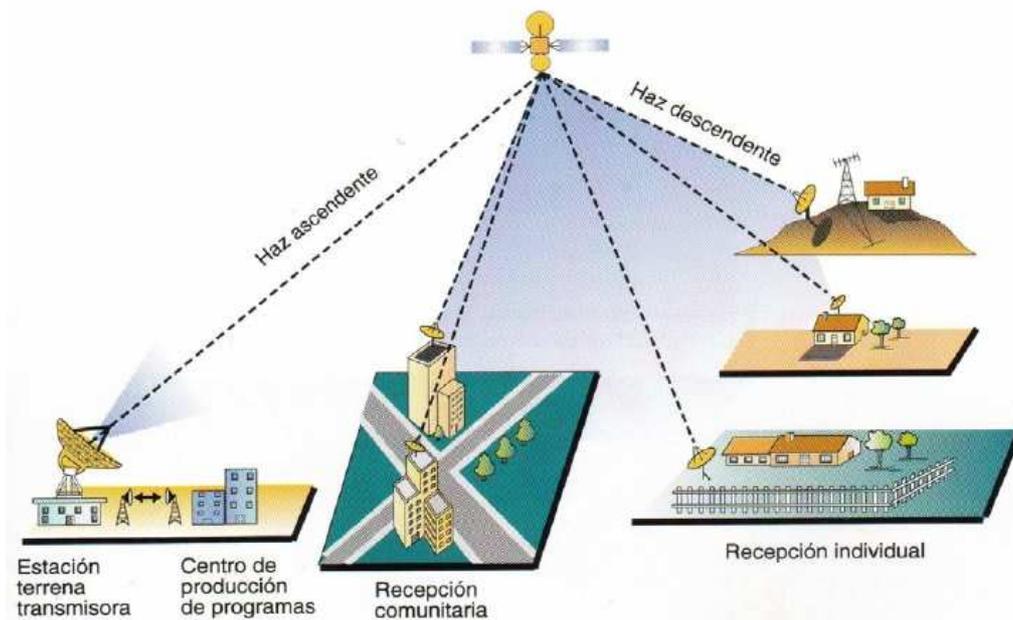


Figura 1: Sistema de difusión de televisión donde se muestra el enlace ascendente entre el centro de producción y el satélite geostacionario, así como el enlace descendente entre el satélite y los usuarios finales en los hogares.

Por motivos de simplicidad del sistema de difusión, se utilizan satélites geostacionarios situados en órbita circular en el plano del Ecuador terrestre. Estos satélites giran en el mismo sentido y a la misma velocidad angular que la Tierra con periodo de un día sideral. Para cumplir este requisito, tal y como se demostró en el capítulo de mecánica orbital, la altura a la que se ha de colocar el satélite

sobre el Ecuador de la Tierra es de 35786 Km en órbita circular. Mediante satélites geoestacionarios se evita el tener que dotar a la antena receptora de un sistema de seguimiento, ya que éstos se encuentran en una posición fija aparente respecto a un observador terrestre.

Las señales transmitidas desde la estación en tierra llegan al satélite por el enlace ascendente y desde el satélite se envían a la Tierra por el enlace descendente (ver la Fig. 1). Para evitar interferencias entre los dos enlaces, las frecuencias de ambos son distintas. Además, para reutilizar el espectro se utilizan polarizaciones distintas (diversidad en polarización). Con ello, se transmiten canales solapados en frecuencia pero con polarizaciones ortogonales.

En DBS las frecuencias que se suelen utilizar en la actualidad para el enlace descente se encuentran en banda Ku de 14/11 GHz. En concreto para el enlace descendente se usa generalmente la banda de 10,7 a 11,7 GHz para señales analógicas y la banda de 11,7 a 12,75 GHz para señales digitales.

2.1. Mapas de cobertura de los satélites

Se denomina zona de cobertura del satélite a la superficie de la Tierra delimitada por un contorno de densidad superficial de potencia (W/m^2) constante, que permite obtener la calidad deseada en recepción en ausencia de interferencias.

La zona de cobertura se representa en mapas de huella de potencia del satélite. En la Fig. 2 queda representado el mapa de huella de un satélite Hispasat.

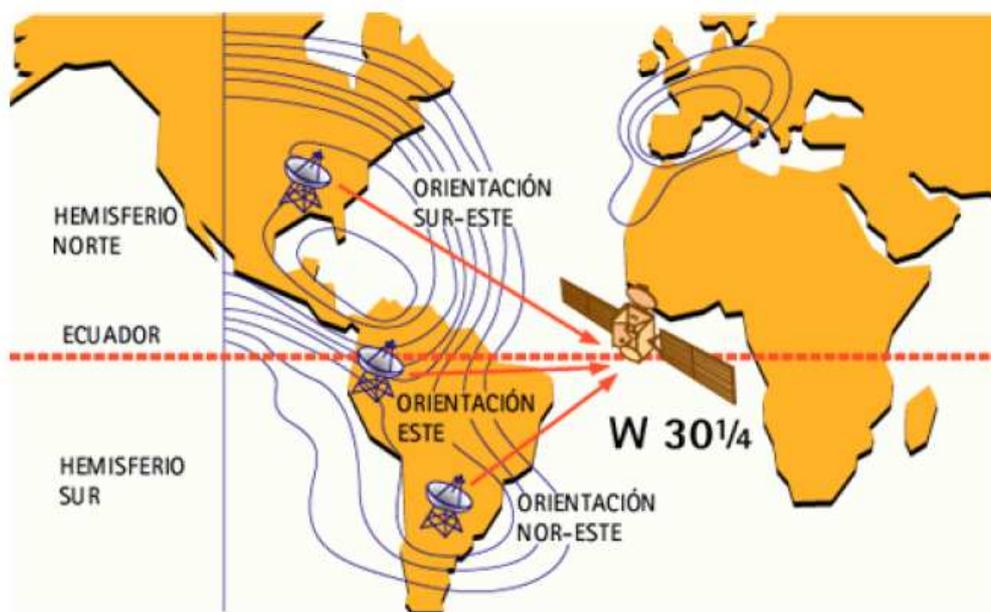


Figura 2: Huella de cobertura de Hispasat para España y Latinoamérica.

En la huella de potencia se indica la potencia con que emite el satélite hacia esa zona en concreto (se tiene en cuenta el diagrama de radiación de la antena transmisora), expresándola en dBW. Esto es lo que se denomina PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente) del satélite, la cual es el producto

de la ganancia direccional por la potencia transmitida. A partir de este dato se pueden obtener las características de la instalación receptora adecuada a cada lugar de recepción. En la Fig. 3 se ve un mapa de huella en el que aparece el tamaño de la antena receptora que habría que colocar según la PIRE.

