

# **ENTRENADOR DE COMUNICACIONES**

## **EC-796**

### **MANUAL DE INSTRUCCIONES**

#### **1 DESCRIPCION**

El entrenador de comunicaciones digitales es un equipo didáctico idóneo para facilitar el aprendizaje de los tipos básicos de modulaciones digitales (ASK, FSK, PSK, DPSK, DQPSK y QAM), así como sus aspectos previos: muestreo y cuantificación (señales PCM). Las modulaciones se estudian para diferentes tipos y estados de canales, de forma que se evidencien las ventajas y limitaciones comparativas.

Dado el carácter eminentemente didáctico del equipo, los circuitos de modulación y demodulación son de comprensión directa, implementados con circuitos integrados discretos. No se utilizan circuitos integrados comerciales que incorporen subsistemas de modulación/demodulación digital, para no esconder señales internas con alto interés docente. De esta forma se podrá constatar el funcionamiento de los circuitos a través de puntos de prueba accesibles por el usuario. Todo ello sin olvidar que la visión moderna de las comunicaciones digitales debe hacerse desde el enfoque de sistemas.

En las prácticas se enfatizan aspectos básicos como las restricciones de cada tipo de modulación en función del canal, las ventajas comparativas entre ellos y las realizaciones circuitales de los moduladores y demoduladores. De este modo se pretende dar una formación, básicamente experimental, que permita posteriormente al alumno conocer las bases de aplicaciones como la teledidáctica, módems telefónicos, algunos receptores de satélite, redes privadas de comunicaciones, etc, y facilite el poder adentrarse en otras modulaciones más complejas, base de sistemas como el GSM, ERMES, DECT o TFFS.

Aspectos más avanzados como la interpretación de los diagramas del ojo y constelaciones, se dejan condicionados a los objetivos pedagógicos del profesor.



## 2 ESPECIFICACIONES

### 2.1 Especificaciones módulo emisor

#### ENTRADAS DE SEÑAL:

##### Coax.1: Entrada para generador de funciones

Nivel máximo:  $\pm 2$  v.  
Banda pasante (con filtro antialiasing): 250 Hz - 3400 Hz.  
Impedancia de entrada: 5 k $\Omega$  a 1 kHz.  
Conector: Hembra BNC

##### Coax.2: Entrada para señales TTL

Nivel: 0 v - 5 v.  
Banda pasante máxima: DC - 300 kHz (en banda base)  
Impedancia de entrada: > 100 k $\Omega$  a 1 kHz.  
Conector: Hembra BNC

##### Mic.1: Entrada para micrófono

Sensibilidad mínima: 6 mVpp  
Sensibilidad máxima (sin compensador): 80 mVpp  
Banda pasante (con filtro antialiasing): 280 Hz - 3400 Hz.  
Impedancia de entrada: > 20 k $\Omega$  a 1 kHz.  
Conector: Hembra jack mono 3,5 mm.

#### SEÑAL PCM. BANDA BASE

##### Muestreo y cuantificación:

Reloj: 1,333 MHz (cristal de 4 MHz/3).  
T bit: 12  $\mu$ seg.  
Trama de 11 bits: 1 de "start", 8 de código, 1 de "stop" y 1 de paridad (par).  
T trama: 132  $\mu$ seg (144  $\mu$ seg en el peor caso)  
Frecuencia de muestreo: 7,575 kHz (6,945 kHz en el peor caso)  
Filtro antialiasing:  
    ancho de banda a 3 dB: 280 Hz - 3400 Hz.  
Compresor y expansor para micrófono: NE 571 (Philips).

#### CARACTERÍSTICAS DE LOS MODULADORES:

##### Modulador ASK (OOK):

Frecuencia de MARCA: 390 kHz ( $\pm 2\%$ ).  
Frecuencia de ESPACIO: DC  
Ancho de banda modulador: DC - 60 kHz.

**Modulador FSK:**

Frecuencia de MARCA: 390 kHz ( $\pm 4\%$ ).  
Frecuencia de ESPACIO: 560 kHz ( $\pm 3\%$ ).  
Ancho de banda modulador: DC - 60 kHz (para recepción DFD).  
DC - 200 kHz (para recepción PLL).

**Modulador BPSK y DBPSK:**

Frecuencia portadora: 333,3 kHz ( $\pm 1\%$ ).  
Ancho de banda modulador: DC - 45 kHz.

**Modulador QPSK y DQPSK:**

Frecuencia portadora: 166,6 kHz ( $\pm 1\%$ ).  
Ancho de banda modulador: DC - 45 kHz.

**Modulador QAM (APK Amplitude Phase Keying):**

Frecuencia portadora: 166,6 kHz ( $\pm 1\%$ ).  
Ancho de banda modulador: DC - 45 kHz.  
Niveles: 8.

**CARACTERÍSTICAS DE LOS EMISORES:**

**Emisor por cable bifilar:**

Nivel salida (medida en el conector):  
- sin receptor conectado: 0 a  $\pm 4V$  (según modulación).  
- con receptor conectado: 0 a  $\pm 3V$  (según modulación).  
Conector: hembras banana.

**Emisor por cable coaxial:**

Nivel salida (medida en el conector):  
- sin receptor conectado: 0 a  $\pm 4V$  (según modulación).  
- con receptor conectado: 0 a  $\pm 3V$  (según modulación).  
Conector: hembra BNC.

