

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA



Trabajo Fin de Máster

Diseño de una Red de Sensores Inalámbrica para un Sistema de Observación Costero (SOC)



AUTOR: Cristina Albaladejo Pérez
DIRECTOR: Andrés Iborra García
Pencho Soto Vallés

Septiembre / 2009



Autor	Cristina Albaladejo Pérez
E-mail del Autor	crisrina.albaladejo@upct.es
Director(es)	Andrés Iborra García Pencho Soto Vallés
E-mail del Director	andres.iborra@upct.es pencho.soto@upct.es
Codirector(es)	
Título del PFC	Diseño de una Red de Sensores Inalámbrica para un Sistema de Observación Costero (SOC)
Descriptor(es)	

Resumen

Las Redes de Sensores Inalámbricas (*Wireless Sensor Network*, WSN) son un conjunto de dispositivos que permiten una comunicación sin cables, interconectados entre sí a través de una red inalámbrica y a su vez conectados a un sistema central en el que se recopilará la información recogida por cada uno de los sensores.

En el presente Trabajo Fin de Máster se persigue realizar un estudio teórico sobre el diseño de una WSN para un Sistema de Observación Costero (SOC) cuyo objetivo es la monitorización de la laguna costera del Mar Menor (situada al sureste de la Península Ibérica, en la Región de Murcia) frente a las aguas próximas adyacentes del Mar Mediterráneo.

Para ello se propone desplegar una serie de nodos sensores ubicados en situaciones estratégicas y estudiadas y éstos serán los encargados de tomar medidas de ciertos parámetros. La información recogida por los nodos sensores tiene que ser transmitida hasta una estación base en la que se almacenarán los datos y se realizarán los estudios necesarios de acuerdo con los modelos teóricos existentes.

El resultado final de este trabajo plantea una posible solución para un SOC proponiendo el diseño tanto de los distintos tipos de nodos sensores como el diseño de una arquitectura de comunicaciones concreta utilizando las tecnologías inalámbricas adecuadas.

Titulación	Máster en Tecnología de la Información y las Comunicaciones
Intensificación	
Departamento	Tecnología Electrónica
Fecha de Presentación	Septiembre- 2009

ÍNDICE

Capítulo 1: Introducción	5
Capítulo 2: Tecnologías Inalámbricas	7
1. Wi-Fi (IEEE 802.11).	8
2. WiMAX (IEEE 802.16/802.20).	13
3. Bluetooth (IEEE 802.15).	18
4. GSM (Global System for Mobile Communications).	22
5. GPRS (General Packet Radio Service).	27
6. 802.15.4.	31
7. ZigBee.	35
8. Comparativa de las Tecnologías Inalámbricas.	42
Capítulo 3: Sistemas de Observación Costeros	45
1. Sistemas de Observación Costero a nivel nacional.	47
1.1 Puertos del Estado.	48
1.1.1 Redes de observación.	49
1.1.2 Sistemas de predicción.	51
1.1.3 El Banco de Datos.	51
1.2 Red de instrumentación oceanográfica y meteorológica de la Generalitat de Catalunya.	52
1.3 Estaciones océano-meteorológicas de AZTI.	52
1.4 Observatorio Submarino Expansible (OBSEA).	54

1.4.1 Descripción.	54
1.4.2 Características.	55
1.5 Otras grandes Infraestructuras Científico Tecnológicas en el ámbito Oceanográfico.	58
1.5.1 Sistema de Observación Costero MAREAS.	58
1.5.1.1 Descripción.	58
1.5.1.2 Objetivos.	58
1.5.2 Sistema de Observación Costero de las Islas Baleares (SOCIB).	59
1.5.2.1 Descripción.	59
1.5.2.2 Objetivos.	59
1.5.3 Plataforma Oceánica de Canarias (PLOCAN).	60
1.5.4 Unidad Oceanográfica de Galicia (UOG).	61
1.5.5 Observatorio Oceanográfico Costero de la Región de Murcia (OOCMur)	61
2. Sistemas de Observación Costero a nivel internacional.	63
2.1 North East Pacific Time-series Undersea Networked Experiment (NEPTUNE).	65
2.2 Observatorio Costero Martha's Vineyard (MVCO).	67
2.3 Victoria Experimental Network Under the Sea (VENUS).	70
Capítulo 4: Propuesta de un caso de estudio para la laguna costera del Mar Menor	73
1. Importancia de las lagunas costeras.	73
2. Caso de Estudio para el Mar Menor.	75
2.1 Descripción de la zona de estudio.	75

2.2 Modelo de circulación de la laguna y tramo litoral próximo.	77
2.3 Especificación del caso de estudio.	78
2.4 Selección de la instrumentación.	84
2.4.1 Presión y temperatura.	86
2.4.2 Salinidad (Conductividad).	87
2.4.3 Velocidad de corrientes.	88
2.4.4 Turbidez y Clorofila.	89
2.4.5 Oxígeno disuelto.	91
2.4.6 Nitratos.	92
2.4.7 Perfil de temperatura.	93
2.5 Resumen de la instrumentación.	95
Capítulo 5: Diseño y definición de una arquitectura de comunicaciones	97
1. Configuración basada en nodos sensores independientes con conexión de largo alcance con estación base. Caso A.	99
2. Configuración basada en una red de sensores en estrella con conexión de largo alcance con estación base. Caso B.	100
3. Configuración basada en varias subredes en estrella cada una de ellas con conexión de largo alcance con estación base. Caso C.	101
4. Arquitectura global de cada nodo.	102
4.1 Nodos Sensores para el Caso A.	102
4.2 Nodos Sensores para los Casos B y C.	104
4.3 Nodo Principal para los Casos B y C.	106
5. Selección de la tecnología inalámbrica.	108
5.1 Módulo RF de XStream.	108

5.2 ZigBee mejorado.	108
5.3 WiMAX.	109
5.4 Conclusión.	109
6. Estudio de consumo en las diferentes configuraciones.	110
7. Comparación de Configuraciones para la Red de Sensores.	115
Capítulo 6: Conclusiones	117
Bibliografía	119
Anexo I:	
Especificaciones Técnicas de la Instrumentación Oceanográfica	
Anexo II:	
Especificaciones Técnicas de la Instrumentación de Comunicaciones	

Capítulo 1: Introducción

Las Redes de Sensores Inalámbricas (*Wireless Sensor Network*, WSN) son un conjunto de dispositivos que permiten una comunicación sin cables, interconectados entre sí a través de una red inalámbrica y a su vez conectados a un sistema central en el que se recopilará la información recogida por cada uno de los sensores.

En el presente Trabajo Fin de Máster se persigue realizar un estudio teórico sobre el diseño de una WSN para un Sistema de Observación Costero (SOC) cuyo objetivo es la monitorización de la laguna costera del Mar Menor (situada al sureste de la Península Ibérica, en la Región de Murcia) frente a las aguas próximas adyacentes del Mar Mediterráneo.

Para ello se propone desplegar una serie de nodos sensores ubicados en situaciones estratégicas y estudiadas y éstos serán los encargados de tomar medidas de ciertos parámetros del agua tales como la temperatura, la presión, salinidad, nutrientes, velocidad de la corriente del agua, etc. La información recogida por los nodos sensores tiene que ser transmitida hasta una estación base en la que se almacenarán los datos y se realizarán los estudios necesarios de acuerdo con los modelos teóricos existentes. Dicha transmisión de la información se puede llevar cabo de diferentes maneras: 1) estableciendo una conexión directa entre cada nodo sensor y la estación base, 2) formando una red inalámbrica entre los nodos sensores y que sea un nodo principal o Gateway el encargado de establecer la comunicación entre dicha red de nodos sensores y la estación base, ó 3) una combinación de las dos primeras opciones.

El resultado final de este trabajo plantea una posible solución para un SOC proponiendo el diseño tanto de los distintos tipos de nodos sensores como el diseño de una arquitectura de comunicaciones concreta utilizando las tecnologías inalámbricas adecuadas.

La realización de este trabajo se ha desarrollado en diferentes etapas:

- 1) En primer lugar se ha llevado a cabo el estudio de las diferentes tecnologías de comunicaciones inalámbricas (**Capítulo 2: Tecnologías inalámbricas**) actualmente disponibles en el mercado para evaluarlas y poder seleccionar la más adecuada según las necesidades del caso de estudio en cuestión.
- 2) De forma paralela al primer apartado, se ha realizado la revisión de los observatorios marinos que actualmente se encuentran en funcionamiento o en fase de desarrollo tanto a nivel nacional como a nivel internacional (**Capítulo 3: Sistemas de Observación Costero**). Cabe destacar que España se está iniciando en el mundo de la observación marina y el bajo grado de madurez no es comparable con algunos sistemas de observación ya implantados en el resto del mundo que están más consolidados.
- 3) Una vez analizado el estado del arte de las tecnologías de comunicaciones inalámbricas y los sistemas de observación costeros, se ha concretado un caso de estudio para la laguna costera del Mar Menor (**Capítulo 4: Propuesta de un caso de estudio para la laguna costera del Mar Menor**). Para ello se ha tenido que realizar una amplia lectura de documentación sobre el comportamiento de la laguna y tener conocimiento de cuáles son los fenómenos físicos que afectan a las distintas partes de la laguna. Teniendo en cuenta las zonas de interés, se propone la instalación de una red de sensores inalámbrica que mantenga monitorizada la laguna particularizando en cada nodo los parámetros que se desean medir. Además, se ha seleccionado la instrumentación adecuada para dicho fin realizando un estudio previo de los diversos instrumentos oceanográficos que ofrecen los fabricantes.
- 4) Hasta ahora, se ha planteado la necesidad de estudiar el Mar Menor y la solución adoptada instalando una serie de nodos sensores en ubicaciones específicas. El siguiente paso lógico es establecer una arquitectura de comunicaciones entre los nodos sensores que permitan transmitir la información recogida por los sensores hasta la estación base (**Capítulo 5: Diseño y definición de una configuración para la red de sensores**). Se plantean tres alternativas de configuraciones para la red de sensores y se analizan las ventajas e inconvenientes de cada una de ellas para adoptar la más adecuada a los requisitos de la WSN.
- 5) Finalmente, una vez seleccionada una arquitectura de comunicaciones, se detalla la arquitectura hardware global de los distintos tipos nodos teniendo en cuenta los sensores que incorporan o la función que desempeñan en la red.

Capítulo 2: Tecnologías Inalámbricas

En este capítulo se analizarán diversas tecnologías de comunicación inalámbricas existentes en la actualidad. Dichas tecnologías son las siguientes: **WiFi** es un sistema de envío de datos de forma inalámbrica sobre redes computacionales; **Wimax** (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) es una norma de transmisión de datos usando ondas de radio; **Bluetooth** es una especificación industrial para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN, *Wireless Personal Area Network*) que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia segura y globalmente libre (2,4 GHz); **GSM** (*Global System for Mobile*) es un sistema estándar para la comunicación mediante teléfonos móviles que incorporan tecnología digital; **GPRS** (*General Packet Radio Service*) es una extensión GSM para la transmisión de datos no conmutada (o por paquetes); **IEEE 802.15.4** es un estándar que define el nivel físico y el control de acceso al medio de WPANs con tasas bajas de transmisión de datos; y finalmente **ZigBee** es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radios digitales de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de WPAN.

A continuación se entrará en detalle en cada una de estas tecnologías. Se hará una breve descripción de la tecnología, las características principales, la arquitectura de red y algunos aspectos a destacar de cada una de ellas. Finalmente se establecerá una comparación entre las tecnologías inalámbricas desarrolladas.



1. Wi-Fi (IEEE 802.11)

1.1 Descripción.

La especificación IEEE 802.11 (ISO/IEC 8802-11) es un estándar internacional que define las características de una WLAN (*Wireless Local Area Network*). Wi-Fi es el nombre de la certificación otorgada por la Wi-Fi Alliance, anteriormente WECA (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance*), grupo que garantiza la compatibilidad entre dispositivos que utilizan el estándar 802.11.

Una red Wi-Fi es en realidad una red que cumple con el estándar 802.11. Con Wi-Fi se pueden crear WLANs de alta velocidad siempre y cuando el equipo que se vaya a conectar no esté muy alejado del punto de acceso. En la práctica, Wi-Fi admite cualquier tipo de dispositivo de alta velocidad con propiedades de conexión también de alta velocidad (11 Mbps o superior) dentro de un radio de varias docenas de metros en ambientes cerrados (de 20 a 50 metros en general) o dentro de un radio de cientos de metros al aire libre.



Figura 2.1: Red Wi-Fi

La norma IEEE 802.11 fue diseñada para sustituir el equivalente a las capas físicas y MAC de la norma 802.3 (Ethernet). Esto quiere decir que en lo único que se diferencia una red Wi-Fi de una red Ethernet es en cómo se transmiten las tramas o paquetes de datos; el resto es idéntico. Por tanto, una red local inalámbrica 802.11 es completamente compatible con todos los servicios de las redes locales (LAN, *Local Area Network*) de cable 802.3 (Ethernet).

1.2 Características de Wi-Fi.

A continuación, para analizar las características de una red Wi-Fi, se enumeran una serie de ventajas y desventajas.

En cuenta a las **ventajas** se destacan las siguientes:

- Las redes Wi-Fi, al ser redes inalámbricas, la **comodidad** que ofrecen es muy superior a las redes cableadas porque cualquiera que tenga acceso a la red puede conectarse desde distintos puntos dentro de un rango suficientemente amplio de espacio.
- Una vez configurada la red, permite el **acceso de múltiples ordenadores** sin ningún problema ni gasto en infraestructura, no así en la tecnología por cable.
- La *Wi-Fi Alliance* asegura que la **compatibilidad** entre dispositivos con la marca *Wi-Fi* es **total**, con lo que en cualquier parte del mundo podremos utilizar la tecnología Wi-Fi con una completa compatibilidad.

Pero como red inalámbrica, la tecnología Wi-Fi presenta los problemas intrínsecos de cualquier tecnología inalámbrica. Algunos de ellos son:

- **Menor velocidad** en comparación a una conexión con cables, debido a las interferencias y pérdidas de señal que el ambiente puede acarrear.
- La desventaja fundamental de estas redes existe en el campo de la **seguridad**. Existen varias alternativas para garantizar la seguridad de estas redes. Las más comunes son:
 - Utilización de protocolos de cifrado de datos para los estándares Wi-Fi como el WEP (*Wired Equivalent Privacy*) y el WPA (*Wi-Fi Protected Access*), que se encargan de codificar la información transmitida para proteger su confidencialidad, proporcionados por los propios dispositivos inalámbricos.
 - IPSEC (túneles IP) en el caso de las VPN (*Virtual Private Network*) y el conjunto de estándares IEEE 802.1X, que permite la autenticación y autorización de usuarios.