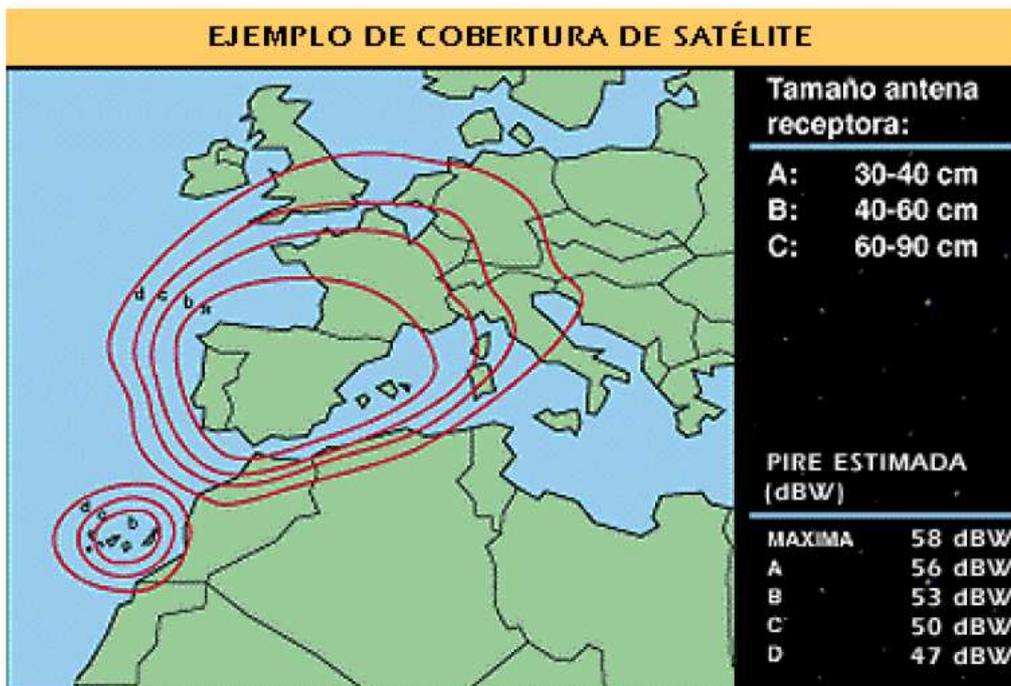


Figura 3: Ejemplo de mapa de cobertura junto con la PIRE del satélite

Desde España se reciben varios satélites comerciales de difusión de TV. Entre ellos el HISPASAT, ASTRA, INTELSAT, EUTELSAT,...

Cada satélite está situado en una determinada posición geoestacionaria (expresada por su longitud, ya que la latitud es siempre cero), que debe consultarse antes. Por ejemplo, en el caso del Astra su posición es de 19,2 grados Este, y para el Hispasat es de 31 grados Oeste (en medio del atlántico para dar cobertura también a latinoamérica). En la Fig. 4 se observan varios satélites comerciales de difusión de TV.

2.2. Tipos de antenas para la captación de televisión por satélite

Las antenas parabólicas son las más difundidas para la captación de señales de satélites de difusión de televisión. Éstas tienen la característica fundamental de que las ondas que inciden en la superficie metálica de la antena (reflector), dentro de un ángulo determinado, se reflejan e inciden en un punto donde se concentra la energía electromagnética, denominado foco.

Foco primario La superficie de la antena es un paraboloide de revolución (ver la Fig. 5(a)). El foco está centrado en el paraboloide. Tiene un rendimiento máximo del 60 % aproximadamente, es decir, de toda la energía que llega a la superficie de la antena, el 60 % llega al foco y se apro-

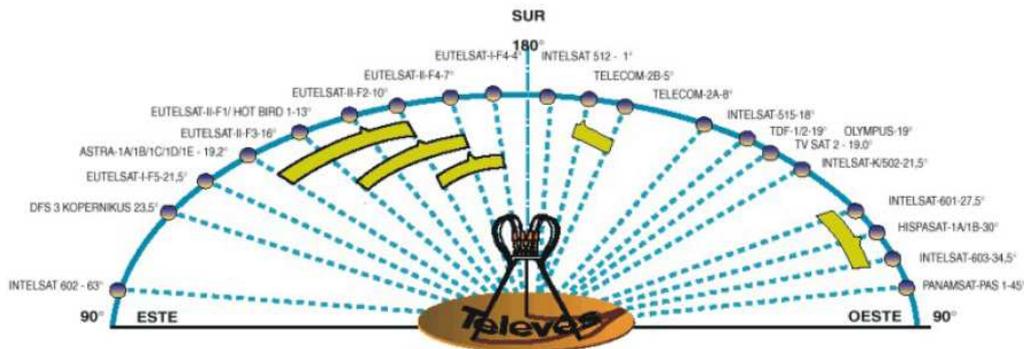


Figura 4: Satélites geoestacionarios comerciales de difusión de TV vistos desde España (ASTRA, EUTELSAT, INTELSAT, HISPASAT, ...)

vecha, mientras que el resto no llega al foco y se pierde. Suelen ser de tamaño considerable, aproximadamente de 1,5 m de diámetro.

Offset . Este tipo de antena asimétrica se obtiene recortando de grandes antenas parabólicas de forma esférica (ver la Fig. 5(b)). Tienen el foco desplazado hacia fuera de la superficie de la antena. La eficiencia es algo mayor que en la de foco primario, debido a que el alimentador no obstaculiza la apertura, y llega a ser de un 70 % o algo más.

Cassegrain . Es similar a la de foco primario, sólo que tiene dos reflectores. El mayor apunta al lugar de recepción, y las ondas al chocar, se reflejan y van al foco donde está el reflector menor; al chocar las ondas, van al último foco, donde estará colocado el alimentador (ver la Fig. 5(c)). Se suelen emplear en antenas muy grandes de radioastronomía o para seguimiento de misiones interplanetarias, donde es difícil llegar al foco para el mantenimiento de la antena.

Antena plana . No se trata realmente de una antena parabólica y se emplea sobre todo por motivos estéticos (ver la Fig. 5(d)). Se están utilizando mucho actualmente para la recepción de los satélites de alta potencia, como el Hispasat. Este tipo de antena no requiere un apuntamiento al satélite tan preciso, aunque lógicamente hay que orientarlas hacia el satélite en cuestión.

En todos los casos, cuanto mayor sea la superficie reflectora, mayor será la energía que es posible concentrar en la antena y por tanto crece la ganancia; pero también mayor el coste resultante. Por otra parte, las antenas receptoras son más difíciles de apuntar al satélite.

En la Fig. 6 se muestra la antena parabólica utilizada en la práctica situada en un mástil y con el alimentador.

3. Orientación y montaje de una antena parabólica

Para poder calcular la orientación de una antena parabólica es necesario conocer la localización geográfica del lugar de recepción (latitud y longitud) y la ubicación del satélite geoestacionario sobre el plano ecuatorial (longitud, ya que sabemos que para este tipo de satélites la latitud es siempre cero).



(a) Antena con alimentador centrado



(b) Antena parabólica con alimentador en offset



(c) Antena parabólica Cassegrain



(d) Antena plana para DBS

Figura 5: Diferentes tipos de antenas para captación de señales de satélites de difusión de televisión

El Ecuador divide a la Tierra en el hemisferio norte y el hemisferio sur, y el meridiano de Greenwich la divide en este y oeste. Las divisiones en planos paralelos al ecuador son los paralelos. Y la latitud es el ángulo formado, en un punto determinado de la superficie terrestre, por la vertical del lugar con el plano ecuatorial. Se calcula contando de 0° a $\pm 90^\circ$ a partir del ecuador, positivamente hacia el Norte y negativamente hacia el Sur. Las divisiones en planos que pasan por el eje terrestre (como el de Greenwich en Londres) son los meridianos. Y la longitud es el ángulo formado, en un punto dado de la superficie terrestre, por el meridiano del lugar con el meridiano de Greenwich, elegido convencionalmente como origen. Se calcula contando de 0° a 180° grados, positivamente hacia el Este, negativamente hacia el Oeste.

