

# Capítulo 2

## Plataforma hardware

Este capítulo se centrará en describir los dispositivos físicos más importantes que se utilizarán en el desarrollo del trabajo. Más concretamente, se trata de sensores inalámbricos, y de una pasarela que permitirá conectar la red inalámbrica de éstos con una red de área local o Ethernet.

En primer lugar se estudian las partes *hardware* del sensor utilizado: microcontrolador principal, chip de radio o convertidor serie-USB. Asimismo, se explican los fundamentos de los protocolos o estándares de radio IEEE 802.15, ZigBee y DASH7.

Después, se trata la pasarela, detallando sus principales características y funciones.

### 2.1 Sensores inalámbricos

Aspectos físicos del sensor inalámbrico usado para realizar el trabajo.

Se trata del modelo Tmote Sky, cuya comercialización la realizaba la empresa Moteiv, ahora Sentilla<sup>9</sup>. Información detallada en (Sentilla (Moteiv), 2006) y (Sentilla (Moteiv), 2006).

En la Figura 2.1 y Figura 2.2 se muestra el aspecto del sensor por ambas caras del circuito impreso. Mide unos 66 mm de largo y 32 mm de ancho (sin tener en cuenta el conector USB).

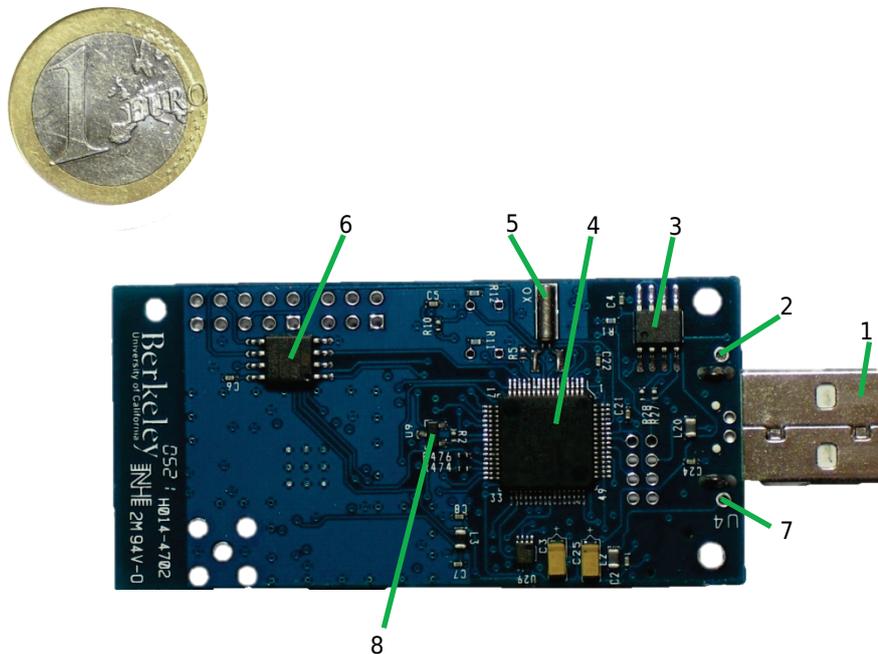


Figura 2.1 Parte trasera del Tmote Sky

- (1) Conector USB estándar tipo A. Además de transferencia de datos, proporciona potencia al sensor. (2) Conector negativo para el portapilas (dos del tipo AA). (3) Memoria tipo EEPROM para la conexión USB. Permite identificar al sensor cuando se conecta al puerto. (4) Microcontrolador principal, MSP430F1611 de Texas Instruments. Véase 2.1.1. (5) Oscilador de cristal a 32kHz. (6) Memoria Flash de bajo voltaje con 8 Mb de capacidad. (7) Conector positivo para el portapilas. (8) Chip que contiene almacenado un identificador único de 48 b para el puerto serie.

<sup>9</sup> Moteiv era la empresa dedicada a la fabricación sensores para redes inalámbricas. Sus productos más conocidos son Tmote Sky y el firmware Tmote Connect. Fundada en 2003 con sede en San Francisco (California). Por su parte, Sentilla es la empresa centrada en gestión y eficiencia del consumo energético. Proporciona soluciones software para optimizar y automatizar todo tipo de procesos. Moteiv pasa a ser ahora Sentilla (de hecho, parte del equipo de Sentilla pertenecía a Moteiv). También tiene sede en California (Redwood City).

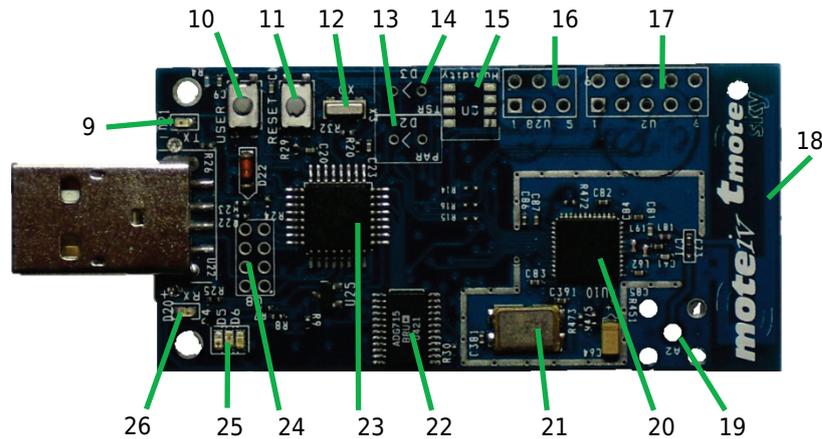


Figura 2.2 Parte frontal del Tmote Sky

(9) LED indicador de transmisión de datos desde el sensor. (10) Pulsador de usuario. Se usa como botón de propósito general. (11) Botón de reseteo. Cuando se presiona, establece un nivel bajo en el pin RST del microcontrolador, lo que obliga a reiniciar el programa que hubiera cargado en él. (12) Resonador a 6MHz, para controlar el chip de interfaz USB. (13) Conexión para el sensor opcional PAR (Photosynthetically Active Radiation). (14) Conexión para un sensor opcional TSR (Total Solar Radiation). (15) Conexión para sensor de temperatura/humedad opcional. (16) Pines de expansión U28 (reset, convertidor A-D, entrada-salida digital de propósito general...). (17) Pines de expansión U2 (conversión A-D, conexión serie UART, bus I2C...). (18) Antena de radio grabada en placa (interna). (19) Conector de tipo SMA para la conexión de una antena (externa). (20) Circuito integrado para el manejo de la interfaz radio. CC2420 de Chipcon Products. Véase 2.1.5. (21) Oscilador a 16MHz para el chip de radio. (22) Consta de ocho interruptores internos activados digitalmente. Establece la secuencia de arranque del sensor. (23) Chip para la interfaz USB. Permite utilizar un conector de este tipo y adaptarlos al microcontrolador, como si de un puerto serie RS232 se tratase. Véase 2.1.6. (24) Pines de expansión para interfaz JTAG (permite probar módulos y depurar el programa en ejecución). (25) Tres LED de usuario de propósito general (en este modelo, rojo-verde-azul). (26) LED indicador de recepción de datos hacia el sensor.

