

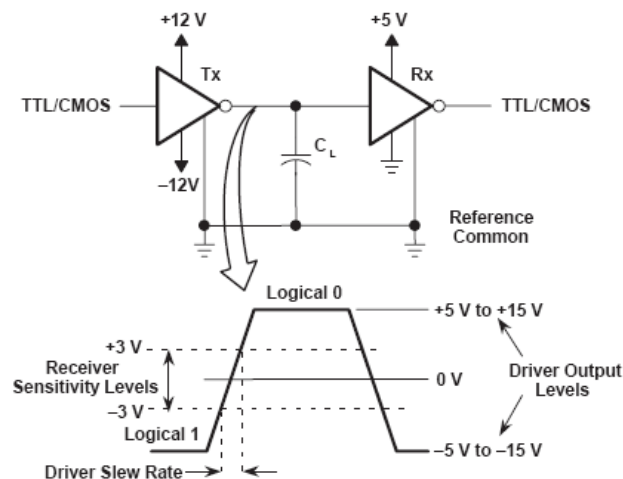
UART: Universal Asynchronous Receiver Transmitter

(section 17)

El microcontrolador PIC24H tiene dos módulos UART: UART1 y UART2.

En la Explorer 16 el módulo UART2 está conectado a un circuito MAX232, y gracias a ello es compatible con el protocolo serie estándar RS232 (el MAX232 modifica las tensiones adecuadamente). El módulo UART1, sin embargo, no está conectado a un MAX232, por lo que las tensiones que utiliza son TTL, y no es compatible con el estándar RS232. Utilizaremos únicamente el módulo UART2.

Tensiones estándar del protocolo serie RS232:

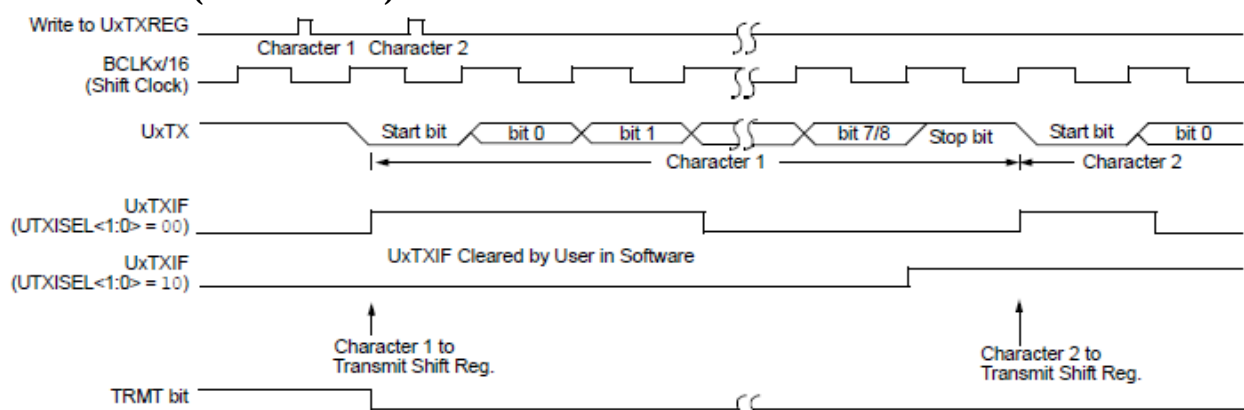


El módulo UART consta de un emisor o transmisor (*transmitter*) y de un receptor (*receiver*) mediante los cuales es posible enviar o recibir datos en serie, es decir, bit a bit. Emisor y receptor tienen cada uno su línea de datos independiente, TX y RX respectivamente, y no hay ninguna señal más de información (la transmisión es asíncrona, sin señal de reloj). Por ello, junto con los bits de datos (7 u 8 bits, que comienzan a transmitirse comenzando con el de menos peso) se transmiten como mínimo dos bits de control: el bit de *Start*, y el bit de *Stop*; el bit de paridad se puede enviar o no, dependiendo de como se configure la transmisión.

