

Teoría de la Información y Codificación.

Prácticas de laboratorio.

1. ANALIZADOR DE ESPECTROS.....	2
1.1. OBJETIVO.....	2
1.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	2
1.3. REALIZACIÓN PRÁCTICA.....	3
2. ENTRENADOR DE COMUNICACIONES DIGITALES PROMAX EC-796 4	
2.1. CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS LINEALES.....	5
2.1.1. Objetivo.....	5
2.1.2. Fundamentos teóricos.....	5
2.1.3. Realización práctica.....	6
2.2. MUESTREO Y ALIASING.....	7
2.2.1. Objetivo.....	7
2.2.2. Fundamentos teóricos.....	7
2.2.3. Realización práctica.....	8
2.3. PCM (PULSE CODE MODULATION) Y TRANSMISIÓN SERIE ASÍNCRONA.....	9
2.3.1. Objetivo.....	9
2.3.2. Fundamentos teóricos.....	9
2.3.3. Realización práctica.....	11
2.4. CUANTIFICACIÓN Y COMPANSIÓN.....	12
2.4.1. Objetivo.....	12
2.4.2. Fundamentos teóricos.....	12
2.4.3. Realización práctica.....	13
2.5. EFECTOS DEL CANAL. DIAGRAMAS DE OJO.....	15
2.5.1. Objetivo.....	15
2.5.2. Fundamentos teóricos.....	15
2.5.3. Realización práctica.....	17

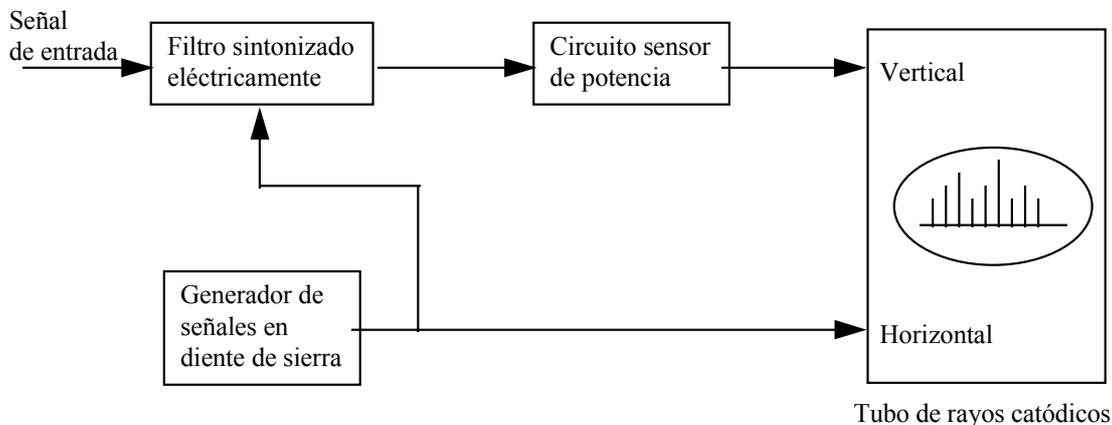
1. Analizador de Espectros

1.1. Objetivo.

Se pretende que el alumno se familiarice con el manejo de un analizador de espectros y relacione las medidas obtenidas con los cálculos teóricos vistos en clase.

1.2. Fundamentos teóricos.

El analizador de espectros es un instrumento cuya función es medir experimentalmente los espectros de las señales, representando la potencia de la señal frente a la frecuencia. En la siguiente figura se muestra un esquema muy simplificado de este equipo:



Se utiliza un filtro pasabanda muy estrecho cuya frecuencia central es variable, y es controlada por una tensión en diente de sierra. En cada instante se representa esa tensión proporcional a la frecuencia del filtro en el eje x y la potencia de la señal que es capaz de atravesar el filtro en el eje vertical, obteniendo el espectro de potencias. Si bien este modelo conceptual es más fácil de comprender, en la práctica los analizadores de espectros poseen un filtro a una frecuencia fija y multiplican la señal de entrada por una señal sinusoidal generada por un oscilador de frecuencia variable, para desplazarla en frecuencias (propiedad del desplazamiento en frecuencias de la Transformada de Fourier, $\mathcal{F}\{f(t)e^{j\omega_0 t}\} = F(\omega - \omega_0)$)

Por otro lado, podemos calcular de forma teórica la potencia asociada a cada uno de los armónicos de una señal periódica a través del teorema de Parseval:

Si,

$$f(t) = c_0 + \sum_{n=1}^{\infty} c_n \cos(n\omega_0 t + \phi_0)$$

entonces la potencia promedio sería,

$$P = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} f^2(t) dt = |c_0|^2 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{|c_n|^2}{2}$$

Por lo que, para cada frecuencia discreta $\omega_n = n\omega_0$, podemos calcular la potencia correspondiente.

1.3. Realización práctica.

Se utilizarán como entrada varias señales periódicas y se compararán los resultados teóricos con los medidos mediante el analizador de espectros.



Analizador de espectros HP

En primer lugar se utilizará una señal sinusoidal de frecuencia 2Mhz y amplitud 100mVpp.

Cuestión 1: ¿Obtenemos un espectro continuo o discreto? ¿Por qué?

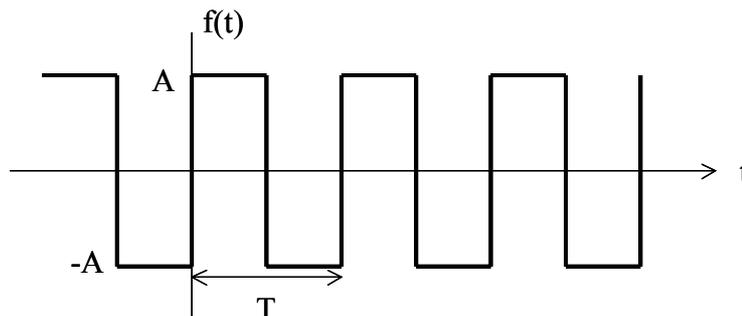
Cuestión 2: ¿Cuántos picos aparecen en dicho espectro? ¿Por qué? ¿A qué frecuencias?

Mediremos la potencia (en dBm) que proporciona el analizador para cada uno de los picos (armónicos) del espectro.

Calcularemos la potencia teórica para esos picos utilizando el teorema de Parseval. Recordemos que en teoría suele utilizarse la potencia normalizada, asumiendo que la impedancia entre los puntos de medida es 1Ω . En el caso práctico debe comprobarse la impedancia real de la entrada del analizador de espectros y dividir las potencias calculadas teóricamente por este valor. Transformaremos las potencias teóricas a dBm para poder compararlas con las experimentales.