### 2.1.1 Microcontrolador MSP430F1611

Se trata del modelo de microcontrolador que incluye el sensor (Texas Instruments, 2009) y (Texas Instruments, 2006). En la Figura 2.3 se muestra el diagrama con los bloques fundamentales que componen el integrado. La familia MSP430 (Texas Instruments) comprende microcontroladores concebidos para trabajar en aplicaciones que requieran de cierta eficiencia energética (como es el caso de los motes, que suelen funcionar con baterías).

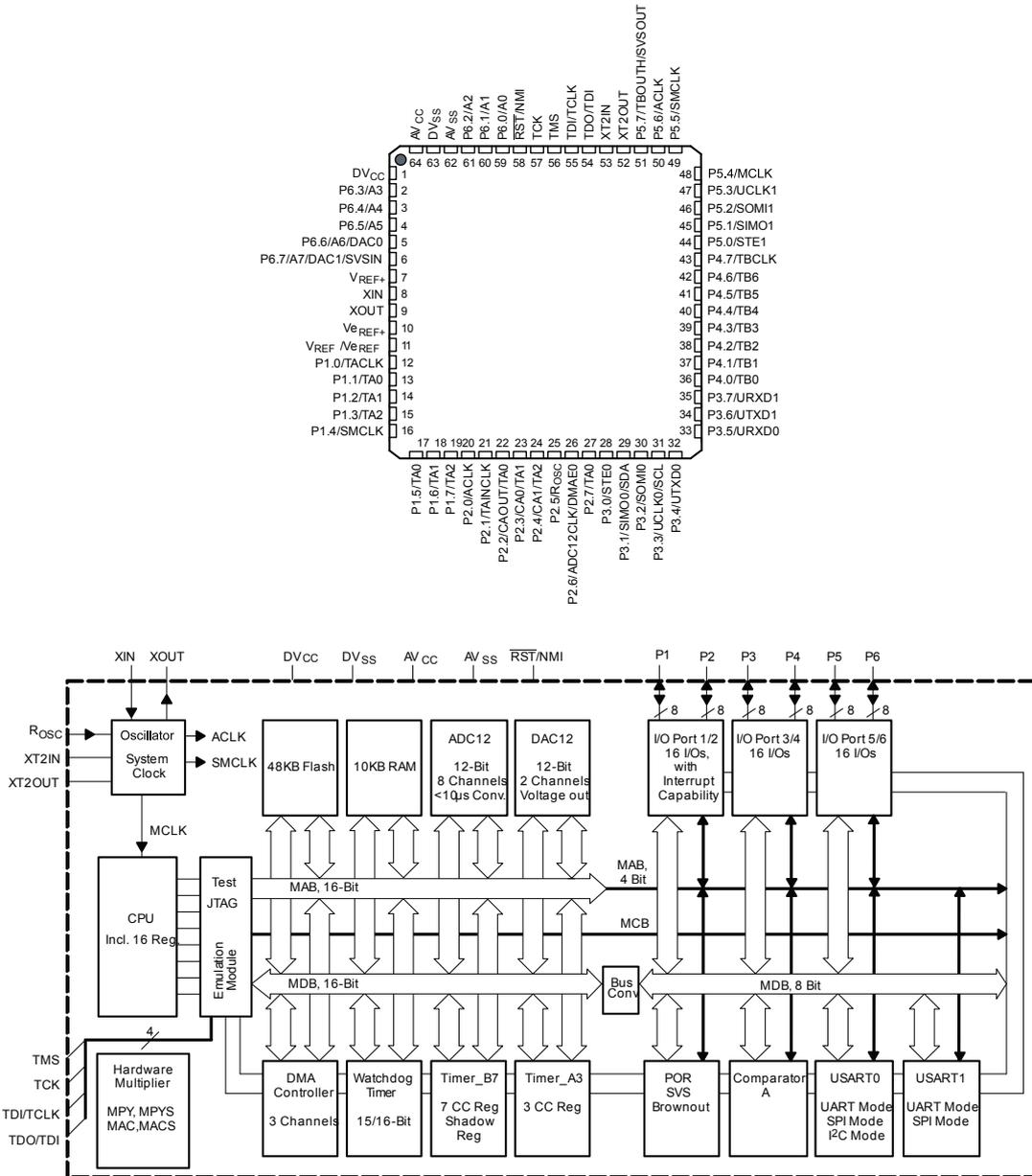


Figura 2.3 Encapsulado (a) y diagrama de bloques (b) del MSP430F1611

CPU de 16 bit de tipo RISC. Además incluye dos temporizadores de 16 bit, convertidor analógico-digital rápido de 12 bit, un convertidor digital-analógico, dos unidades de comunicación serie síncrona/asíncrona, puerto I<sup>2</sup>C, o uso de acceso directo a memoria (DMA). Además, el usuario puede disponer de hasta 48 pines de entrada/salida.

Algunas de sus características:

- Arquitectura RISC de 16 bit, con un ciclo de instrucción de 125 ns .
- Tensión de alimentación baja: de 1.8 V a 3.6 V .
- Niveles de potencia (intensidad) muy bajos: 330 $\mu$  A en activo, en modo *standby* 1.1 $\mu$  A y modo apagado 0.2 $\mu$  A .

- Hasta cinco modos de ahorro de energía, para aumentar la duración de las baterías. Recuperación desde el estado *standby* en menos de  $6\mu s$ .
- Tres canales internos DMA.
- Convertidores analógico-digital (CAD) y digital-analógico (CDA) de 12 bit.
- Dos temporizadores de 16 bit configurables.
- Puertos de comunicación serie, pudiendo funcionar como UART, modo síncrono SPI o interfaz I<sup>2</sup>C (solamente uno de ellos).
- Memoria: flash de 48 KB+ 256 B. RAM de 10 KB.

### 2.1.2 Interfaz radio. IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4 (primera versión de 2003) es el estándar que define la capa<sup>10</sup> de nivel físico y parte de enlace para redes inalámbricas de área personal y de baja tasa de transmisión de datos (conocidas por su acrónimo en inglés *LR-WPAN*). Los objetivos principales son facilidad en la instalación, una transferencia de datos fiable, operación en un pequeño rango de cobertura, coste mínimo y larga duración de batería, todo ello en un protocolo sencillo a la par que flexible.

Entre sus principales características:

- Tasas de transferencia de datos de 20 kbps , 40 kbps y 250 kbps .
- Configuración de la red en estrella o mallado total (*peer-to-peer*).
- Direccionamiento (corto) de 16 b o extendido (de 64 b).
- Asignación de intervalos de tiempo garantizados (GTS).
- Uso de CSMA-CA<sup>11</sup> como técnica de acceso al medio.
- Mecanismo de asentimientos para garantizar fiabilidad en las transmisiones.
- Consumo de energía muy pequeño.
- Control de potencia, e indicación de calidad del enlace (LQI<sup>12</sup>).

---

<sup>10</sup> Según el modelo OSI (*Open System Interconnection*) se tienen hasta siete capas (de abajo a arriba en la pila) son: físico, enlace de datos, red, transporte, sesión, presentación y aplicación.

<sup>11</sup> *Carrier Sense Multiple Access (Collision Avoidance)*.

<sup>12</sup> *Link Quality Indication*. Este valor es utilizado por los protocolos de comunicación por radio.

- 1 canal en la banda 868 MHz , 10 en la de 915MHz y 16 canales en 2450 MHz .