**Emisor por fibra óptica:**

Emisión por LED.  
Longitud de onda de emisión: 850 nm (color rojo)

**Emisor por infrarrojos:**

Emisión por LED.  
Longitud de onda de emisión: 950 nm

### **Emisor de 27 MHz.**

Nivel de salida sobre 50  $\Omega$ : 10 dBm  
Antena: Monopolo. Cable de 5 mm y de 150 cm de longitud.  
Conector: BNC hembra  
Frecuencia portadora: 27 MHz (cristal).  
Modulación en AM: Índice de modulación del 10% al 40% según la moduladora seleccionada.

### **ALIMENTACIÓN:**

**Tensiones:** 110, 125, 220 y 240 V AC.  
**Frecuencia de red:** 50 o 60 Hz.  
**Alimentación estabilizada (interna):** + 5 VDC , 360 mA  
-5 VDC , 240 mA

**Consumo:** 6 W

**Fusibles:** 220 y 240 V AC, 0,50 A  
110 y 125 V AC, 0,75 A

**DIMENSIONES:** A. 400 x Al. 100 x Pr. 280 mm.

**PESO:** 2,8 Kg.

## **2.2 Especificaciones módulo receptor**

### **CARACTERÍSTICAS DE LOS RECEPTORES:**

#### **Receptor de cable bifilar:**

**Tipo:** Directo  
**Conector:** Banana

#### **Receptor de cable coaxial:**

**Tipo:** Directo  
**Conector:** BNC

#### **Receptor de fibra óptica:**

**Tipo:** Fotodiodo  
**Banda de recepción:** 400 - 1100 nm (para una eficiencia del 90 %)

**Receptor de infrarrojo:**

**Tipo:** Fotodiodo

**Banda de recepción:** 800 - 1000 nm (para una eficiencia del 50 %)

**Receptor de 27 MHz:**

**Tipo:** Detector de envolvente

**Banda de recepción:** 27 MHz

**Antena:** Monopolo. Cable de 5 mm. de 150 cm. de longitud.

**Conector:** BNC hembra

**CARACTERÍSTICAS DE LOS DEMODULADORES:**

**Demodulador ASK (OOK On-Off Keying):**

Tipo: Filtrado paso banda, detector de envolvente y comparador.

Banda pasante:

- Referida a las entradas de micrófono y de señal:  
al menos toda la del filtro antialiasing.
- Referida a la entrada TTL: DC - 60 kHz.

Filtro paso banda:

- frecuencia central: 380 kHz.
- ancho de banda: 40 kHz (Q=9,5)

**Demodulador FSK (por filtros duales, DFD):**

Tipo: Filtros paso banda, detectores de envolvente y comparador entre los dos lazos.

Banda pasante:

- Referida a las entradas de micrófono y de señal:  
al menos toda la del filtro antialiasing.
- Referida a la entrada TTL: DC - 60 kHz.

Filtro paso banda 1:

- frecuencia central: 380 kHz.
- ancho de banda: 40 kHz (Q=9,5)

Filtro paso banda 2:

- frecuencia central: 550 kHz.
- ancho de banda: 60 kHz (Q=9,2)

**Demodulador FSK (por PLL):**

Tipo: Detector directo por PLL.

Banda pasante:

- Referida a las entradas de micrófono y de señal:  
al menos toda la del filtro antialiasing.
- Referida a la entrada TTL: DC - 200 kHz.

**Demoduladores BPSK y DBPSK:**

Banda pasante:

- Referida a las entradas de micrófono y de señal:  
al menos toda la del filtro antialiasing.
- Referida a la entrada TTL: DC - 45 kHz.

**Demoduladores QPSK, DQPSK y QAM (APK):**

Banda pasante:

- Referida a las entradas de micrófono y de señal:  
al menos toda la del filtro antialiasing.
- Referida a la entrada TTL: DC - 45 kHz.

**CARACTERÍSTICAS DE LAS SALIDAS:**

**Salida de auriculares:**

**Etapas de salida:** Clase AB  
**Potencia de salida:** 160 mW sobre 32  $\Omega$   
**Conector:** Hembra jack mono.

**Salidas por BCN:**

**Conectores:** Hembras BNC  
**Nivel de salida en S1 (señal analógica):** el de la entrada Coax.1 (f=3kHz)  
**Nivel de salida en S2 (señal TTL):** 0 - 4V

**ALIMENTACIÓN:**

**Tensiones:** 110, 125, 220 y 240 V AC.  
**Frecuencia de red:** 50 o 60 Hz.  
**Alimentación estabilizada (interna):** + 5 VDC , 310 mA  
-5 VDC , 130 mA

**Consumo:** 6 W

**Fusibles:** 220 y 240 V AC, 0,50 A  
110 y 125 V AC, 0,75 A

**DIMENSIONES:** A. 400 x Al. 100 x Pr. 280 mm.

**PESO:** 2,8 Kg.

**ACCESORIOS INCLUIDOS**

<b><u>UNIDADES</u></b>	<b><u>DESCRIPCIÓN</u></b>
1	Manual de instrucciones
1	Manual de teoría
1	Manual de prácticas
1	Micrófono dinámico
1	Auricular
2	Cables antena radio
1	Fibra óptica
1	Cable Banana/Banana negro (Código CC-12)
1	Cable Banana/Banana rojo (Código CC-13)
3	Cables coaxiales BNC/BNC (Código CC-03)

### 3 INSTALACION

#### 3.1 Alimentación



Este equipo está preparado para ser alimentado con tensiones de red de 110-125-220 ó 230/240 V AC 50-60 Hz. La tensión de red puede seleccionarse desde el panel posterior.