El máximo error de ángulo admisible al orientar la antena para captar la señal del satélite adecuadamente depende de la ganancia de la antena y es muy pequeño, del orden de 0,2 grados. Así pues,



Figura 6: Antena parabólica usada en la práctica.

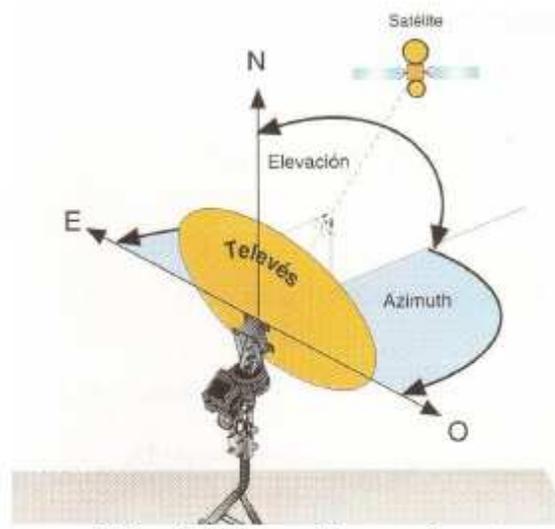


Figura 7: Orientación de una antena parabólica en acimut y elevación para captación de señales de televisión.

después de orientar la antena en base a cálculos previos, habrá que realizar un ajuste fino moviendo un poco la antena hasta encontrar el máximo nivel de señal.

3.1. Acimut y elevación

Como los satélites geoestacionarios están situados sobre la vertical del ecuador terrestre, las antenas situadas en latitudes al Norte del Ecuador deben mirar hacia el Sur (como en el caso de España) y las situadas al Sur del Ecuador deben mirar hacia el Norte, con mayor o menor desviación hasta el Este o el Oeste en función del satélite elegido y de la situación geográfica de la antena.

El acimut es el ángulo horizontal al que hay que girar el eje de la antena, desde el polo norte geográfico hasta encontrar el satélite o punto subsatelital. La elevación es el ángulo que hay que elevar la antena desde el horizonte para localizar el satélite en cuestión.

3.2. Métodos de cálculo del acimut y elevación

Para el cálculo del ángulo de elevación y de acimut seguiremos el procedimiento descrito en el tema 2 de la asignatura, para una determinada latitud L_e y longitud de la estación terrestre l_e , y longitud del satélite l_s , ya que sabemos que su latitud L_s es cero al ser geoestacionario.

En primer lugar se calcula el ángulo interior γ según la (1).

$$\cos \gamma = \cos L_e \cos L_s \cos (l_s - l_e) + \sin L_e \sin L_s = \cos L_e \cos (l_s - l_e) \quad (1)$$

Conocido el ángulo interior γ se calcula la distancia del satélite a la estación terrestre, teniendo en cuenta el radio de la Tierra r_e y la distancia del satélite al centro de ésta, como:

$$d = r_s \left[1 + \left(\frac{r_e}{r_s} \right)^2 - 2 \left(\frac{r_e}{r_s} \right) \cos \gamma \right]^{1/2} \quad (2)$$

A partir del rango (ver la ecuación (2)) y la ley de los senos se puede calcular el ángulo de elevación a partir de la relación siguiente:

$$\cos El = \frac{r_s \sin \gamma}{d} = \frac{\sin \gamma}{\sqrt{1 + \left(\frac{r_e}{r_s} \right)^2 - 2 \left(\frac{r_e}{r_s} \right) \cos \gamma}} \quad (3)$$

Existen otras relaciones para calcular la elevación como las dadas en (4).

$$\tan El = \frac{\cos \gamma - \frac{r_e}{r_s}}{\sin \gamma} \quad (4a)$$

$$\sin El = \frac{\cos \gamma - \frac{r_e}{r_s}}{\frac{d}{r_s}} \quad (4b)$$

Para calcular el acimut primero obtendremos el ángulo auxiliar α como,

$$\alpha = \arctan \left[\frac{\tan |(l_s - l_e)|}{\sin L_e} \right] \quad (5)$$

posteriormente al encontrarse España en el hemisferio norte, si el satélite está en la dirección sureste el acimut será $Az = 180^\circ - \alpha$ (Astra), mientras que si está en la dirección suroeste el acimut será $Az = 180^\circ + \alpha$ (Hispasat).

Las antenas parabólicas como las que se pueden encontrar en las azoteas de los edificios (en nuestro caso en un mástil) presentan dos grados de libertad de movimiento, tanto en elevación como en acimut. Una vez calculados dichos ángulos podremos orientar la antena haciendo uso de dos instrumentos:

Brújula para medir el acimut (ver la Fig. 8). Para poder ajustar el valor del acimut al calculado con las fórmulas anteriores usaremos la brújula. Para hacer este ajuste, ésta no se debe acercar mucho a superficies metálicas, pues podría dar un error al medir.



Figura 8: Brújula utilizada en la práctica. El acimut se mide desde el norte en el sentido de las agujas del reloj.

Inclinómetro para medir la elevación. Para poder ajustar la elevación se utiliza el inclinómetro, que es un medidor de la inclinación. Como el inclinómetro se coloca en la superficie de la antena, lo que realmente se mide es el ángulo complementario. Para ajustar la elevación colocamos una regla recta en los extremos de la superficie de la parábola para obtener un plano recto y fiable. A veces, el inclinómetro viene provisto con la antena. Si nuestra antena es de tipo offset hemos de tener en cuenta que el offset indica un ángulo de inclinación del que ya dispone la antena (el ángulo de offset es un dato suministrado por el fabricante de la antena). En la práctica ajustaremos la elevación ajustando una tuerca mediante una llave inglesa en el mástil en el que se encuentra la antena parabólica.

3.3. Alimentador o iluminador

Es el componente encargado de recoger las señales de radiofrecuencia que se reflejan en la antena parabólica (ver la Fig. 9). Va colocado en el foco de la parábola y generalmente se trata de una bocina circular corrugada. Para poder diferenciar entre polarización horizontal y vertical existe un elemento denominado polarizador, que discrimina la polarización según el tipo y la forma de colocarlo. Para pasar de polarización vertical a horizontal y viceversa, basta girar 90 grados el conjunto alimentador-polarización-conversor. Existen detectores de doble polaridad que permiten disponer simultánea o no

simultáneamente las señales de TV por satélite en polarización vertical y horizontal, dependiendo de la alimentación que se aplique.



Figura 9: Alimentador de foco centrado de Televés.

3.4. Conversor LNB

La señal del enlace descendente, que se refleja en la superficie de la antena parabólica, concentra toda su energía en el foco, y a través del iluminador situado en dicho punto, la señal se introduce en el amplificador de entrada.

La señal que capta la antena es muy débil, debido a la atenuación que sufre al propagarse desde el satélite a la antena. Por lo tanto necesitaremos un amplificador de bajo nivel de ruido o LNA que lleve a una temperatura ruido del sistema baja.