Cuestión 3: ¿Corresponde satisfactoriamente la potencia calculada teóricamente con la medida de forma experimental? ¿Cuál es mayor? ¿Por qué?

Realizar una experiencia similar con una señal cuadrada:



Recordemos que su desarrollo en serie de Fourier es de la forma:

$$f(t) = \frac{4A}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2n-1} \operatorname{sen}\left(2\pi \frac{(2n-1)}{T} t\right)$$

Cuestión 4: Comprobar que las frecuencias de los armónicos que aparecen en el espectro medido por el analizador son múltiplos enteros de la frecuencia de la señal periódica que estamos introduciendo. ¿Posee alguna característica particular el espectro de esta señal? ¿Se corresponde con lo esperado en teoría?

Cuestión 5: ¿Las potencias medidas para los primeros cinco armónicos corresponden con los resultados teóricos?

Introducir otras formas de onda que permita el generador de funciones utilizado en la práctica y observar sus espectros. Discutir cualitativamente los mismos.

2. Entrenador de comunicaciones digitales Promax EC-796

El entrenador de comunicaciones digitales EC-796 es un equipo de laboratorio diseñado para la experimentación práctica y demostración del funcionamiento de los distintos componentes de un sistema de comunicaciones digital. Consta de dos módulos, un equipo emisor y uno receptor, mostrados en la siguiente figura y cuyos diagramas de bloques se esquematizan a continuación.

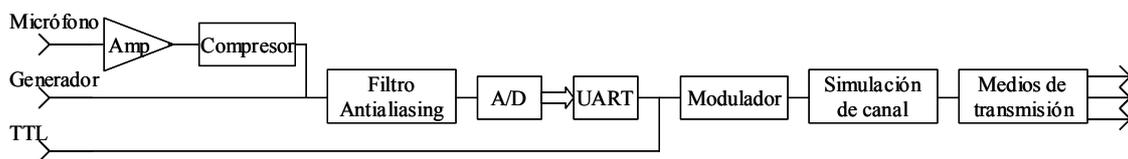
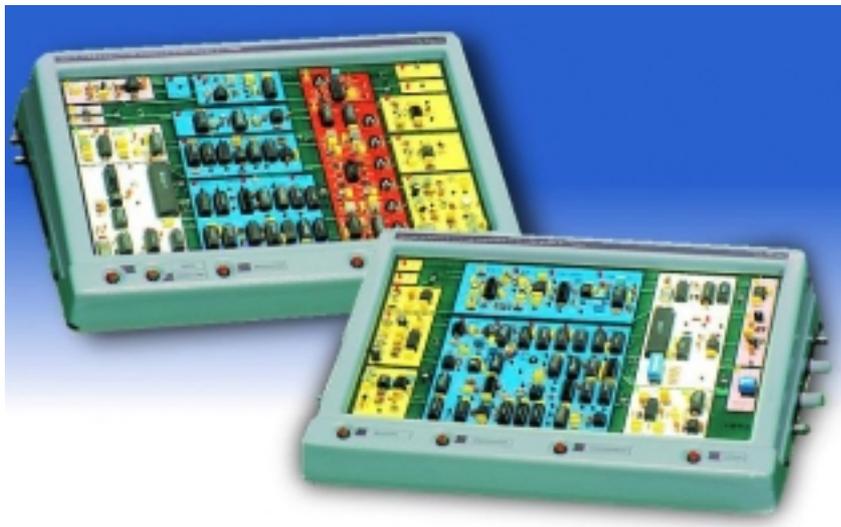


Diagrama de bloques del equipo emisor

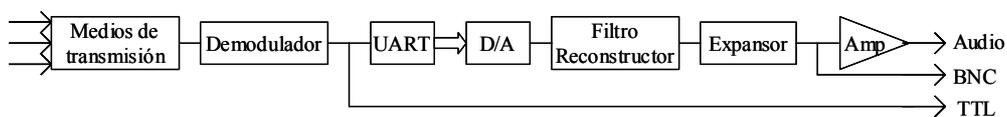


Diagrama de bloques del equipo receptor

Casi todos los bloques de ambos módulos pueden ser conectados o desconectados para estudiar la diferencia en la transmisión haciendo uso o no de ellos.

La entrada del sistema de transmisión puede ser analógica o digital (TTL). La señal analógica a su vez puede provenir de un micrófono o de un generador de señales externo conectado mediante un cable coaxial. Estas señales analógicas pueden ser filtradas con un filtro antialiasing y luego son muestreadas y cuantificadas utilizando un conversor analógico digital. La transmisión asíncrona de estos datos digitales y la conversión de paralelo a serie son gobernadas por un circuito integrado específico denominado UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter). Además, la señal de audio puede ser introducida en un compresor, para aplicar técnicas de “compansión”.

Lógicamente, las señales TTL no necesitan ser digitalizadas, por lo que pasan directamente al modulador. En nuestro caso, no modularemos la señal, por lo que siempre utilizaremos transmisión en banda base (Base Band, BB). La salida de este módulo puede ser introducida en un canal simulado, es decir, una serie de circuitos electrónicos que introducen ruido y distorsionan y atenúan la señal. Finalmente la conexión entre el módulo emisor y el receptor puede ser realizada utilizando cables bifilares, cable coaxial, fibra óptica, infrarrojos o una antena.

El módulo de recepción contiene los bloques encargados de realizar las operaciones inversas a las del módulo emisor.

2.1. Caracterización de sistemas lineales.

2.1.1. Objetivo.

Se pretende que el alumno se familiarice con la medida de la función de transferencia de un sistema lineal, en este caso el filtro antialiasing del módulo de transmisión. Para ello se medirá la respuesta en frecuencia de dicho filtro, teniendo en cuenta tanto la relación de amplitudes de las señales de entrada y salida como el desfase introducido por el sistema.

2.1.2. Fundamentos teóricos.

La función de transferencia de un sistema lineal relaciona la entrada y salida del mismo en el dominio de la frecuencia:

$$H(\omega) = \frac{Y(\omega)}{X(\omega)}$$

donde $Y(\omega)$ es la transformada de Fourier de la salida y $X(\omega)$ la de la entrada. Se trata, en general, de una función compleja, lo que significa que afecta tanto a la amplitud como a la fase de los armónicos de la señal de entrada, por lo que la podemos expresar de la forma:

$$H(\omega) = |H(\omega)|e^{j\theta(\omega)}$$

donde $|H(\omega)|$ corresponde al módulo de la función de transferencia y $\theta(\omega)$ a su fase.

