

EI1062 – IR2162

Diseño de sistemas empuotrados y de tiempo real

Tema 4 – Comunicaciones
en sistemas empuotrados (II)

Grado en Ingeniería Informática

Grado en Inteligencia Robótica

[Buses - comunicaciones]

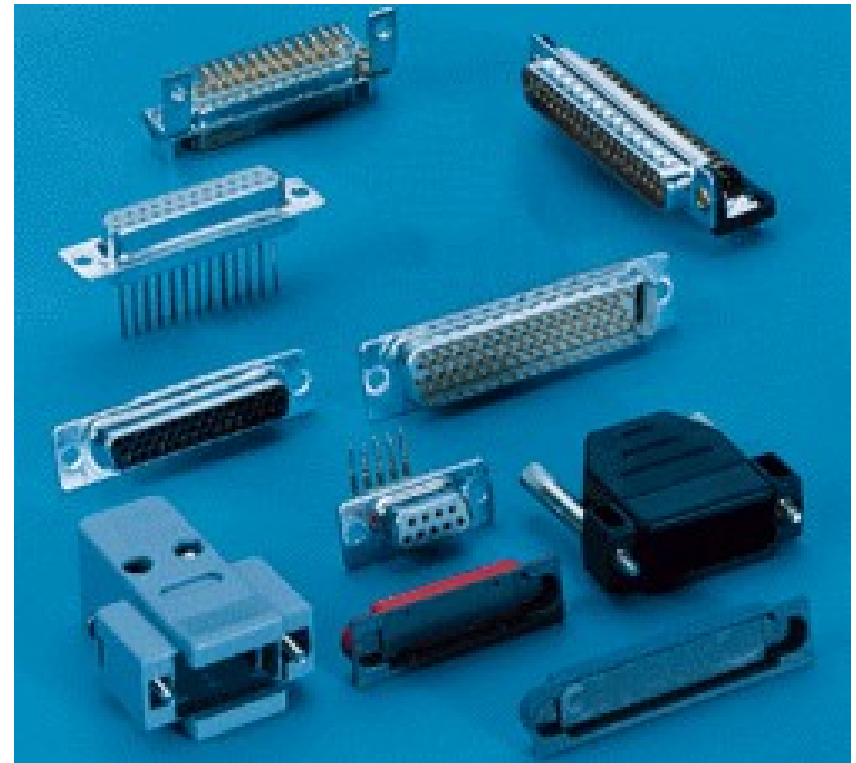
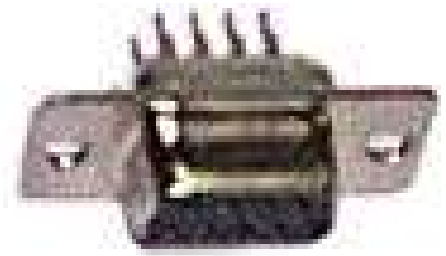
- SPI
- I²C
- 1-wire
- CAN
- RS232 (UART)
- WiFi
- Bluetooth

[RS232]

- Transmisión de señales a media distancia
- Velocidad de transmisión moderada
- Envío en serie de la información
- Estructuras complejas de transmisor y receptor (conversión serie-paralelo y viceversa)
- Solo dos conductores imprescindibles (datos y masa)

[RS232: Conectores]

- Conectores Sub-D de 9 o de 25 pines
- DTE:
 - Conector macho en panel
 - Conector hembra aéreo
- DCE:
 - Conector hembra en panel
 - Conector macho aéreo



[RS232: Niveles eléctricos]