Por otro lado, la señal que se recibe en la antena tiene una frecuencia muy elevada (banda Ku), por lo que tiene que ser transformada a una frecuencia mucho más baja (FI: de 950 a 2150 MHz) para enviarla al receptor interior (sintonizador de satélite), de manera que se transmita por el cable coaxial sin que se produzca una gran atenuación (ésta crece rápidamente con la frecuencia). El dispositivo encargado de ello se denomina conversor, y como debe tener un bajo nivel de ruido, se denomina conversor de bajo nivel de ruido o LNC. El mencionado LNC, unido a un LNA forma el bloque de bajo nivel de ruido, que se denomina conversor LNB. El LNB se sitúa en el foco del reflector y debe estar sellado para soportar las inclemencias del tiempo. La Fig. 10 muestra el diagrama de bloques de un LNB.

La señal procedente del satélite se encuentra en dos bandas de frecuencia Ku. La primera de las bandas se corresponde con los canales analógicos, mientras que en la segunda banda de frecuencia más alta se localizan los canales digitales (ver la Tabla 1). Después de pasar por el conversor de frecuencia tendremos una señal en FI (primera FI o segunda FI para cada banda). Para hacer esta conversión necesitaremos dos osciladores locales (uno para cada banda de frecuencias). Para hallar la frecuencia del oscilador local basta con restar la frecuencia de la señal en RF a la frecuencia equivalente en FI.

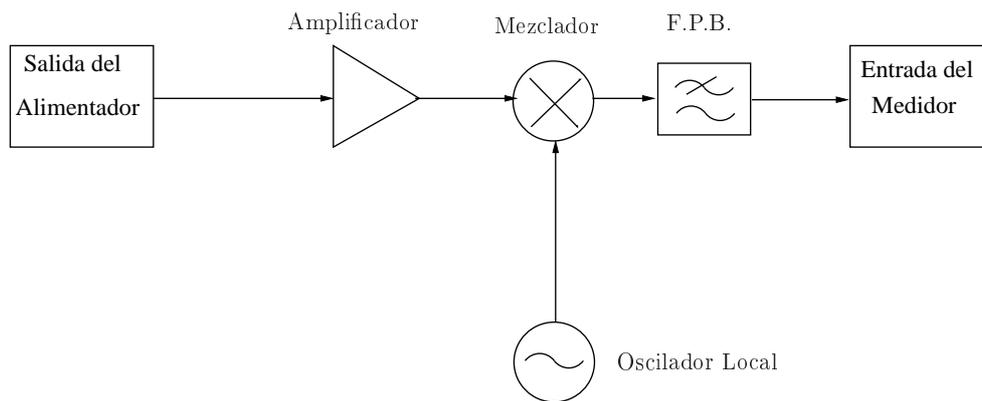


Figura 10: Diagrama de bloques del conversor LNB (Low Noise Block) formada por un amplificador, un oscilador local, un mezclador y un filtro paso bajo.

RF	FI	Frec. Osc. Local
10,7 - 11,7 GHz	950-1950 MHz	9,75 GHz
11,7 - 12,75 GHz	1100-2150 MHz	10,6 GHz

Cuadro 1: Conversion de frecuencia de RF a FI.

Para recibir todas las polaridades (vertical y horizontal) tanto en la banda baja (de 10,7 a 11,7 GHz) como en la banda alta (de 11,7 a 12,75 GHz) vamos a usar un conversor bi-banda universal de Boshmann, modelo LNBU02BM (ver la Fig. 11). Este conversor que incorpora el alimentador, está diseñado para ser utilizado en sistemas individuales de recepción de satélite fijos y presenta una única salida para las dos polarizaciones y las dos bandas de frecuencia. Sus principales características son:

- Bandas de frecuencia.
 1. Banda 1 de 10,7 a 11,7 GHz.
 2. Banda 2 de 11,7 a 12,75 GHz.
- Frecuencias del oscilador local: 9,75 GHz o 10,6 GHz.



(a) Vista trasera del LNB usado.

(b) Vista lateral del LNB.

Figura 11: LNB de Boshmann (LNBU02BM) usado en la práctica.

- Ganancia de 52 a 64 dBs y una baja figura de ruido de 0,2 dB.
- Selección de polaridad por tensión:
 - Vertical 11 - 14,5 V.
 - Horizontal 16 - 20 V.
- Conmutación entre bandas mediante tono.
 - 0 Hz para banda baja (continua).
 - 22 ± 4 KHz para banda alta.

En la Fig. 12 se muestra la hoja de catálogo de un LNB de características similares al utilizado en la práctica.

3.5. Medidor de campo

Como medidor de campo utilizaremos el modelo FSM 500 de Televés. Se trata de un medidor portátil con pantalla de 5 pulgadas a color, donde se reflejan las señales de TV. Este medidor implementa todas las funciones básicas necesarias para garantizar la calidad de una instalación de RTV analógica y digital, tanto terrestre como por satélite.

El medidor incorpora la posibilidad de utilizar varios tipos de unidades: $dB\mu V$, $dBmV$, $dB\mu V/m$ (calculada para una antena Televes DAT45 y 10 metros de cable T100) y dBm. Por defecto el medidor viene configurado para medir en $dB\mu V$.

El dispositivo ha sido diseñado para realizar medidas tanto en canales analógicos (nivel, C/N , V/A), como digitales (potencia, C/N , BER, MPEG), tanto en la banda de frecuencias de la televisión terrestre (47-860 MHz) como en la banda satélite a frecuencia intermedia tras el conversor LNB (950-2150 MHz). Asimismo en el modo analizador se puede visualizar la banda GSM (860-950 MHz) y el canal de retorno (5-47 MHz) lo que hace que su analizador de espectro trabaje en todas las frecuencias entre 5 y 2150 MHz, pudiendo hacer medidas en esas frecuencias. Incorpora la función de demodulación MPEG en COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex utilizado en difusión de audio digital), QAM (TDT) y QPSK (Satélite) de canales abiertos, para de esta forma visualizar los canales digitales. En el paquete de funciones OPCION 1 se puede visualizar, grabar y editar gráficas, disponer de la funcionalidad del estándar de audio digital NICAM, permitir la visualización de la constelación en QAM y disponer de una medida digital adicional, denominada MER, en las tres modulaciones digitales (QPSK, QAM, COFDM-Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex). Mediante este paquete también se puede utilizar el programa de gestión de gráficas para el PC (FSM Management), cuyo manual de usuario se encuentra en la página de aula virtual de la asignatura.

La OPCION 2 del medidor permite añadir la funcionalidad de medir señales DAB (Digital Audio Broadcasting o radio digital) en terrestre y satélite. El medidor, una vez enganchando a un canal DAB presenta la medida BER, S/N , información sobre el proveedor, así como una lista de los servicios que se pueden seleccionar en todo momento.

LNBU02BOS Boshmann Xtreme Gain Universal Single LNB, Noise Figure 0.2 dB

- Gama Boshmann de LNBs con 0.2 dB de figura de ruido.
- Reducido consumo, <100 mA.
- Muy Alta Ganancia.
- Gran estabilidad de frecuencia.