El filtro que debemos caracterizar es un filtro de Butterworth de octavo orden cuyo esquema se muestra en el Apéndice A. El filtro de Butterworth es una de las aproximaciones más utilizadas al filtro ideal y el módulo de su función de transferencia es de la forma:

$$|H(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^{2n}}} \quad \text{con } n \geq 1$$

donde ω_c es la frecuencia de corte a 3dB y n es el orden del filtro. Cuando n tiende a infinito el filtro de Butterworth se aproxima al ideal.

La función de transferencia se puede calcular fácilmente en un laboratorio con un generador de señales a la entrada del sistema y un osciloscopio a la salida, realizando un barrido en frecuencia. Si la entrada, para una frecuencia ω_0 , es:

$$x(t) = A \cos \omega_0 t$$

a la salida tendremos:

$$y(t) = A |H(\omega_0)| \cos(\omega_0 t + \theta(\omega_0))$$

Por lo tanto, realizando un barrido de frecuencias podemos obtener una aproximación tanto del módulo como de la fase de $H(\omega)$.

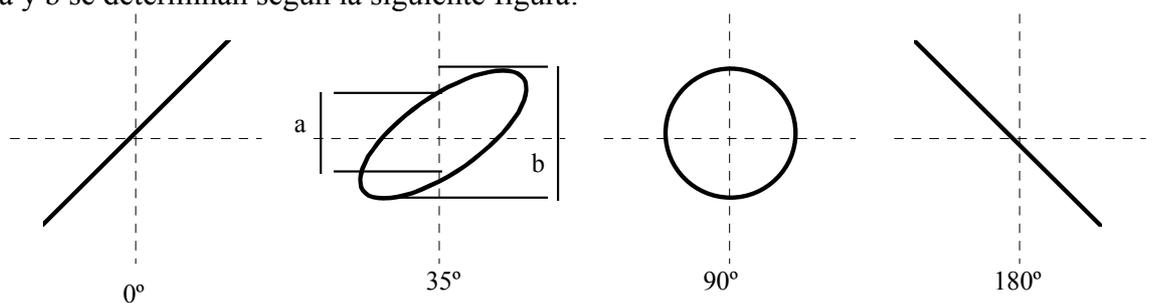
2.1.3. Realización práctica.

Conectaremos un generador de señal a la entrada BNC 1 del sistema emisor, con una entrada sinusoidal de $2V_{pp}$ y una frecuencia de 1kHz. Activaremos esta entrada, que está conectada directamente con el filtro antialiasing que nos disponemos a caracterizar. Monitorizaremos tanto la entrada del filtro (punto de prueba –test point- TPE1) como la salida del mismo (TPE2) en los canales 1 y 2 del osciloscopio, respectivamente.

Realizaremos un barrido en frecuencia desde 100Hz hasta 5kHz. Para medir la atenuación producida en la señal para cada frecuencia, es decir el módulo de la función de transferencia, compararemos las amplitudes de las señales de entrada y salida. Para medir el desfase producido haremos uso de las curvas de Lissajous mediante la combinación de las dos entradas del osciloscopio (tecla X-Y). De esta forma el desfase vendrá dado por la expresión:

$$\theta = \arcsen\left(\frac{a}{b}\right)$$

donde a y b se determinan según la siguiente figura:



Se representarán tanto el módulo como la fase de la función de transferencia obtenida frente a la frecuencia.

Cuestión 6: ¿Cuál es la ganancia máxima del filtro? ¿A qué frecuencia se produce?

Cuestión 7: ¿Cuáles son las frecuencias de corte (inferior y superior) a 3dB? ¿Y el ancho de banda del filtro?

Cuestión 8: ¿Es el comportamiento del módulo de la función de transferencia del filtro medido el esperado para un filtro de Butterworth de octavo orden?

Cuestión 9: ¿Es el comportamiento de la fase de la función de transferencia del filtro medido similar al deseable en un filtro ideal? ¿Por qué?

Introducir una señal cuadrada de 1kHz y 2V_{pp}. Comparar la entrada y la salida del filtro.

Cuestión 10: ¿Es igual la salida a la entrada? ¿Por qué? Describir cualitativamente lo observado.

Repetir la experiencia con una señal cuadrada con frecuencia de 3kHz.

Cuestión 11: ¿Qué diferencias se aprecian respecto al caso anterior? ¿Por qué?

2.2. Muestreo y aliasing.

2.2.1. Objetivo.

Demstrar al alumno la necesidad de realizar un muestreo adecuado de la señal para que pueda ser digitalizada correctamente.

2.2.2. Fundamentos teóricos.

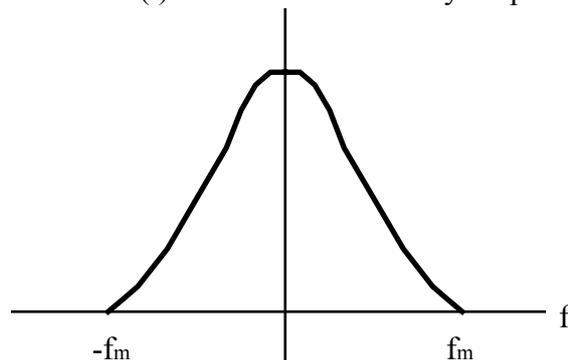
El proceso de seleccionar o guardar los valores ordenados de una función continua (usualmente analógica) a valores específicos (habitualmente equiespaciados) de su abscisa se denomina *muestreo*. Si la función es una señal que varía con el tiempo las muestras tomadas dan lugar a una serie temporal.

El teorema del muestreo de Nyquist da una idea de la velocidad a la que se debe muestrear una señal analógica, para que pueda ser recuperada de nuevo a partir de la serie temporal. Según esto, el periodo de muestreo debe ser:

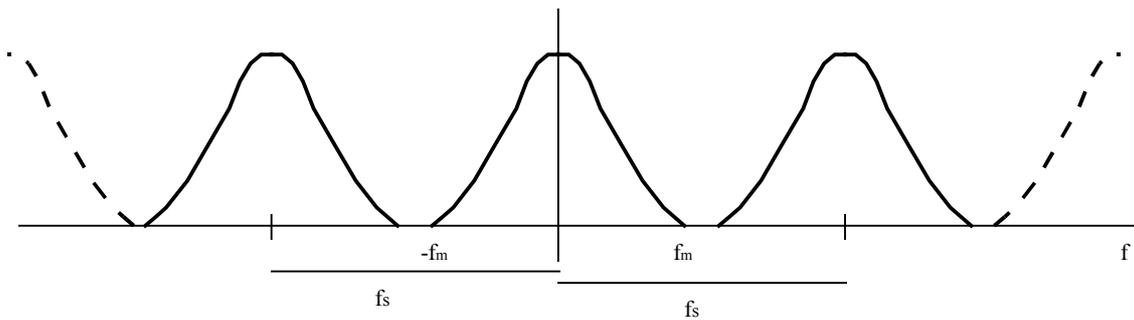
$$T_s \leq \frac{1}{2f_m}$$

donde f_m es la frecuencia máxima de la señal a muestrear. Si el periodo de muestreo es mayor se producirá *aliasing*.