Protocolo RS232, secuencia de bits:

Start – bit 1	bit0 – bit 2	bit1 – bit 3	...	bit7 – bit 9	paridad? – bit 10	Stop bit 11
------------------	-----------------	-----------------	-----	-----------------	----------------------	----------------

Transmission (Back-to-Back)



DSE, UART

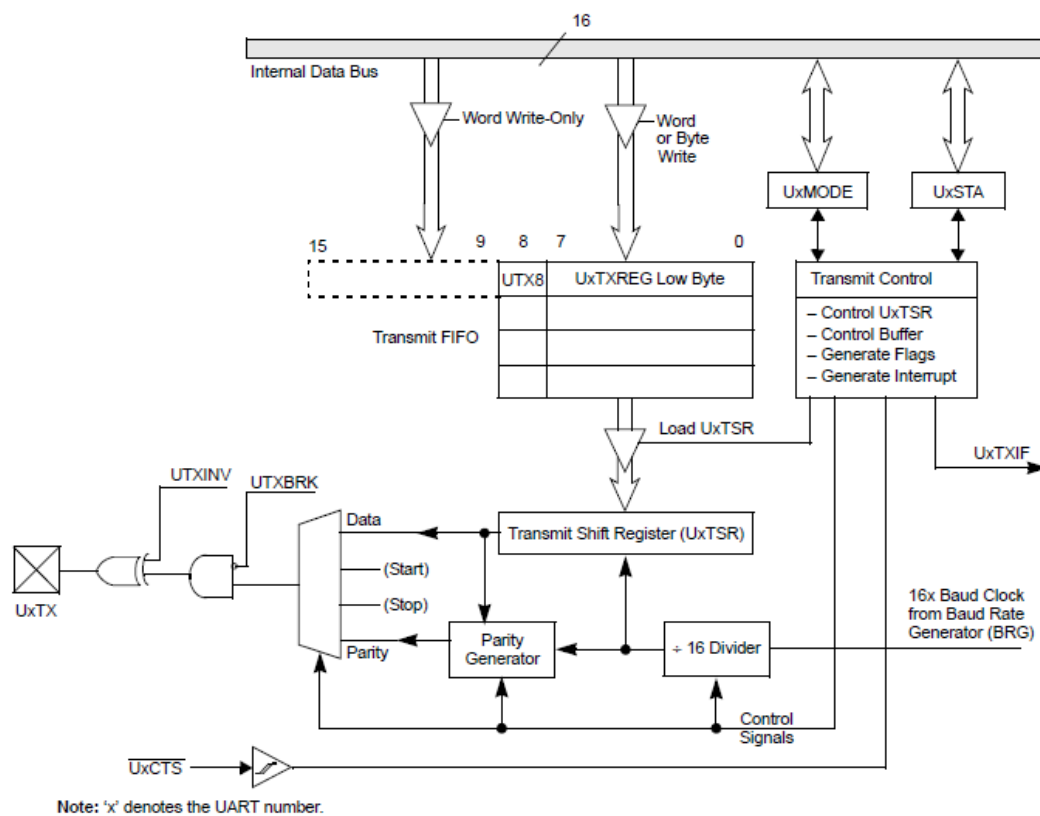
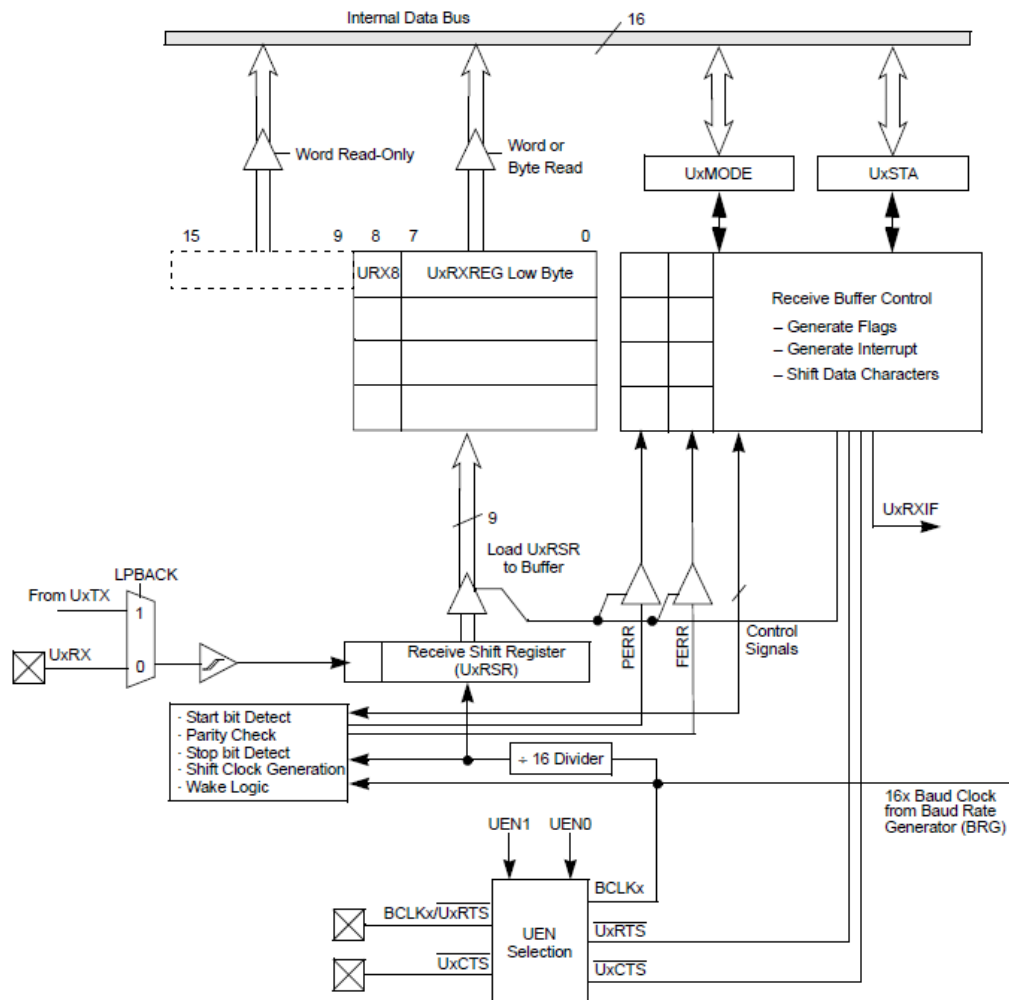