- Filtrado de MAC, de manera que sólo se permite acceso a la red a aquellos dispositivos autorizados.
- Ocultación del punto de acceso: se puede ocultar el punto de acceso (router) de manera que sea invisible a otros usuarios.
- El protocolo de seguridad llamado *WPA2* (estándar 802.11i), que es una mejora relativa a *WPA*, es el protocolo de seguridad más seguro para Wi-Fi en este momento. Sin embargo requieren hardware y software compatibles.

Sin embargo, no existe ninguna alternativa totalmente fiable, ya que todas ellas son susceptibles de ser vulneradas.

- Hay que señalar que esta tecnología es **incompatible con otros tipos de conexiones inalámbricas** como Bluetooth, GPRS, UMTS, etc.
- Uno de los problemas más graves a los cuales se enfrenta actualmente la tecnología Wi-Fi es la progresiva **saturación del espectro radioeléctrico**, debida a la masificación de usuarios, esto afecta especialmente en las conexiones de larga distancia (mayor de 100 metros). En realidad Wi-Fi está diseñado para conectar ordenadores a la red a distancias reducidas, cualquier uso de mayor alcance está expuesto a un excesivo riesgo de interferencias.

1.3 Arquitectura del estándar IEEE 802.11 - Wi-Fi.

La arquitectura del IEEE 802.11 está formada por una serie de elementos que interaccionan para proveer movilidad a las estaciones en una red local de acceso, que sea transparente a las capas superiores. El elemento básico de las redes de acceso definido en el estándar es la **estación (STA)** en el estándar), definida como cualquier elemento que contenga una capa de Control de Acceso al Medio (MAC, *Media Access Control*) y una capa Física (PHY) acorde con lo definido en el estándar.

El estándar 802.11 establece los niveles inferiores del modelo OSI (*Open System Interconnection*) para las conexiones inalámbricas que utilizan ondas electromagnéticas, por ejemplo:

- La **capa física** (PHY) ofrece tres tipos de codificación de información.
- **La capa de enlace de datos** compuesta por dos subcapas: control de enlace lógico (LLC, *Logical Link Control*) y control de acceso al medio (MAC, *Media Access Control*).

La capa física define la modulación de las ondas de radio y las características de señalización para la transmisión de datos mientras que la capa de enlace de datos define la interfaz entre el bus del equipo y la capa física y las reglas para la comunicación entre las estaciones de la red. En realidad, el estándar 802.11 tiene tres capas físicas que establecen modos de transmisión alternativos:

Capa de enlace de datos (MAC)	802.2 – LLC
	802.11
Capa física (PHY)	DSSS (<i>Direct Sequence Spread Spectrum</i>)
	FHSS (<i>Frequency Hopping Spread Spectrum</i>)
	Infrarrojo

Tabla 2.1: Capas que define el estándar 802.11

Las estaciones pueden ser móviles, portátiles o estacionarias. En las LANs inalámbricas basadas en el IEEE 802.11 se pueden diferenciar dos tipos de elementos habituales, la **estación wireless** o tarjeta de red inalámbrica (llamada NIC o simplemente STA) y el **punto de acceso** (AP, *Access Point*). Los dos elementos son STAs en la estricta definición del término, pero el AP es un dispositivo con funcionalidad añadida ya que incluye una interfaz de red adicional normalmente conectada con una red de cable como Ethernet.

El estándar 802.11 en realidad es el primer estándar y permite un ancho de banda de 1 a 2 Mbps. El estándar original se ha modificado para optimizar el ancho de banda (incluidos los estándares 802.11a, 802.11b y 802.11g, denominados estándares físicos 802.11) o para especificar componentes de mejor manera con el fin de garantizar mayor seguridad o compatibilidad.

1.4 Estándares inalámbricos.

Estándares inalámbricos				
	802.11	802.11b - WIFI	802.11g	802.11a
Ancho de banda	< 2 Mbps	< 11Mbps	< 54 Mbps	< 54 Mbps
Frecuencia	2.4 Ghz	2.4 Ghz	2.4 Ghz	5 Ghz (Menos

	saturado)			
Licencia	sin necesidad de licencia	sin necesidad de licencia	sin necesidad de licencia	sin necesidad de licencia
interferencia	Posible interferencia con hornos microondas, dispositivos bluetooth, y teléfonos DECT, puesto que operan en el mismo espectro de frecuencias.	Posible interferencia con hornos microondas, dispositivos bluetooth, y teléfonos DECT, puesto que operan en el mismo espectro de frecuencias.	-	-
Sistemas de modulación	FHSS y DSSS	DSSS	DSSS y OFDM	OFDM
Compatibilidad	-	Compatible con los equipos DSSS del estándar 802.11.	Compatible con 802.11b.	No es compatible con 802.11b y 802.11g

Tabla 2.2: Estándares Wi-Fi



2. WiMAX (IEEE 802.16/802.20)

2.1 Descripción.

WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) es una tecnología que permite la recepción de datos por microondas y retransmisión por ondas de radio. El protocolo que caracteriza esta tecnología es el **IEEE 802.16**. Es un estándar de transmisión inalámbrica de datos diseñado para ser utilizado en el área metropolitana (MAN, *Metropolitan Area Network*) proporcionando accesos concurrentes en áreas de hasta 50 kilómetros de radio y a velocidades de hasta 70 Mbps, siendo ambas figuras de distancia y capacidad valores máximos orientativos que en ningún caso se consiguen de forma simultánea.

La compatibilidad y la interoperabilidad de los dispositivos queda asegurada gracias al **Forum WiMAX** creado en 2001. Éste se responsabiliza de desarrollar los dispositivos que utilizará el estándar y de lanzarlo en el mercado

El estándar WiMAX tiene la ventaja de permitir conexiones inalámbricas entre un transceptor de la estación base (BTS, *Base Transceiver Station*) y miles de abonados sin que éstos tengan que estar en línea de visibilidad directa con esa estación. De aquí que esta tecnología se denomine **NLOS** (*Non Line of Sight*). En realidad, WiMAX sólo puede eludir obstáculos pequeños, como árboles o una casa y no puede atravesar montañas ni edificios altos. Cuando se presentan obstáculos, el rendimiento total real puede ser inferior a 20 Mbps.

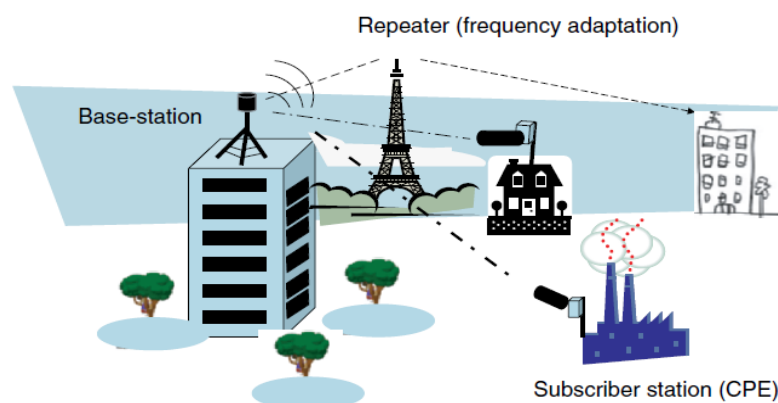


Figura 2.2: Red WiMAX

El funcionamiento de WiMAX puede ser similar a Wi-Fi pero a velocidades más altas, mayores distancias y para un mayor número de usuarios. WiMAX podría solventar la

carencia de acceso de banda ancha a las áreas suburbanas y rurales que las compañías de teléfono y cable todavía no ofrecen.

2.2 Características de WiMAX.

Algunas de las principales características de WiMAX son las siguientes:

- La **capa física** de WiMax (PHY) está basada en la técnica de multiplexación **OFDM** (*Orthogonal Frequency Division Multiplex*), un esquema que ofrece buena resistencia al multitrayecto, y permite que WiMax opere en condiciones de no visibilidad directa (NLOS).
- WiMAX es capaz de soportar **altas velocidades**. Puede alcanzar los 74 Mbps cuando opera utilizando un ancho de banda de 20 MHz.
- **Soporte escalable para el ancho de banda y la velocidad**: WiMAX cuenta con una arquitectura que permite escalar fácilmente velocidades en un determinado ancho de banda.
- **Modulación y codificación adaptativa** (AMC, *Adaptive Modulation and Coding*): WiMAX soporta varios esquemas de modulación y de codificación, y permite que estos esquemas vayan cambiando para cada uno de los usuarios y para cada una de las tramas, dependiendo de las condiciones del canal. AMC es un efectivo mecanismo para maximizar el throughput en canales variantes con el tiempo.
- Para aquellas conexiones que requieren cierta seguridad, WiMAX soporta el mecanismo de control de flujo y errores de retransmisión automática (**ARQ**, *Automatic Repeat-reQuest*) **en la capa de enlace**. Este protocolo requiere que cada paquete transmitido sea reconocido por el receptor, y los paquetes no reconocidos son considerados como perdidos y, por ello, retransmitidos. WiMAX también soporta opcionalmente el mecanismo Hybrid-ARQ, el cual combina los mecanismos de FEC (control de error) y ARQ (control de flujo).
- **Soporte para TDD** (*Time Division Duplex*) **y FDD** (*Frequency Division Duplex*). TDD es preferible para la mayoría de las implementaciones debido a las siguientes ventajas: flexibilidad a la hora de escoger la velocidad para el enlace de bajada, capacidad de explorar la reciprocidad del canal y menor dificultad para el diseño del transmisor. Los perfiles iniciales de WiMax están basados en TDD, excepto los dos perfiles descritos en la banda de los 3,5 GHz.

- WiMax móvil utiliza la técnica de acceso al medio **OFDMA** (*Orthogonal Frequency Division Multiplex Access*), donde cada usuario puede localizarse en una diferente subportadora OFDM. Con OFDMA se combate la diversidad en frecuencia y la diversidad de multiusuario para mejorar significativamente la capacidad del sistema.

- Asignación flexible y dinámica de la fuente de transmisión.

- **Soporte para avanzadas técnicas de antenas:** la solución WiMAX permite que los usuarios utilicen técnicas de antenas múltiples, como la codificación espacio-tiempo, multiplexación en tiempo y adaptabilidad.

- La capa MAC está diseñada para **soportar** un gran número de usuarios, con conexiones múltiples por terminal, cada una de las cuales posee sus propios requerimientos de **QoS**.

- **Seguridad robusta:** WiMAX soporta una fuerte encriptación, usando la técnica de encriptación *Advanced Encryption Standard* (AES) y cuenta con protocolos que aseguran la privacidad. El sistema también ofrece una arquitectura flexible de autenticación basada en el protocolo *Extensible Authentication Protocol* (EAP), el cual permite una gran variedad de credenciales por usuario, incluyendo login/password, certificados digitales y tarjetas inteligentes.

- **Soporte para movilidad:** la variante WiMAX móvil de estos sistemas cuenta con el mecanismo de handover para aplicaciones con alta movilidad y tolerancia a retardos, como es el caso de VoIP.

- **Arquitectura basada en IP:** Todos los servicios extremo a extremo están planteados sobre una fiable arquitectura de protocolos basados en IP para el transporte extremo a extremo, QoS, control de sesión, seguridad y movilidad. Todo esto facilita la convergencia de WiMAX con otras redes, y la integración de aplicaciones ya desplegadas para IP.

2.3 Arquitectura de red WiMAX.

El estándar 802.16, al igual que el resto de estándares de la familia IEEE 802, define las especificaciones para las capas PHY y MAC. En la figura 2.3 se ilustra la pila de protocolos del estándar 802.16 donde la capa MAC está compuesta por las siguientes subcapas: *Convergente Sublayer* (CS), *MAC Common Part Sublayer* (MAC CPS) y *Privacy Sublayer*.

Las capas y subcapas que se definen en el protocolo son las siguientes:

- **Convergence Sublayer (CS):** Los sistemas 802.16 soportan la operación con sistemas ATM o IP. La capa de convergencia es capaz de interactuar con estos dos modos de operación mediante el CS SAP. Por esta razón, la función de la subcapa CS es la de interactuar entre las funciones de la capa MAC y la capa de red.
- **Mac Common Part Sublayer (MAC CPS):** Éste es el núcleo de la capa MAC. Contiene todas las funciones necesarias para realizar el intercambio de datos y el control de la capa MAC. Está conectada a la subcapa CS mediante el MAC SAP.
- **Privacy Sublayer:** Esta capa implementa todos los elementos requeridos de privacidad debido a la capa PHY. Algunos ejemplos son el intercambio de claves y los procesos de encriptación. Está interconectado a la capa PHY mediante el PHY SAP.
- **Physical Layer (PHY):** Especifica las características de los diferentes modos de operación de la interfaz aire: *WirelessMAN SC*, *WirelessMAN SCa*, *WirelessMAN OFDM* y *WirelessMAN OFDMA*.

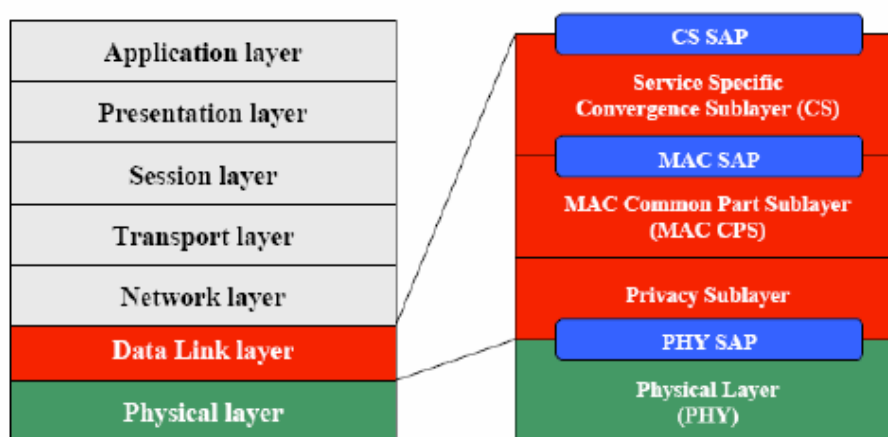


Figura 2.3: Estructura de protocolos de 802.16

2.4 Estándares WiMAX.

Estándar	Frecuencia
IEEE std 802.16	Delimita redes de área metropolitana inalámbricas (WMAN) en bandas de frecuencia superiores a 10 GHz.
IEEE std 802.16a	Delimita redes de área metropolitana inalámbricas en bandas de frecuencia desde 2 a 11 GHz inclusive.
IEEE 802.16b	Delimita redes de área metropolitana inalámbricas en bandas de frecuencia desde 10 a 60 GHz inclusive.
IEEE std 802.16c	Delimita opciones (perfiles) para redes de área metropolitana inalámbricas en bandas de frecuencia sin licencia.
IEEE 802.16d (IEEE std 802.16-2004)	Revisión que incorporó los estándares 802.16, 802.16a y 802.16c
IEEE std 802.16e	Permite que los clientes de tecnología móvil utilicen redes de área metropolitana inalámbricas. 2 a 6 GHz
IEEE std 802.16f	Permite que se usen las redes en malla.