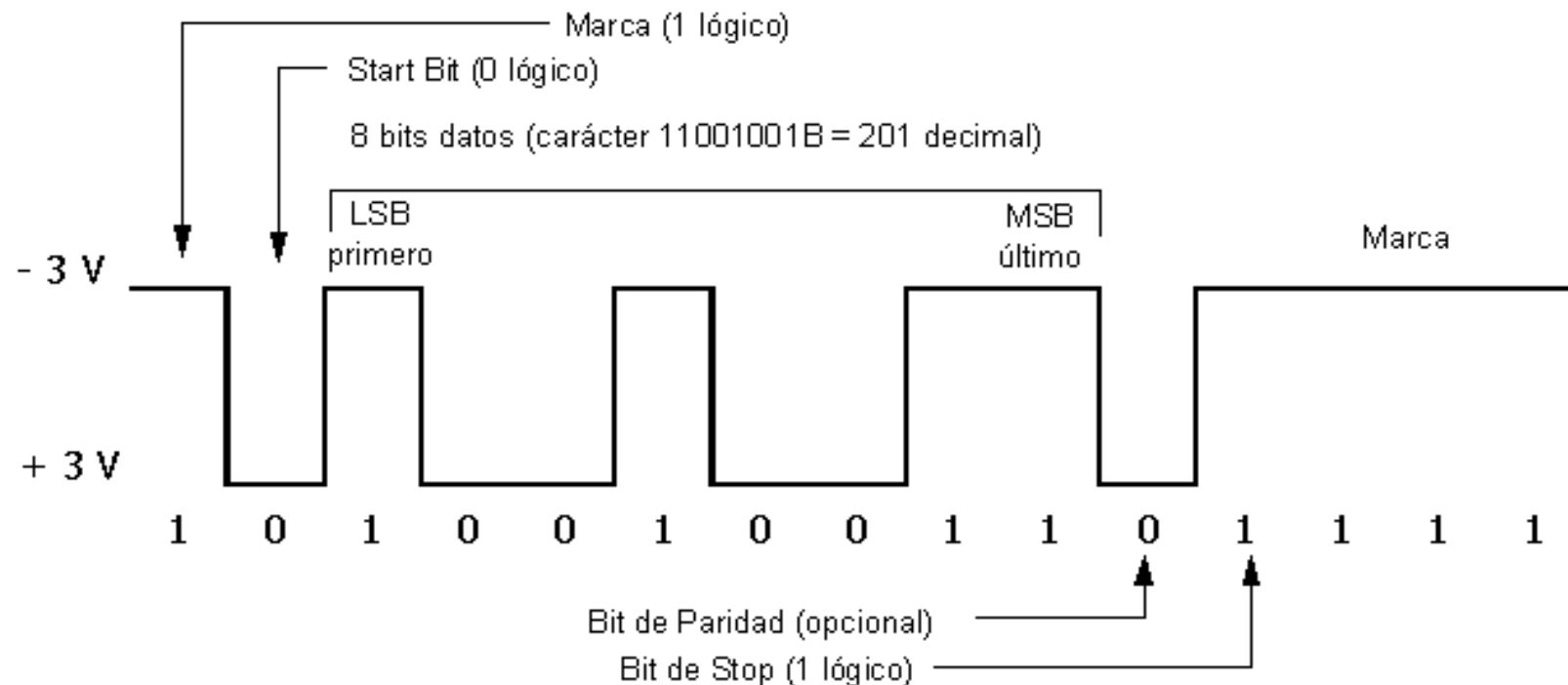
- RS232: 115 Kbit/s a 25 metros.
 - Uno lógico para voltajes más negativos que -3 V
 - Cero lógico para voltajes más positivos que +3 V
- RS422: 100 Kbit/s a 1200 metros.
 - Transmisión por lazo de corriente
 - Emisor y receptor diferencial
- RS423: 3 Kbit/s a 1200 metros. Compatibilidad
 - Emisor no diferencial
 - Receptor diferencial

[RS232: Protocolo]

- Protocolo de transmisión de una palabra:
 - Marca (HI) (línea en reposo)
 - Bit de inicio (LO) (siempre 1 solo bit)
 - Bits de datos (entre 5 y 8 bits)
 - Paridad (Par, Impar, Ninguna)
 - Bits de stop (HI) (1 ó 2 bits)
 - Marca (HI) (línea en reposo)

- Frecuencia de transmisión (*Baud rate*)
 - Baudios (velocidad bruta)
 - Bits por segundo (velocidad neta)

[RS232: Protocolo]



PROTOCOLO EN ESTE EJEMPLO:

- 1 bit de inicio
- 8 bits de datos
- 1 bit de paridad (paridad par)
- 1 bit de stop

En este ejemplo, de cada 11 bits transmitidos (baudios) solo 8 son de datos (bits por segundo, velocidad de transferencia neta)

[RS232: Señales del conector]

D-25	D-9	FUNCIÓN	NOMBRE	DIRECCIÓN
1	-	Masa Chassis	GND	-
2	3	Transmit Data	TD	SALIDA
3	2	Receive Data	RD	ENTRADA
4	7	Request To Send	RTS	SALIDA
5	8	Clear To Send	CTS	ENTRADA
6	6	Data Set Ready	DSR	ENTRADA
7	5	Masa	GND	-
8	1	Data Carrier Detect	DCD	ENTRADA
20	4	Data Terminal Ready	DTR	SALIDA
22	9	Ring Indicator	RI	ENTRADA

[RS232: Cable null modem]

- Estándar RS232 diseñado para comunicar un DTE (*Data Terminal Equipment*) con un DCE (*Data Communications Equipment*).
- RS232C contempla la comunicación un DTE con otro a través de un cable “*null modem*”:

LOCAL	REMOTO
TD	RD
RD	TD
DTR	DSR
DSR	DTR
RTS	CTS
CTS	RTS
GND	GND

[RS232: El Harris 8250]

- Controlador fabricado por Harris que cumple con las especificaciones del estándar RS232
- Algunos aspectos del estándar han sido interpretados de forma especial
- Se han añadido algunas funcionalidades
- Integrado típico en el IBM PC original
- Su evolución ha dado lugar a los 16450, 16550 (A y B), 16650 y 16750.

[RS232: El Harris 8250]