BOSHMANN



Technical characteristics		Comparativa
Type		Offset
Outputs		All
Output Nº 1		/
Output Nº 2		/
Output Nº 3		/
Output Nº 4		/
Input Frequency (Low Band)	GHz	10.7 - 11.7
Input Frequency (High Band)	GHz	11.7 - 12.75
Output Frequency (Low Band)	MHz	950 - 1950
Output Frequency (High Band)	MHz	1100 - 2150
Input Signal Level	dBm	/
Noise Figure	dB	0.2
Gain	dB	52 - 64
Gain Variation	dB	±0.75
Gain Linearity	dB	±1
L.O. Frequency (Low Band)	GHz	9.75
L.O. Frequency (High Band)	GHz	10.6
L.O. Phase Noise @1 kHz	dBc/Hz	-50
L.O. Phase Noise @10 kHz	dBc/Hz	-75
L.O. Phase Noise @100 kHz	dBc/Hz	-95
L.O. Stability	MHz	±3.0
Consumption	mA	110
Image Rejection	dB	>40
Cross Polar Isolation	dB	>18
Output Impedance	Ω	75
Return Loss	dB	/
Operational Temperature	°C	-30 / +60
Vertical High Control Signal		11.0 - 14.5 V & 22 kHz ±4
Vertical Low Control Signal		11.0 - 14.5 V & 0 kHz
Horizontal High Control Signal		16.0 - 20.0 V & 22 kHz ±4
Horizontal Low Control Signal		16.0 - 20.0 V & 0 kHz

Figura 12: Hoja de catálogo del LNB (LNBU02BOS) de Boshmann.

Otra característica a destacar es que las funciones del menú se visualizan en la pantalla TFT en color. Gracias a la función OSD se visualizan en la pantalla la imagen del canal sintonizado (o el espectro), las funciones del menú y otras ventanas de información, tal como puede verse en la Fig. 13.

A la derecha de la pantalla están situadas las teclas mediante las cuáles se accede directamente a la función o submenú que se indica en ese momento en la pantalla.



Figura 13: Medidor en modo de televisión y de analizador de espectro.

3.5.1. Descripción de los elementos del medidor

En el frontal del medidor se tiene tenemos los siguientes elementos:

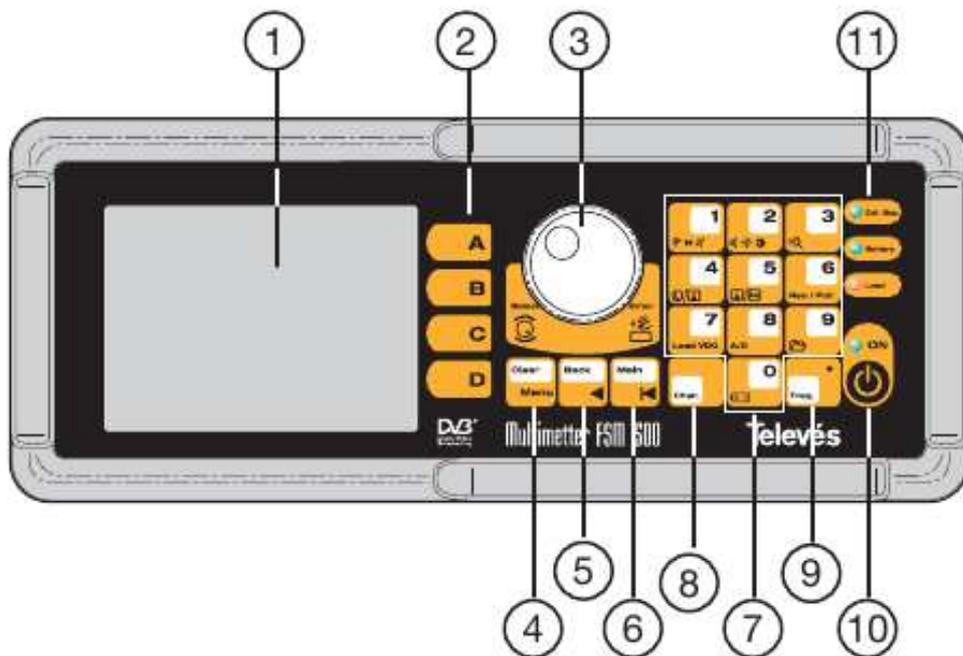


Figura 14: Panel frontal del medidor de campo.

1. **Monitor.** Pantalla TFT de cinco pulgadas.
2. **Teclas de acceso a menús.** Cada una de estas teclas se corresponde con una de las funciones del menú que hay visibles en ese momento en la pantalla.
3. **Selector rotativo.** Dependiendo de en qué parte del menú nos encontremos, tiene una función u otra. Por ejemplo, si se tiene abierta una ventana de selección de algún parámetro nos permite

pasar de una opción a otra y seleccionar la que se elija pulsando el botón rotativo. También se puede utilizar para cambiar de canal (modo canal), o sintonizar una frecuencia (modo frecuencia).

4. **Clear/Menu.** Hace que los botones del menú aparezcan y desaparezcan de la pantalla. Asimismo también se utiliza para cerrar las ventanas que aparecen en el centro de la pantalla (ventanas de medida, de selección de parámetros, etc...)
5. **Back.** Esta tecla tiene dos funciones: si el usuario está introduciendo un dato con el teclado numérico (frecuencia o clave), entonces la función de esta tecla es borrar el último dígito que ha escrito, en cualquier otro caso la función de esta tecla es volver al menú inmediatamente anterior.
6. **Main.** Al pulsar esta tecla se vuelve al menú principal.
7. **Teclado numérico y teclas rápidas.** El teclado numérico nos permitirá introducir la frecuencia que se desea sintonizar. El teclado numérico nos permitirá introducir la frecuencia que se desea sintonizar.
8. **Chan.** Selecciona el modo de sintonía por canal. Si hay una ventana de medida abierta, se visualizará en la misma el canal sintonizado. Si no hay ninguna ventana abierta, automáticamente se abrirá la ventana de la última medida realizada.
9. **Freq.** Selecciona el modo de sintonía por frecuencia. Igual que en el caso anterior, si hay alguna ventana de medida abierta, y el equipo está previamente en modo de sintonía por canal, al pulsar la tecla Freq, desaparece la información del canal sintonizado y en su lugar aparece la frecuencia de portadora de video de ese canal. Una vez que el equipo está en modo de sintonía por frecuencia, si volvemos a pulsar esta tecla, se borra la frecuencia sintonizada y es entonces cuando podemos introducir la frecuencia que queramos sintonizar utilizando el teclado numérico. Para poner el punto que separa la parte decimal, volvemos a pulsar esta misma tecla. Para validar la frecuencia que acabamos de introducir por teclado, hay que pulsar el selector rotativo.
10. **On.** Tecla de puesta en marcha. Para apagar el equipo, se pulsará esta tecla más de 2 segundos.
11. **LED's de estado del equipo.**
 - *Ext. Supply:* Indica si el equipo está siendo alimentado con una fuente externa.
 - *Battery:* Indica si se está cargando la batería y, en ese caso, el estado de carga en el que se encuentra. Mientras dure el proceso de carga, este LED parpadeará.
 - *Load:* Indica si el equipo está alimentando elementos externos. Es el único LED rojo, para advertir al instalador de este estado. **Se enciende cuando alimentemos el LNB.**
 - *ON:* Indica si el equipo está encendido.
20. **Cambio banda (Tecla 1).** Conmuta la banda de frecuencias entre terrestre y satélite de forma inmediata, tanto en modo TV como en modo analizador.
21. **Acceso parámetros del monitor (Tecla 2).** Permite acceder a los controles de brillo, contraste, color y volumen. Cada vez que se pulsa esta tecla, se selecciona el siguiente parámetro.