Para construir una red de tipo LR-WPAN existen dos tipos de dispositivos: FFD y RFD<sup>13</sup>. El FFD puede funcionar en tres modos: como coordinador de red de área personal (PAN), como coordinador, o como un simple dispositivo. Por su parte, RFD está concebido para aplicaciones muy simples, como un interruptor o un sensor infrarrojo, es decir, con poco consumo de recursos y memoria.

Un FFD puede comunicarse tanto con RFD como con otros FFD, mientras que un RFD solo puede hacerlo con un FFD.

Con esto, se definen dos tipos de topología de red: estrella y *peer-to-peer*.

### TOPOLOGÍA EN ESTRELLA

Tal y como se muestra en la Figura 2.4, se tienen varios dispositivos que establecen una comunicación con un único controlador central, denominado coordinador de PAN. Este coordinador puede iniciar, terminar o reencaminar tráfico alrededor de la red establecida.

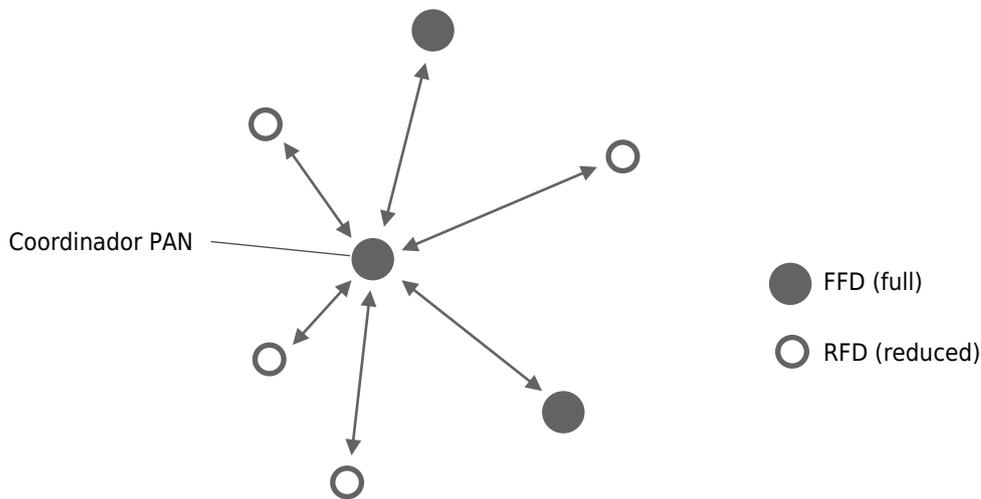


Figura 2.4 Topología estrella 802.15.4

<sup>13</sup> *Full-Function Device y Reduced-Function Device, respectivamente.*

El coordinador de la red es de tipo FFD, pero con funcionalidad de coordinador PAN. Cada dispositivo establece comunicación bidireccional con el coordinador.

Todos los dispositivos operan con direcciones de red extendidas y únicas. Pueden usarse para comunicarse directamente con el coordinador, o pueden mapearse (una vez está conectado el dispositivo) a una dirección corta.

Las aplicaciones típicas son automatización del hogar, periféricos del PC, juegos, o sistemas de monitorización de salud.

### TOPOLOGÍA PEER-TO-PEER

También se tiene un coordinador de la red PAN, si bien ahora, cualquier dispositivo puede establecer conexión con otro (siempre que se encuentre en su rango de cobertura). Por tanto, las conexiones establecidas son más complejas (del mismo tipo que una red mallada). En la Figura 2.5 se muestra un ejemplo.

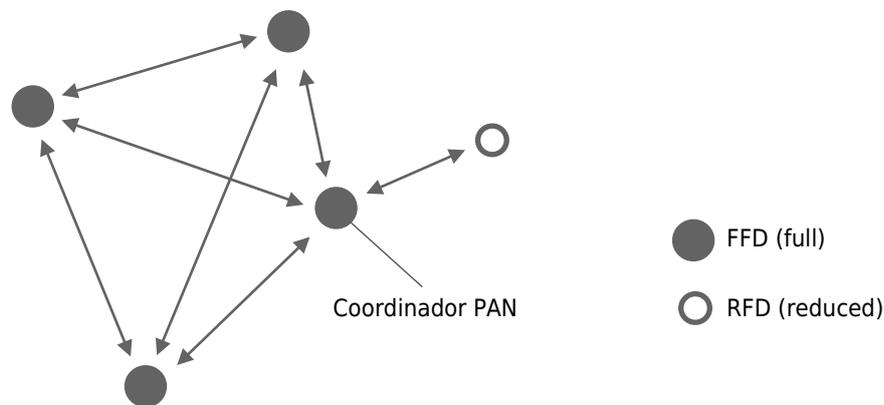


Figura 2.5 Topología peer-to-peer 802.15.4

Cada nodo establece comunicación con todos los que estén a su alcance. Al existir más enlaces, habrá una mayor transferencia de datos, pero la red será más fiable.

Una red puede ser de tipo *ad-hoc*, puede organizar sus propias rutas, o incluso podría recuperarse ante errores. Existen protocolos que permiten enviar datos

desde un nodo hasta otro, pasando por nodos intermedios (cubriendo así mayores distancias).

Topología útil para control y monitorización industriales, redes de sensores inalámbricos, agricultura inteligente...

Un caso especial, basado en la topología *peer-to-peer* es el *cluster tree* o red en árbol. En ella la mayoría de los nodos son de tipo FFD. Se pueden agregar varios bloques de este tipo, para formar una red de más alcance (Figura 2.6). La desventaja de tener una red con mucha cobertura es que aumenta la latencia de los mensajes.