Supongamos una señal $f(t)$ de banda limitada cuyo espectro es de la forma:



donde f_m es la frecuencia máxima de la señal. Si la muestreamos idealmente a una frecuencia $f_s=1/T_s$, su espectro quedaría de la forma:



Es decir, se repite el espectro original cada f_s . Por esa razón, si no se cumple el teorema del muestreo los espectros se solapan y no se puede recuperar la señal original aunque se utilice un filtro pasa-baja (filtro rector).

2.2.3. Realización práctica.

El primer propósito será medir la frecuencia de muestreo del sistema. Para ello, y debido a que el muestreo en el equipo emisor es realizado directamente en el conversor analógico/digital, realizaremos una aproximación a las medidas en el equipo receptor. Para ello estableceremos la siguiente configuración en los equipos:

- Emisor:
 - o Entrada de señal (Sig).
 - o Filtro antialiasing: OFF. Compresor OFF (OFF = Led apagado)
 - o Transmisión en Banda Base (BB)
 - o Canal sin interferencias (Directo)
 - o Salida: Bifilar.
- Receptor:
 - o Entrada Bifilar.
 - o Recepción en Banda Base (BB).
 - o Salida de señal.
 - o Filtro Reconstructor: OFF. Expansor: OFF.

Ajustaremos el generador de funciones con una señal sinusoidal de frecuencia 1kHz y una amplitud de 2Vpp, sin offset, y lo conectaremos a la entrada de señal (BNC 1) del transmisor.

Observar en el canal 1 del osciloscopio la señal proporcionada por el generador (TPE1) y en el canal 2 el punto de test TPR41 (en el receptor). Esta señal del receptor corresponde a la salida del conversor digital/analógico. Podemos ver que esta señal sigue la misma forma de la señal de entrada, pero ha sido aplicado un muestreo y retención. Si existen problemas para mantener la señal fija en la pantalla del osciloscopio debe seleccionarse el disparo del mismo con el canal 2 (en el que se encuentra la señal muestreada) en modo alterno y variar ligeramente la frecuencia del generador. Debe medirse el intervalo de tiempo entre dos muestras consecutivas (T_s).

Cuestión 12: ¿Cuál es el período de muestreo medido utilizando esta aproximación? ¿Y la frecuencia de muestreo? ¿Corresponde con el número observado de muestras por período de la señal sinusoidal y su frecuencia?

Realizaremos una medida más precisa del tiempo de muestreo en un apartado posterior.

Cuestión 13: ¿Ha sido elegido el filtro antialiasing adecuadamente para que la señal de entrada cumpla la condición de Nyquist? Justificar la respuesta.

Para ver cómo se recupera la señal original, a partir de la muestreada, debe activarse el filtro reconstructor del módulo receptor.

Cuestión 14: Explicar por qué la señal se parece ahora mucho más a la señal original. Utilizar el dominio de la frecuencia.

Como hemos comentado, la frecuencia de la señal de entrada es de 1Hz. Compruebe que las frecuencias de las señales de entrada y salida son las mismas. Vaya aumentando la frecuencia de la señal de entrada hasta 5kHz, comprobando que dentro del rango del filtro antialiasing las frecuencias siguen siendo iguales.

Cuestión 15: En el caso final (a 5kHz), ¿cuál es la frecuencia de la señal de salida? ¿Cuál es la diferencia entre la frecuencia de la señal de entrada (f_i) y la de salida (f_o)? ¿Corresponde esta diferencia con algún parámetro característico del sistema? Explicarlo utilizando el dominio de la frecuencia.

Para evitar la aparición de estas frecuencias incorrectas, conecte el filtro antialiasing del emisor. Compruebe que las señales dentro del ancho de banda telefónico (300 a 3400Hz) son correctamente recuperadas, mientras que las de frecuencias superiores son eliminadas.

2.3. PCM (Pulse Code Modulation) y transmisión serie asíncrona.

2.3.1. Objetivo.

Se trata de mostrar al alumno cómo funciona la etapa de digitalización de la señal analógica y su transmisión utilizando una unidad universal de transmisión/recepción serie asíncrona (UART).

2.3.2. Fundamentos teóricos.

Una vez que se ha muestreado la señal, es introducida en un conversor analógico/digital (A/D), en este caso de 8 bits, para obtener un valor digital a partir de la amplitud de cada muestra. Estos bits son enviados de forma serial utilizando una UART. A la conversión de una señal analógica en una ristra de bits (ceros y unos) que representan el valor de la señal en cada instante de muestreo se le conoce como PCM.

La transmisión serie es una opción simple y de bajo coste para la comunicación entre un ordenador y sus periféricos, siempre que no se requieran altas velocidades de transmisión. También es muy utilizada en la industria para interconectar equipos de diverso tipo, como microcontroladores, sensores, actuadores, etc. Este tipo de transmisión es más lenta que la transmisión paralela, pero es más barata y segura, siendo más adecuada para largas distancias.

En una transmisión digital es imprescindible que los relojes de los sistemas del emisor y el receptor estén sincronizados. Si no fuese así, el receptor podría cargar los bits en sus registros, a una velocidad demasiado lenta o demasiado rápida y, de esta forma, aún recibiendo la señal de datos en perfectas condiciones, interpretar de forma errónea el mensaje.

Dos relojes autónomos que han sido previamente ajustados a la misma frecuencia sólo pueden ser usados en sistemas con pocas prestaciones y a una velocidad

de transmisión relativamente baja. La razón es que es difícil que dichas frecuencias se mantengan estables, debido a variaciones en la temperatura, distinto comportamiento de los componentes y errores durante la fase de inicialización. Aún en el caso en el que ambos relojes fueran perfectos, durante la transmisión de los datos podrían introducirse variaciones y distorsiones debido a los sistemas y al canal, sin que se detectasen en el receptor.