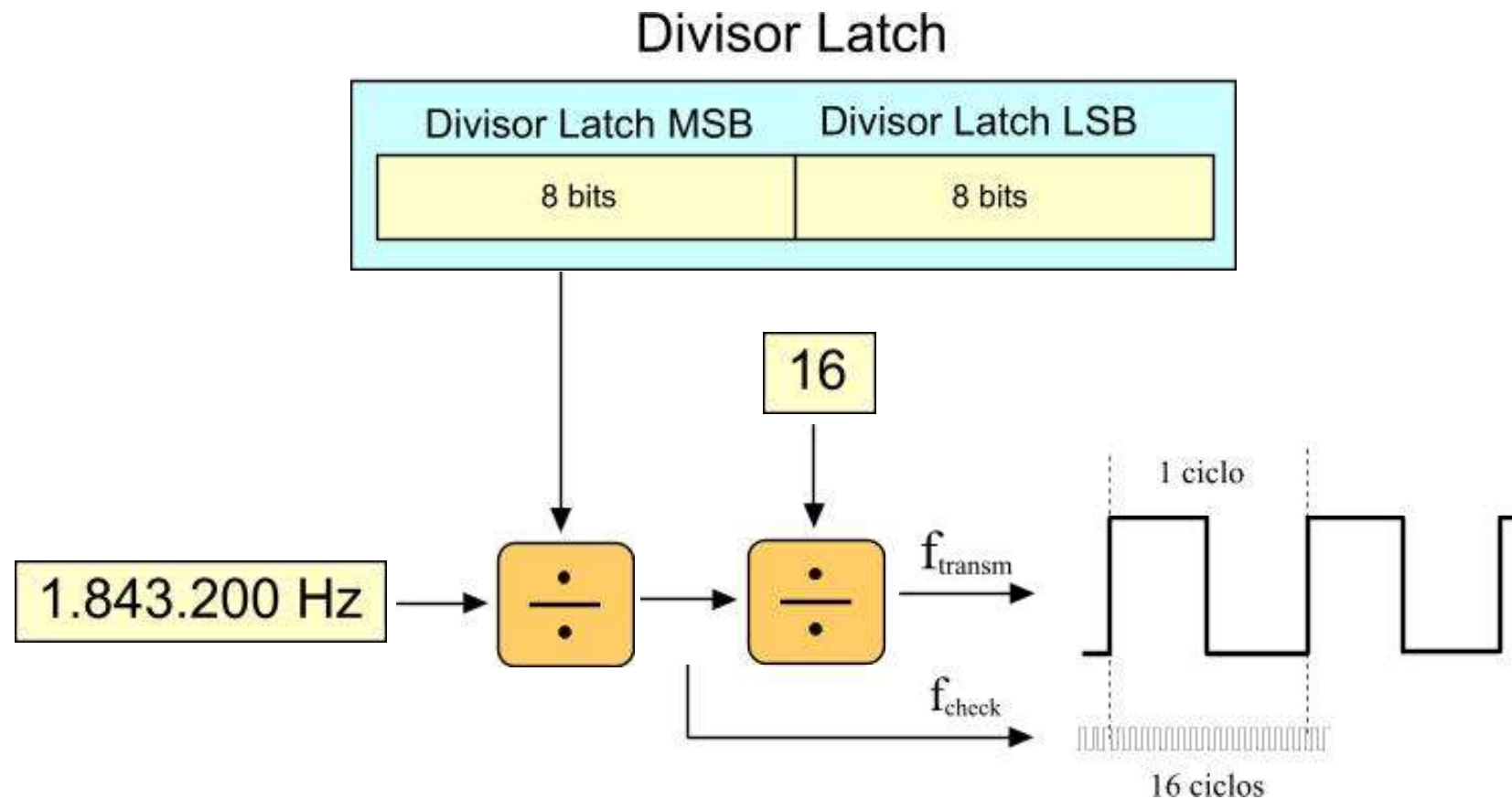
DIR	REG	NOMBRE	NOMBRE
base	RBR	Receive Buffer Register	Registro de recepción
base	THR	Transmit Holding Register	Registro de transmisión
base	DLL	Divisor Latch LSB	Byte bajo del divisor
base+1	IER	Interrupt Enable Register	Activador de interrupciones
base+1	DLM	Divisor Latch MSB	Byte alto del divisor
base+2	IIR	Interrupt Identification Register	Identificador de interrupciones
base+2	FCR	FIFO Control Register	Control de FIFOs (*)
base+3	LCR	Line Control Register	Registro de control de línea
base+4	MCR	Modem Control Register	Registro de control de protocolo
base+5	LSR	Line Status Register	Registro de estado de línea
base+6	MSR	Modem Status Register	Registro de estado de protocolo
base+7	SCR	Scratch Register	Registro de uso general

(*) Solo en controladores con FIFOs (16550 y posteriores)