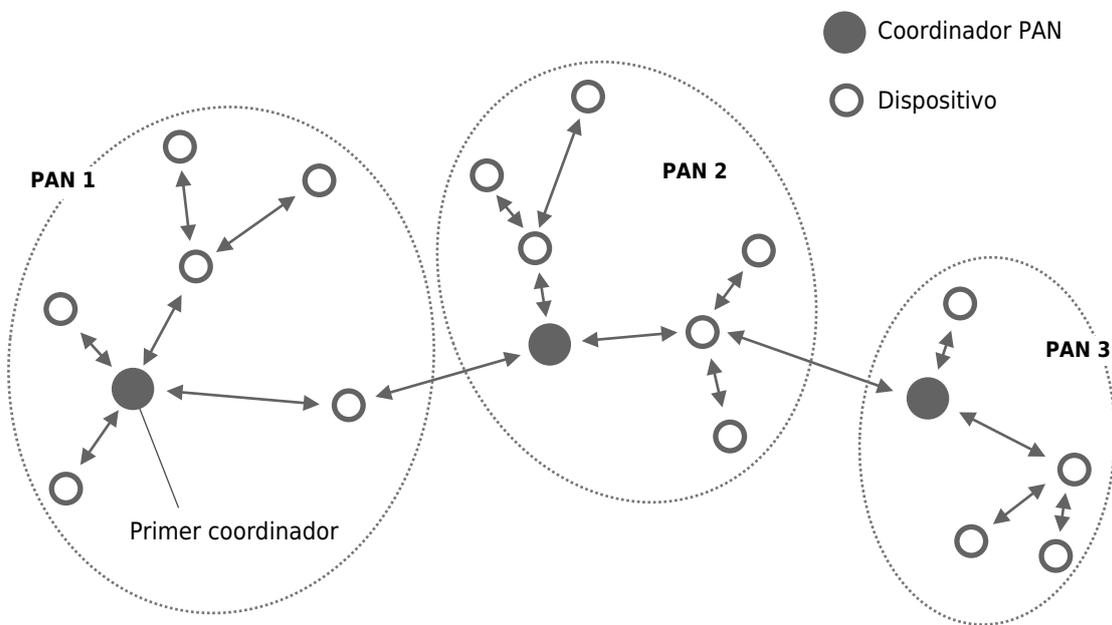


Figura 2.6 Topología cluster tree 802.15.4

\* \* \*

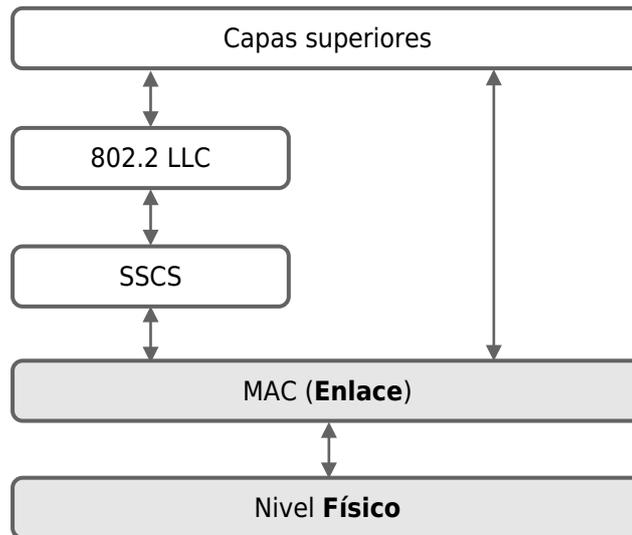


Figura 2.7 Modelo de capas para 802.15.4

La parte física (PHY) se encarga del transceptor de radiofrecuencia con un mecanismo de control de bajo nivel. La subcapa MAC proporciona acceso al canal físico para cualquier tipo de transferencia (nivel superior). En un estándar diferente (IEEE 802.2) se define la parte de control de enlace lógico (LLC), que accede a MAC a través de una capa de convergencia SSCS.

### CAPA FÍSICA (PHY)

Se encarga de tareas como: activación/desactivación del transceptor radio, control de potencia para el canal activo, medición de nivel LQI para los paquetes recibidos, protocolo de acceso CSMA-CA, selección de la frecuencia para un canal determinado, envío/recepción de datos procedentes de niveles superiores.

En la Tabla 2.1 se muestran las frecuencias y las tasas de transmisión definidas en esta norma.

PHY (MHz)	Banda (MHz)	Modulación	Tasa de chip (kchip/s)	Tasa de datos (kbps)
868/915	868.0-868.6	BPSK	300	20
	902.0-928.0	BPSK	600	40
2450	2400.0-2483.5	O-QPSK	2000	250

Tabla 2.1 Parámetros capa física IEEE 802.15.4-2003

Las modulaciones usadas son BPSK (Binary Phase-Shift Keying) y O-QPSK (Orthogonal-Quadrature Phase-Shift Keying). Los pulsos o chips son usados como técnica de espectro expandido por secuencia directa (o DSSS).

El chip CC2420 utiliza la banda (universal) de los 2450 MHz en la cual se han definido 16 canales, cuyas frecuencias centrales  $F_C$  vienen dadas por la expresión

$$F_C = 2405 + 5(k - 11) \text{ MHz} \quad k = 11, 12, \dots, 26 \quad (2.1)$$

Se han publicado revisiones a la primera versión del estándar. Por ejemplo, en la versión de 2006, se modifican las asignaciones de frecuencias, quedando como se muestran en la Tabla 2.2.

PHY (MHz)	Banda (MHz)	Modulación	Tasa de chip (kchip/s)	Tasa de datos (kbps)
868/915	868.0-868.6	BPSK	300	20
	902.0-928.0	BPSK	600	40
868/915 (opcional)	868.0-868.6	ASK	400	250
	902.0-928.0	ASK	1600	250
868/915 (opcional)	868.0-868.6	O-QPSK	400	100
	902.0-928.0	O-QPSK	1000	250
2450	2400.0-2483.5	O-QPSK	2000	250

Tabla 2.2 Parámetros capa física IEEE 802.15.4-2006

*Las modulaciones empleadas son BPSK (Binary Phase-Shift Keying), ASK (Amplitude Phase-Shift Keying) y O-QPSK (Orthogonal-Quadrature Phase-Shift Keying). Los pulsos o chips son usados como técnica de espectro expandido por secuencia directa (o DSSS).*

La última revisión del mismo es IEEE 802.15.4d, de 2009 (se añaden modulaciones BPSK y GMSK<sup>14</sup> en la banda japonesa de 950 MHz).

Es importante tener en cuenta que existen tecnologías que funcionan conjuntamente en la banda de los 2.4 GHz :

- Los canales de IEEE 802.15.4 se extienden desde 2405 MHz hasta 2480 MHz .
- Estándar de modulación inalámbrico IEEE 802.11b/g (conocido comercialmente como Wi-Fi) ofrece canales desde 2412 MHz hasta 2484 MHz .
- Comunicaciones Bluetooth, en el rango [2402, 2480] MHz .

<sup>14</sup> Gaussian Minimum Shift Keying.

### SUBCAPA DE ACCESO AL MEDIO (MAC)

Entre las tareas a realizar por esta subcapa de nivel de enlace se encuentran: generar balizas de red (en caso de que se trate de un nodo coordinador), sincronización de dichas balizas, soporte para la asociación/disociación de nodos, seguridad, implementación del algoritmo de acceso al canal CSMA-CA, control del mecanismo de asignación de intervalos temporales, proporcionar un enlace fiable entre dos entidades pares MAC.

### 2.1.3 Interfaz radio. ZigBee

ZigBee<sup>15</sup> hace referencia a un conjunto de protocolos de alto nivel diseñados para redes inalámbricas de muy bajo consumo. Está diseñado para cumplir con requisitos de coste mínimo, consumo mínimo y ser suficientemente flexible para funcionar en muchos ámbitos.

Debido al gran abanico de mercado que existe, la Alianza ZigBee ha creado protocolos para gestión de edificios comerciales, electrónica de consumo, gestión y ahorro de energía, sistemas de control de salud, gestión doméstica y por supuesto, telecomunicaciones.



Figura 2.8 Aplicaciones ZigBee

*El trabajo realizado podría enmarcarse en varios ámbitos de aplicación: casa/edificio, energía...*

<sup>15</sup> Oficialmente denominada ZigBee 2007.

La especificación ZigBee permite crear una red mallada capaz de soportar más de 64000 dispositivos. Además, son compatibles las áreas mostradas en la Figura 2.8.

Existen dos implementaciones de ZigBee, denominadas ZigBee y ZigBee PRO. La primera está preparada para soportar cientos de nodos en una única red; la segunda, es preferida por desarrolladores de aplicaciones: permite montar redes de miles de dispositivos. Ambos tipos son compatibles entre ellos.