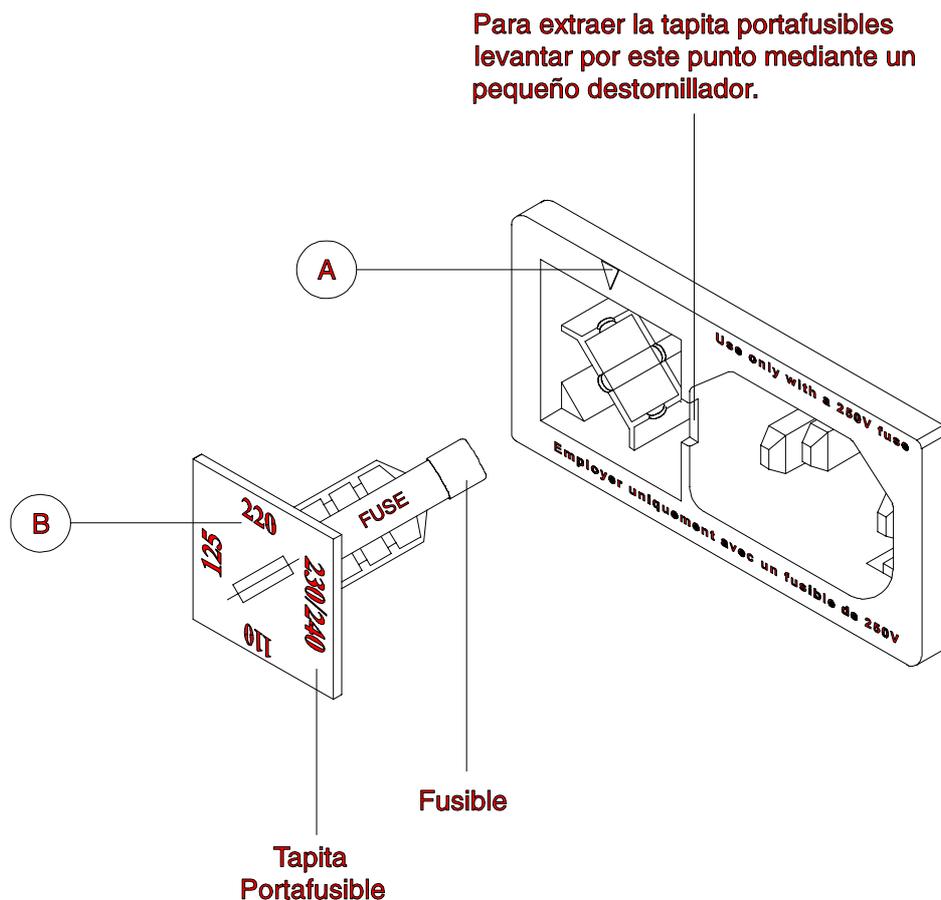


Figura 1.- Cambio de la tensión de red.

- 1.- Extraer la tapita portafusibles.
- 2.- Situar el fusible adecuado a la tensión de red deseada.
- 3.- Insertar la tapita portafusibles, haciendo coincidir el índice [ A ] con la indicación de la tensión de red deseada [ B ].

**PRECAUCION:**

**EL APARATO VIENE PREPARADO DE FABRICA PARA 230/240 V.**

**ANTES DE CONECTAR EL EQUIPO, SITUAR CORRECTAMENTE EL SELECTOR DE TENSION.**

**EL CAMBIO DE TENSION SE EFECTUARA CON EL EQUIPO DESCONECTADO DE LA RED.**

### 3.2 Precauciones de instalación

En cuanto a seguridad respetar la conexión a tierra tanto del receptor como del emisor.

Respetar la configuración de canales (no emplear adaptadores BNC-banana, etc.).

Respetar la distancia recomendada entre emisor y receptor de unos 25 cm.

Precaución en el ajuste de potenciómetros: no tocar otros puntos.

Evitar la proximidad de equipos que crean interferencias electromagnéticas fuertes: motores, transformadores, fuentes conmutadas, etc.

Equipos auxiliares:

Respetar la toma de tierra en el caso de disponer de ella.

**MUY IMPORTANTE:** el uso de accesorios distintos a los suministrados con el Entrenador de Comunicaciones puede dañarlo, por lo que debe evitarse.

## 4 DESCRIPCIÓN DE CONTROLES

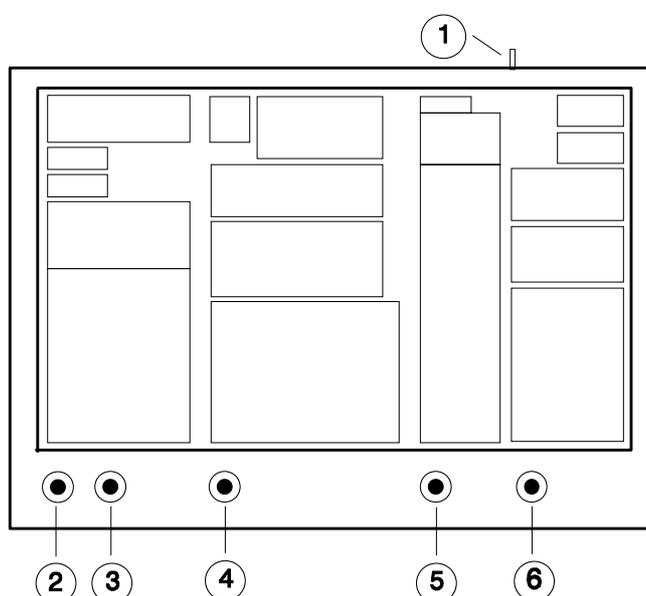
Tanto el módulo emisor como el receptor disponen de un sistema lógico de conmutación que controla la activación/desactivación de cada uno de los elementos que componen el sistema.