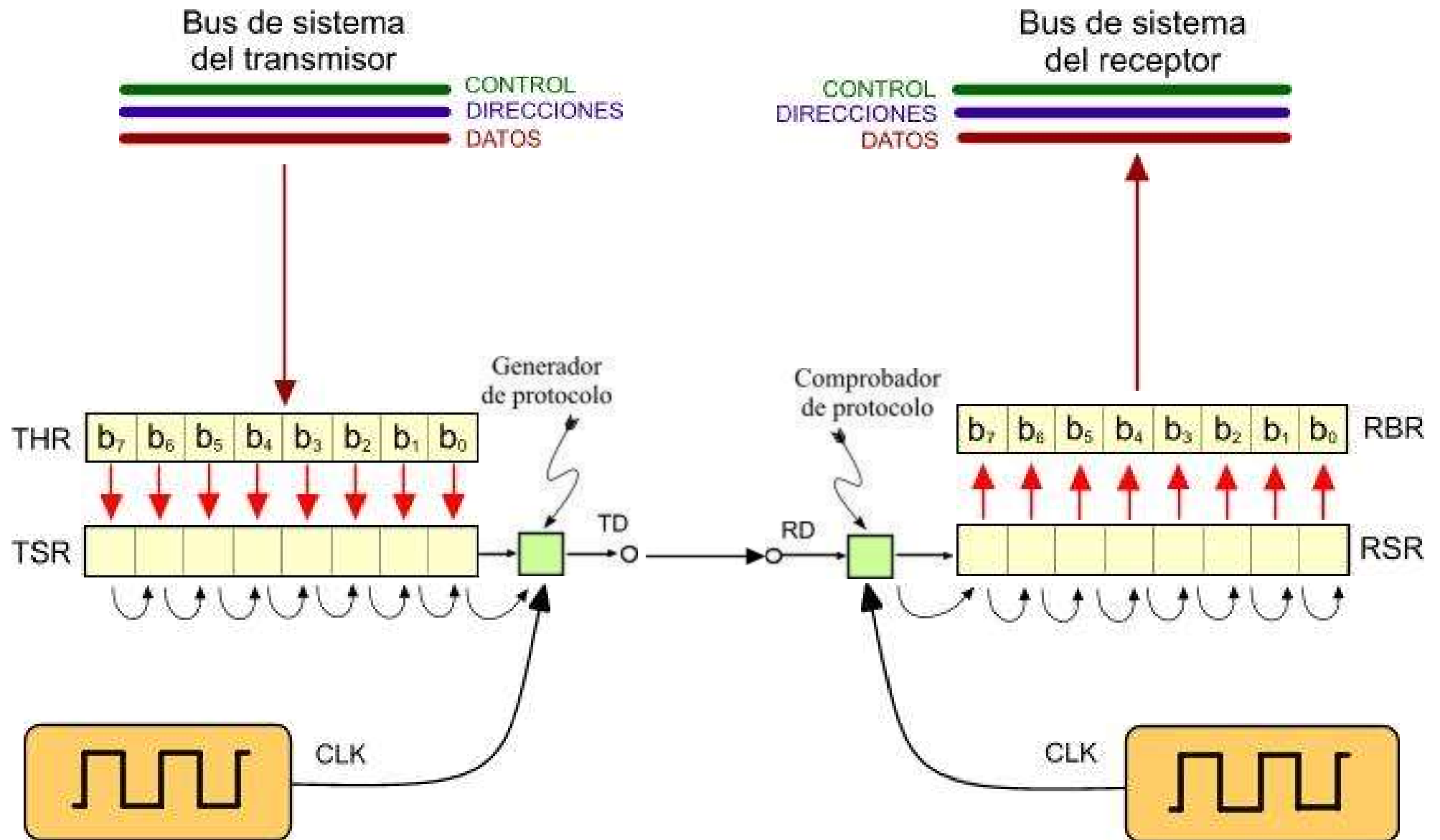
[Compartición direcciones E/S]

- Por modo de acceso
 - Lectura
 - $\text{base} \rightarrow \text{RBR}$
 - $\text{base} + 2 \rightarrow \text{IIR}$
 - Escritura
 - $\text{base} \rightarrow \text{THR}$
 - $\text{base} + 2 \rightarrow \text{FCR}$
- Por registro de control
 - bit 7 de LCR = 0
 - $\text{base} \rightarrow \text{THR/RBR}$
 - $\text{base} + 1 \rightarrow \text{IER}$
 - bit 7 de LCR = 1
 - $\text{base} \rightarrow \text{DLL}$
 - $\text{base} + 1 \rightarrow \text{DLM}$

J



[RS232: Transmisión]



LCR - Line Control Register

(base+3, R/W)

7	6	5	4	3	2	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---

1 0 Número de bits de datos $\left\{ \begin{array}{l} 00 = 5 \text{ bits} \\ 01 = 6 \text{ bits} \\ 10 = 7 \text{ bits} \\ 11 = 8 \text{ bits} \end{array} \right.$

2 Número de bits de stop $\left\{ \begin{array}{l} 0 = 1 \text{ bit} \\ 1 = 2 \text{ bits (1'5 *)} \end{array} \right.$

3 Generación/cálculo de paridad $\left\{ \begin{array}{l} 0 = \text{Sin paridad} \\ 1 = \text{Con paridad} \end{array} \right.$

5 4 Tipo de paridad:

		bit 5	
		0	1
bit 4	0	impar	0
	1	par	1

6 = 1 : Activa línea en modo espacio

7 Divisor Latch Access Bit (DLAB) $\left\{ \begin{array}{l} 0 = \text{Acceso a THR/RBR e IER} \\ 1 = \text{Acceso a DLL y DLM} \end{array} \right.$

LSR - Line Status Register

(base+5, R)

7	6	5	4	3	2	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---

0

DR (*Data Ready*): Hay un dato en RBR

1

OE (*Overrun Error*): Sobreescritura de RBR

2

PE (*Parity Error*): Detectado error de paridad

3

FE (*Frame Error*) El bit de stop no está en su sitio

4

BI (*Break Interrupt*): Recibiendo línea en modo espacio

5

1 = THR vacío Informacion que quiero transmitir

6

1 = THR y TSR vacíos el TSR transmite la informacion THR bit a bit

7

1 = Error en FIFO de recepción (16550 y posteriores)

MCR - Modem Control Register

(base+4, R/W)

7	6	5	4	3	2	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---

0

Valor de DTR (Data Terminal Ready)

1

Valor de RTS (Request To Send)

2

= 1 : Activa señal configurable usuario 1 (compat. MIDI)

3

= 1 : Activa señal configurable usuario 2 (interrupciones)

4

= 1 : Activa modo "loop back"

5

= 1 : Modo control automático de flujo (RTS-CTS) (solo 16750)

6

7

Siempre tienen que valer cero (reservados)