La Alianza ZigBee proporciona mejoras al estándar ya comentado IEEE 802.15.4, añadiendo capas de gestión de red, seguridad y aplicación. Algunas de las características de ZigBee:

- Operación en 2450 MHz , según indica IEEE 802.15.4, particularizando en bandas regionales 868 MHz y 915 MHz.
- Capacidad para trabajar en cualquiera de los 16 canales de 2450 MHz
- Mecanismos de ahorro de potencia.
- Diversos modos de transmisión, incluyendo difusión.
- Algoritmo de generación de claves de seguridad. Uso del estándar AES-128.
- Soporte de los estándares propios de la Alianza y específicos de fabricantes.

En cuanto a la topología de red, en ZigBee se definen tres tipos de elementos: *ZigBee Coordinator (ZC)*, *ZigBee Router (ZR)* y *ZigBee End Devices (ZED)*.

Por hacer una analogía con IEEE 802.15.4, un nodo ZC equivaldría a un FFD con funcionalidad de coordinador de PAN; ZR es un FFD que no es coordinador (pero que puede funcionar como tal en su ámbito de acción); y ZED, podría ser tanto un RFD como un FFD.

El coordinador ZC controla la estructura y seguridad de la red. Es el nodo raíz de una red de tipo árbol. Almacena información sobre la red, como claves de seguridad. El encaminador ZR permite extender el alcance de la red, interconectando dispositivos distantes. Los dispositivos finales ZED realizan las tareas propias de sensorización, actuación o control. Un nodo ZigBee puede implementar varias de estas funciones en un mismo *hardware*, si bien lo ideal es que solo funcionen como nodos finales, pudiendo así ahorrar en recursos y energía.

Respecto a las topologías de red, la capa de red ZigBee permite crear redes de tipo estrella, árbol y de mallado. Se deben seguir estas reglas:

- Un nodo final (ZED) sólo puede comunicarse con un encaminador (ZR) o con el coordinador (ZC).
- Los encaminadores pueden conectarse entre ellos y con el coordinador de la red.
- Encaminadores y coordinadores no pueden pasar a estado de bajo consumo (*sleep*). Necesitan reenviar cualquier paquete que les llegue. Por su parte, los nodos finales sí pueden pasar a *sleep* (ahorro de energía).

El caso más sencillo es una estructura en estrella (Figura 2.9) en la que existe un coordinador (ZC), y el resto son nodos o dispositivos finales (ZED).

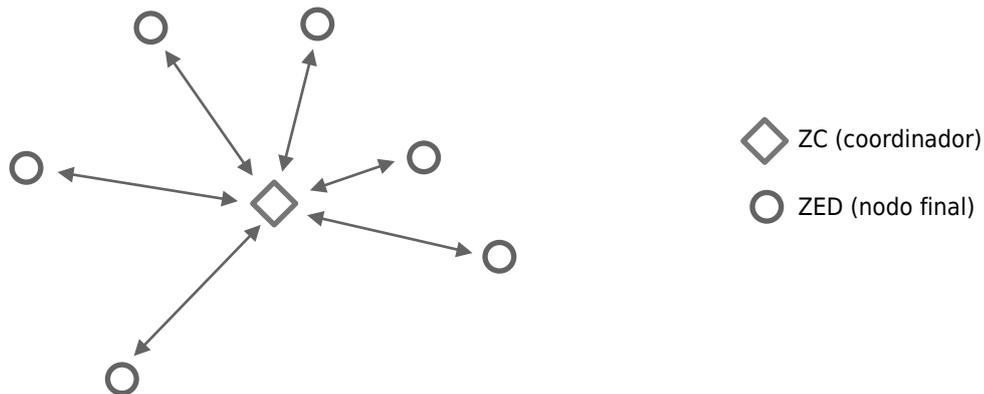


Figura 2.9 Topología estrella ZigBee

*Cada nodo final se comunica directamente con el coordinador (no existen encaminadores).*

En el caso de una topología en árbol, existe un coordinador (ZC) que inicia y configura la red, si bien ahora la red puede ampliarse haciendo uso de encaminadores (ZR). Véase Figura 2.10.

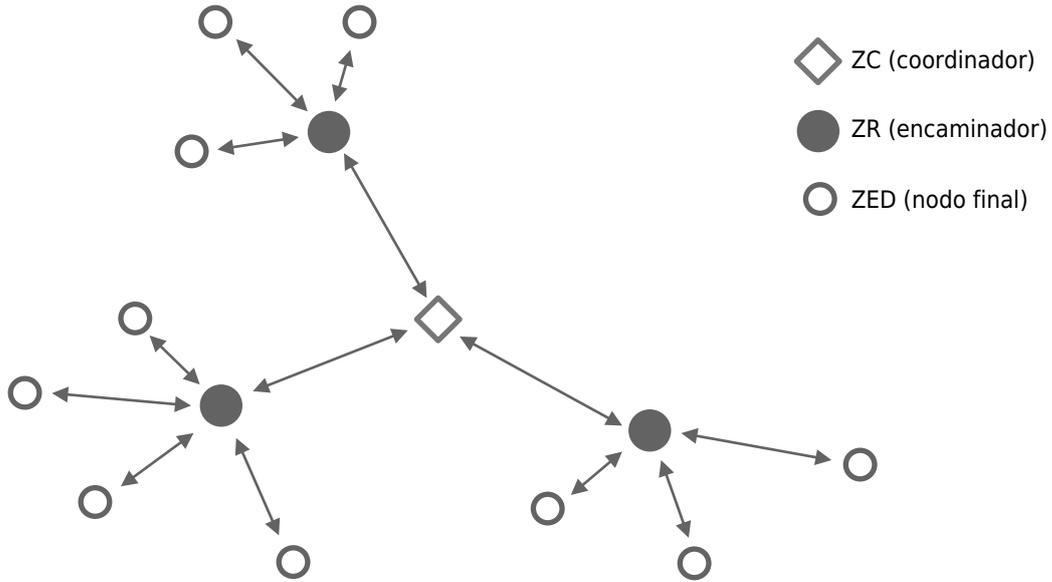


Figura 2.10 Topología en árbol ZigBee

*El nodo coordinador se comunica con encaminadores, que a su vez conectan con los dispositivos finales.*

Por último, se ofrece la posibilidad de crear una red denominada *mesh*, *peer-to-peer* o de mallado (Figura 2.11). En este caso, se establecen varios enlaces entre nodos encaminadores, y un nodo final puede comunicarse con varios encaminadores, o con el coordinador.