Tabla 2.3: Estándares WiMAX



3. Bluetooth (IEEE 802.15)

3.1 Descripción.

Bluetooth es una especificación que define redes WPAN. Está desarrollada por Bluetooth SIG (*Special Interest Group*) y, a partir de su versión 1.1, sus niveles más bajos (el nivel físico y el control de acceso al medio) se formalizan también en el estándar IEEE 802.15.1. Bluetooth es un protocolo de comunicaciones diseñado especialmente para dispositivos de bajo consumo con una cobertura baja y basados en transceptores de bajo coste.

Los principales objetivos que se pretenden conseguir con esta norma son:

- Facilitar las comunicaciones entre equipos móviles y fijos.
- Eliminar cables y conectores entre éstos.
- Ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre equipos personales.

La especificación principal de Bluetooth define el nivel PHY y el MAC de una WPAN. Este tipo de redes tienen por cometido la transferencia de información en distancias cortas entre un grupo privado de dispositivos. A diferencia de las LAN inalámbricas, están diseñadas para no requerir infraestructura alguna, o muy poca.

3.2 Características de Bluetooth

Los dispositivos que implementan este protocolo pueden comunicarse entre ellos cuando se encuentran dentro de su alcance. Bluetooth posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia segura y globalmente libre (2,4 GHz) de forma que los dispositivos no tienen que estar alineados y pueden incluso estar en habitaciones separadas si la potencia de transmisión lo permite. Estos dispositivos se clasifican como “Clase 1”, “Clase 2” o “Clase 3” en referencia a su potencia de transmisión, siendo totalmente compatibles los dispositivos de una clase con los de las otras.

Clase	Potencia máxima permitida(mW)	Potencia máxima permitida(dBm)	Rango
Clase 1	100 mW	20 dBm	~100 metros

Clase 2	2.5 mW	4 dBm	~10 metros
Clase 3	1 mW	0 dBm	~1 metros

Tabla 2.4: Clasificación de dispositivos

Bluetooth puede transmitir a velocidades de aproximadamente 1 Mbps con un alcance de aproximadamente 10 metros cuando se utiliza un transmisor clase 2 y de un poco menos de 100 metros cuando se utiliza un transmisor clase 1.

El estándar Bluetooth, del mismo modo que Wi-Fi, utiliza la técnica FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*), que consiste en dividir la banda de frecuencia de 2.402 - 2.480 GHz en 79 canales (denominados saltos) de 1 MHz de ancho cada uno y, después, transmitir la señal utilizando una secuencia de canales que sea conocida tanto para la estación emisora como para la receptora.

Por lo tanto, al cambiar de canales con una frecuencia de 1600 veces por segundo, el estándar Bluetooth puede evitar la interferencia con otras señales de radio.

Principio de comunicación

El estándar Bluetooth se basa en el modo de operación **maestro/esclavo**. El término “**piconet**” se utiliza para hacer referencia a la red formada por un dispositivo y todos los dispositivos que se encuentran dentro de su rango. Pueden coexistir hasta 10 piconets dentro de una sola área de cobertura. Un dispositivo maestro se puede conectar simultáneamente con hasta 7 dispositivos esclavos activos (255 cuando se encuentran en modo en espera). Los dispositivos en una piconet poseen una dirección lógica de 3 bits, para un máximo de 8 dispositivos. Los dispositivos que se encuentran en el modo en espera se sincronizan, pero no tienen su propia dirección física en la piconet.

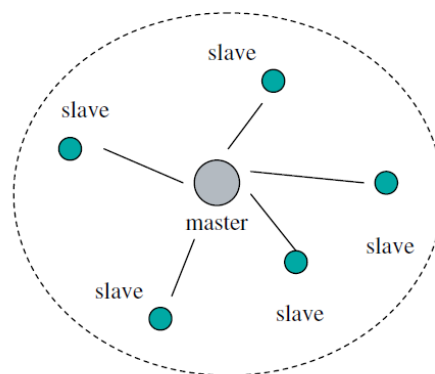


Figura 2.4: Piconet

En realidad, en un momento determinado, el dispositivo maestro sólo puede conectarse con un solo esclavo al mismo tiempo. Por lo tanto, rápidamente cambia de esclavos para que parezca que se está conectando simultáneamente con todos los dispositivos esclavos.

Bluetooth permite que dos piconets puedan conectarse entre sí para formar una red más amplia, denominada “**scatternet**”, al utilizar ciertos dispositivos que actúan como puente entre las dos piconets.

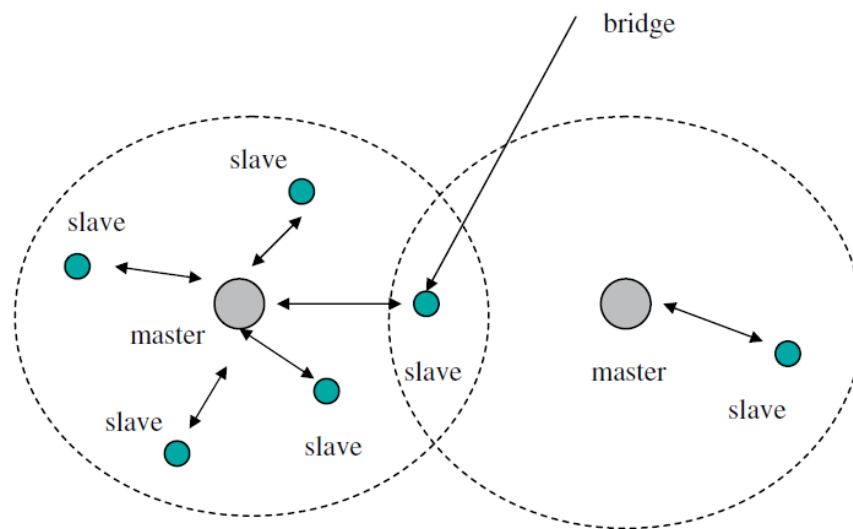


Figura 2.5: Scatternet

3.3 Arquitectura de red.

La pila de protocolos Bluetooth se basa en el modelo de referencia OSI de la ISO (*Internacional Standard Organization*) para la interconexión de sistemas abiertos. La especificación Bluetooth utiliza una arquitectura de protocolos que divide las diversas funciones de red en un sistema de niveles. En conjunto, permiten el intercambio transparente de información entre aplicaciones diseñadas de acuerdo con dicha especificación y fomentan la interoperabilidad entre los productos de diferentes fabricantes.

La pila de protocolos Bluetooth se divide en dos zonas, cada una de las cuales se implementa en distintos procesadores:

- El **controlador Bluetooth** (hardware), encargado de las tareas relacionadas con el envío de información a través del interfaz de radiofrecuencia.
- El **host Bluetooth** (software), encargado de la parte relacionada con las capas superiores de enlace y aplicación.

Ambas zonas están comunicadas por el **Interfaz de Controlador de Host (HCI)**.

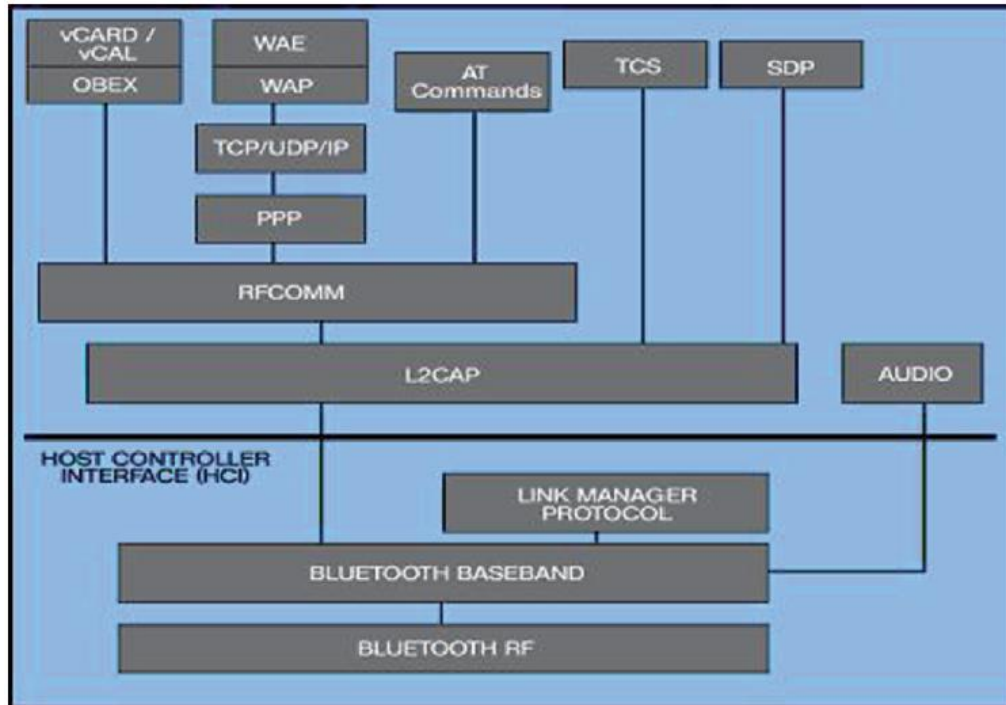


Figura 2.6: Arquitectura Bluetooth

3.4 Estándares Bluetooth.

El estándar Bluetooth se divide en múltiples normas:

Estándar	Descripción
IEEE std 802.15.1	Define Bluetooth 1.x y puede alcanzar velocidades de 1 Mbps
IEEE std 802.15.2	Recomienda prácticas para utilizar la banda de frecuencia de 2.4 GHz (la frecuencia también utilizada por WiFi).
IEEE 802.15.3	Actualmente se está desarrollando. Ofrecerá velocidad de banda ancha (20 Mbps) con Bluetooth
IEEE std 802.15.4	Actualmente se está desarrollando para el uso con aplicaciones Bluetooth de baja velocidad

Tabla 2.5: Estándares Bluetooth



4. GSM (*Global System for Mobile Communications*)

4.1 Descripción.

El Sistema Global para las Comunicaciones Móviles (GSM) es un sistema estándar para la comunicación mediante teléfonos móviles que incorporan tecnología digital. Por ser digital cualquier cliente de GSM puede conectarse a través de su teléfono con su ordenador y puede hacer, enviar y recibir mensajes por e-mail, faxes, navegar por Internet, acceso seguro a la red informática de una compañía (LAN/Intranet), así como utilizar otras funciones digitales de transmisión de datos, incluyendo el Servicio de Mensajes Cortos (SMS) o mensajes de texto.

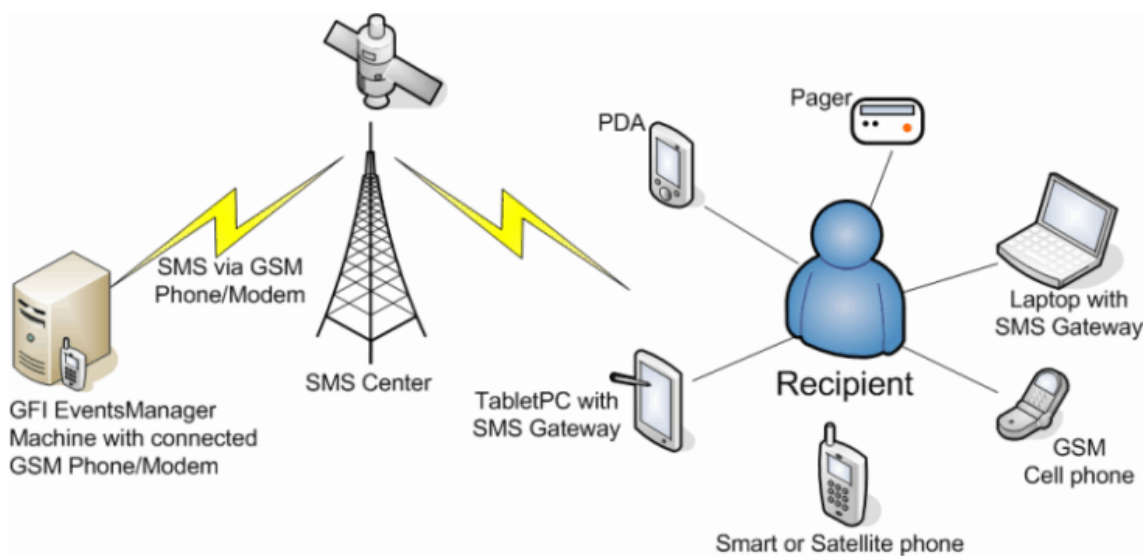


Figura 2.7: Red GSM

GSM se considera, por su velocidad de transmisión y otras características, un estándar de segunda generación (2G). Su extensión a 3G se denomina **UMTS** y difiere en su mayor velocidad de transmisión, el uso de una arquitectura de red ligeramente distinta y sobre todo en el empleo de diferentes protocolos de radio (W-CDMA).

4.2 Características de GSM

El sistema debe ser capaz de soportar una gran carga de usuarios, muchos de ellos utilizando la red al mismo tiempo. Si sólo hubiera una antena para todos los usuarios, el espacio radioeléctrico disponible se saturaría rápidamente por falta de ancho de banda. Una solución es reutilizar las frecuencias disponibles. En lugar de poner una sola antena para toda una ciudad, se colocan varias antenas, y se programa el sistema de manera que cada antena emplee frecuencias distintas a las de sus vecinas, pero las mismas que otras antenas fuera de su rango. A cada antena se le reserva cierto rango de frecuencias, que se corresponde con un cierto número de canales radioeléctricos (cada uno de los rangos de frecuencia en que envía datos una antena). Así, los canales asignados a cada antena de la red del operador son diferentes a los de las antenas contiguas, pero pueden repetirse entre antenas no contiguas.

Banda	Nombre	Canales	Uplink (MHz)	Downlink (MHz)	Notas
GSM 850	GSM 850	128 - 251	824,0 - 849,0	869,0 - 894,0	Usada en los EE.UU., Sudamérica y Asia.
GSM 900	P-GSM 900	1-124	890,0 - 915,0	935,0 - 960,0	La banda con que nació GSM en Europa y la más extendida
	E-GSM 900	975 - 1023	880,0 - 890,0	925,0 - 935,0	<i>E-GSM</i> , extensión de GSM 900
	R-GSM 900	n/a	876,0 - 880,0	921,0 - 925,0	<i>GSM ferroviario</i> (GSM-R).
GSM1800	GSM 1800	512 - 885	1710,0 - 1785,0	1805,0 - 1880,0	
GSM1900	GSM 1900	512 - 810	1850,0 - 1910,0	1930,0 - 1990,0	Usada en Norteamérica, incompatible con GSM-1800 por solapamiento de bandas.