MSR - Modem Status Register

(base+6, R)

7	6	5	4	3	2	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---

0

= 1 : Delta CTS (CTS ha cambiado de valor)

1

= 1 : Delta DSR (DSR ha cambiado de valor)

2

= 1 : Trailing edge RI (el timbre ha dejado de sonar)

3

= 1 : Delta DCD (DCD ha cambiado de valor)

4

Valor de CTS (*Clear To Send*)

5

Valor de DSR (*Data Set Ready*)

6

Valor de RI (*Ring Indicator*)

7

Valor de DCD (*Data Carrier Detect*)

FCR - FIFO Control Register

(base+2, W)

7	6	5	4	3	2	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---

0

= 1 : Activar FIFO

1

= 1 : Borrar FIFO de recepción

2

= 1 : Borrar FIFO de transmisión

3

= 1 : Modo DMA

4

Siempre tiene que valer cero (reservado)

5

= 1 : Activar FIFO 64 bytes (solo 16750)

6

7

Nivel de interrupción: $\left\{ \begin{array}{l} 00 = 1 \text{ byte} \\ 01 = 2 \text{ bytes} \\ 10 = 8 \text{ bytes} \\ 11 = 14 \text{ bytes} \end{array} \right.$

IER - Interrupt Enable Register

(base+1, R/W)

7	6	5	4	3	2	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---

0

= 1 : Generar interrupción cuando se recibe un dato

1

= 1 : Generar interrupción cuando THR queda vacío

2

= 1 : Generar interrupción cuando cambia LSR

3

= 1 : Generar interrupción cuando cambia MSR

4

= 1 : Activa modo "sleep" (solo 16750)

5

= 1 : Activa modo ahorro energía (solo 16750)

6

7

Siempre tienen que valer cero (reservados)

IIR - Interrupt Identification Register

(base+2, R)

7	6	5	4	3	2	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---

2 1 0

Interrupción pendiente y código

BIT 2	BIT 1	BIT 0	PRIO	FLAG	ORIGEN	RESET
X	X	1	-	-	-	-
1	1	0	1 (MAX)	LSR	OE,PE,FE,BI (ver LSR)	LEER LSR
1	0	0	2	RBR	Dato en RBR	LEER RBR
0	1	0	3	THR	THR vacío	LEER IIR
0	0	0	4 (MIN)	MSR	CTS,DSR,RI,DCD (ver MSR)	LEER MSR

3

= 1 : Pendiente interrupción por *time-out* (16550 y post.)

4

Siempre tiene que valer cero (reservado)

5

= 1 : Activado FIFO de 64 bytes (sólo 16750)

6

7

Estado FIFO {
 00 = No existen FIFOs
 01 = FIFO activo pero inutilizable (16550)
 11 = FIFO activo (16550A...16750)

[Buses]

- SPI
- I²C
- RS232 (UART)
- 1-wire
- CAN
- WiFi
- Bluetooth

[WiFi



- En 1989 se creó el grupo IEEE 802.11 para crear una **Ethernet inalámbrica**.
- En 1997 se publicó el estándar.
- Posteriormente se ha mejorado con las revisiones **a**, **b**, **g** y **n**.
- El nombre WiFi viene de “**Wireless Fidelity**” y fue creado por la empresa **Interbrand**, contratada específicamente para ello.

[WiFi



- WiFi proporciona conectividad inalámbrica en áreas denominadas “*hot spots*” mediante “*access points*”.
- Su objetivo es permitir la movilidad absoluta manteniendo la conexión a las redes locales o internet a través de una estructura de “*access points*”.