El estado de activación se indica mediante unos diodos emisores de luz (led) que se encienden cuando el elemento correspondiente está activo.

Los elementos externos de dicho sistema de control son una serie de pulsadores que permiten al usuario configurar la forma de funcionamiento que convenga en cada caso.

### 4.1 Emisor

#### 4.1.1 Panel frontal



El módulo emisor dispone de cinco pulsadores que permiten su configuración:

- [1] Interruptor de red: este interruptor pone en marcha el equipo que ha sido previamente conectado a la red.
- [2] Pulsador **INPUTS**: Activa una de las tres posibles entradas. La entrada activa queda indicada mediante un led de color amarillo.
- [3] Pulsador **FILTER/COMP.**: Activa al filtro antialiasing y/o al compresor para las entradas de generador y micrófono.
- [4] Pulsador **MODULATIONS**: Permite seleccionar el tipo de modulación.
- [5] Pulsador **CH. SIMULATION**: Con este pulsador elegimos si queremos transmitir la señal sin perturbar (Direct), pasar la señal por un filtro paso bajo (BW) o si se quiere introducir una interferencia, ruidos ó atenuaciones (Channel Degradations).

- [6] Pulsador **TRANSMISSION**: Permite seleccionar el tipo de canal para transmitir la información.

#### 4.1.2 Lateral izquierdo

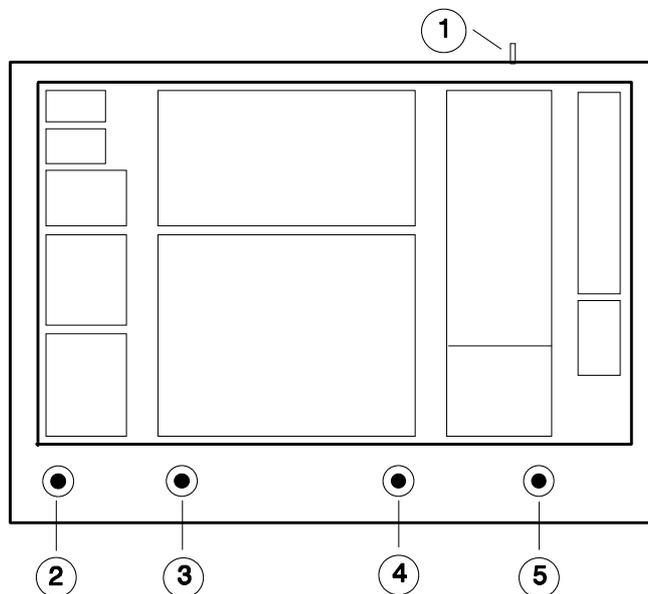
- [10] Coax. 1: BNC entrada para generador de funciones.(BNC 1).
- [11] Coax. 2: BNC entrada para señales TTL.(BNC 2).
- [12] Mic. 1: Jack 3.5 mm. entrada micrófono.

#### 4.1.3 Lateral derecho

- [20] Tx. 27 MHz: BNC antena emisor.
- [21] I.R.: Emisor de infrarrojos.
- [22] O.F.: Conector salida para fibra óptica.
- [23] Coax.: BNC salida para línea coaxial.
- [24] Bif.: BANANAS salida para línea bifilar.

## 4.2 Receptor

### 4.2.1 Panel frontal



El módulo receptor dispone de cuatro pulsadores para poder controlar su configuración:

- [1] Interruptor de red: este interruptor pone en marcha el equipo que previamente ha sido conectado a la red.
- [2] Pulsador **RECEPTION**: Selecciona el canal de entrada.
- [3] Pulsador **DEMODULATION**: Controla la selección de los diferentes demoduladores.
- [4] Pulsador **FILTER/EXPANSOR**: Permite elegir el uso del filtro reconstructor y del expansor.
- [5] Pulsador **OUTPUTS**: Selecciona entre salida para audio, señal y TTL. En salida TTL se desconectan automáticamente el filtro reconstructor y el expansor.

#### 4.2.2 Lateral izquierdo

- [40] Bif.: BANANAS entrada para linea bifilar.
- [41] Coax.: BNC entrada para linea coaxial.
- [42] O.F.: Conector entrada para fibra óptica.
- [43] I.R.: Receptor de infrarrojos.
- [44] Tx. 27 MHz: BNC antena receptor.