Tabla 2.6: División del acceso al canal.

El sistema GSM basa su división de acceso al canal en combinar los siguientes modelos de reparto del espectro disponible. El primero es determinante a la hora de especificar la arquitectura de red, mientras que el resto se resuelve con circuitería en los terminales y antenas del operador:

- Empleo de celdas contiguas a distintas frecuencias para repartir mejor las frecuencias (**SDMA**, *Space Division Multiple Access*); reutilización de frecuencias en celdas no contiguas.
- División del tiempo en emisión y recepción mediante **TDMA** (*Time Division Multiple Access*).
- Separación de bandas para emisión y recepción y subdivisión en canales radioeléctricos (protocolo **FDMA**, *Frequency Division Multiple Access*).
- Variación pseudoaleatoria de la frecuencia portadora de envío de terminal a red (**FHMA**, *Frequency Hops Multiple Access*).

Por otro lado, para poder soportar la transmisión de datos en una red GSM, es necesario implementar una serie de funcionalidades:

- **Funciones de adaptación de velocidad** a dos niveles. En un primer nivel se adapta la velocidad de usuario a la velocidad del canal radio, y una segunda adaptación sobre 64Kbit/s.
- **Funciones de corrección de errores RLP** (*Radio Link Protocol*): esta función introduce control de flujo y corrección de errores en las comunicaciones no transparentes, para conseguir una alta calidad de servicio.
- **Funciones de conversión de protocolo L2R** (*Layer 2 relay*) para establecer una conversión entre la estructura de datos de usuario y una estructura adaptada al protocolo RLP

4.3 Arquitectura de red.

El sistema consiste en una red de radiocélulas contiguas para cubrir una determinada área de servicio. Cada célula tiene una BTS (*Base Transceiver Station*) que opera con un conjunto de canales diferente de los utilizados por las células adyacentes.

Un determinado conjunto de BTSs es controlado por una BSC (*Base Station Controller*). Un grupo de BSCs es a su vez controlado por una MSC (*Mobile Switching Centre*) que enruta llamadas hacia y desde redes externas (R.T.B., R.D.S.I., etc.) públicas o privadas (figura 2.8).

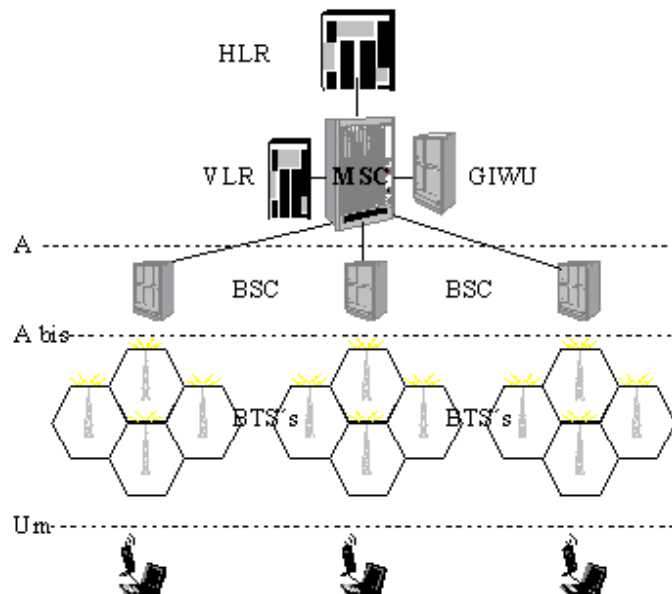


Figura 2.8: Red GSM

Veamos la función de cada uno de los elementos que constituyen la red GSM:

- a) **Mobile Station (MS)** consta a su vez de dos elementos básicos, por un lado el terminal o equipo móvil y por otro lado el SIM o *Subscriber Identity Module*.
- b) **Base Transceiver Station (BTS)**. La función principal de una BTS es proporcionar un número de canales radio a la zona a la que da servicio. La antena puede ser omnidireccional o sectorial (se divide la célula en tres sectores, con diferentes juegos de frecuencias).
- c) **Base Station Controller (BSC)**. La función primaria de una BSC es el mantenimiento de la llamada, así como la adaptación de la velocidad del enlace radio al estándar de 64 Kbit/s. utilizado por la red. Desde el momento en que el usuario es móvil, éste puede estar cambiando con más o menos frecuencia de celda; el procedimiento por el que la llamada se mantiene en estas condiciones sin que se produzcan interrupciones importantes se conoce con el nombre de “handover”.
- d) **Mobile Switching Centre (MSC)**. La MSC es el núcleo del sistema GSM. Es el centro de control de llamadas, responsable del establecimiento, enrutamiento y terminación de cualquier llamada, control de los servicios suplementarios y del handover entre MSCs, así como la recogida de información necesaria para tarificación. También actúa de interfaz entre la red GSM y cualquier otra red pública o privada de telefonía o datos.
- e) **Home Location Register (HLR)**. El HLR contiene información de estado (nivel de suscripción, servicios suplementarios, etc.) de cada usuario asignado al mismo, así

como información sobre la posible área visitada, a efectos de enrutar llamadas destinadas al mismo.

- f) **Visitor Location Register (VLR).** El VLR contiene información de estado de todos los usuarios que en un momento dado están registrados dentro de su zona de influencia; información que ha sido requerida y obtenida a partir de los datos contenidos en el HLR del que depende el usuario. Contiene información sobre si el usuario está o no activo, a efectos de evitar retardos y consumo de recursos innecesarios cuando la estación móvil está apagada.
- g) **GSM Interworking Unit (GIWU).** Sirve como interfaz de comunicación entre diferentes redes para comunicación de datos.



5. GPRS (*General Packet Radio Service*)

5.1 Descripción.

Como se expuso en el apartado anterior, el sistema GSM es el sistema de comunicación de móviles digital de 2ª generación basado en células de radio. Apareció para dar respuestas a los problemas de los sistemas analógicos.

GSM fue diseñado para la transmisión de voz por lo que se basa en la conmutación de circuitos, aspecto del que se diferencia del sistema GPRS. Al realizar la transmisión mediante conmutación de circuitos los recursos quedan ocupados durante toda la comunicación y la tarificación es por tiempo. Por tanto el servicio **GPRS** (*General Packet Radio Service*) es una extensión de GSM para la transmisión de datos no conmutada (o por paquetes). Además, GPRS es una tecnología que comparte el rango de frecuencias de la red GSM.

GPRS se puede utilizar para servicios tales como Wireless Application Protocol (WAP), servicio de mensajes cortos (SMS), servicio de mensajería multimedia (MMS), Internet y para los servicios de comunicación, como el correo electrónico y la World Wide Web (WWW). La transferencia de datos de GPRS se cobra por volumen de información transmitida, mientras que la comunicación de datos a través de conmutación de circuitos tradicionales se factura por minuto de tiempo de conexión, independientemente de si el usuario utiliza toda la capacidad del canal o está en un estado de inactividad.

GPRS da mejor rendimiento a la conmutación de paquetes de servicios, en contraposición a la conmutación de circuitos, donde una cierta calidad de servicio (QoS) está garantizada durante la conexión. Por este motivo, se considera más adecuada la conexión conmutada para servicios como la voz que requieren un ancho de banda constante durante la transmisión, mientras que los servicios de paquetes como GPRS se orientan al tráfico de datos.

5.2 Características de GPRS.

En este tipo de técnica no es necesario establecer un canal dedicado para cada usuario sino que la conexión se realiza en el momento de utilización del canal, por lo tanto se pierde el concepto de **facturación** por tiempo, pasando a ser **por utilización del canal de emisión**. La vía de conexión es mucho más utilizada, ya que permite a los usuarios compartir el mismo medio.

GPRS está basado en **conmutación de paquetes**. La entidad transmisora segmenta el mensaje a transmitir en PDUs (paquetes de datos) independientes, de tamaño apropiado. La entidad receptora se encarga de reconstruirlos (reensamblarlos) hasta obtener el mensaje original completo. Cada paquete de datos se transfiere de un nodo a otro como una sola unidad. Contienen información de control (direcciones de origen y destino, identificador, etc.) que permite su manejo en la red.

El PDU se almacena temporalmente en cada uno de los nodos por los que pasa mientras espera ser enviado al siguiente. Esto conlleva un aumento del retardo en función del volumen de tráfico existente y de la capacidad del enlace. Todos los PDUs que componen los datos están relacionados unos con otros, pero la forma en que viajan y son reagrupados varía. La propia red puede fragmentar los PDUs si la longitud de éstos es mayor que la unidad máxima de transferencia (MTU, *Maximum Transfer Unit*) de la red.

Existe una **reserva flexible de canales**. Los canales de comunicación (time-slots) se comparten entre los distintos usuarios dinámicamente en función de sus necesidades y son asignados, únicamente, cuando se está transmitiendo datos. Así una vez que el paquete de datos ha sido transmitido a través de la interfaz aérea, los recursos radio pueden ser liberados para el uso por parte de otros usuarios.

Con el fin de proteger contra errores los paquetes transmitidos tiene lugar la **codificación del canal radio**, mediante el método GEA (*GPRS Encryption Algorithm*) con algoritmos secretos.

La introducción de un servicio de datos por conmutación de paquetes no asegura a los usuarios GSM la posibilidad de disfrutar de servicios por conmutación de circuito (voz, datos). Naturalmente el uso de dos servicios puede llevar a una degradación de las prestaciones, en términos de throughput, de la llamada GPRS.

Con este propósito se definen tres clases de dispositivos móviles teniendo en cuenta la posibilidad de usar servicios GSM y GPRS simultáneamente:

Clase A

Estos dispositivos pueden utilizar simultáneamente servicios GPRS y GSM.

Clase B

Sólo pueden estar conectados a uno de los dos servicios en cada momento. Mientras se utiliza un servicio GSM (llamadas de voz o SMS), se suspende el servicio GPRS, que se reinicia automáticamente cuando finaliza el servicio GSM. La mayoría de los teléfonos móviles son de este tipo.

Clase C

Se conectan alternativamente a uno u otro servicio. El cambio entre GSM y GPRS debe realizarse de forma manual.

Para que un dispositivo de clase A pueda transmitir en dos frecuencias a la vez, necesitaría dos radios. Para resolver este costoso problema, un móvil con GPRS suele implementar la característica conocida como modo de transferencia dual (DMT, *Dual Transfer Mode*). Un móvil DMT puede usar a la vez el canal de datos y el de voz, puesto que es la red la que coordina y se asegura de que no se requiera transmitir en dos frecuencias diferentes a la vez. Los móviles DMT se consideran de clase A, pero simplificados.

5.3 Arquitectura de red.

Como ya se explico con anterioridad, GPRS es una red superpuesta a GSM, por lo que comparte con ella la red de acceso (GSM-IP). Para lograr esto, GPRS introduce dos nuevos nodos, GGSN y SGSN:

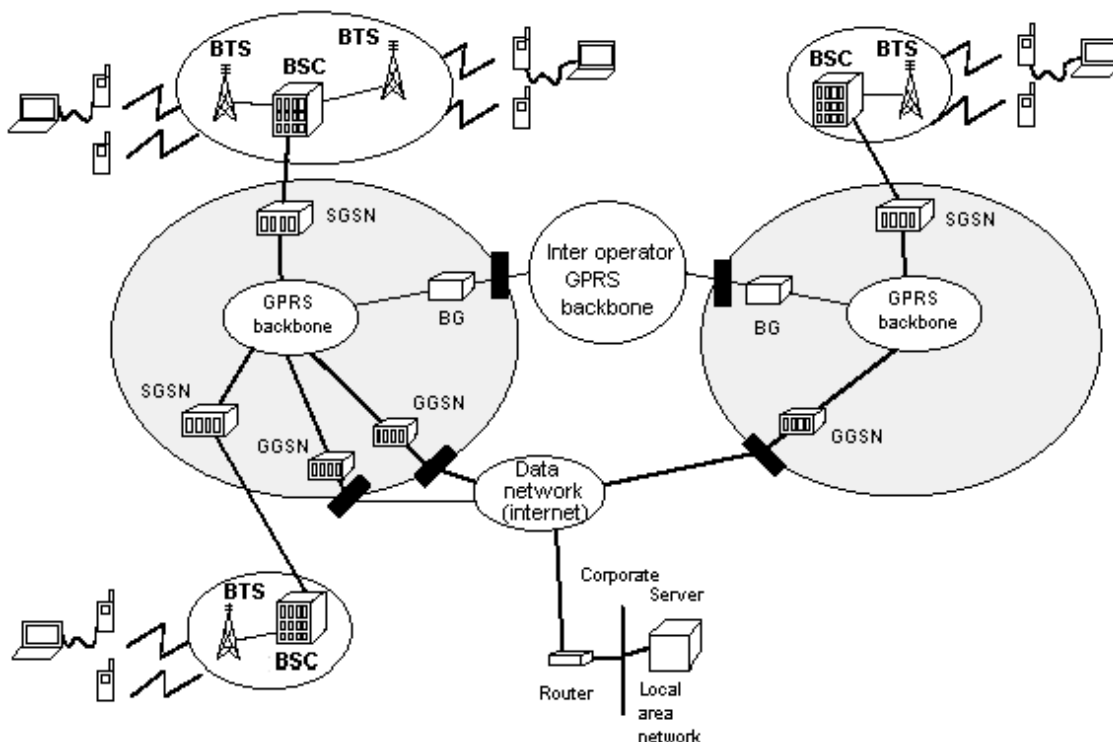


Figura 2.9: Arquitectura de red GPRS

GGSN (Gateway GPRS Support Node): Actúa como un interfaz lógico hacia las redes de paquetes de datos externas (router).

- Se conecta a redes externas como Internet o X.25.
- Es un dispositivo de encaminamiento hacia una subred ya que hace que la infraestructura de la red GPRS sea transparente vista desde fuera.
- Cuando recibe datos dirigidos hacia un usuario específico, comprueba si la dirección está activa, y en caso afirmativo, envía los datos al SGSN.
- Encamina hacia la red correspondiente los datos que origina el móvil.

SGSN (*Serving GPRS Support Node*): Es un nodo de conmutación de paquetes que se sitúa jerárquicamente al mismo nivel que las MSC. Se encarga del transporte de los paquetes de datos hacia y desde BTS que se encuentran en su área de servicio, también cumple la función de detectar nuevos móviles GPRS en dicha área guardando un registro de su localización, consultando con el HLR el perfil del usuario, de gestionar la movilidad de los MS y controlar aspectos relacionados con tarificación, control de accesos y seguridad de las comunicaciones (encriptación y compresión de datos).

PCU (*Packet Control Unit*): Este elemento se introduce a nivel de BSC, es el encargado de manejar la comunicación de paquetes.