Para conseguir mayores prestaciones debe usarse algún esquema en el que el reloj en el receptor sea obtenido, por algún método, a partir del reloj real que utiliza el transmisor. Básicamente pueden usarse tres métodos:

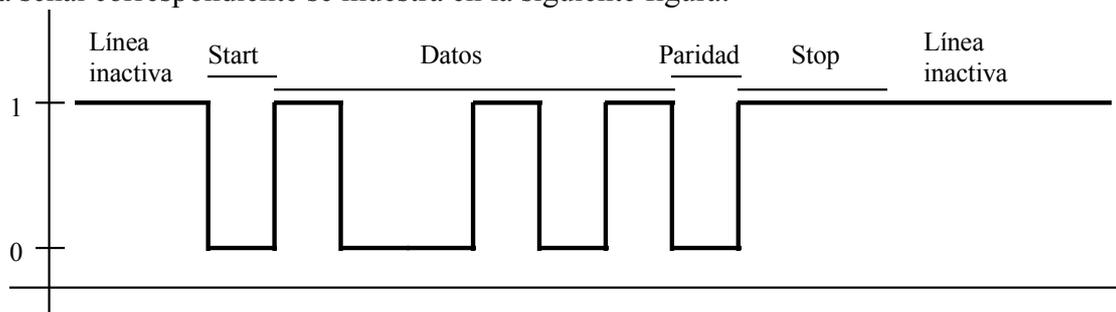
1. Enviar también la señal de reloj usando otra línea.
2. Recuperar el tiempo de reloj a partir de los datos recibidos. En este caso los datos contienen el reloj y depende del tipo de codificación de línea que se use.
3. Usar bits especiales predeterminados como parte de la secuencia total para restablecer la sincronización entre emisor y receptor.

Utilizando una de estas opciones podemos construir un sistema “síncrono”, que envía los datos como un bloque continuo, siendo gobernados por un protocolo determinado.

Si los datos a enviar se producen a intervalos de tiempo aleatorios y no se necesita un flujo continuo, por ejemplo los enviados por el teclado de un ordenador, se utilizaría un sistema “asíncrono”.

En este tipo de transmisión, que es la que nos ocupa, el emisor y el receptor poseen relojes independientes, por lo que las frecuencias de ambos pueden ser ligeramente distintas. Siendo así, debemos limitarnos a enviar secuencias de bits cortas, durante las cuales el desfase producido por la diferencia entre ambos relojes sea despreciable. Cada una de estas secuencias es lo que conocemos por carácter.

Puesto que el comienzo de cada carácter puede llegar en cualquier instante, el transmisor debe indicarle al receptor de alguna forma que le ha enviado dichos datos. Esto se hace enviando un bit especial, el bit de inicio (start). Mientras no hay datos la tensión en la línea es constante, de esta forma si se detecta un cambio se sabe que se va a recibir un carácter y el receptor comienza a adquirir los siguientes bits. Ese cambio inicial constituye el bit de inicio. Asimismo, tras la transmisión de los bits correspondientes al carácter es imprescindible que la línea vuelva al estado de reposo así como la existencia un intervalo de seguridad que permita la detección del siguiente bit de inicio. Este intervalo puede durar 1, 1.5 o 2 periodos de bit y se denominan bits de parada (stop). El número de bits de datos, comprendidos entre los bits de inicio y parada, puede ser cualquiera, aunque lo habitual es que sean de 5 a 8. Además estos bits de datos pueden ir acompañados de un bit de paridad, tanto par como impar, para la detección de errores y que se colocarán antes de los bits de stop. El esquema general de la señal correspondiente se muestra en la siguiente figura:



Existen circuitos integrados que son capaces de realizar este tipo de comunicación, son los denominados Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART).

Las ventajas del método asíncrono son que permite enviar caracteres a un ritmo variable, que existen multitud de circuitos integrados que simplifican esa labor y que es un estándar muy extendido. Sin embargo, por cada carácter es necesario añadir los bits de inicio y parada, con lo que se produce una sobrecarga en la transmisión y se reduce la eficiencia.

2.3.3. Realización práctica.

Reestableceremos la configuración inicial utilizada en el apartado anterior:

- Emisor:
 - o Entrada de señal (Sig).
 - o Filtro antialiasing: OFF. Compresor OFF.
 - o Transmisión en Banda Base (BB)
 - o Canal sin interferencias (Directo)
 - o Salida: Bifilar.
- Receptor:
 - o Entrada Bifilar.
 - o Recepción en Banda Base (BB).
 - o Salida de señal.

Filtro Reconstructor: OFF. Expansor: OFF.

Y ajustaremos de nuevo el generador de funciones con una señal sinusoidal de frecuencia 1kHz y una amplitud de 2Vpp, sin offset.

En el canal 1 del osciloscopio visualizaremos el reloj (TPE13) que marca el envío de los bits por parte de la UART y en el canal 2 la salida de la misma (TPE4). La señal de reloj se verá claramente, sin embargo la salida de la UART no se quedará fija, ya que cada muestra de la señal sinusoidal tendrá una amplitud diferente, por lo que el resultado de la conversión A/D será distinta y por lo tanto lo será también la salida de la UART. Por ello, con el fin de facilitar las medidas, apagamos el generador de funciones, de forma que el resultado de la conversión sea siempre el mismo. Observe que la frecuencia del reloj (TPE13) es el doble de la duración de un pulso básico de la UART (un ciclo de reloj por cada bit transmitido).

Cuestión 16: ¿Cuál es el período del reloj (T_{clk})?

Cuenta cuantos ciclos de reloj (N) se producen hasta que vuelve a repetirse la secuencia de la UART. Este número debería ser 11 o 12, pues la UART toma los 8 bits que proporciona el conversor A/D para cada muestra y les añade un bit de inicio, uno de paridad y uno de parada (11 en total). En ocasiones, el conversor necesita otro pulso adicional de reloj para volver a iniciar la conversión, por lo que pueden ser 12 los pulsos de reloj transcurridos. Esto nos permite calcular de manera más precisa el período de muestreo.

Cuestión 17: ¿Cuál es el período de muestreo ($T_{clk} * N$)? ¿Y la frecuencia de muestreo? ¿Difieren mucho de los cálculos aproximados realizados en el apartado anterior? ¿Sigue siendo válido el filtro antialiasing del sistema? Justifique la respuesta.

Cuestión 18: ¿Cuántos niveles de cuantificación está utilizando el sistema?

Cuestión 19: ¿Cuál es la velocidad de transmisión del sistema en bps? ¿Y en baudios? Justifique la respuesta.