DIAGRAMA DE BLOQUES DEL RECEPTOR



REGISTROS DEL MÓDULO UARTx

Son 5 los registros de estos módulos:

- **UxMODE**, registro de modo
- **UxSTA**, registro de estado y control
- **UxRXREG**, registro de dato recibido
- **UxTXREG**, registro de dato a enviar (sólo de escritura)
- **UxBRG** (*Baud Rate*), registro de velocidad de funcionamiento

Los pines **BCLK**, **UxRTS** y **UxCTS** se pueden utilizar para el control de la comunicación. Nosotros no los vamos a utilizar, de modo que inicializaremos los bits que controlan esos pines con el valor adecuado para deshabilitar o no tener en cuenta esas señales.

UxMODE: UARTx Mode Register

R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0 HC	R/W-0	R/W-0 HC	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
UARTEN	-	USIDL	IREN ₍₁₎	RTSMD	-	UEN<1:0>	WAKE	LPBACK	ABAUD	RXINV	BRGH	PDSEL<1:0>	STSEL	
Bit15						Bit8	Bit7						bit0	

Legend: R= readable bit W= writable bit HC= Hardware cleared

UARTEN: Habilita UARTx

1 = UARTx habilitada, patas controladas según UEN 1:0 y UTXEN

0 = UARTx deshabilitada

USIDL: Parada en modo Idle

1 = Se para en modo Idle

0 = Continúa la operación en modo Idle

IREN: Habilidad de IrDA

1 = IrDA habilitado

0 = IrDA deshabilitado

RTSMD: Selecciona el Modo de la pata UxRTS

1 = UxRTS en modo Simplex

0 = UxRTS en modo de control de flujo

UEN<1:0>: Habilita bits UARTx

11 = habilita UxTX, UxRX y BCLKx; UxCTS se utiliza como I/O normal

10 = habilita UxTX, UxRX, UxCTS y UxRTS

01 = habilita UxTX, UxRX y UxRTS; UxCTS se utiliza como I/O normal

00 = habilita UxTX y UxRX; UxCTS y UxRTS/ BCLKx se utilizan como I/O normales

WAKE: Habilita Wake-up al detectar bit Start en Sleep

1 = Wake-up habilitado

0 = Wake-up deshabilitado

LPBACK: Habilita modo Loopback, en este modo las patas UTX URX se conectan internamente. Se puede utilizar para depuración del software.

1 = Habilita modo Loopback

0 = Deshabilita modo Loopback

ABAUD: Habilidad de Auto-Baud

1 = Habilita la medida de la velocidad de transmisión (baud rate) en el siguiente carácter.

Requiere recepción del carácter (55h); se borra por hardware cuando se detecta el 55h.

0 = Deshabilita la medida de Baud rate, o completada

RXINV: Inversión de la polaridad de la pata de recepción

1 = En estado de reposo UxRX = 0.

0 = En estado de reposo UxRX = 1.

BRGH: Selección del High/Low Baud Rate

1 = High speed

0 = Low speed

PDSEL<1:0>: habilita Paridad

11 = 9-bit, sin paridad

10 = 8-bit data, paridad par

01 = 8-bit data, paridad impar

00 = 8-bit, sin paridad

STSEL: Duración del bit de Stop

1 = 2 bits Stop

0 = 1 bit Stop

UxSTA: UARTx Status and Control Register

R/W-0	R/W-0	R/W-0	U -0	R/W-0	R/W-0	R-0	R-1	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R-1	R-0	R-0	R/C-0	R-0
UTXISEL1	UTXINV	UTXISEL0	-	UTXBRK	UTXEN	UTXBF	TRMT	URXISEL<1:0>	ADDEN	R/DLE	PERR	FERR	OERR	URXDA	
Bit15							Bit8	Bit7						bit0	

Legend: R= readable bit W= writable bit C= clearable bit

UTXISEL<1:0>: Selecciona el tipo de interrupción de la transmisión:

11 = Reservada

10 = Interrupción generada cuando se transfiere un carácter al reg. de desplazamiento, y el buffer de transmisión se queda vacío

01 = Interrupción generada cuando la última transmisión ha salido del reg. de desplazamiento y se han completado todas las transmisiones

00 = La interrupción se genera cuando se transfiere un carácter al reg. de desplazamiento

UTXINV: Inversión de la polaridad de la pata de transmisión

Con IREN= 0: 1 = En estado de reposo UxTX = 0

0 = En estado de reposo UxTX = 1

Con IREN = 1: 1 = IrDA habilitado, en reposos UxTX = '1'

0 = IrDA habilitado en reposos UxTX = '0'

UTXBRK: Transmit Break bit, Transmite un bit de start, 12 bits a '0' y un bit de stop.

1 = la pata UxTX se pone a baja, independientemente del estado del transmisor

0 = Sync Break transmission deshabilitada o completada

UTXEN: Habilita/deshabilita la transmisión

1 = UARTx habilitada

0 = Transmisión UARTx deshabilitada

UTXBF: Estado del buffer de transmisión (*solo de lectura*)

1 = Buffer transmisión lleno

0 = Buffer transmisión no lleno

TRMT: Estado del reg. de desplazamiento de transmisión (*solo de lectura*)

1 = Vacío

0 = No está vacío, hay algún dato transmitiéndose

URXISEL<1:0>: Selecciona el tipo de interrupción de la recepción:

11 = El flag de interrupción se activa cuando el buffer está lleno (4 datos)

10 = El flag de interrupción se activa cuando está a 3/4 de capacidad (datos)

0x = El flag se activa cuando llega un dato

ADDEN: Detección de bit de dirección (bit 9º del dato recibido = 1). Para 9 bits

1 = Habilitada

0 = Detección de dirección deshabilitada

RIDLE: Estado de la recepción (*solo de lectura*)

1 = Recepción inactiva

0 = Se está recibiendo un dato

PERR: Error de Paridad (*solo de lectura*)

1 = Se ha detectado error de paridad

0 = No se ha detectado error

FERR: Error de trama (*solo de lectura*)

1 = Se ha detectado error de trama

0 = no se ha detectado

OERR: Error de sobrecarga (*overflow*) (borrable/ solo de lectura)

1 = Se ha producido error, el buffer está lleno y ha llegado un dato (borrar por software)

0 = No se ha producido error

URXDA: Disponibilidad de datos (*solo de lectura*)

1 = El buffer de recepción tiene al menos un dato

0 = Buffer vacío

UxRXREG: UARTx Receive Register

U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0
-	-	-	-	-	-	-	URX8	URX<7:0>							
Bit15							Bit8	Bit7							
														bit0	

URX8: Bit 8 del carácter recibido (en modo 9-bits)

URX<7:0>: Bits 0 a 7 del carácter recibido

UxTXREG: UARTx Transmit Register (Write-Only)

U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	W-x	W-x	W-x	W-x	W-x	W-x	W-x	W-x	W-x
-	-	-	-	-	-	-	UTX8	UTX<7:0>							
Bit15							Bit8	Bit7							
														bit0	

UTX8: Bit 8 del carácter transmitido (en modo 9-bits)

UTX<7:0>: Bits 0 a 7 del carácter transmitido

UxBRG (*Baud Rate*) register

La velocidad de transmisión de la UART depende de los bits:

- BRGH (en el registro UxMODE, bit 3)
- **BRG<15:0>** del registro UxBRG

La fórmula mediante la que se calcula la velocidad es la siguiente:

Con **BRGH = 0:**

$$\text{Baud Rate te\acute{o}rico} = F_{CY} / [16 (UxBRG+1)]$$

$$UxBRG = [F_{CY} / (16 \text{ Baud Rate})] - 1$$

Con **BRGH = 1:**

$$\text{Baud Rate te\acute{o}rico} = F_{CY} / [4 (UxBRG+1)]$$

$$UxBRG = [F_{CY} / (4 \text{ Baud Rate})] - 1$$

Recuerda que $F_{CY} = (F_{osc}/2)$.

Mediante las fórmulas anteriores se obtiene el valor que hay que proporcionar a UxBRG para conseguir la velocidad de transmisión deseada. Habitualmente, el valor obtenido no será entero, y dado que el valor cargado en UxBRG sí lo será, la velocidad de transmisión obtenida no será exactamente la que queríamos, sino una aproximación a ella. Por ejemplo, con $BRGH=1$:

$$\text{Baud Rate obtenido} = F_{CY} / [4 (\text{valor_entero_calculado_UxBRG} + 1)]$$

El error cometido con dicha aproximación puede ser importante y es conveniente calcularlo:

$$\text{Error} = (\text{Baud Rate obtenido} - \text{Baud Rate te\acute{o}rico}) / \text{Baud Rate te\acute{o}rico}$$

Nota: Para que la transmisión funcione correctamente, una vez habilitado el módulo UARTx (UARTEN=1), se aconseja esperar un tiempo antes de enviar el primer carácter. Dicho tiempo de espera está en función de la velocidad de transmisión o *baud rate*, y se aconseja que sea como mínimo el tiempo de transmisión de un bit a esa velocidad. Por ejemplo, a 9600 baudios, el tiempo de transmisión de un bit es $1s/9600 = 104,166 \mu s$, es decir, habrá que esperar 105 microsegundos antes de enviar nada.