[WiFi

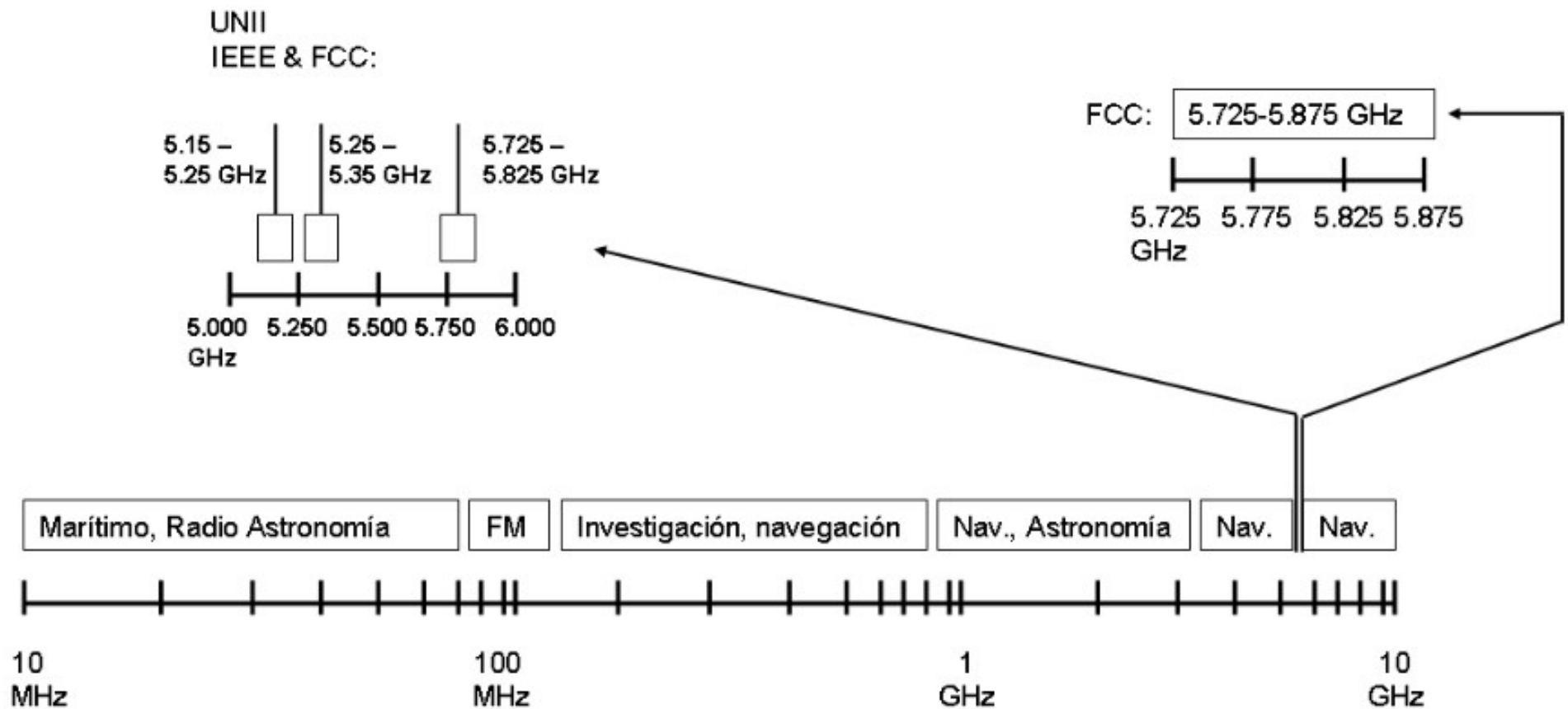


- Las frecuencias asignadas a WiFi se encuentran alrededor de los 2'4 GHz o de los 5 GHz, según la variante de que se trate.
- La variante “a” usa la banda U-NII (Unlicensed National Information Infrastructure) que no precisa de licencia y es poco usada por otros dispositivos.

[WiFi 802.11a]

- Las frecuencias asignadas a la variante “a” de WiFi se encuentran alrededor de los 5 GHz, en la zona SHF (Super High Frequency) que abarca desde 3 GHz a 30 GHz.
- En el rango de 5'25 a 5'35 GHz existen 12 canales de 20 MHz cada uno, de los cuales WiFi usa 8.

WiFi: Espectro radioeléctrico

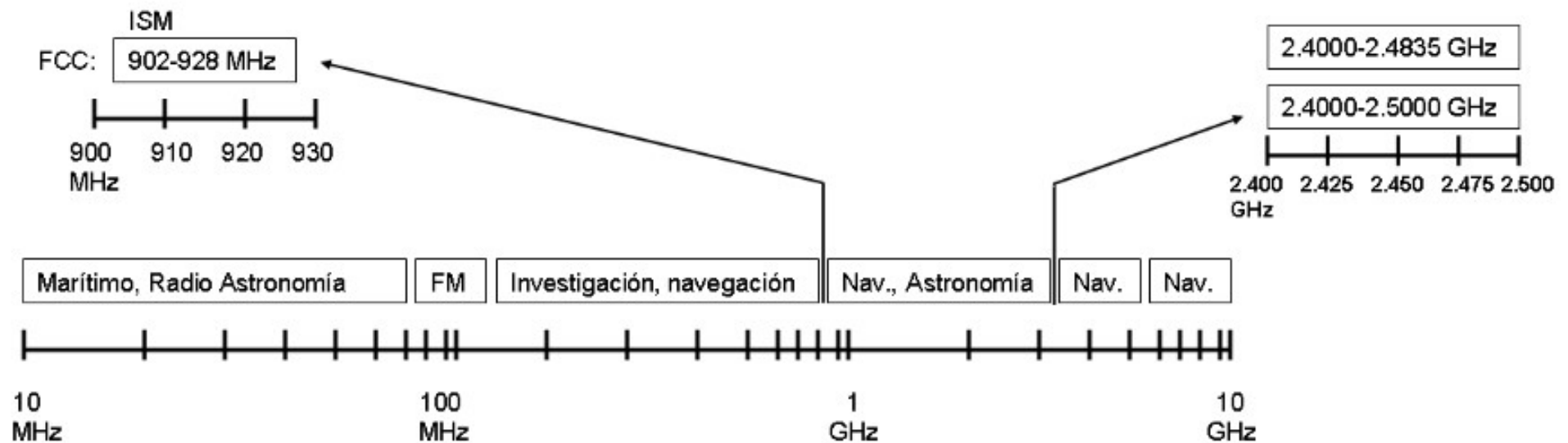


Espectro radioeléctrico de la banda UNII

[WiFi 802.11b]

- Las frecuencias asignadas a la variante “b” de WiFi se encuentran alrededor de los 2'4 GHz, en la zona **UHF** (**Ultra High Frequency**) que abarca desde 300 MHz a 3 GHz.
- En el rango de 2'4 a 2'4835 GHz existen 14 canales, de los cuales WiFi usa 11, pero solo tres de ellos simultáneamente, puesto que cada uno ocupa 25 MHz.