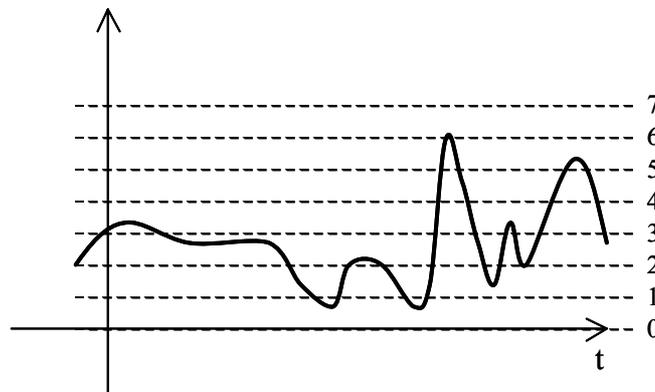
2.4. Cuantificación y compansión

2.4.1. Objetivo.

La siguiente experiencia está diseñada con el fin de mostrar al alumno el funcionamiento general de un sistema de compansión.

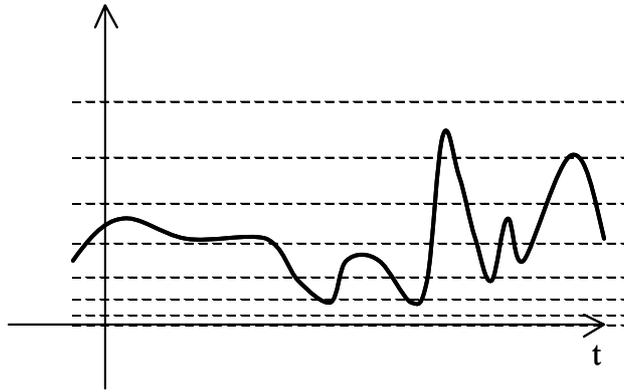
2.4.2. Fundamentos teóricos.

Como ya se ha mencionado, para digitalizar una señal hay que aplicar dos procesos consecutivos: muestrear la señal para obtener su amplitud en un instante de tiempo dado y cuantificar esa amplitud, es decir asignarle uno de los posibles valores discretos. Esta cuantificación se suele llevar a cabo utilizando un conversor A/D. Normalmente, y por razones técnicas, se trata de una cuantificación uniforme, es decir, la distancia entre todos los niveles es la misma. En la siguiente figura se ejemplifica una división de la amplitud de la señal en 8 niveles discretos posibles. En cada muestra se asignará el valor de la función al nivel discreto más próximo. Para codificar cada uno de estos valores discretos necesitamos 3 bits.

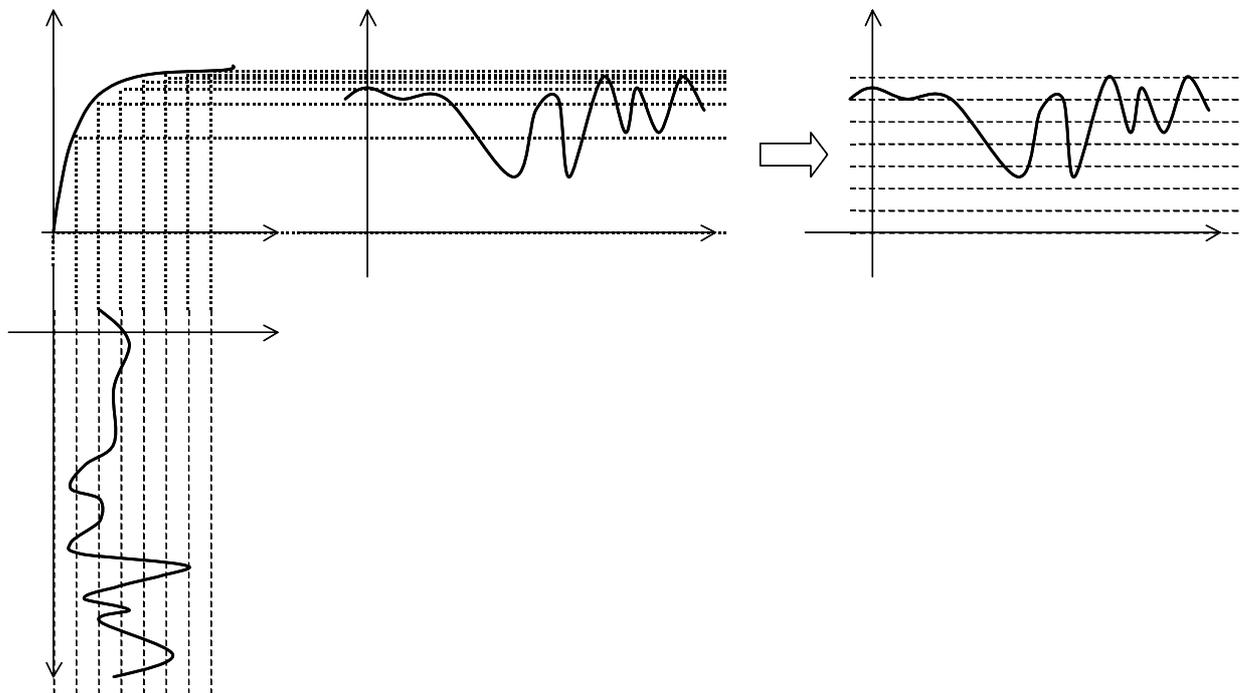


Si quisiéramos cometer menos error en la cuantificación, es decir, que el valor digital obtenido para cada muestra estuviese más próximo a su valor real, necesitaríamos utilizar un número mayor de niveles, lo que implica un mayor número de bits para codificar el valor de cada muestra y por lo tanto un mayor ancho de banda en la transmisión.

En muchas aplicaciones estamos interesados en obtener una mejor resolución para amplitudes bajas y menor resolución para grandes amplitudes, es decir, utilizar una cuantificación no uniforme. Por ejemplo, en la siguiente figura se han establecido ocho niveles de cuantificación que permiten una mayor precisión en amplitudes bajas.



Conseguir o diseñar un conversor A/D que posibilite una cuantificación no uniforme es complicado. Por lo tanto, se suele utilizar un circuito compresor seguido de un cuantificador uniforme, obteniendo el mismo resultado:



Podemos observar que los rangos correspondientes a amplitudes bajas son amplificados por el compresor y las amplitudes altas son comprimidas. Al aplicar una cuantificación uniforme al resultado estaremos empleando más niveles para los valores bajos que para los altos.