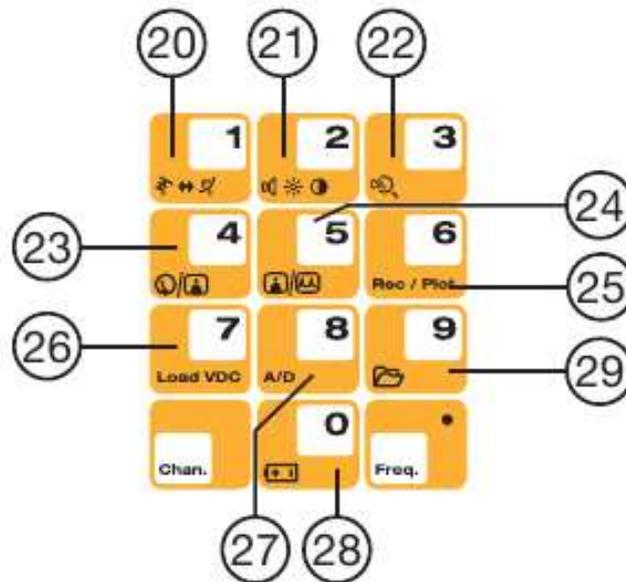


Figura 15: Teclado del medidor de campo.

22. **Búsqueda canales (Tecla 3).** Sintoniza automáticamente el siguiente canal cuyo nivel de portadora supera el umbral seleccionado por el usuario.
23. **Mostrar/ocultar la ventana de la última medida realizada (Tecla 4).** Si tenemos una ventana abierta de una ventana de una medida analógica (V/A o C/N), al pulsar esta tecla se cerrará. Y si volvemos a pulsarla, volverá a aparecer, aunque estemos en otro lugar del menú. Un caso especial es el de la medida de nivel. Si está abierta la medida de nivel abreviada (solo muestra información de la frecuencia o el canal sintonizado y el nivel de señal medido) y pulsamos esta tecla, aparecerá la ventana de nivel extendida, en la que además de lo anterior, también aparece información de la norma, la frecuencia de la portadora de sonido, etc.
24. **Cambio de visualización TV/Analizador (Tecla 5).** Permite cambiar de modo TV a modo analizador y viceversa de forma inmediata.
25. **Impresión Medidas (Tecla 6).** Imprime automáticamente la medida realizada en una impresora conectada al puerto RS-232. En modo Analizador permite acceder al menú de gráficas y grabar la gráfica que se está mostrando (OPCION 1).
26. **Alimentación externa (Tecla 7).** Abre directamente la ventana de alimentación de unidades exteriores, que se alimentan por el conector de entrada tipo 'F'. Hay que pulsar esta tecla para alimentar el LNB de la antena parabólica.
27. **Selección medidas Analógicas/Digitales (Tecla 8).** Permite conmutar entre medidas analógicas y digitales. Los menús se sitúan automáticamente en la parte correspondiente a medidas analógicas o digitales. Cuando se selecciona medidas analógicas, se abre la ventana de medida de nivel, mientras que cuando se selecciona medidas digitales se abre la ventana de medida de potencia y desaparece la imagen de TV de la pantalla.

28. **Carga batería (Tecla 0)**. Pulsándola mas de 3 segundos fuerza la carga de la batería, sea cual sea su estado de carga, siempre que el medidor esté conectado a la red eléctrica. Se puede abortar un proceso de carga pulsando esta tecla más de 3 segundos.
29. **Selección del menú de Memorias Logger (Tecla 9)**. Permite acceder de manera directa a las listas de Memorias, Macro Medidas, Data Logs y Gráficas (OPCION1).

En los laterales del equipo tenemos:

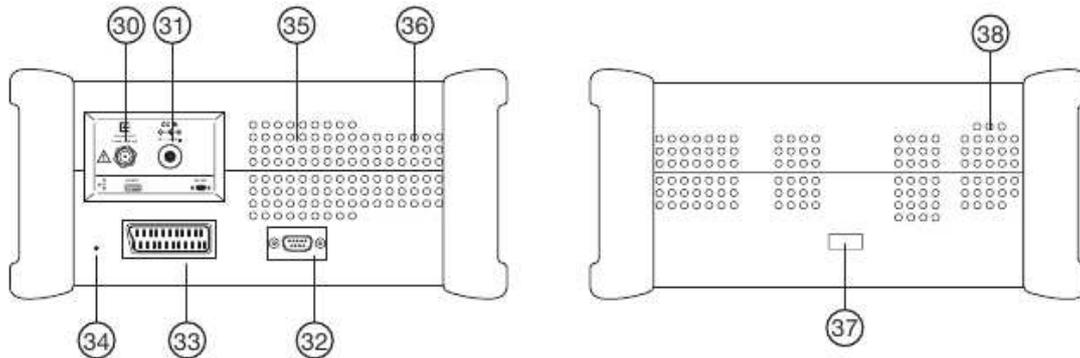


Figura 16: Vistas laterales del medidor de campo.

30. **Entrada de RF**. Conector para entrada de señal con impedancia de 75 Ohmios.
31. **Alimentación**. Entrada de alimentación externa de 12-14,8 Voltios.
32. **Puerto Serie**. Conexión al PC para utilizar el programa de FSM Management o actualización de software del medidor. Conexión impresora RS 232.
33. **Euroconector**.
34. **Botón Reset**. Permite reiniciar el equipo en caso de funcionamiento anómalo del mismo. Cuando se resetea el equipo se recupera la configuración que tenía el mismo la última vez que se apagó con normalidad. Para accionar dicho botón se usará un objeto no punzante ejerciendo una presión adecuada.
35. **Altavoz**
36. **Ventilador**
37. **Switch de configuración de baterías**
38. **Ventilador**

3.5.2. Jerarquía de menus del medidor

El primer grupo de menus (ver la Fig. 17) se encarga de la configuración de las medidas. En nuestro caso lo utilizaremos para seleccionar los planes de frecuencias de Hispasat y de Astra a la

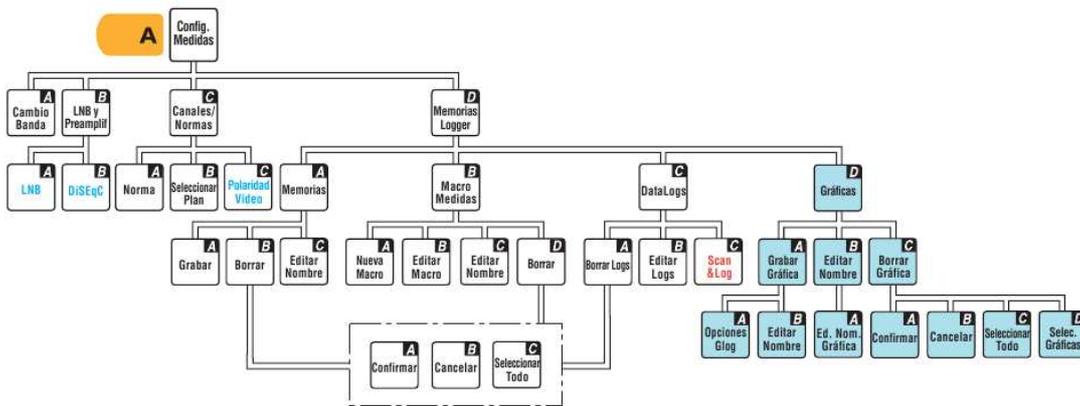


Figura 17: Menu jerárquico de configuración de medidas.

hora de capturar las señales de televisión por satélite. Además, se utilizará para seleccionar el tipo de alimentación transmitida al LNB para seleccionar la banda y polaridad deseada.