[WiFi: Espectro radioeléctrico]



Espectro radioeléctrico de la banda ISM de 2'4 GHz

[WiFi

	802.11a	802.11b	802.11
Fecha aprobación	Sep 1999	Sep 1999	Jul 1997
Banda de frecuencia	5'15 a 5'35 GHz 5'725 a 5'825 GHz	2'4 a 2'4835 GHz	2'4 a 2'4835 GHz
Ancho de banda disponible	300 MHz	83'5 MHz	83'5 MHz
Número de canales sin solape	12	3	3
Tasa de transmisión por canal	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbits/s	1, 2, 5'5, 11 Mbits/s	1'2 Mbits/s
Tipo de modulación	OFDM	DSSS	FHSS, DSSS

[WiFi 802.11n]

- En 2009 se publicó la revisión “n” del estándar 802.11 mejorando el alcance y el ancho de banda:
 - **MIMO (Multiple Input Multiple Output)**. Utiliza múltiples antenas emisoras y receptoras.
 - **Channel Bonding (40 MHz)**. Usa dos canales adyacentes de 20 MHz.
 - **Multiplexado de División Espacial (SDM)**. También requiere varias antenas.
- Se consiguen 300 Mbps y hasta 300 m.

[Buses]

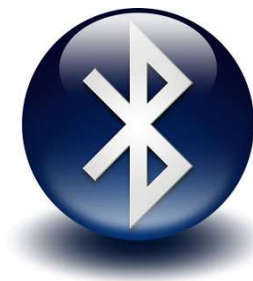
- SPI
- I²C
- RS232 (UART)
- 1-wire
- CAN
- WiFi
- Bluetooth

[Bluetooth



- El estándar surgió en 1994 creado por **Jaap Haartsen** y **Mattisson Sven** trabajando en Lund, Suecia, para la compañía **Ericsson**.
- Recibe el nombre del vikingo **Harald Bluetooth**, rey de Dinamarca en los años 900. Durante su reinado unificó Noruega y Dinamarca e instauró el cristianismo.
- El estándar estaba pensado para **redes de datos**, pero su potencial llevó a explotar sus posibilidades.

[Bluetooth



- Para supervisar su desarrollo se creó en 1998 el **Special Interest Group (SIG)** formado por **Intel, IBM, Nokia y Toshiba**.
- En la actualidad este grupo se ha extendido a 3Com, Ericsson, IBM, Intel, Lucent, Microsoft, Motorola, Nokia, Toshiba y muchas más.
- El SIG se preocupa especialmente de asegurar la **compatibilidad**.

[Bluetooth



- Las características de los dispositivos Bluetooth se centran en tres aspectos:
 - **Bajo consumo:** Alrededor de $10 \mu\text{A}$ en modo espera y 50 mA para transmisión o recepción.
 - **Tamaño reducido:** Chips de alrededor de 9 mm^2 .
 - **Bajo precio.**

[Bluetooth]

- Existen dos conceptos importantes en cuanto a dispositivos Bluetooth:
 - **Modelos de utilización:** Se refieren a las propuestas de productos y aplicaciones.
 - Acceso a Internet: El dispositivo busca conexiones en el entorno.
 - Headset: Proporciona comunicación sin necesidad de utilizar el terminal.
 - Sincronización automática.
 - **Perfiles:** Cómo desarrollar los protocolos para conseguir la interoperatividad deseada.

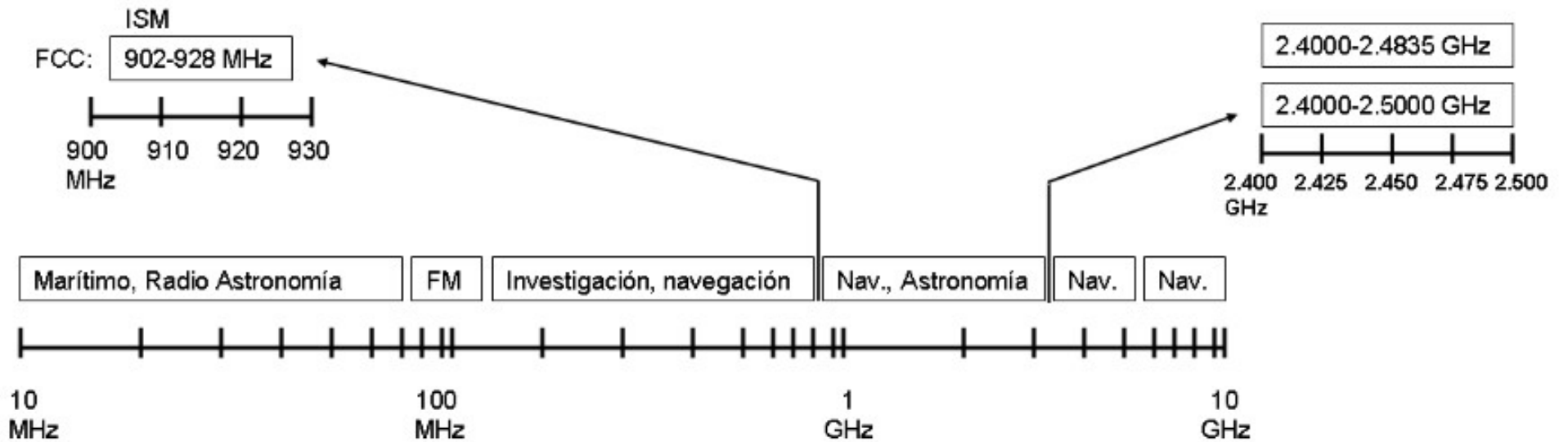
[Bluetooth]

- Un aspecto determinante en una tecnología inalámbrica es el **rango de frecuencias** que emplea.
- Determina las propiedades de la comunicación, **potencia** utilizable y el posible coste en **licencias** de transmisión.
- Establece el **tamaño** de las antenas.
- Bluetooth trabaja en la banda mundial sin licencia **ISM** (**Industrial Scientific and Medical**) de 2'4 GHz de UHF (300 MHz – 3 GHz).