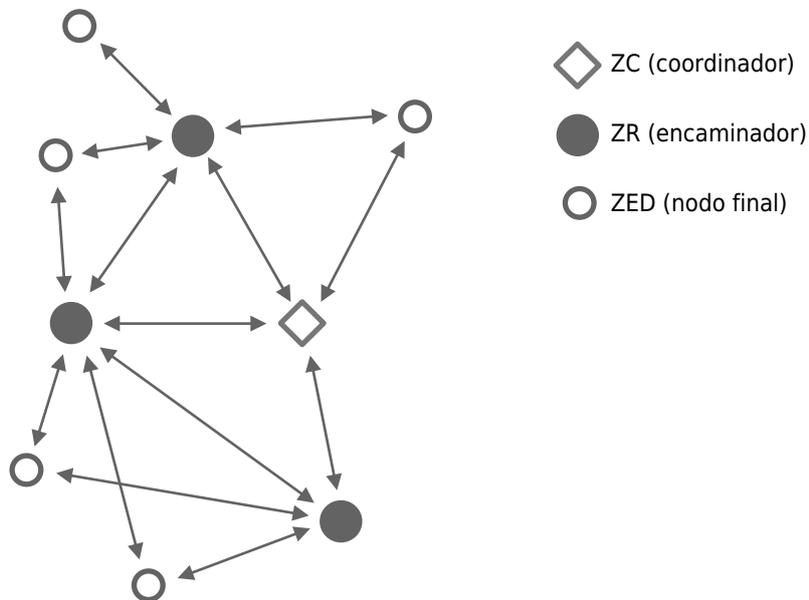


Figura 2.11 Topología peer-to-peer ZigBee

*Similar a la topología en árbol, si bien ahora se establecen más enlaces: entre nodos encaminadores, un nodo final con varios encaminadores o con el coordinador directamente. La red es más fiable, pero a cambio se tiene un mayor intercambio de mensajes.*

Un ejemplo es el protocolo *DigiMesh*<sup>16</sup>, que funciona sobre IEEE 802.15.4.

\* \* \*

La pila de protocolos de *ZigBee* se ilustra en la Figura 2.12.

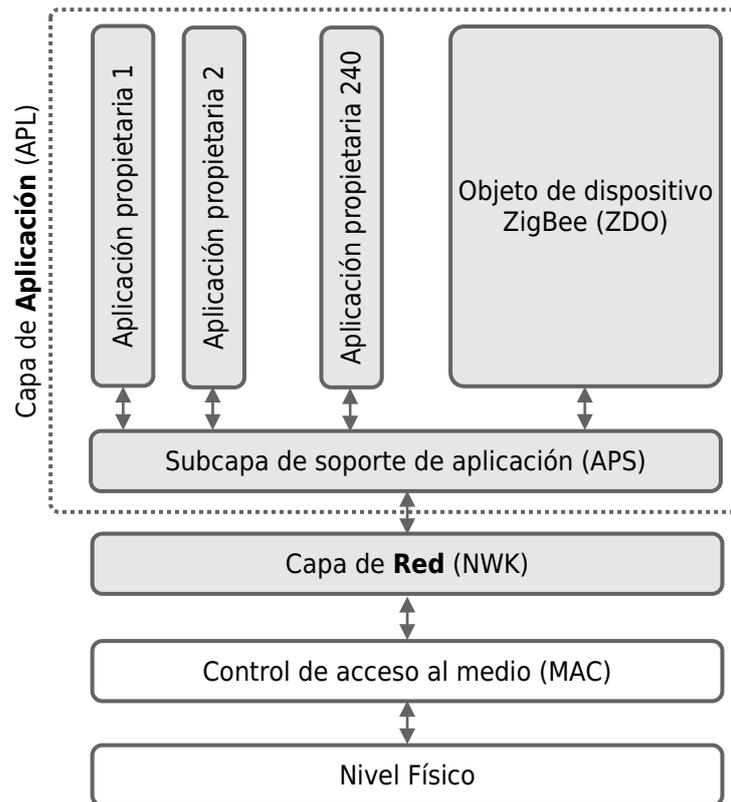


Figura 2.12 Modelo de capas para ZigBee

Las dos capas inferiores las proporciona IEEE 802.15.4. La capa de red asegura un uso correcto de la capa MAC y proporciona servicios a los niveles superiores. La capa de aplicación contiene una subcapa de transición entre la de red y las aplicaciones propietarias y ZDO.

### CAPA DE RED (NWK)

Esta capa es necesaria para proporcionar funcionalidad y asegurar una operación correcta de la subcapa MAC de IEEE 802.15.4, y por otro lado, ofrecer una interfaz de servicio adecuada para la capa de aplicación APL. Proporciona dos entidades: NLDE y NLME.

<sup>16</sup> Protocolo propietario desarrollado por la empresa Digi International para redes inalámbricas peer-to-peer.

### CAPA DE APLICACIÓN (APL)

Como se observa en la Figura 2.12, se puede subdividir en varios bloques: soporte de aplicación (APS), objetos de dispositivos (ZDO) y aplicaciones propietarias.

- La capa APS establece una interfaz entre la capa de red NWK y el conjunto de capa ZDO y aplicaciones definidas por el fabricante. Esto se consigue con dos entidades: APSDE y APSME.
- ZDO es un conjunto de aplicaciones que utilizan las primitivas de las capas de red y aplicación para configurar un dispositivo como ZC, ZR o ZED.
- Las aplicaciones propietarias se dejan para que el usuario final o el fabricante desarrolle una determinada aplicación. La comunicación se realiza mediante una interfaz SAP (punto de acceso a servicio) de la entidad APSDE.

#### 2.1.4 Interfaz radio. DASH7<sup>17</sup>

Estándar abierto de reciente creación basado en ISO/IEC 18000-7. Se creó como una alianza sin ánimo de lucro con el fin de interconectar los dispositivos creados por distintos fabricantes. Actualmente cuenta con más de 20 miembros, incluyendo fabricantes, desarrolladores, entidades académicas, etc.

En la Tabla 2.3 se recoge una comparativa entre este sistema y el comentado anteriormente ZigBee.

Tecnología	Basada en	Frecuencias	Alcance	Potencia media	Latencia media
<b>DASH7</b>	ISO/IEC 18000-7	433.92 MHz	Dinámico de 10 m a 10 km	30-60 $\mu$ W	2 s (peor caso)
<b>ZigBee</b>	IEEE 802.15.4 (parcial)	2450 MHz 915 MHz 868 MHz	30-500 m	300-600 $\mu$ W	Segundos a minutos (peor caso)

<sup>17</sup> Acrónimo de Developers' Alliance for Standards Harmonization of ISO 18000-7.

Tecnología	Interferencia con 802.11b/g/n	Tasa de datos máx.	Multihop	Seguridad	Protocolos abiertos
<b>DASH7</b>	No	200 kbps	Bueno	Aceptable	Sí
<b>ZigBee</b>	Sí	250 kbps	Muy bueno	Muy buena	No

Tabla 2.3 Comparativa entre DASH7 y ZigBee

Entre las ventajas de DASH7 destaca su bajo consumo energético (hasta 10 veces menos) lo que repercutirá en mayores ahorros, y una mayor duración de la batería. Además, el hecho de trabajar alrededor de los 433 MHz proporciona más alcance a la señal.

Respecto a posibles aplicaciones, las más comunes: automatización de edificios (control de acceso, gestión eficiente de energía...), servicios basados en localización, automovilismo (sistemas de monitorización de presión, niveles de combustible...), o cadenas logísticas.

### 2.1.5 Radio CC2420

Transceptor integrado en un chip que cumple la norma de radiofrecuencia conocida como IEEE 802.15.4 (Chipcon Products from Texas Instruments, 2007). Al igual que ocurría con el microcontrolador, está diseñado para trabajar en aplicaciones de baja tensión y poca potencia de consumo. Además, permite soporte para manejo de paquetes radio, *buffer* de datos, encriptación, indicación de la calidad el canal...