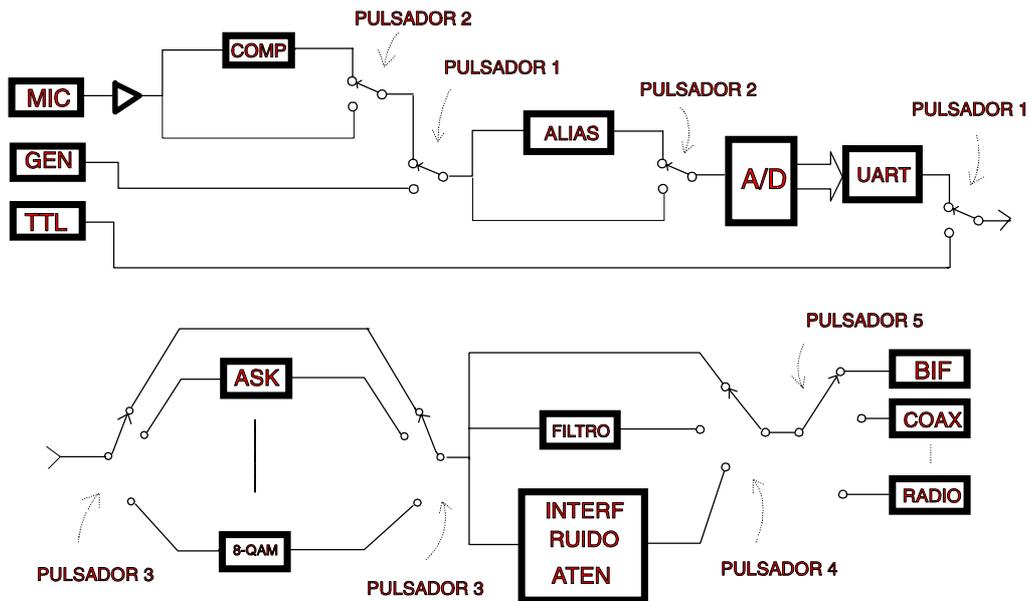
#### 4.2.3 Lateral derecho

- [50] S2: BNC salida para TTL.(BNC 2).
- [51] Control de amplitud para auriculares.
- [52] Jack 3.5 mm. mono para auriculares.
- [53] S1: BNC salida osciloscopio.(BNC 1).

## 5 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

### 5.1 Esquema de bloques del equipo emisor

En la siguiente figura se muestra la estructura del equipo emisor, así como las diferentes posibilidades de funcionamiento que nos proporciona.



Podemos dividir el equipo en bloques bien diferenciados: entradas, conversión A/D (analógico-digital), modulaciones, simulación de canal y emisores.

Disponemos de tres entradas diferentes: una para micrófono, otra para generador de funciones y otra para niveles TTL. La señal que nos entrega el micrófono se pasa por un preamplificador de audio para conseguir un nivel adecuado.

Cuando seleccionamos la entrada TTL, esta va directa a los moduladores al ser ya una señal digital. En este caso no intervendrán el convertor A/D ni la UART.

La señal que nos entrega el micrófono o el generador va al bloque de conversión A/D. Dentro de este bloque nos encontramos con el filtro antialiasing y con el compresor. El compresor (acompañado por el expansor situado en el receptor) está pensado para la señal de voz y permite utilizar menos bits en la conversión A/D sin perder calidad en la reconstrucción auditiva de la señal microfónica.

La conversión A/D trabaja con una frecuencia de muestreo de 7,6 kHz debido a que el equipo está pensado para tratar señales con calidad de canal telefónico (300 - 3400 Hz). Si entramos una señal de mayor frecuencia se produce un error en el muestreo, ya que no tendremos muestras suficientes para reconstruir la señal. Este efecto se llama 'aliasing' (solapamiento) y se produce cuando queremos muestrear (conversión A/D) una señal de una frecuencia mayor que la mitad de la de muestreo (criterio de Nyquist). Cuando esto se produce entra en juego el filtro antialiasing, el cual elimina toda señal de frecuencia superior a la permitida. El filtro antialiasing actúa sólo para las entradas de micrófono y generador, y no para las TTL.

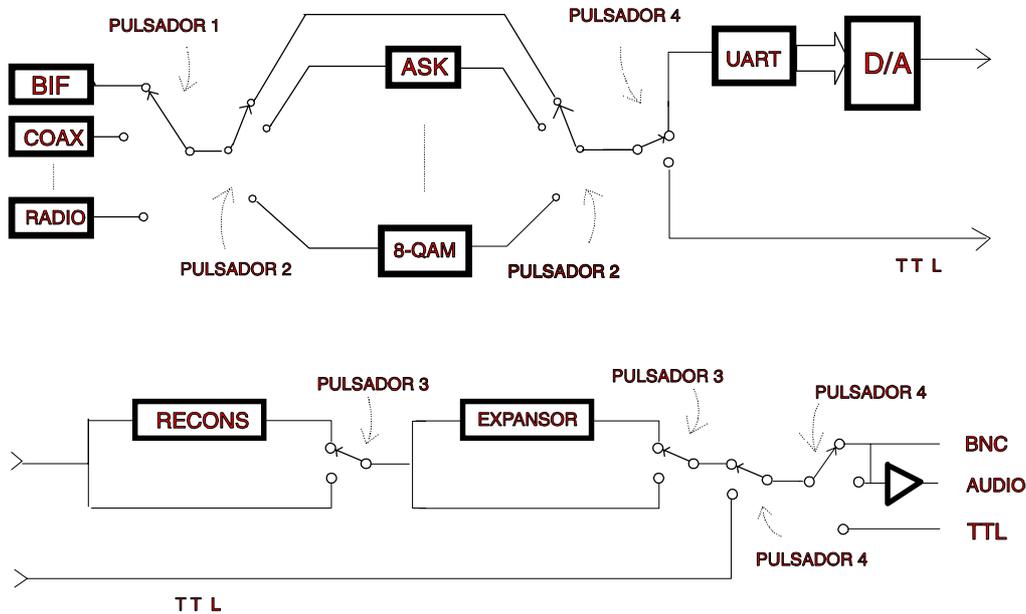
La señal PCM que genera la UART a partir de las muestras adquiridas por el conversor A/D va al bloque modulador. En este bloque nos encontramos con diferentes modulaciones, aparte de poder transmitir en banda base. Estas son: ASK (Amplitude Shift Keying), FSK (Frequency Shift Keying), BPSK (Binary Phase Shift Keying), DPSK (Differential Phase Shift Keying), QPSK (Quaternary Phase Shift Keying), DQPSK (Differential Quaternary Shift Keying) y QAM (Quadrature Amplitude Modulation), entendida esta última como un caso particular de APK (Amplitude and Phase Keying).