CG (*Charging Gateway*): Su función principal es recoger los CDRs generados por los SGSNs y GGSNs de manera que los consolida y pre-procesa antes de enviarlos al sistema de tarificación o BS (*Billing System*).

BG (*Border Gateway*): Básicamente es un nodo pasarela que realiza la interfaz entre backbones GPRS de distintas operadoras.

6. 802.15.4

6.1 Descripción.

IEEE 802.15.4 es un estándar que define el nivel físico y el control de acceso al medio de redes inalámbricas de área personal con tasas bajas de transmisión de datos (LR-WPAN, *Low-Rate Wireless Personal Area Network*).

También es la base sobre la que se define la especificación de ZigBee, cuyo propósito es ofrecer una solución completa para este tipo de redes construyendo los niveles superiores de la pila de protocolos que el estándar no cubre.

El propósito del estándar es definir los niveles de red básicos para dar servicio a un tipo específico de WPAN centrada en la habilitación de comunicación entre dispositivos ubicuos con bajo coste y velocidad (en contraste con esfuerzos más orientados directamente a los usuarios medios, como Wi-Fi). Se enfatiza el bajo coste de comunicación con nodos cercanos y sin infraestructura o con muy poca, para favorecer aún más el bajo consumo.

6.2 Características de 802.15.4

En la siguiente tabla se muestran las propiedades del IEEE 802.15.4:

Propiedad	Rango
Rango de transmisión de datos	868 MHz: 20kb/s 915 MHz: 40kb/s 2.4 GHz: 250 kb/s
Alcance	10 – 20 m.
Latency	Abajo de los 15 ms.
Canales	868/915 MHz: 11 canales. 2.4 GHz: 16 canales.
Bandas de frecuencia	Dos PHY: 868/915 MHz y 2.4 GHz.
Direccionamiento	Cortos de 8 bits o 64 bits IEEE

Canal de acceso	CSMA-CA y rasurado CSMA-CA
Temperatura	El rango de temperatura industrial: -40° a +85° C

Tabla 2.7: Características de 802.15.4

En su forma básica se concibe un área de comunicación de 10 metros con una tasa de transferencia de 250 kbps. Se pueden realizar compromisos que favorezcan aproximaciones más radicales a los sistemas empotrados con requerimientos de consumo aún menores. Para ello se definen varios niveles físicos. Se definieron inicialmente tasas alternativas de 20 y 40 kbps; la versión actual añade una tasa adicional de 100 kbps. Se pueden lograr tasas aún menores con la consiguiente reducción de consumo de energía.

Entre los aspectos más importantes se encuentra la adecuación de su uso para tiempo real por medio de slots de tiempo garantizados, evitación de colisiones por CSMA/CA y soporte integrado a las comunicaciones seguras. También se incluyen funciones de control del consumo de energía como calidad del enlace y detección de energía.

Tipos de dispositivos

El estándar define dos tipos de nodo en la red. El primero es el **dispositivo de funcionalidad completa** (FFD, *full-function device*). Puede funcionar como coordinador de una red de área personal (PAN) o como un nodo normal. Implementa un modelo general de comunicación que le permite establecer un intercambio con cualquier otro dispositivo. Puede, además, encaminar mensajes, en cuyo caso se le denomina coordinador (coordinador de la PAN si es el responsable de toda la red y no sólo de su entorno).

Contrapuestos a éstos están los **dispositivos de funcionalidad reducida** (RFD, *reduced-function device*). Se plantean como dispositivos muy sencillos con recursos y necesidades de comunicación muy limitadas. Por ello, sólo pueden comunicarse con FFD's y nunca pueden ser coordinadores.

Las redes de nodos pueden construirse como **redes punto a punto** o en **estrella**. En cualquier caso, toda red necesita al menos un FFD que actúe como su coordinador. Las redes están compuestas por grupos de dispositivos separados por distancias suficientemente reducidas; cada dispositivo posee un identificador único de 64 bits, aunque si se dan ciertas condiciones de entorno en éste pueden utilizarse identificadores cortos de 16 bits. Probablemente éstos se utilizarán dentro del dominio de cada PAN separada.

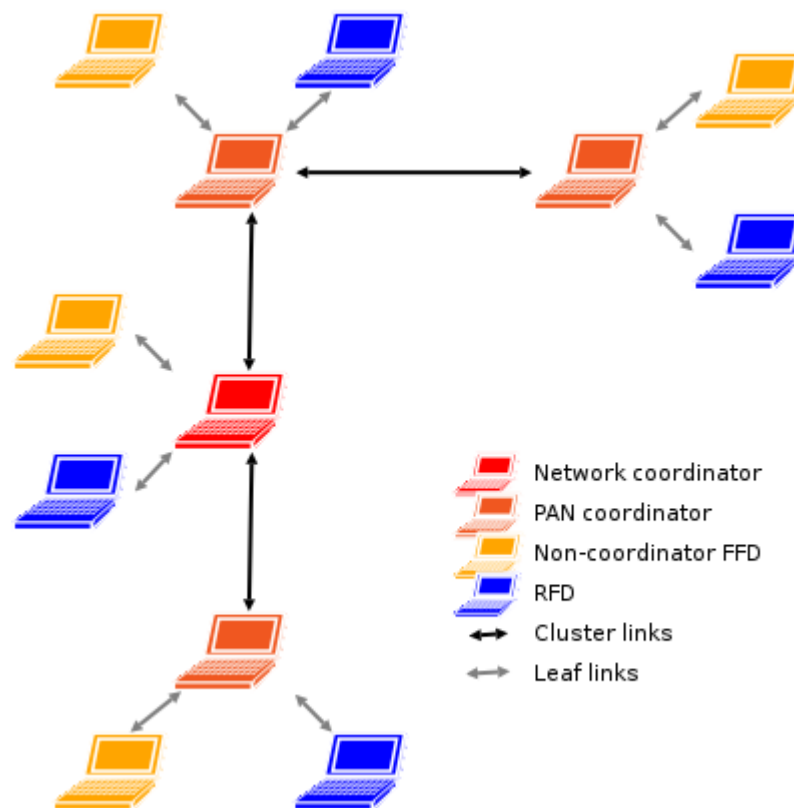


Figura 2.10: Tipos de dispositivos y Topologías de red

Las **redes punto a punto** pueden formar patrones arbitrarios de conexionado, y su extensión está limitada únicamente por la distancia existente entre cada par de todos. Forman la base de redes ad hoc autoorganizativas. El estándar no define un nivel de red, por lo que no se soportan funciones de ruteo de forma directa, aunque si dicho nivel se añade pueden realizarse comunicaciones en varios saltos. Pueden imponerse otras restricciones topológicas; en concreto, el estándar menciona el árbol de clusters como una estructura que aprovecha que los RFD's sólo pueden conectarse con un FFD al tiempo para formar redes en las que los RFD's son siempre hojas del árbol, y donde la mayoría de los nodos son FFD's.

También pueden formarse **redes en estrella**, en las que el coordinador va a ser siempre el nodo central. Una red así se forma cuando un FFD decide crear su PAN y se nombra a sí mismo coordinador, tras elegir un identificador de PAN único. Tras ello, otros dispositivos pueden unirse a una red totalmente independiente del resto de redes en estrella.

6.3 Arquitectura de red.

Los dispositivos se relacionan entre sí a través de una red inalámbrica sencilla. La definición de los niveles se basa en el modelo OSI. Aunque los niveles inferiores se definen en el estándar, se prevé la interacción con el resto de niveles, posiblemente por medio de un subnivel de control de enlace lógico basado en IEEE 802.2, que acceda a MAC a través de un subnivel de convergencia. La implementación puede basarse en dispositivos externos o integrarlo todo en dispositivos autónomos.

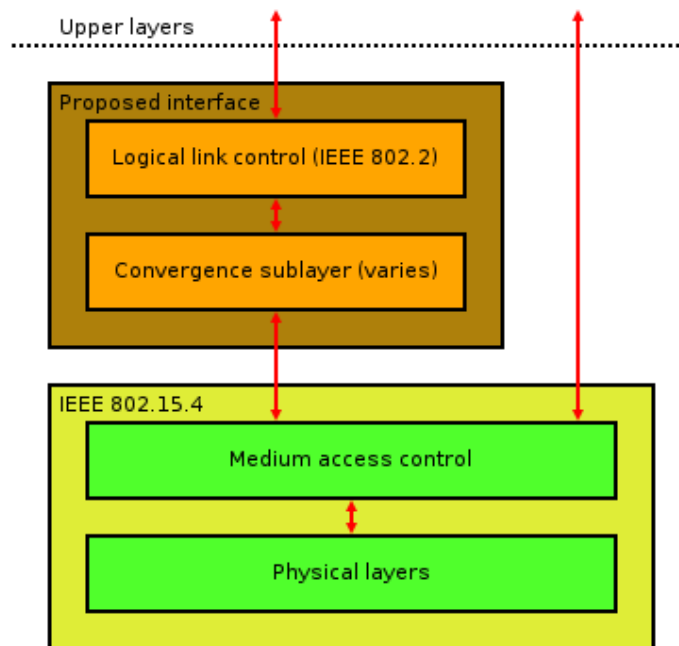


Figura 2.11: Arquitectura de red

El *nivel físico* (PHY) provee el servicio de transmisión de datos sobre el medio físico propiamente dicho, así como la interfaz con la entidad de gestión del nivel físico, por medio de la cual se puede acceder a todos los servicios de gestión del nivel y que mantiene una base de datos con información de redes de área personal relacionadas. De esta forma, PHY controla el transceptor de radiofrecuencia y realiza la selección de canales junto con el control de consumo y de la señal.

El *control de acceso al medio* (MAC) transmite tramas MAC usando para ello el canal físico. Además del servicio de datos, ofrece un interfaz de control y regula el acceso al canal físico y al balizado de la red. También controla la validación de las tramas y las asociaciones entre nodos, y garantiza slots de tiempo. Por último, ofrece puntos de enganche para servicios seguros.

El estándar no define niveles superiores ni subcapas de interoperabilidad. Existen extensiones, como la **especificación de ZigBee**, que complementan al estándar en la propuesta de soluciones completas.



7. ZigBee

7.1 Descripción.

ZigBee es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radios digitales de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes WPAN. Su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías. Trata de proponer una red comunicación de dispositivos con un tamaño de paquete pequeño, en contraposición a otras tecnologías como Bluetooth o WIFI, que tratan volúmenes de información superiores y por supuesto se sitúan entre las tecnologías más complejas.

A diferencia de otras tecnologías, ZigBee está especialmente diseñada para grandes redes de sensores, con las características inherentes a ellas: fiabilidad, larga duración de las baterías de los dispositivos, bajos costes, tamaño diminuto y complejidad reducida, sin requerimientos de calidad de servicio importantes, etc. El objetivo es ofrecer un estándar abierto, eficiente, de poco consumo e inalámbrico para la monitorización y control de dispositivos.

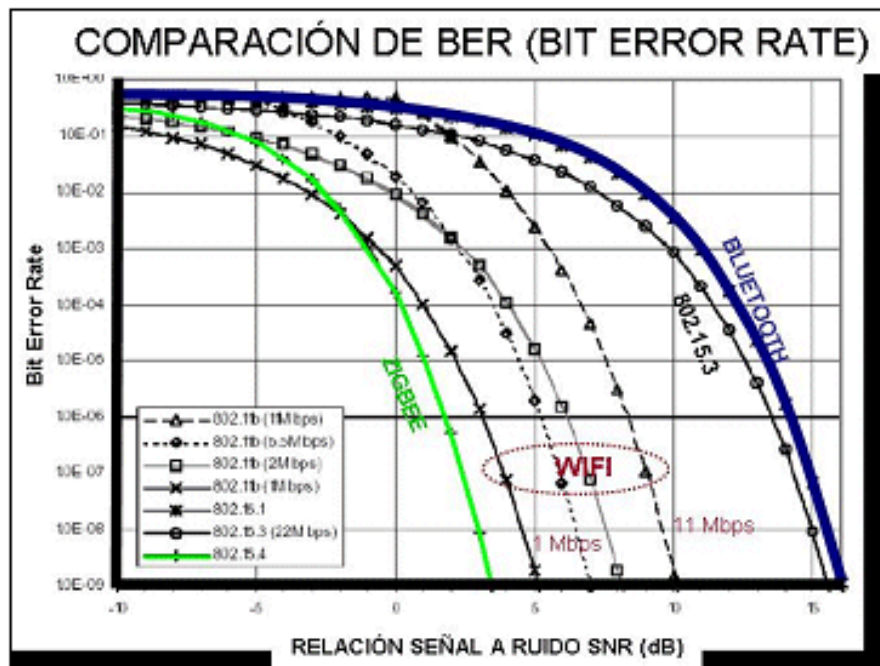


Figura 2.12: Relación SNR – Bit Error Rate

Es un protocolo de comunicación multi-salto, es decir, que se puede establecer comunicación entre dos nodos aún cuando estos se encuentren fuera del rango de transmisión, siempre y cuando existan otros nodos intermedios que los interconecten, de esta manera, se incrementa el área de cobertura de la red.

La imagen muestra una idea del grado de robustez de esta tecnología frente a otras. En concreto, se puede observar como ZigBee puede trabajar de forma efectiva en condiciones adversas, ambientes con ruido elevado o relación señal a ruido baja.

7.2 Características de ZigBee

ZigBee utiliza la banda ISM para usos industriales, científicos y médicos; en concreto, 868 MHz en Europa, 915 MHz en Estados Unidos y 2,4 GHz en todo el mundo (Tabla 2.8). Sin embargo, a la hora de diseñar dispositivos, las empresas optarán prácticamente siempre por la banda de 2,4 GHz, por ser libre en todo el mundo. El desarrollo de la tecnología se centra en la sencillez y el bajo coste más que otras redes inalámbricas semejantes de la familia WPAN, como por ejemplo Bluetooth.

Frequency	Band	Coverage	Data	# of Channels	Rx Sensitivity	Modulation
2.4GHz	ISM	Worldwide	250kbps	16	-85dBm	O-QPSK
868MHz		Europe	20kbps	1	-92dBm	BPSK
915MHz	ISM	Americas	40kbps	10	-92dBm	BPSK

Tabla 2.8: Características de radio ZigBee

Como interfaz utiliza la técnica DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) con distintas modulaciones: BPSK para las frecuencias 868 y 915 y O-QPSK para la banda ISM 2,4 GHZ. El ancho de banda del canal es de 2 MHz y 5 MHz. respectivamente.

A pesar de coexistir en la misma frecuencia con otro tipo de redes como WiFi o Bluetooth su desempeño no se ve afectado, esto debido a su baja tasa de transmisión y, a características propias del estándar IEEE 802.15.4.