El menú jerárquico B (ver la Fig. 18) se encarga de realizar funciones de ajuste del equipo, como el volumen, el brillo, el color, el idioma, etc. En principio, no lo utilizaremos y dejaremos la configuración por defecto.

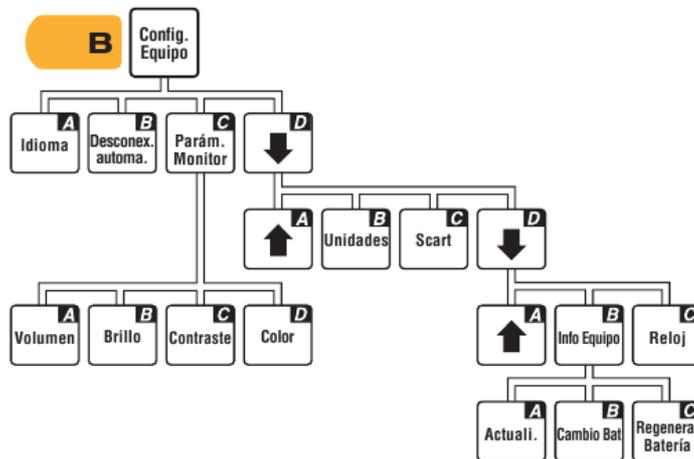


Figura 18: Menu jerárquico de configuración de equipo.

El menú jerárquico C (ver la Fig. 19) se encarga de realizar las medidas de la señal de televisión. Podremos visualizar canales tanto analógicos como digitales (codificados en MPEG). Se mide la señal de portadora a ruido y la tasa binaria de error (BER) dependiendo de la modulación (QPSK, QAM, COFDM).

Por último, en el menú jerárquico D (ver la Fig. 20) configuraremos las características del analizador de espectros como el Span o los niveles de referencia.

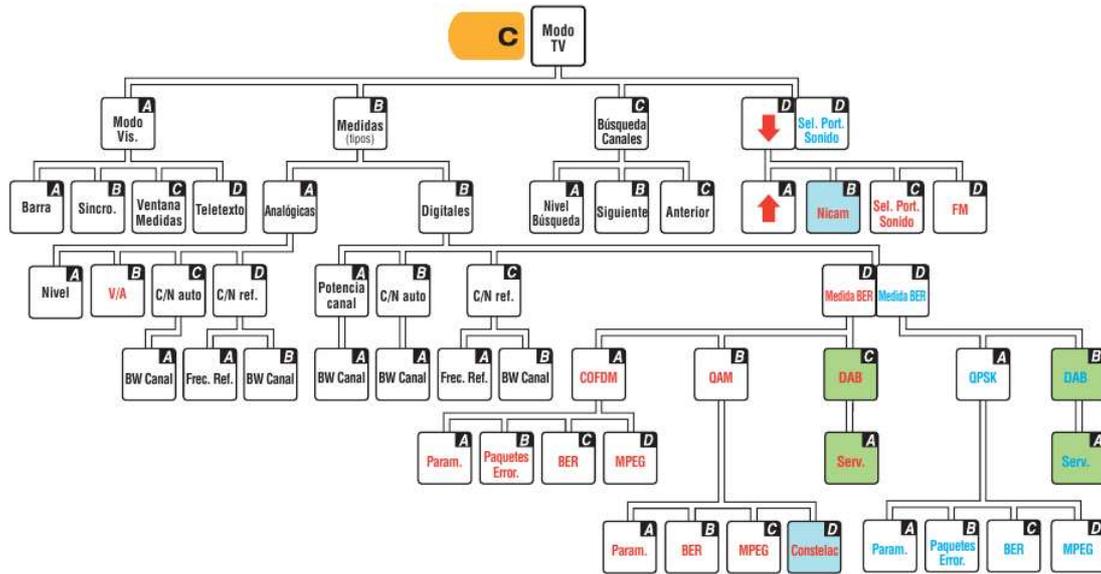


Figura 19: Menu jerárquico de configuración de TV.

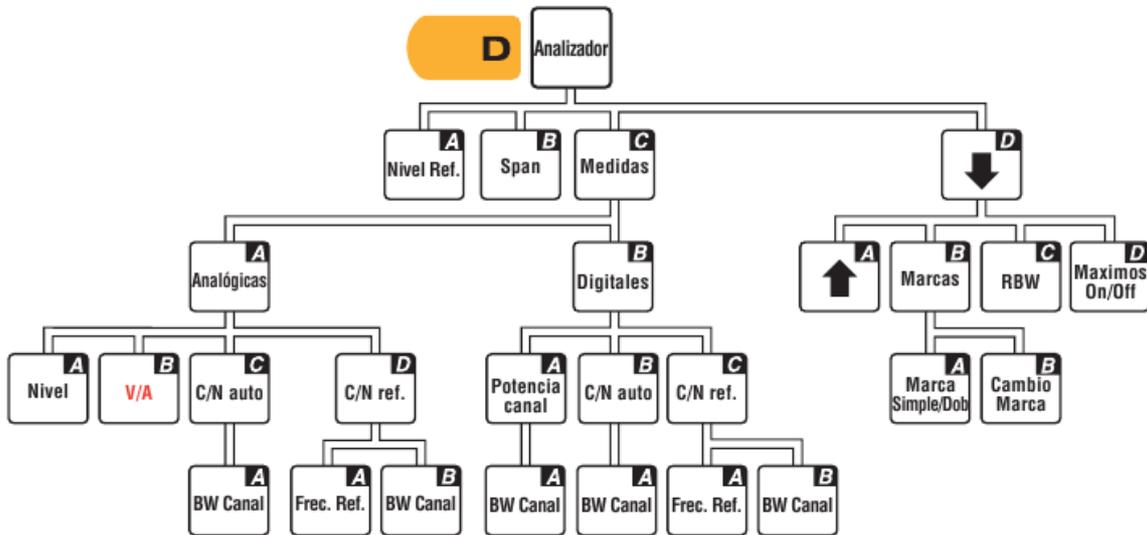


Figura 20: Menu jerárquico de la función de analizador de espectro.

4. Desarrollo de la práctica

El objetivo de la práctica será la familiarización por parte del alumno del medidor de campo para señales de televisión terrestre y por satélite. En primer lugar comenzaremos por medir los distintos canales de televisión terrestre que se reciben en Cartagena, para posteriormente pasar a captar las señales de los satélites Hispasat y Astra.