En un caso real, la señal modulada sería transmitida a través de un determinado canal y durante la transmisión la señal podría quedar atenuada, alterada por interferencias externas, por ruido o por el ancho de banda del canal. Estos efectos se simulan en el equipo. Tenemos la opción de transmitir la señal directa, de pasarla por un filtro paso bajo del cual podremos variar la frecuencia de corte o por un bloque que permite sumar interferencias a diferentes frecuencias, ruido aleatorio o bien atenuar la señal.

De aquí la señal va a los emisores. Las emisiones más comunes para modulaciones digitales son vía radio, coaxial o fibra óptica. El equipo ofrece, además, otros canales como el cable bifilar y los infrarrojos, de interés para aplicaciones didácticas.

## 5.2 Esquema de bloques del equipo receptor

En la siguiente figura se muestra la estructura del equipo receptor.



Al igual que en el equipo emisor, la división por bloques es clara. Tenemos los receptores, demodulaciones, conversión D/A, y las salidas.

El equipo receptor tiene bloques similares a los del emisor pero dispuestos de forma que efectúan la función inversa, a excepción, lógicamente, del simulador de canal. La señal recibida por los receptores va a los demoduladores. A cada modulador va asociado, en el equipo receptor, su demodulador. En el caso de la FSK el equipo posibilita dos formas diferentes de demodular la señal: una es mediante filtros duales (detector denominado "óptimo no coherente") y otra mediante la utilización de un PLL.

Una vez hemos recuperado la señal PCM el último paso para reconstruir la señal que ha sido emitida es pasarla por el convertor D/A, excepto si seleccionamos la salida TTL. En este caso la señal que sale de los demoduladores no pasa por el convertor D/A y va directa a la salida. Dentro del bloque de conversión D/A tenemos el filtro reconstructor y el expansor. Podemos jugar con el filtro reconstructor y ver el efecto sobre el ruido de cuantificación presente en la señal reconstruida. El expansor hace el papel inverso al compresor.

El equipo ofrece también la posibilidad de reducir el número de bits en la conversión D/A. Servirá, por ejemplo, para simular errores en la recepción de algún bit, ya que el bit que eliminemos se tomará como un cero. Además, con la experimentación de la calidad de la señal reconstruida (detectada tanto con los auriculares como con el osciloscopio) se puede conocer a nivel práctico la relación entre el número de bits necesarios para establecer una comunicación y la calidad subjetiva de ésta. Recuérdese que, a menor número de bits transmitidos, más rápida se podrá establecer la comunicación.

Como salidas tenemos una para señales que en el emisor han sido captadas desde un generador de funciones (conector BNC), otra para auriculares (conector tipo jack) y otra para TTL (conector BNC).



## 6 DESCRIPCIÓN DE LOS CIRCUITOS

### 6.1 Fuente de alimentación

Los puentes de diodos actúan como rectificadores de doble onda que proporcionan una señal que, filtrada por los condensadores C100 y C103 y con los reguladores de tensión de +5V IC62 e IC63, resultan unas tensiones continuas simétricas de  $\pm 5V$  con una corriente máxima de 500 mA.

A continuación se muestra el esquema de la fuente de alimentación utilizada.

### 6.2 Entradas

Para la entrada de micrófono tenemos un preamplificador que amplifica la señal que se obtiene. La señal ataca una etapa en emisor común formada alrededor del transistor (BC547). Finalmente la señal se pasa por un filtro paso bajo (R26, C20) y un amplificador no inversor (IC17).

Las entradas para generador y para TTL tienen unos diodos zéner para limitar la tensión de entrada.

A continuación se presentan los esquemas de las entradas:



### **6.3 Salidas**

El sistema está provisto de un amplificador de potencia que sirve para atacar directamente unos auriculares de baja impedancia.

Este amplificador está constituido por una etapa clase AB formada por los transistores T10-T11.

En la siguiente hoja se presenta la circuitería de las salidas:



## **6.4 Simulador de canal**

En el apartado de emisores se exponen las características de cada emisor, tales como ancho de banda, atenuación, influencia de interferencias, etc. Como el canal no es ideal, este puede llegar a degradar la señal de forma que en algún momento puedan haber errores en la recepción.

Para simular los efectos de un canal no ideal se ha incluido en el equipo el simulador de canal, donde nos encontramos con tres opciones. Una enviar la señal directa, pasarla por un filtro paso bajo o perturbarla (es decir, sumarle interferencias, ruido aleatorio o atenuarla).