Cada red ZigBee tiene un identificador de red único, lo que permita que coexistan varias redes en un mismo canal de comunicación sin ningún problema. Teóricamente pueden existir hasta 16 000 redes diferentes en un mismo canal y cada red puede estar constituida por hasta 65 000 nodos, obviamente estos límites se ven truncados por algunas restricciones físicas (memoria disponible, ancho de banda, etc.).

Puesto que ZigBee está basado en el estándar IEEE 802.15.4, los tipos de dispositivos y topologías de red son comunes a los explicados en la sección anterior.

Tipos de dispositivos

Se definen tres tipos distintos de dispositivo ZigBee según su papel en la red:

- **Coordinador ZigBee** (ZC, *ZigBee Coordinator*). El tipo de dispositivo más completo. Debe existir uno por red. Sus funciones son las de encargarse de controlar la red y los caminos que deben seguir los dispositivos para conectarse entre ellos.
- **Router ZigBee** (ZR, *ZigBee Router*). Interconecta dispositivos separados en la topología de la red, además de ofrecer un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario.
- **Dispositivo final** (ZED, *ZigBee End Device*). Posee la funcionalidad necesaria para comunicarse con su nodo padre (el coordinador o un router), pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos. De esta forma, este tipo de nodo puede estar dormido la mayor parte del tiempo, aumentando la vida media de sus baterías. Un ZED tiene requerimientos mínimos de memoria y es por tanto significativamente más barato.

Basándose en su funcionalidad, puede plantearse una segunda clasificación:

- **Dispositivo de funcionalidad completa** (FFD): También conocidos como nodo activo. Es capaz de recibir mensajes en formato 802.15.4. Gracias a la memoria adicional y a la capacidad de computar, puede funcionar como Coordinador o Router ZigBee, o puede ser usado en dispositivos de red que actúen de interface con los usuarios.
- **Dispositivo de funcionalidad reducida** (RFD): También conocido como nodo pasivo. Tiene capacidad y funcionalidad limitadas (especificada en el estándar) con el objetivo de conseguir un bajo coste y una gran simplicidad. Básicamente, son los sensores/actuadores de la red.

Un nodo ZigBee (tanto activo como pasivo) reduce su consumo gracias a que puede permanecer dormido la mayor parte del tiempo. Cuando se requiere su uso, el nodo ZigBee es capaz de despertar en un tiempo ínfimo, para volverse a dormir cuando deje de ser requerido. Un nodo cualquiera despierta en aproximadamente 15 ms. Además de este tiempo, se muestran otras medidas de tiempo de funciones comunes:

- Nueva enumeración de los nodos esclavo (por parte del coordinador): aproximadamente 30 ms.
- Acceso al canal entre un nodo activo y uno pasivo: aproximadamente 15 ms.

Topologías de red

ZigBee permite tres topologías de red:

- Topología en **estrella**: el coordinador se sitúa en el centro.
- Topología en **árbol**: el coordinador será la raíz del árbol.
- Topología de **mall**: al menos uno de los nodos tendrá más de dos conexiones.

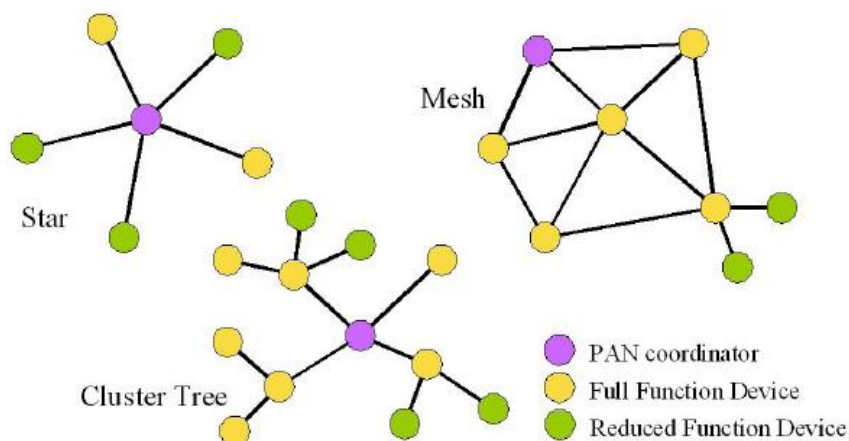


Figura 2.13: Tipos de dispositivos y Topologías de red

La topología más interesante es la topología de malla. Ésta permite que si, en un momento dado, un nodo del camino falla y se cae, pueda seguir la comunicación entre todos los demás nodos debido a que se rehacen todos los caminos. La gestión de los caminos es tarea del coordinador.

Estrategias de conexión de los dispositivos en una red Zigbee

Las redes ZigBee han sido diseñadas para conservar la potencia en los nodos 'esclavos'. De esta forma se consigue el bajo consumo de potencia. La estrategia consiste en que, durante mucho tiempo, un dispositivo "esclavo" está en modo "dormido", de tal forma que solo se "despierta" por una fracción de segundo para confirmar que está "vivo" en la red de dispositivos de la que forma parte. Esta transición del modo "dormido" al modo "despierto" (modo en el que realmente transmite), dura unos 15ms, y la enumeración de "esclavos" dura alrededor de 30ms.

En las redes Zigbee, se pueden usar dos tipos de entornos o sistemas:

- 1) **Con balizas:** Es un mecanismo de control del consumo de potencia en la red. Permite a todos los dispositivos saber cuándo pueden transmitir. Las balizas que dan nombre a este tipo de entorno, se usan para poder sincronizar todos los dispositivos que conforman la red, identificando la red, y describiendo la estructura de la "supertrama". Los intervalos de las balizas son asignados por el coordinador de red y pueden variar desde los 15ms hasta los 4 minutos.

Este modo es más recomendable cuando el coordinador de red trabaja con una batería. Los dispositivos que conforman la red, escuchan a dicho coordinador durante el "balizamiento" (envío de mensajes a todos los dispositivos – broadcast - , entre 0,015 y 252 segundos). Un dispositivo que quiera intervenir, lo primero que tendrá que hacer es registrarse para el coordinador, y es entonces cuando mira si hay mensajes para él. En el caso de que no haya mensajes, este dispositivo vuelve a "dormir", y se despierta de acuerdo a un horario que ha establecido previamente el coordinador. En cuanto el coordinador termina el "balizamiento", vuelve a "dormirse".

- 2) **Sin balizas:** Se usa el acceso múltiple al sistema Zigbee en una red punto a punto cercano. En este tipo, cada dispositivo es autónomo, pudiendo iniciar una conversación, en la cual los otros pueden interferir. A veces, puede ocurrir que el dispositivo destino puede no oír la petición, o que el canal esté ocupado.

Este sistema se usa típicamente en los sistemas de seguridad, en los cuales sus dispositivos (sensores, detectores de movimiento o de rotura de cristales), duermen prácticamente todo el tiempo (el 99,999%). Para que se les tenga en cuenta, estos elementos se "despiertan" de forma regular para anunciar que siguen en la red. Cuando se produce un evento, el sensor "despierta" instantáneamente y transmite la alarma correspondiente. Es en ese momento cuando el coordinador de red, recibe el mensaje enviado por el sensor, y activa la alarma correspondiente. En este caso, el coordinador de red se alimenta de la red principal durante todo el tiempo.

7.3 Arquitectura de red.

ZigBee es una pila de protocolos, que de manera similar al modelo OSI está constituida por diferentes capas, las cuales son independientes una de la otra. En la figura 2.14 se muestran las diferentes capas que conforman la pila de protocolos para ZigBee.

La pila de arquitectura ZigBee consta de varios componentes en capas como IEEE 802.15.4: la capa de Control de Acceso al Medio, la capa física y la capa de red Zigbee (NWK). La capa de aplicación de ZigBee se subdivide en la subcapa APS, la capa ZDO (Zigbee Device Objects) y los objetos de aplicación definidos por cada uno de los fabricantes.

La subcapa de soporte de aplicación (APS, *APplication Support*) proporciona un interfaz entre la capa de red (NWK, *NetWork*) y la capa de aplicación (APL) a través de un conjunto de servicios que se utilizan junto a los ZDO y otros objetos que hayan sido definidos por los fabricantes.

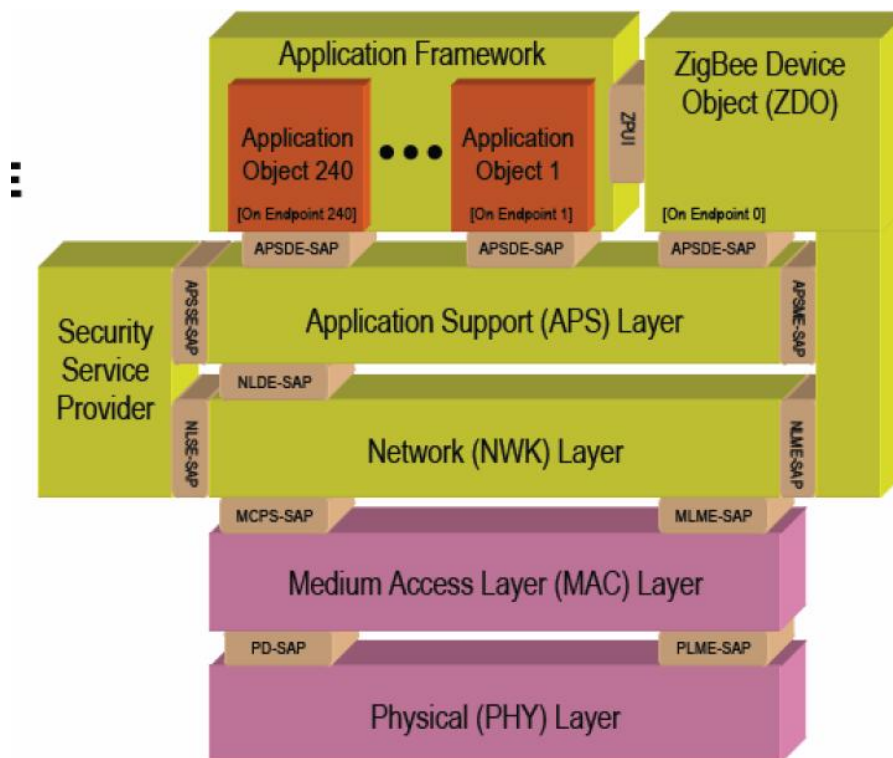


Figura 2.14: Pila de arquitectura ZigBee

- La capa de más bajo nivel es la capa física (PHY), que en conjunto con la capa MAC, brindan los servicios de transmisión de datos por el aire, punto a punto. Estas dos capas están descritas en el estándar IEEE 802.15.4–2003.
- La capa de red (NWK) tiene como objetivo principal permitir el correcto uso del subnivel MAC y ofrecer una interfaz adecuada para su uso por parte de la capa de

aplicación. En esta capa se brindan los métodos necesarios para: iniciar la red, unirse a la red, enrutar paquetes dirigidos a otros nodos en la red, proporcionar los medios para garantizar la entrega del paquete al destinatario final, filtrar paquetes recibidos, cifrarlos y autentificarlos.

- La siguiente capa es la de soporte a la aplicación que es el responsable de mantener el rol que el nodo juega en la red, filtrar paquetes a nivel de aplicación, mantener la relación de grupos y dispositivos con los que la aplicación interactúa y simplificar el envío de datos a los diferentes nodos de la red. La capa de Red y de soporte a la aplicación son definidas por la ZigBee Alliance.
- En el nivel conceptual más alto se encuentran los ZDO que se encargan de definir el papel del dispositivo en la red, si actuará como coordinador, ruteador o dispositivo final; la subcapa APS y los objetos de aplicación definidos por cada uno de los fabricantes.

8. Comparativa de las Tecnologías Inalámbricas

En este último apartado del capítulo titulado “Tecnologías Inalámbricas” cabe realizar una comparación entre todas ellas. La elección de utilizar una tecnología en concreto vendrá influenciada por las necesidades y requisitos de nuestra aplicación particular.

A continuación se muestran 2 tablas comparativas. En la tabla 2.9 se establece la comparación entre Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth y ZigBee. Y en la tabla 2.10 se muestra GSM frente a GPRS.

	Wi-Fi	WIMAX - Fija	WIMAX - Móvil	BLUETOOTH	ZIGBEE
Estándar	802.11	802.16d	802.16g	802.15.1	802.15.4
Movilidad	Sí	No	Sí	Sí	Sí
Velocidad	<54Mbps	<75Mbps	<30Mbps	Versión 1.2: 1Mbps Versión 2.0: 3Mbps UWB (<i>Ultra Wide Band</i>): 53 - 480 Mbit/s	20kb/s: 868 MHz: Europe 40kb/s: 915 MHz: Americas 250 kb/s: 2.4 GHz: Worldwide
Cobertura	<100m	<15km	<5km	Clase 1: 100 m Clase 2: 15-20 m Clase 3: 10 m	10 – 75 m
Frecuencia de operación	2,4 GHz	2 – 11 GHz	2 – 11 GHz	2,4 GHz	Dos PHY: 868/915 MHz y 2.4 GHz.
Requerimiento de licencia	No	Puede operar en bandas licenciadas o no licenciadas	Puede operar en bandas licenciadas o no licenciadas	No	No
Seguridad	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Consumo	-	-	-	40mA transmitiendo y 0.2mA en reposo	30mA transmitiendo y de 3uA en reposo

Tabla 2.9: Comparativa de Tecnologías Inalámbricas

	GSM	GPRS
Transmisión de información	Conmutación de circuitos - transmisión de voz	Conmutación de paquetes - transmisión de datos
Velocidad de transferencia	9,6 Kbps	40 - 115 Kbps
Tiempo de establecimiento de conexión	15 a 30 segundos	< 1 segundo
Tarificación	Por tiempo de conexión	Por volumen de datos transferidos
Roaming	Problemas para mantener la conectividad en itinerancia	Sí

Tabla 2.10: Comparativa de Tecnologías Inalámbricas

Capítulo 3: Sistemas de Observación Costero (SOC)

Los Observatorios Costeros (ver Figura 3.1) son Sistemas de Observación Oceanográficos que pueden incluir múltiples componentes de distinta naturaleza: boyas de superficie, perfiladores autónomos, vehículos submarinos autónomos (AUVs), ROVs (*Remote Operated Vehicle*), radares costeros, buques, aviones, vehículos aéreos autónomos (UAVs) y satélites. Éstos permiten investigar, entre otras cosas, el impacto de los océanos en la variabilidad de las costas, el impacto del hombre, la presencia de nutrientes y de otros elementos en las aguas costeras, ecosistemas, morfología de las costas y erosión de las playas.