4.1. Captación de la señal de televisión terrestre

En primer lugar, trasladaremos las antenas y el medidor de campo a una ubicación favorable para la captación de señales de televisión. En nuestro caso, la zona cercana al arco de entrada del cuartel de Antigonos es un lugar propicio para la medición de dichas señales. Seguidamente encenderemos el medidor de campo y conectaremos el cable coaxial de la antena Yagi (ver la Fig. 21) a la entrada del medidor de campo (30 de la Fig. 16). Orientaremos la antena en dirección Oeste para captar la señal del repetidor.



Figura 21: Antena Yagi-Uda para televisión terrestre de Teledesic.

Ejercicio 1. Configure el medidor para captar señales de televisión terrestre, para ello pulse el botón 1 del teclado para conmutar de satélite a tv terrestre (ver la Fig. 15 (20)). Asegurese de que el medidor de campo no alimenta el cable (Led Load apagado) pulsando el botón 7 del teclado (ver la Fig. 15 (26)). En el modo de analizador de espectro partiendo de una configuración de full-span a otra con span cada vez más pequeño observe los distintos canales que se reciben. Los canales de frecuencias más bajas se corresponden con televisión analógica, mientras que los últimos canales (en torno al 60) son digitales. Anote los números de los canales en los que se recibe señal (para ello tenga el medidor en modo canal).

Ejercicio 2. Dibuje el espectro de un canal analógico con el analizador de espectros con span de 8 MHz. Diga a qué se corresponde cada parte del espectro. Mida la relación portadora a ruido (C/N).

Ejercicio 3. Sintonicé el canal y observe la señal de televisión. ¿Se recibe correctamente?

Ejercicio 4. Dibuje el espectro de un canal digital con span de 16 MHz (ancho de dos canales para ver la banda de guarda). ¿Cómo es el espectro? Mida la relación portadora a ruido (C/N).

Ejercicio 5. Decodifique la señal MPEG del canal digital. Para ello utilice el MODO-TV, Medidas, Digitales, Medida BER, COFDM, MPEG. ¿Cuántos canales de televisión recibe? ¿y de radio?

Ejercicio 6. Describa en qué consiste el sistema COFDM para televisión digital terrestre.

Ejercicio 7. Obtenga el BER del canal antes y después de aplicar el algoritmo corrector de errores de Viterbi (ver la Fig. 22).



Figura 22: Medición de BER en un canal TDT antes y después de Viterbi (VBER).

4.2. Captación de la señal de televisión por satélite

Una vez estudiada la recepción de señales de televisión terrestre analógicas y digitales, procederemos a hacer lo propio con las procedente de los satélites Astra e Hispasat. Para este cometido, lo primero que tendremos que calcular son los ángulos de elevación y acimut con los que tenemos que orientar la antena parabólica (ver la Fig. 6) teniendo en cuenta nuestra posición geográfica.

Ejercicio 8. Calcule los ángulos de elevación y acimut de la antena parabólica para captar las señales de Astra ($19,2^\circ$ Este) e Hispasat 1C (30° Oeste), teniendo en cuenta que la coordenadas geográficas de Cartagena son $37^\circ 36'$ Norte y $0^\circ 59'$ Oeste.

4.3. Captación de la señal de Hispasat

Procederemos en primer lugar a configurar nuestro medidor de campo para captar la señal del satélite Hispasat 1C. Para ello tendremos que escoger un emplazamiento adecuado, en el cual no exista ningún obstaculo que impida la visión directa del satélite por parte de nuestra antena parabólica. En base a los resultados obtenidos para el acimut y la elevación de la antena orientada hacia Hispasat, un lugar apropiado puede ser el mismo que el empleado para la captación de la señal de televisión terrestre junto a la entrada del cuartel de antigones.

Ejercicio 9. Conecte el coaxial que procede del LNB de la antena parabólica a la entrada correspondiente del medidor de campo (30 de la Fig. 16). Configure el plan de frecuencias del medidor de campos para los canales de Hispasat 1C: Configuración de medidas, Canales/normas, seleccionar plan, Hispasat 1C. Seguidamente alimente el LNB. En este caso sí que tenemos que introducir la alimentación del LNB a partir del medidor de campo y a través del cable coaxial, ya que se trata de un dispositivo activo. El tipo de alimentación se puede seleccionar mediante configuración de medidas, LNB y preamplificador, LNB o pulsando la tecla 7 de la Fig. 15 (26). Puesto que hemos seleccionado un plan de frecuencias predefinido (Hispasat 1C) el medidor de campo sabe como alimentar el LNB para cada canal, por lo

que seleccionaremos la opción auto (ver la Fig. 23). Una vez que se haya conectado la alimentación se encenderá el Led Load del medidor de campo. Active el modo de satélite del medidor de campo (si lo está previamente) mediante la tecla 1 de la Fig. 15 (20).

Ejercicio 10. Oriente la antena en elevación utilizando la llave inglesa.

Ejercicio 11. Oriente la antena en acimut empleando la brujula (ver la Fig. 8).



Figura 23: Menú de alimentación del LNB

Ejercicio 12. En el modo de analizador de espectro con un span amplio (p.e. 200 o 512 MHz) observe la señal recibida por el medidor de campo de cara a realizar un ajuste fino de la orientación de la antena tanto en acimut como en elevación. Si el nivel de la señal de los distintos transpondedores se encuentra entorno a los $70 \text{ dB}\mu\text{V}$ fije la orientación de la antena.

Ejercicio 13. Una vez que haya hecho el ajuste fino de la orientación de la antena diga el número transpondedores de los cuales se recibe señal y el ancho de banda total que ocupa la señal procedente del satélite.

Ejercicio 14. En el modo TV, situese en el canal de un transpondedor con señal de televisión digital e intente recibir la señal de televisión. Para este cometido siga: Modo-TV, medidas, digitales, medidas BER, QPSK, MPEG. ¿Ha conseguido ver algún canal? Probablemente la respuesta será negativa, debido a que en Hispasat se encuentran los canales de la plataforma de pago Digital+. ¿Por qué se usa una modulación de tipo QPSK en televisión por satélite?

Ejercicio 15. Mida el BER para el canal que haya seleccionado antes y después de la aplicación del algoritmo de Viberti (ver la Fig. 24).

4.4. Captación de la señal de Astra

En este apartado repertemos los pasos realizados para captar la señal de Hispasat 1C pero cambiando el emplacedamiento de nuestra antena receptora debido a que el acimut con el que la tenemos que



Figura 24: Tasa de error binaria para señal de satélite digital

orientar hace que el Cuartel de Antigones se convierta en un obstáculo si permanecemos en la entrada. Por este motivo trasladaremos el equipo y la antena al interior del patio del Cuartel de Antigones en las proximidades de la cafetería.

Ejercicio 16. Seleccione el plan de frecuencias de Astra en el medidor de campo.

Ejercicio 17. Oriente la antena en acimut y elevación para captar la señal de Astra,

Ejercicio 18. Realice un ajuste fino de la orientación de la antena observando los niveles de señal recibidos en el modo de analizador de espectros.

Ejercicio 19. Diga el número de transpondedores operativos, el ancho de banda de éstos y el ancho de banda total de la señal recibida de Astra.

Ejercicio 20. Seleccione un transpondedor con señal de televisión digital e intente ver algún canal de televisión. En este caso sí que es posible, ya que se reciben muchos canales en abierto.

Ejercicio 21. Mida el BER del canal seleccionado antes y después de Viberbi (ver la Fig. 24).