Todas las interferencias se pueden generar independientemente, y pueden ser sumadas a la señal en la proporción que se desee a través de los potenciómetros.

### **6.4.1 Filtro paso bajo**

El filtro paso bajo utilizado es el siguiente:

Vemos que el filtro es una red RC (P1,C71) de primer orden, donde se ha colocado una resistencia variable para poder ajustar la frecuencia de corte del filtro y así poder ver el efecto sobre diferentes modulaciones.

### **6.4.2 Interferencias**

Generamos cuatro interferencias a diferentes frecuencias. Para generar estas senoides utilizamos cuatro osciladores Colpitts cuyas señales son sumadas y amplificadas mediante un amplificador no inversor (IC54D), como se puede ver en la siguiente figura.



Los potenciómetros P2, P3, P4 y P5 permiten ajustar el nivel de cada interferencia.

### **6.4.3 Ruido**

Hay varias alternativas para generar un ruido aleatorio. La que parece más intuitiva es partir de un elemento ruidoso: resistencia (ruido térmico), transistor, diodo zéner, etc, y amplificar el ruido producido por éste dispositivo. En realidad, éste es el método usado para medir ruidos en equipos profesionales de muy alta frecuencia. Para bandas de frecuencia menores, una solución habitual es el uso de secuencias pseudo-aleatorias (PRBS, Pseudo Random Binary Sequence), que, si bien no son totalmente aleatorias (ya que, con la misma circuitería puede reproducirse exactamente la misma secuencia de impulsos) sus estadísticas y su comportamiento frecuencial son muy parecidos a la de un ruido blanco (de igual potencia en todas las bandas frecuenciales de interés) si la secuencia que se genera es lo suficientemente larga.

En el entrenador de comunicaciones se ha implementado un módulo de ruido a partir de una secuencia binaria pseudo-aleatoria, pasada posteriormente por un filtro paso banda. El circuito implementado es el siguiente:



El circuito consiste en un conjunto de biestables D (IC56) y una puerta OR-exclusiva (IC57) diseñados para producir una secuencia de pulsos, de una determinada longitud, distribuidos aleatoriamente sobre esta longitud. El integrado 4015 es un registro de desplazamiento que contiene ocho biestables D. Con este número de biestables la longitud de la secuencia es de 255 bits ( $2^n - 1$ , donde "n" es el número de biestables utilizados). Los biestables tienen un reloj común, y cada biestable conduce al siguiente (el reloj marca la duración del pulso, y es de 1,33 MHz). Las dos salidas tomadas para obtener la secuencia deseada, se aplican a una puerta OR-exclusiva, cuya salida se conecta a la entrada del registro de desplazamiento.

Con esta estructura el ruido generado cubre toda la banda de frecuencias utilizadas en las modulaciones.

El sistema necesita un arranque. Para ello generamos un tren de pulsos de una duración determinada por C83 y R81.

## **6.5 Emisores**

En las páginas siguientes se muestran los esquemas de los emisores.

### **EMISOR PARA FIBRA OPTICA**

La etapa que excita el diodo emisor para la fibra óptica está constituida por T7. La corriente a través del diodo está controlada por la tensión de emisor T7, la cual es proporcional a la tensión de la señal de emisión.

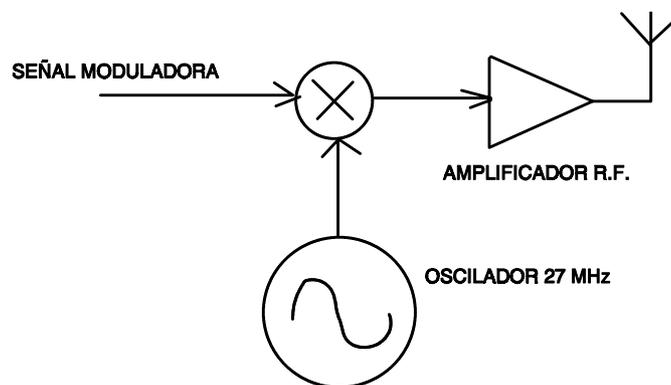
El entrenador, debido a que es para una aplicación didáctica, utiliza una emisión de poca potencia generada por un diodo led. Conviene resaltar que en aplicaciones reales es peligroso fijar la vista en la fuente de emisión, especialmente cuando se utiliza una fuente láser.

### **EMISOR PARA INFRARROJOS**

El funcionamiento del emisor de infrarrojos es análogo al de fibra óptica. En este caso se utiliza un diodo especialmente diseñado para la emisión en la banda de infrarrojos.

## EMISOR DE RADIOFRECUENCIA

En el entrenador el emisor se basa en un oscilador Colpitts, a cristal, de 27 MHz, que modula la señal seleccionada (banda base, ASK, FSK, BPSK, DPSK, QPSK, DQPSK, QAM), con un índice de modulación que depende de cada entrada en particular.



En el esquema del entrenador, la multiplicación se efectúa modulando la corriente de emisor de T10, a través de T12 que actúa a modo de fuente de corriente controlada por la señal moduladora. El oscilador Colpitts a cristal se efectúa alrededor de T9. El transistor T11 eleva el nivel de potencia de la señal modulada antes de transmitirla por la antena.