Entre sus principales características:

- Frecuencia de operación 2.4 GHz , cumpliendo con la normativa IEEE 802.15.4.
- Soporte para protocolos ZigBee.
- Uso de módem en banda base con una tasa de transferencia efectiva de hasta 250 kbps .
- Baja tensión de alimentación: 2.1 V– 3.6 V con regulador de tensión interno o 1.6 V– 2.0 V con regulador externo.

- Intensidad de trabajo (potencia) baja: 18.8 mA en recepción y 17.4 mA en transmisión.
- Nivel de potencia de salida programable.
- Soporte de funciones RSSI y LQI.
- Comunicación con otros dispositivos por interfaz SPI.

En la Figura 2.13 se muestra el diagrama de bloques de los componentes que forman el chip.

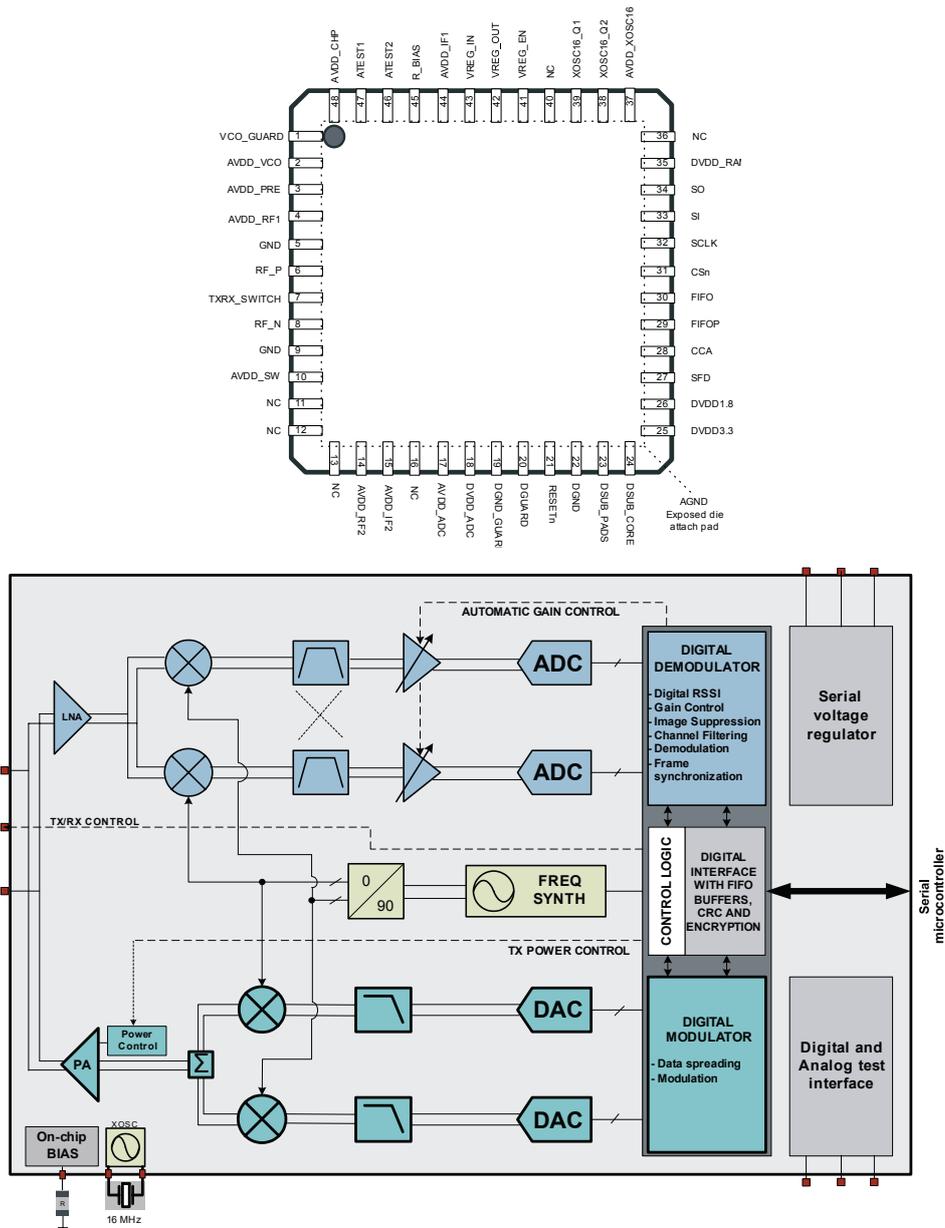


Figura 2.13 Encapsulado (a) y diagrama de bloques (b) del CC2420

El chip tiene dos partes bien diferenciadas: transmisión (conversión D-A, filtrado paso baja, generación de la señal y amplificación de la señal) y recepción (amplificador de bajo ruido, extracción de la señal, filtrado paso de banda y conversión A-D). La lógica de control permite manejar aspectos del mismo, como ajuste de ganancia, sincronización, canales radio, encriptación...

### 2.1.6 Interfaz USB FT232BM

Se trata de un chip que actúa como interfaz entre un puerto serie (UART) y una conexión USB (Figura 2.14). Comercializado por FTDI Chip (FTDI Chip (Future Technology Devices International Ltd.), 2011).

- Compatible con estándares USB 1.1 y 2.0.
- Parámetros USB VID, PID, número de serie, descripción de producto... se toman desde una EEPROM externa.
- Tasas de transferencia desde 300 Bd hasta 300 MBd.

## 2.2 Pasarela para sensores

Se trata de una pasarela (o *gateway*) ideada para acceder a los datos manejados por un sensor inalámbrico a través de una red basada en Ethernet.

El dispositivo físico es el modelo NSLU2<sup>18</sup> de la marca Linksys (división de Cisco Systems) (Linksys). La función original de este dispositivo (Figura 2.15) es conectar una unidad de almacenamiento (por ejemplo, flash) y que pudiera ser accesible en una red local.

Sin embargo, se le ha instalado el *firmware* denominado Tmote Connect (perteneciente a Sentilla) consiguiendo una funcionalidad distinta: el sensor se conecta mediante USB y los datos pueden ser leídos/escritos a través de una red de área local (Sentilla (Moteiv), 2006).

Entre sus características principales (con Tmote Connect instalado) destacan:

- Interconexión de redes inalámbricas (propias de los motes) con una infraestructura basada en Ethernet.
- Operación en redes tanto con protocolo DHCP activado como desactivado.

---

<sup>18</sup> *Network Storage Link for USB 2.0 Disk Drives. Microcomputador del fabricante Linksys que funciona como servidor de datos, al poder conectarle unidades de almacenamiento.*

- Conectividad bidireccional para transferencia de datos (a y desde el mote) a través de protocolo TCP/IP.
- Integración con los sistemas de desarrollo y herramientas de TinyOS (tanto versión 1.x como la actual 2.x).
- Pantalla de estado y configuración a través de protocolo HTTP (mediante página web) para identificación de nodo, reseteo, contadores...

No obstante, en el punto 4.27 se trata la puesta en marcha y configuración de la pasarela Tmote Connect.