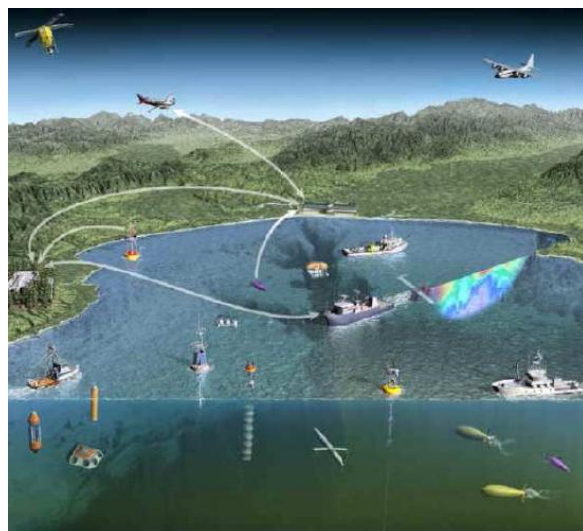


Figura 3.1: Observatorio Costero

Existen hoy en día distintas plataformas tecnológicas de observación marina geográficamente distribuidas en distintas zonas del planeta. Todas ellas comparten un denominador común: son infraestructuras basadas en sistemas de observación in situ, complementados por sistemas de observación telemétricos y métodos de procesamiento que incluyen sofisticados modelos numéricos. El grado de integración de información obtenida difiere entre las diversas plataformas.

En este capítulo se ha realizado el estado del arte de los Sistemas de Observación Costeros tanto a nivel nacional como a nivel internacional.

A nivel nacional se han estudiado los observatorios que actualmente se encuentran en funcionamiento entre los cuales se pueden destacar **Puertos del Estado**, la **Red de instrumentación oceanográfica y meteorológica de la Generalitat de Catalunya**, las **estaciones océano-meteorológicas de AZTI** y el Observatorio Submarino Expansible, **OBSEA**, ubicado en la costa de Vilanova i la Geltrú. Además, se han incluido algunas Infraestructuras Científicas y Tecnológicas Singulares (**ICTS**) cuyo objetivo será gestionar y poner en funcionamiento los sistemas de observación deseados. El Sistema de Observación Costero **MAREAS** (*Marine Research Facilities for Environment and Security*) en Asturias; el Sistema de Observación Costero de las Islas Baleares, **SOCIB**; la Plataforma Oceánica de Canarias, **PLOCAN**; la Unidad Oceanográfica de Galicia, **UOG**, y el Observatorio Oceanográfico Costero de la Región de Murcia (**OOCMur**) son las ICTS que se han destacado en este trabajo.

A nivel internacional existe un gran avance en el ámbito oceanográfico en comparación con el proceso de desarrollo que actualmente se está produciendo en España. Hay numerosas infraestructuras de observación enumeradas en la Tabla 3.1 pero en este trabajo únicamente se describen los tres observatorios considerados más relevantes: **NEPTUNE** (*North-East Pacific Time-series Undersea Networked Experiment*), **MVCO** (*Martha's Vineyard Coastal Observatory*) y **VENUS** (*Victoria Experimental Network Under the Sea*).

1. Sistemas de Observación Costero a nivel nacional.

Los Sistemas de Observación en España están en pleno desarrollo tanto tecnológico como logístico y por ello difieren tanto de los observatorios ya establecidos y en funcionamiento del resto del mundo. No obstante, en este apartado se revisan numerosas iniciativas de ICTS y observatorios (ver Tablas 3.1 y 3.2) que se están implantando en nuestro país [20].

Observatorio	Contacto
Puertos del Estado	http://www.puertos.es
Red de instrumentación oceanográfica y meteorológica (XIOM) de la Generalitat de Catalunya	http://www.boiescat.org/
Estaciones océano-meteorológicas de AZTI	http://www.azti.es/aanderaa/experiencia.htm
Observatorio Submarino Expansible (OBSEA)	http://www.obsea.es/

Tabla 3.1: SOC a nivel nacional

ICTS	Contacto
Sistema de Observación Costero MAREAS (Marine Research Facilities for Environment and Security)	http://www.redictsmarinas.ieo.es/redICTS/ictsRed.html?id=33&tipo=red
Sistema de Observación Costero de las Islas Baleares (SOCIB)	http://oceanbit.org/content/
Plataforma Oceánica de Canarias (PLOCAN)	http://plocan.eu/es/
Unidad Oceanográfica de Galicia (UOG)	http://www.redictsmarinas.ieo.es/redICTS/ictsRed.html?id=44&tipo=red
Observatorio Oceanográfico Costero de la Región de Murcia (OOCMur)	http://www.redictsmarinas.ieo.es/redICTS/ictsRed.html?id=39&tipo=red

Tabla 3.2: Proyectos de nuevas ICTS.



Figura 3.2: ICTS a nivel nacional

1.1 Puertos del Estado.

Puertos del Estado es una institución dependiente del Ministerio de Fomento que tiene la responsabilidad global sobre el sistema portuario dependiente del Estado, [5]. Comprende un total de 27 Autoridades Portuarias y es la encargada de coordinar dicho sistema, así como de implementar la política del gobierno en materia portuaria. Uno de sus papeles fundamentales es el mantenimiento de las redes de observación del medio físico que afecta al sistema portuario. Esta labor se realiza por parte del Área del Medio Físico.

El Área del Medio Físico tiene 3 ámbitos fundamentales de actividad: Redes de Observación; Sistemas de predicción y Bases de datos.

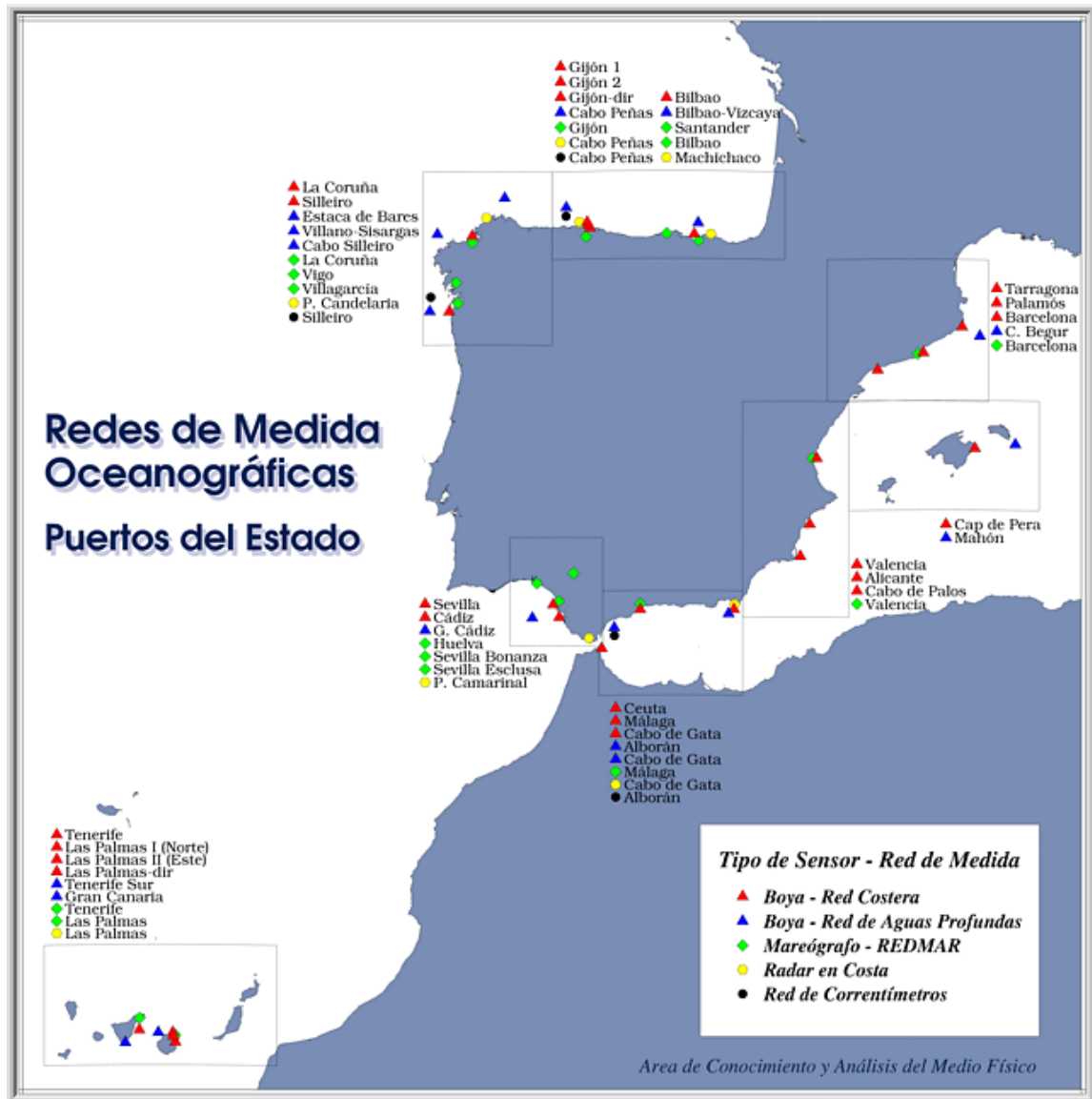


Figura 3.3: Redes de Observación

1.1.1 Redes de observación.

La red de observación de Puertos del Estado opera con diversas redes de observación (Figura 3.3) cada una de ellas con un objetivo:

- La **Red de aguas profundas** está formada por 11 boyas Seawatch y 3 Wavescan. Los instrumentos están ubicados en puntos con profundidades entre 200 y 800 metros y miden parámetros oceanográficos y meteorológicos. Los datos son transmitidos cada hora vía satélite y se envían a la web donde pueden ser visualizados por los usuarios.

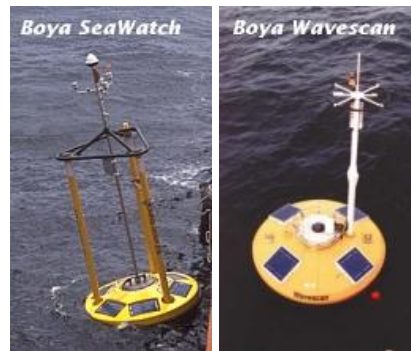


Figura 3.4: Boyas Seawatch y Wavescan

- La **Red Costera** de Puertos del Estado proporciona datos de oleaje en tiempo real en puntos de aguas poco profundas. Su objetivo es complementar las medidas de la red exterior en lugares de especial interés para las actividades portuarias o la validación de modelos de oleaje. Consta de boyas escalares Waverider (red REMRO, *Red de Meteorología Portuaria*), y de boyas direccionales Tryaxis.



Figura 3.5: Boyas Tryaxis y Waverider

- El objetivo de la **Red de correntímetros** es obtener medidas oceanográficas (corrientes, temperatura y salinidad) que complementen y ayuden a interpretar las obtenidas por las boyas de la red exterior. Está formada por cadenas de correntímetros que se ubican a profundidades predefinidas.
- La **Red de Meteorología Portuaria REMPOR** consta actualmente de 30 estaciones meteorológicas instaladas en 21 Autoridades Portuarias. Todas ellas disponen de sensores de viento, presión, temperatura, humedad relativa y precipitación.
- La **Red de Mareógrafos REDMAR** está en funcionamiento desde 1992 y tiene como objetivo la monitorización del nivel del mar en tiempo real y la generación de series históricas para su posterior explotación. En la actualidad está constituida por 15 mareógrafos acústicos SONAR y 7 mareógrafos de presión aanderaa.

- **La tecnología Radar de Alta Frecuencia (Radar HF)** permite la monitorización remota de corrientes y oleaje en un área con rango entre centenas y miles de kilómetros cuadrados. Puertos del Estado, la Autoridad Portuaria de A Coruña, la Autoridad Portuaria de Vigo y Qualitas Instruments suscribieron el pasado 14 de abril de 2005 un protocolo encaminado a implantar dos estaciones radar HF SeaSonde de Codar Ocean Sensors, para la monitorización remota de corrientes y oleaje en los faros de Finisterre y Silleiro, a efectos de demostración de su utilidad en las necesidades derivadas del diseño, seguridad y operatividad de las infraestructuras portuarias.
- **Red de monitorización de diques.** La instrumentación de diques ya construidos permite mejorar y acotar la aplicabilidad de las formulaciones empíricas empleadas en el prediseño y determinar elementos de corrección para los efectos de escala y otros factores de incertidumbre inherentes a los resultados de los ensayos. Para la obtención de las presiones ejercidas sobre la obra se han instalado sensores en su cimentación y en el paramento.

1.1.2 Sistemas de predicción.

En cuanto a los sistemas de predicción podemos destacar los sistemas que están actualmente disponibles on-line: el sistema para la predicción del nivel del mar, para la predicción de la Marea Astronómica, el Sistema de Predicción de Oleaje (SPO) y el Sistema Avanzado de Predicción Local (SAPO). Las aplicaciones en puertos permiten obtener la agitación en el interior del puerto mientras que las aplicaciones en playas además del oleaje generan información relativa a nivel, corrientes en la playa y características de las zonas de rompientes.

1.1.3 El Banco de Datos.

El Banco de Datos de Puertos del Estado almacena todos los datos generados tanto en la red de observación como los datos de los sistemas de predicción. Asimismo incluye varias bases de datos numéricas de retroanálisis siendo éstas accesibles on-line.

1.2 Red de instrumentación oceanográfica y meteorológica de la Generalitat de Catalunya.

La Red de Instrumentación Oceanográfica y Meteorológica (*XIOM*) es propiedad de la Generalitat de Catalunya y está compuesta por un conjunto de equipos de medida de las variables costeras más significativas, mediante diferentes tipos de boyas, estaciones meteorológicas y mareógrafos.

Actualmente existen diferentes boyas situadas en diversos puntos de la costa catalana (Golfo de Rosas, Delta del Tordera, Delta del Llobregat y el Cabo de Tortosa) que proporcionan información sobre el oleaje. La red es complementaria a la de Puertos del Estado, que dispone de boya en las bocanas de los Puertos de Barcelona, Tarragona y Palamós, así como boyas exteriores frente a Tarragona y al Cabo de Begur, [5].