En el receptor habría que aplicar una función inversa a la del compresor de forma que recuperemos la señal original, es decir habría que implementar un sistema expansor. El conjunto de COMPRESOR y exPANSOR se denomina “compansor”.

2.4.3. Realización práctica.

Conecte el generador de señal a la entrada BNC1 del módulo emisor, seleccionando una señal sinusoidal de amplitud 2Vpp y una frecuencia de 500Hz. Realice una comunicación en banda base utilizando el cable bifilar como medio de transmisión. Conecte uno de los canales del osciloscopio a la entrada del emisor (TPE1)

y el otro a la salida de señal del receptor (TPR41). El filtro antialiasing puede estar activo, pero no el compresor, ni el filtro reconstructor ni el expansor.

Observe la calidad de la señal recuperada (muestreada) en TPR41 mientras va reduciendo el número de bits de la transmisión. Para ello coloque en OFF el bit 1 del micro-interruptor SW2 del receptor, continuando con el bit 2, y así sucesivamente hasta llegar al bit 8 (el de mayor peso). Lo que estamos haciendo es equivalente a reducir paulatinamente el número de niveles de cuantificación.

Cuestión 20: Describir las observaciones ante esta experiencia.

Vuelva a poner todos los micro-interruptores de SW2 en la posición ON (los 8 bits activos, 256 niveles de cuantificación). Conecte el filtro reconstructor del equipo receptor. Observe la señal recuperada (TPR41) y repita el proceso anterior de reducción del número de bits (niveles).

Cuestión 21: ¿Qué ocurre al reducir el número de bits?

Coloque de nuevo todos los micro-interruptores en ON y desconecte el filtro reconstructor. Observe la señal sinusoidal muestreada (TPR41) y compárela con la señal original. Podrá observar que las muestras se encuentran aproximadamente a la misma distancia, en amplitud.

Active el compresor y observe de nuevo la salida.

Cuestión 22: Describir brevemente la diferencia observada entre las señales de salida con y sin compresor.

Activar el expansor del módulo de recepción.

Cuestión 23: Describir las diferencias con el caso anterior.

Realizaremos una experiencia cualitativa con una señal de voz. Para ello, desactive el compresor, el expansor y el filtro reconstructor. Conecte el micrófono al jack de entrada del emisor y seleccione la entrada correspondiente. Conecte los auriculares en el conector jack del receptor y seleccione la salida de audio. Ajuste el volumen hasta entender bien a su compañero cuando hable por el micrófono.

Debe notar un ruido considerable debido a la cuantificación cuando su compañero hable.

Conecte el filtro reconstructor.

Cuestión 24: ¿Nota alguna diferencia?

Vaya notando la inteligibilidad de la señal de audio a medida que va apagando los micro-interruptores del SW2.

Cuestión 25: ¿A partir de qué bit se hace difícil entender a su compañero? ¿Cuántos niveles de cuantificación efectivos se están utilizando en ese caso?

Repita la experiencia utilizando el sistema compansor (active el compresor y el expansor).

Cuestión 26: En este nuevo caso. ¿A partir de qué bit se hace difícil entender a su compañero? ¿Cuántos niveles de cuantificación efectivos se están utilizando en ese caso? ¿Se nota diferencia con el caso anterior?

(Nota: Realice las pruebas subjetivas necesarias (conectando y desconectando el compresor y expansor así como modificando el número de bits para poder responder a esta pregunta).

2.5. Efectos del canal. Diagramas de ojo.

2.5.1. Objetivo.

Con esta experiencia se pretende mostrar al alumno distintas alteraciones que puede sufrir la señal durante su transmisión y mostrar una técnica habitualmente utilizada para medir las mismas.

2.5.2. Fundamentos teóricos.

El canal de transmisión puede definirse como el medio eléctrico entre la fuente y el destino de la información, por ejemplo un cable, fibra óptica o espacio libre. Muy a menudo se consideran incluidos en el canal todos aquellos componentes electrónicos asociados al medio de transmisión, como regeneradores, amplificadores, etc. Los canales son caracterizados por su pérdida/atenuación, ancho de banda, ruido/interferencia y distorsión.

Las fuentes de degradación de la señal al ser transmitida por un canal son las siguientes:

- Distorsión. Puede ser de varios tipos:
 - o Desplazamientos de fase dependientes de la frecuencia, provocando diferentes retardos para los distintos armónicos de la señal.
 - o Variaciones de la ganancia o atenuación con la frecuencia, causadas por el efecto de filtrado que ejerce el canal.
 - o Variaciones de la ganancia del sistema con el tiempo, por ejemplo las experimentadas en comunicaciones por radio o infrarrojos.
 - o Desplazamientos de frecuencias entre el transmisor y el receptor debidos a efecto Doppler o errores locales del oscilador.

La distorsión puede ser introducida por el transmisor, el receptor o el canal. En algunos casos puede ser modelada y corregida en el receptor utilizando ecualizadores adecuados y circuitos de control de ganancia. A diferencia del ruido y la interferencia, la distorsión desaparece cuando la señal es apagada.

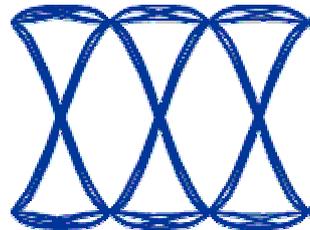
- Interferencia.

La interferencia aparece como consecuencia de la contaminación del canal por señales extrañas, por ejemplo líneas de corriente, motores, maquinaria, otros usuarios del canal. Si las características son conocidas, entonces la interferencia puede ser eliminada o minimizada mediante filtros o restadores.

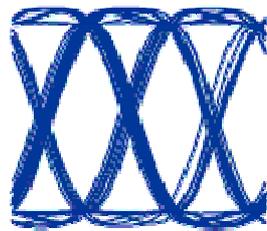
- Ruido.

El ruido es definido como una señal eléctrica aleatoria e imprevisible que proviene de fuentes naturales, como el ruido debido a la atmósfera, el ruido térmico, etc. Debido a la enorme cantidad de factores que pueden provocar ruido en un enlace de comunicaciones, es difícil definir sus propiedades (rango de frecuencias, nivel y fase instantánea) y, por lo tanto, es complicado reducir su efecto en los sistemas de comunicación. Por razones prácticas, en muchas ocasiones se asume que el ruido es blanco y aditivo (AWGN – Additive White Gaussian Noise), pero se trata sólo de una simplificación.