Las impedancias deben adaptarse a fin de conseguir una mejor transferencia de la energía entre los subsistemas que configuran el emisor y el receptor. En el caso de éste, el primer elemento que hay que adaptar es la antena. Ello quiere decir que, para aprovechar al máximo la potencia recibida por ésta, debe "ver" una resistencia igual a la de ella misma. La resistencia de una antena como la usada en el equipo de prácticas (monopolo) depende, entre otros aspectos, de su distancia (medida en longitudes de onda) a conductores cercanos. Estos pueden ser estructuras metálicas de las mesas de laboratorio, el propio cuerpo humano, chasis de aparatos, etc..., por lo que puede notarse diferencias en el funcionamiento del equipo según el entorno donde esté trabajando. Si éste fuera muy agresivo, deben acercarse más las antenas emisora y receptora.

En las siguientes figuras se muestra la variación de la resistencia de una antena según su distancia al plano de tierra (o a conductores metálicos), medida en longitudes de onda ( $\lambda$ ). Para 27 MHz la longitud de onda es, aproximadamente, de 11 metros.

*Variación de la resistencia de la antena respecto a su distancia (H, medida en longitudes de onda).*

*Impedancia mutua entre dos antenas dipolo de longitud  $\lambda/2$ .*

## **6.6 Receptores**

En las páginas siguientes se presentan los esquemas implementados para los receptores.

### **RECEPTOR PARA FIBRA OPTICA**

El fotodetector utilizado en la recepción de fibra óptica equivale a un generador de corriente. T1 trabaja como convertor de corriente-tensión. La señal de salida de T1 se amplifica en IC14.

### **RECEPTOR PARA INFRARROJOS**

El fotodetector de infrarrojos equivale a un generador de corriente. T2, T3 y T4 forman un convertor corriente-tensión de alta ganancia. La salida de esta etapa es filtrada en IC15A, IC15B e IC15C y amplificada en IC15D.

### **RECEPTOR DE RADIOFRECUENCIA**

El receptor de radiofrecuencia se fundamenta en un amplificador sintonizado a la frecuencia de trabajo (T5). La entrada del amplificador se obtiene a partir de la antena. La salida ataca a un amplificador integrado (IC16) cuya salida ataca un detector de pico (que actúa como demodulador de amplitud) formado por D7, C34 y R49. La señal demodulada se amplifica en IC18.







## 7 NOTAS AL PROFESOR

- 1/ Se recomienda trabajar siempre con sondas atenuadoras (x10) compensadas.
- 2/ Las limitaciones de los infrarrojos frente a transmisiones ruidosas y reducciones de ancho de banda son apreciables en las prácticas de modulaciones de fase.
- 3/ El emisor de RF tiene una gran ancho de banda para poder soportar todas las modulaciones del equipo. Por ello, para cada modulación en concreto permite el paso de más ruidos de los necesarios (ancho de banda superior al de la modulación). Este efecto puede notarse especialmente en transmisiones en banda base.
- 4/ Al conectar el equipo, puede que el lazo entre el conversor A/D y la UART emisora deje parada durante 12 microsegundos la orden de nueva conversión A/D una vez la UART ya ha vaciado el buffer de transmisión. Este fenómeno es debido a transitorios y ruidos que entran a la UART durante la conexión del equipo, y no afecta a las prácticas. Simplemente supone una ampliación del periodo de muestreo en estos 12 microsegundos, tal como ya se ha indicado en las respuestas de los ejercicios de esta práctica.
- 5/ Recuerde que el led de ERROR DE PARIDAD en la UART receptora se encenderá con señales TTL, ya que para ellas no es operativa la UART. Lógicamente, ello no significa que haya errores en la comunicación. Asimismo, para señales TTL moduladas en fase, no funciona el discriminador automático de fase, pues se basa en la UART. Habrá que buscar manualmente la referencia de fase, tal y como se irá indicando en cada práctica cuando sea preciso.

# INDICE

1 DESCRIPCION .....	1
2 ESPECIFICACIONES .....	3
2.1 Especificaciones módulo emisor .....	3
2.2 Especificaciones módulo receptor .....	5
3 INSTALACION .....	9
3.1 Alimentación .....	9
3.2 Precauciones de instalación .....	10
4 DESCRIPCIÓN DE CONTROLES .....	11
4.1 Emisor .....	11
4.1.1 Panel frontal .....	11
4.1.2 Lateral izquierdo .....	12
4.1.3 Lateral derecho .....	13
4.2 Receptor .....	14
4.2.1 Panel frontal .....	14
4.2.2 Lateral izquierdo .....	15
4.2.3 Lateral derecho .....	16
5 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO .....	17
5.1 Esquema de bloques del equipo emisor .....	17
5.2 Esquema de bloques del equipo receptor .....	19
6 DESCRIPCIÓN DE LOS CIRCUITOS .....	21
6.1 Fuente de alimentación .....	21
6.2 Entradas .....	21
6.3 Salidas .....	23
6.4 Simulador de canal .....	25
6.4.1 Filtro paso bajo .....	25
6.4.2 Interferencias .....	25
6.4.3 Ruido .....	27
6.5 Emisores .....	29
6.6 Receptores .....	35
7 NOTAS AL PROFESOR .....	39

## INDICE GENERAL

### EC-796

MANUAL DE INSTRUCCIONES .....	1
MANUAL DE TEORIA .....	2
MANUAL DE PRÁCTICAS .....	3
ANEXO ESQUEMAS .....	4