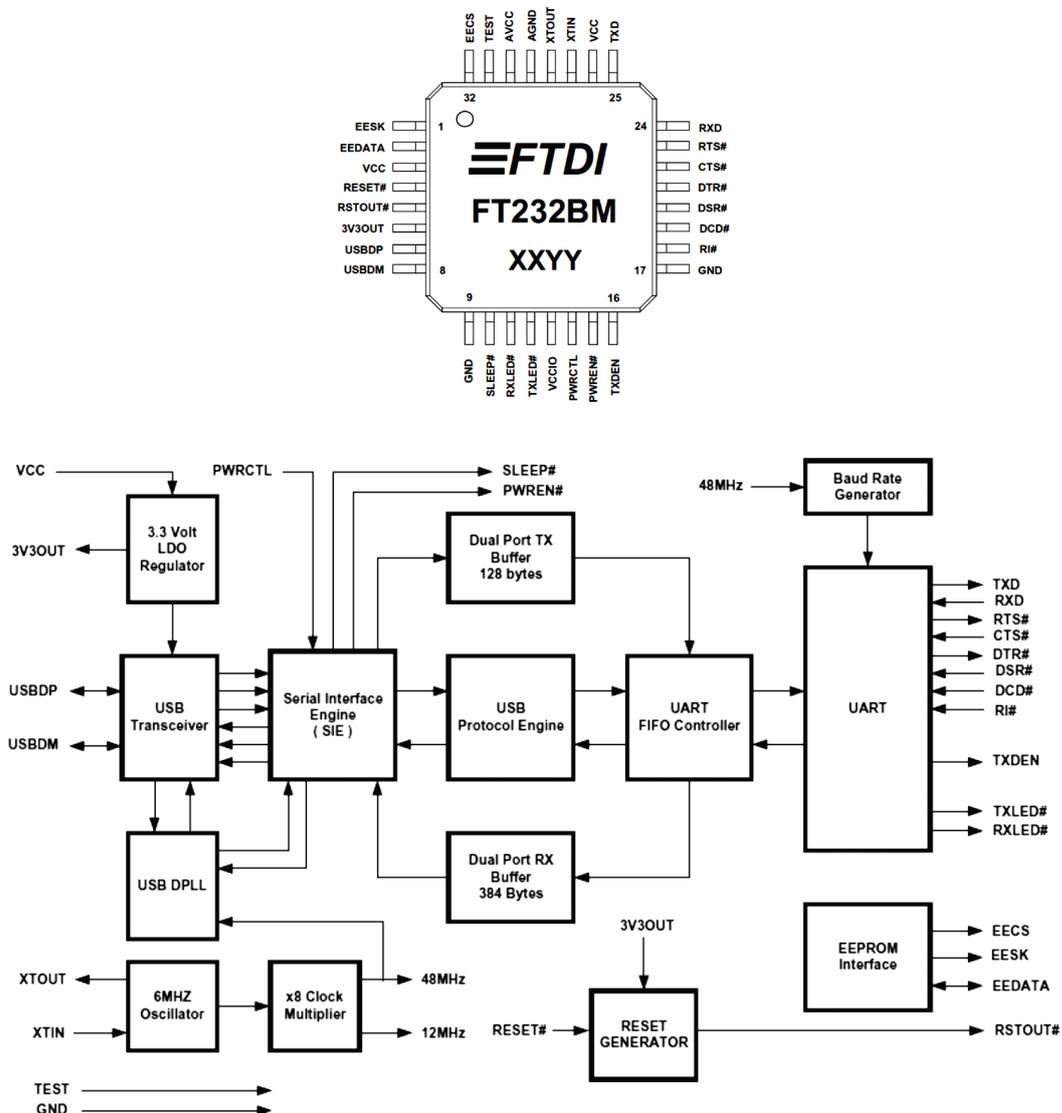


Figura 2.14 Encapsulado (a) y diagrama de bloques del FT232BM (b)

El propósito de este chip es emular un puerto de comunicación serie (RS232) a través de una interfaz física USB. Las partes más importantes son la unidad UART para la conexión con el microcontrolador, el manejo de protocolo USB y la unidad de interfaz serie (SIE). La interfaz EEPROM permite identificar el tipo de dispositivo USB, fabricante...

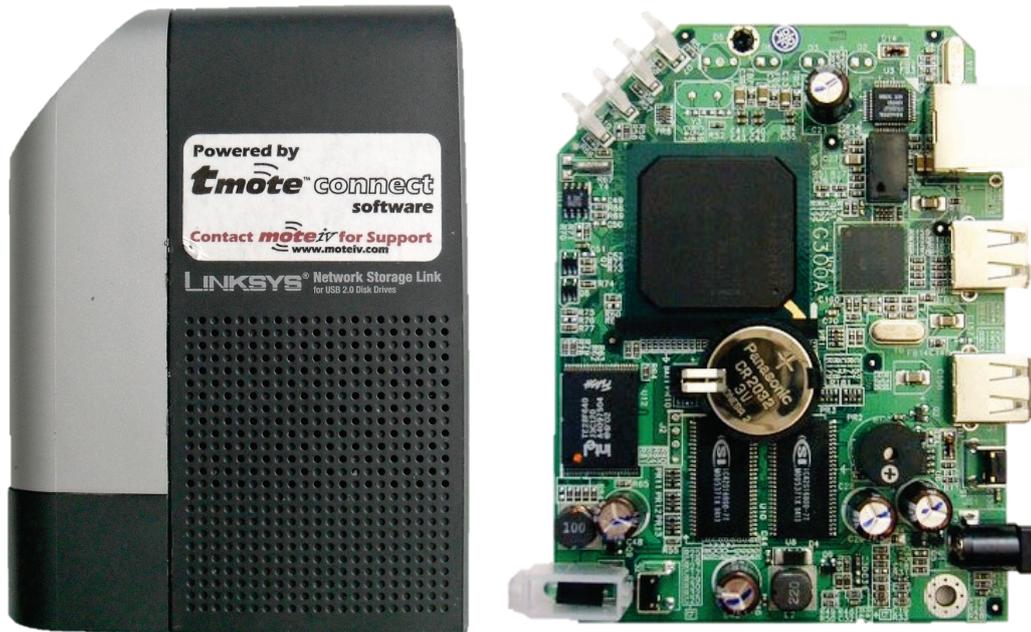


Figura 2.15 NSLU2 (a) y placa de circuito interna (b)

*La CPU es Intel IXP420 (ARM) a 266MHz. 32MB de memoria SDRAM y 8MB de flash. Posibilidad de conectar hasta dos dispositivos USB. Conector Ethernet RJ-45 (10/100Mbps). Alimentación de 5V con un consumo de 8W.*

## 2.3 Justificación del uso de sensores

Según lo tratado en este punto, se puede justificar el uso de sensores inalámbricos para la monitorización y control de una instalación eléctrica:

- Dimensiones físicas. El tamaño reducido de estos sensores posibilita su inclusión en una toma de corriente. A partir del diagrama electrónico de un Tmote Sky (o similar) puede construirse un prototipo adecuado.
- Consumo reducido de energía. Como se ha explicado, el microcontrolador incluido posee varios modos de ahorro de energía, consumiendo lo estrictamente necesario, y aumentando la vida de la batería.
- Facilidad de instalación. Una vez se tenga el prototipo, la instalación de éste es sencilla, pues al usar tecnologías inalámbricas (IEEE 802.14.5, ZigBee) no se necesita realizar cableado o reformas en el edificio. La idea es que junto con un diseño físico de la placa adecuado, pueda adaptarse a una toma de corriente como si de un transformador o cargador de baterías se tratase.