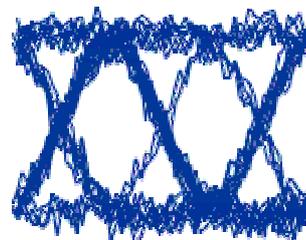
Los diagramas de ojo constituyen un método visual conveniente de diagnóstico de problemas de transmisión. Normalmente el diagrama de ojo es generado utilizando un osciloscopio para observar los símbolos recibidos. El osciloscopio es sincronizado de forma que aparezca en su pantalla un número entero de símbolos recibidos y se aumenta la persistencia del mismo, de forma que los pulsos que vayan llegando queden superpuestos. Estos símbolos superpuestos forman un patrón de ojo similar al que se muestra en la siguiente figura:



A partir del diagrama de ojo es posible estimar la calidad o las fuentes de degradación de un sistema de comunicaciones. En las siguientes figuras se muestran dos ejemplos de diagramas de ojo en los que la señal transmitida ha sido degradada:

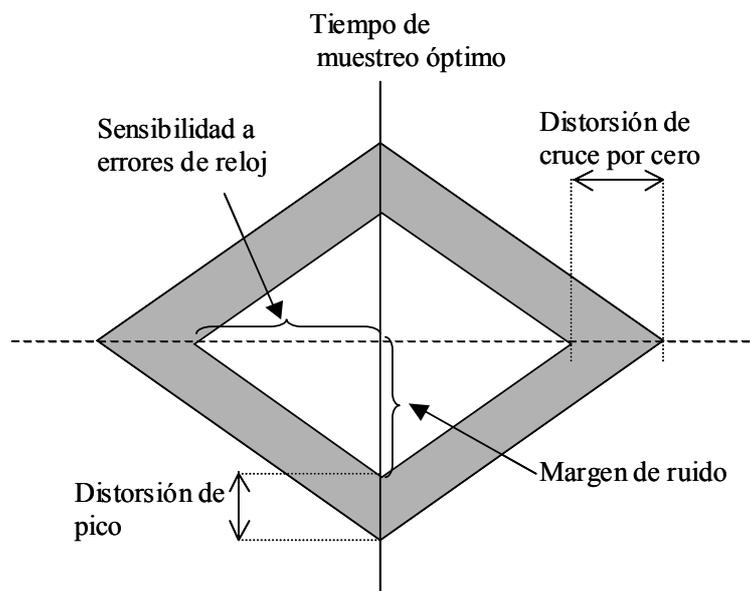


Error de tiempo



Ruido

El efecto de errores de reloj aparece como un desplazamiento de los pulsos, ensanchando los bordes verticales del ojo. La adición de ruido a la señal causa un cerramiento del ojo. Cuando el ruido es tan grande que logra cerrar completamente el ojo ocurrirán errores en la transmisión. En la siguiente figura se muestra un esquema de los diferentes parámetros que pueden medirse a partir de un diagrama de ojo.



2.5.3. Realización práctica.

Mantenga las sondas en el punto TPE1 del emisor y TPR41 del receptor, retire el micrófono y los auriculares y conecte de nuevo el generador de funciones con una amplitud de $2V_{pp}$ y una frecuencia de 1kHz. Deshabilite el compresor y el expansor pero deje activados los filtros de antialiasing y reconstructor. Observe la correcta recuperación de la señal transmitida.

Seleccione el led de reducción de ancho de banda del canal en el bloque de simulación del equipo emisor. Desplazando el potenciómetro en sentido contrario a las agujas del reloj se reduce el ancho de banda del canal. Compruebe que se producen errores en la comunicación (observe el led indicador de errores de paridad en el receptor).

Cuestión 27: Cuando aparecen estos errores, ¿cómo se observa la señal recuperada?

Retire la sonda de TPR41 y colóquela antes de la UART de recepción (TPR36). Apague el generador de funciones para lograr una mejor sincronización, ya que siempre se transmite la misma amplitud de la señal de entrada, o utilice el botón de parada del osciloscopio digital.

Cuestión 28: ¿Qué observa al variar el ancho de banda del canal?

Realmente la señal observada en TPR36 pasa por un comparador que la vuelve a conformar antes de entrar en la UART. Coloque la sonda justo en ese punto (TPR38) y compruebe el efecto de una reducción del ancho de banda.

Cuestión 29: ¿Qué se observa? ¿Está relacionada esta observación con el estado del led de error de paridad?.

Desactive el módulo de ancho de banda del canal, activando el módulo de degradaciones del canal. La posición inicial de todos los potenciómetros es al límite en sentido horario.

Desplace en sentido antihorario el potenciómetro de ruido (noise). A continuación disminuya lentamente el nivel de señal girando el potenciómetro de atenuación hasta que la relación señal/ruido produzca errores en la recepción (compruébelo con el led de error de paridad). Gire entonces de forma muy ligera el potenciómetro de atenuación hacia la derecha hasta que vea la señal recuperada sin ruido (TPR41). En este momento el sistema se encontraría en el límite permitido de relación señal/ruido.

Cuestión 30: En estas condiciones conecte una de las sondas del osciloscopio en el punto TPR36 (antes de la UART) y describa lo observado.

(Nota: Puede apagar el generador para estabilizar la señal)

Vuelva a conectar la sonda de salida a TPR41 y desactive el simulador del canal. Compruebe que la transmisión es correcta.

Sincronice y conecte el canal 1 del osciloscopio a TPE13 (reloj sincronizado con los datos de salida de la UART) y visualice en el canal 2 la señal recibida en el receptor (TPR2). Al disparar con el reloj del canal 1, en el canal 2 aparecen superpuestos los datos transmitidos.

Cuestión 31: ¿Qué características posee el diagrama de ojo observado?

Seleccione el módulo de degradaciones del canal y gire todos los potenciómetros a la derecha (sin degradación). Gire el potenciómetro de atenuación y observe sobre TPR2 el diagrama de ojo:

Cuestión 32: ¿Qué observa al variar la atenuación?

A continuación sitúe el potenciómetro de atenuación a la mitad del recorrido y varíe el ruido del canal.

Cuestión 33: ¿Qué observa al aumentar el ruido?

Puede utilizar cualquiera de las interferencias para comprobar su efecto sobre la señal.

Varíe el potenciómetro de ruido hasta que comience a detectar errores de paridad. En ese momento observe el diagrama de ojo.

Cuestión 34: ¿Qué características posee el diagrama de ojo observado?

Repita la prueba, pero esta vez utilizando el micrófono y los auriculares. Varíe la atenuación y el ruido hasta que la recepción sea incorrecta. Observe en ese instante el diagrama de ojo.

Cuestión 35: ¿Qué características posee ahora el diagrama de ojo?