[Bluetooth]

- ISM está definida para las frecuencias comprendidas entre 902 y 908 MHz y las comprendidas entre 2'4 y 2'484 GHz.
- Bluetooth opera entre 2'4 y 2'484 GHz.
- Al no precisar licencia es una **tecnología económica**.
- Al tratarse de una banda de **ámbito mundial** proporciona **total compatibilidad**.

[Bluetooth]



Espectro de frecuencias de la banda ISM

[Bluetooth]

- El número de **canales** varía de unos países a otros.
- En **España** hay **28 canales**.
- En algunos países se puede utilizar hasta 79 canales.
- El **ancho de banda** o separación entre canales es de **1 MHz**.

Región	Rango Regulatorio	Canales
Estados Unidos, Europa	2.4 – 2.4835 GHz	79
España	2.445 – 2.475 GHz	23
Japón	2.4 – 2.4835	79

[Bluetooth]

- Para **evitar interferencias** se emiten señales de **1 mW** (frente a los hasta 3 W de algunos teléfonos móviles).
- Pese a ello, las señales pueden **atravesar** ciertos objetos (a diferencia de IrDA que necesita línea de visión).
- Hasta **ocho dispositivos** pueden conectarse entre sí en un radio de unos 10 metros.
- Para evitar colisiones cada dispositivo **cambia su frecuencia** de transmisión 1600 veces por segundo (**spread-spectrum frequency hopping** / ampliación de espectro por salto de frecuencia).

[Bluetooth]

- Cuando dos dispositivos se detectan, establecen automáticamente un **diálogo** y deciden si necesitan conectarse.
- Si establecen conexión, constituyen una red “**personal area network**” (PAN) o piconet.
- Cualquier otro dispositivo que no forme parte de la piconet es ignorado.
- La **dirección única** de cada dispositivo indica las funcionalidades que contiene.

[Bluetooth]

- A partir del estándar original que contenía ciertas deficiencias y fallos se han introducido **mejoras**:
 - En la potencia, ampliando la original de 1 mW (clase 3 – 1 m) a 2'5 mW (clase 2 – 10 m) y 100 mW (clase 1 – 30 m).
 - En el ancho de banda:
 - 1.2: 1 Mbit/s.
 - 2.0: 3 Mbit/s.
 - 3.0: 24 Mbit/s.
 - 4.0: 24 Mbit/s.

[Bluetooth. Versión 1.0]

- Presentaba multitud de **problemas de compatibilidad** entre dispositivos de diferentes fabricantes.
- Incorporaba la identificación del dispositivo por hardware y se usaba en cada transmisión, haciendo **imposible el anonimato**.

[Bluetooth. Versión 1.1]

- Ratificado como estándar IEEE 802.15.1-2002.
- Se resolvieron muchas deficiencias de la versión 1.0.
- Se añadieron canales no cifrados.
- Se incorporó medición de RSSI.

[Bluetooth. Versión 1.2]

- **Conexión rápida** y Discovery (detección de dispositivos).
- Mayor **velocidad de transmisión** que en 1.1 (hasta 721 Kbit/s).
- Optimización de la transmisión de audio con **reenvío de paquetes corruptos**.
- **Host controller** con interfaz UART de tres hilos.
- Ratificado como estándar 802.15.1-2005

[Bluetooth. Versión 2.0]

- Incorporación de **EDR** (**Extended Data Rate**) llegando teóricamente a los 3 Mbit/s y en la práctica a 2'1 Mbit/s.
- EDR es una opción, de forma que los dispositivos que la incorporan se denominan V2.0+EDR.
- Presenta un **menor consumo de energía** gracias a un ciclo de trabajo reducido.

[Bluetooth. Versión 2.1]

- Incorporación de **SSP** (**Secure Simple Pairing**) que mejora el emparejamiento y aumenta la seguridad.
- Otra mejora es **EIR** (**Enhanced Investigation Response**) que mejora la fase de búsqueda y localización de dispositivos en el rango de alcance.

[Bluetooth. Versión 3.0]

- Utiliza un enlace 802.11 (**WiFi**) para la transmisión de datos a una velocidad de **hasta 24 Mbit/s**.
- La búsqueda, negociación y emparejamiento se realiza mediante Bluetooth.
- Permite utilizar **MAC/PHY** para la transmisión de grandes cantidades de datos a costa de un aumento del consumo.

[Bluetooth. Versión 4.0]

- Conserva las características de la versión 3.0 mejorando considerablemente el **consumo** en determinados modos.
- Pensado para dispositivos de un único chip alimentados con **pila de botón**.

EI1062 – IR2162

Diseño de sistemas empotrados y de tiempo real

Tema 4 – Comunicaciones
en sistemas empotrados (II)

Grado en Ingeniería Informática

Grado en Inteligencia Robótica