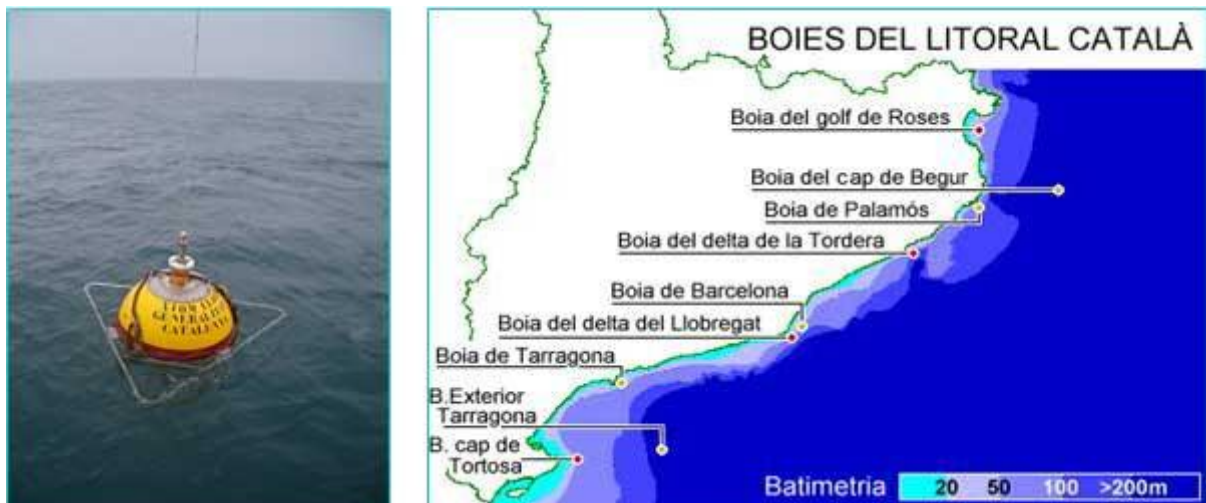


Figura 3.6: Descripción del sistema de boyas de clima marítimo del litoral catalán

1.3 Estaciones océano-meteorológicas de AZTI.

Después de la instalación en agosto de 2001 de una estación océano-meteorológica piloto en la desembocadura del puerto de Pasaia en el año 2003 se creó una extensa red océano-meteorológica con la instalación de seis estaciones más en los siguientes puertos de la Comunidad Autónoma del País Vasco (Figura 3.7): Bilbao, Arminza, Bermeo, Ondarroa, Getaria y Hondarribia, [5].

Cada estación registra los siguientes parámetros meteorológicos: viento (dirección, velocidad media y racha máxima), presión atmosférica, temperatura del aire, visibilidad y radiación global y neta.



Figura 3.7: Red de estaciones oceano-meteorológicas en los puertos del País Vasco

La información oceanográfica viene dada por un correntómetro ADCP de fondo, que mide simultáneamente la velocidad y la dirección de las corrientes en 6 capas de la columna de agua. Además, un mareógrafo registra la altura de la marea, la altura significativa del oleaje, su periodo y la altura máxima de ola.

Finalmente, se adquiere un perfil de temperaturas a través de una cadena de termistores con un sensor cada 5 metros de profundidad (desde la superficie, hasta 25 m de profundidad).

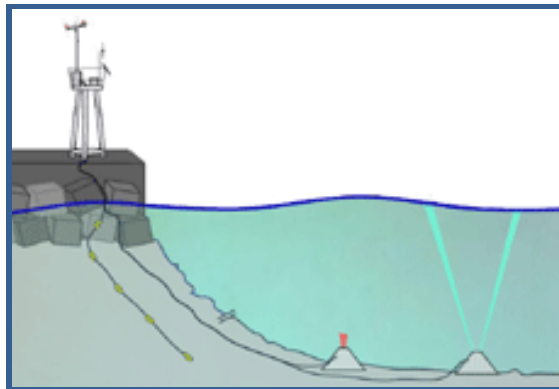


Figura 3.8: Esquema de una estación tipo con los tres equipos submarinos y la torreta meteorológica

Toda la información oceanográfica es transmitida por cable a un data-logger principal de la estación meteorológica y, desde ésta, junto a la información meteorológica, vía radio a la unidad de recepción, instalada en una oficina de cada puerto en el que se ubican las estaciones.

1.4 Observatorio Submarino Expansible (OBSEA).

1.4.1 Descripción.

OBSEA (*OBservatorio Submarino ExpANSible*) es un observatorio submarino ubicado a unos 4 km de la costa de Vilanova i la Geltrú en una zona protegida de pesca, e interconectado a la costa mediante un cableado de energía y comunicaciones.

La principal ventaja de disponer de un observatorio cableado es la de poder proporcionar energía a los instrumentos científicos y disponer de un enlace de comunicación de banda ancha. De esta manera se puede tener información en tiempo real y se evitan los inconvenientes de los sistemas alimentados con baterías. La solución adoptada es la implementación de una red Ethernet óptica que transmite continuamente los datos de los instrumentos oceanográficos conectados al observatorio. Con OBSEA se puede realizar una observación en tiempo real de múltiples parámetros en el medio marino.



Figura 3.9: Ubicación

Desde la estación terrestre se proporciona la alimentación para los dispositivos y el enlace de fibra óptica para las comunicaciones a la vez que se hace la gestión de alarmas y se almacenan los datos. Con un tramo de unos 1000 metros de cable terrestre se conecta con la cámara de amarre, punto donde el cable submarino inicia su recorrido hasta la ubicación del nodo, a unos 4 km de la costa y a unos 20 metros de profundidad (ver Figura 3.9).

1.4.2 Características.

El primer nodo del observatorio está instalado en una zona protegida de pesca con arrecifes artificiales, protegiendo de éste modo la infraestructura científica. Al mismo tiempo los arrecifes ofrecen un entorno propicio para la instalación de cámaras submarinas para registrar la actividad biológica.

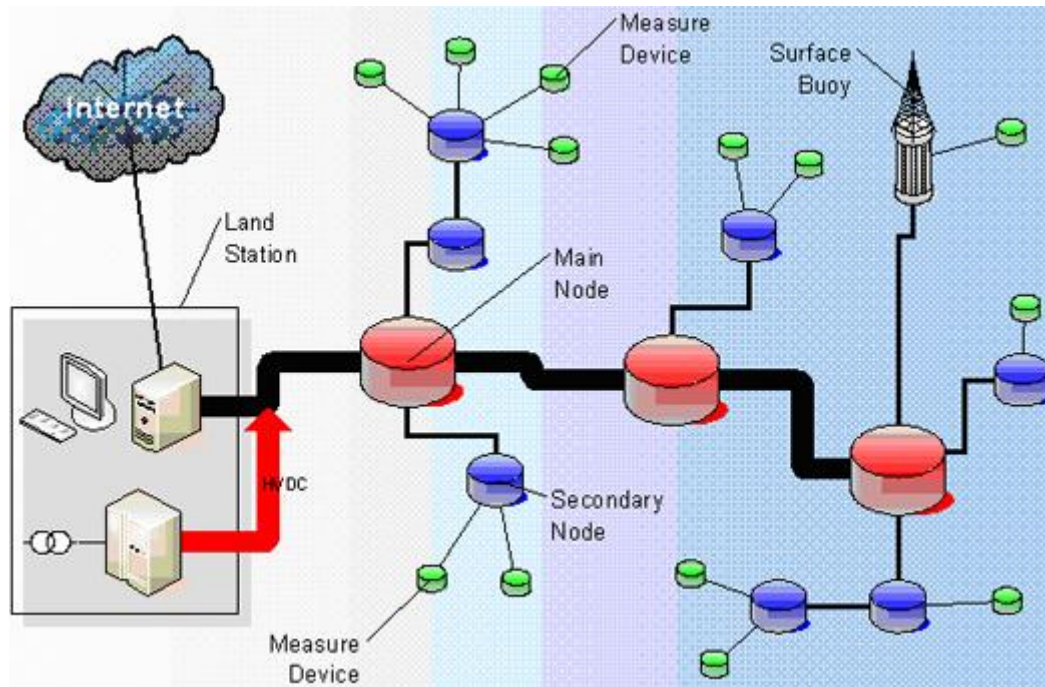


Figura 3.10: Arquitectura de una Red de Observatorios Submarinos

En cuanto a la **arquitectura del sistema**, OBSEA ha sido diseñado como observatorio de prueba para que en un futuro se pueda extender y formar una red de observatorios submarinos que cubra diversos puntos de interés. Cada nodo de esta red (“*Main Node*” y “*Secondary Node*” en la Figura 3.10) proporcionará conectividad a múltiples instrumentos o “*Measure Device*” (en la fase piloto se ha diseñado para la conexión de 8 instrumentos diferentes) a la vez que permite la extensión de la red hacia nuevas ubicaciones donde se instalarían otros nodos de similares características.

También se puede prever la posibilidad de completar la red de observatorios con boyas de superficie (ver Figura 3.11), que darían continuidad a través de una conexión vía satélite o por GPRS para el intercambio de información entre los nodos y la estación terrena.

El **sistema de comunicaciones** entre los nodos y las estaciones base y la gestión del sistema se lleva a cabo a través de enlaces de fibra óptica. Además, los instrumentos oceanográficos (“*Estándar Oceanographic Instrument*” en la Figura 3.11) se conectan mediante cables (“*Adaptation Cable*”) que adaptan la señal de éstos a la interfaz Ethernet del

observatorio OBSEA (ver Figura 3.11). En la estación base se establece una conexión a Internet a través de routers que implementan mecanismos de protección y control de acceso.

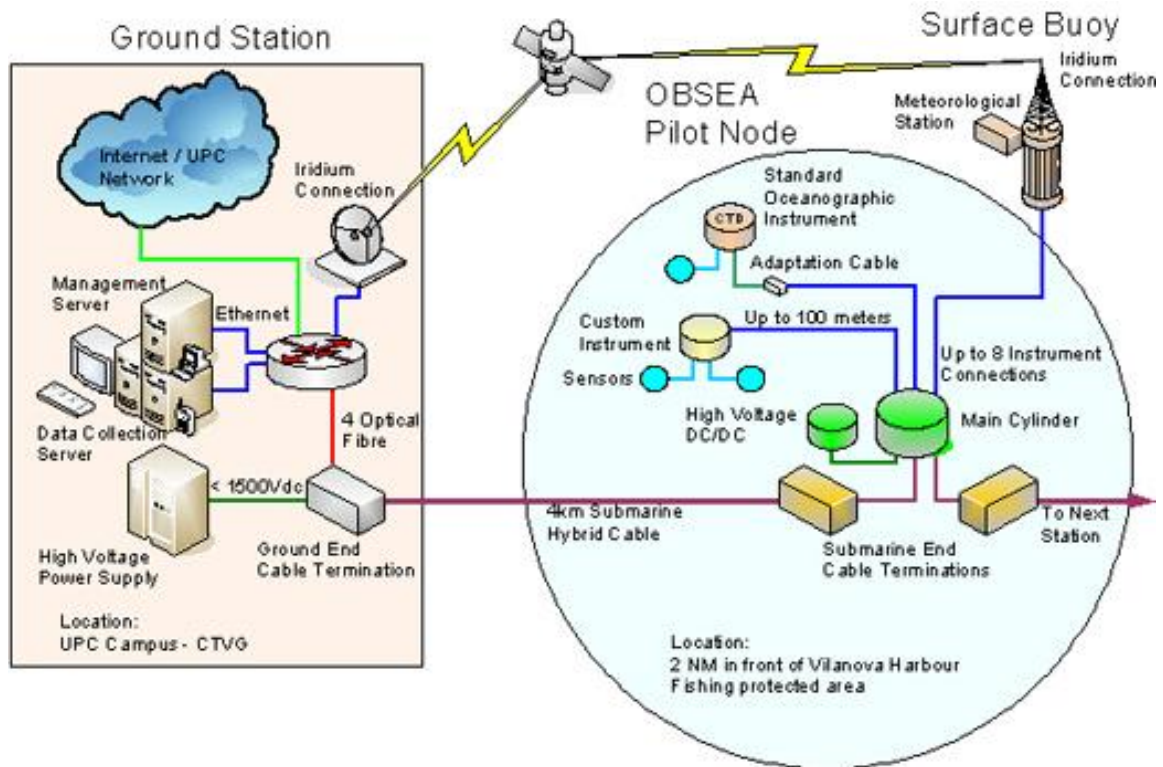


Figura 3.11: Sistema de Comunicaciones

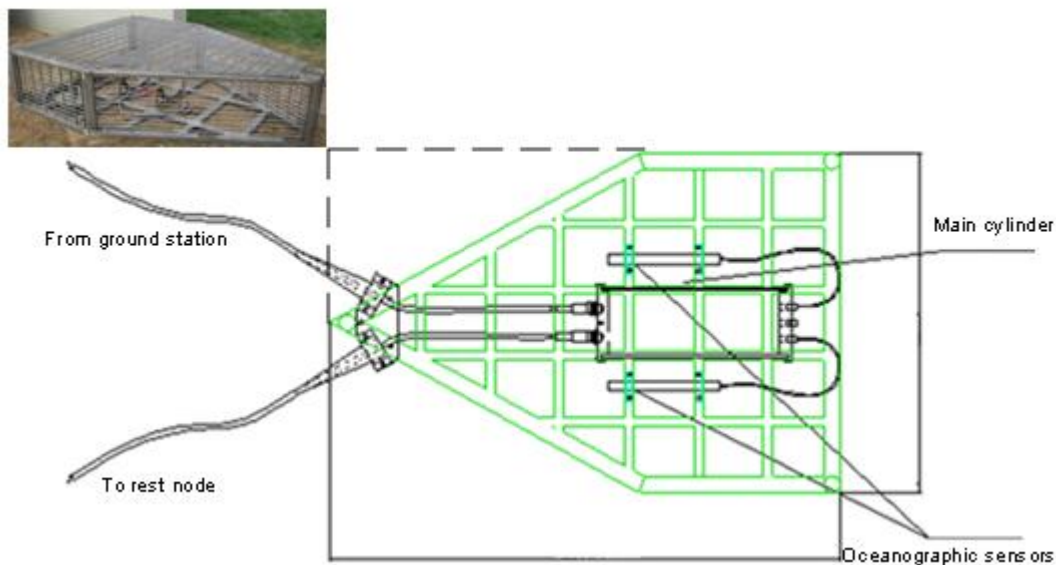


Figura 3.12: Estructura Física

La **estructura física** de soporte se ha diseñado con tal de mantener los diversos elementos fijos y protegidos de posibles intervenciones externas. A la vez esta estructura soporta la tracción que puede generar el cable submarino por la fuerza de las corrientes.

En esta estructura se ubica el cilindro principal (“*Main Cylinder*” en la Figura 3.12) el cual contendrá la electrónica de control del observatorio submarino. Este cilindro se ha diseñado para soportar la presión existente a 300 metros de profundidad, y proporciona una interfaz entre el cable submarino y los diversos instrumentos oceanográficos conectados al observatorio.

La **instrumentación oceanográfica** empleada en la fase piloto del observatorio inicialmente es una cámara IP con movimiento horizontal, vertical y zoom, un CTD para medir salinidad, temperatura y profundidad (SBE 37 SMP) y un hidrófono para medir las emisiones acústicas procedentes de una ancha variedad de fenómenos, tanto de origen natural como humano.



Figura 3.13: CTD (SBE 37 SMP) e Naxys Ethernet Hydrophone 02345

En general, en cualquier sistema de observación, tan importante es realizar de forma correcta el despliegue de todo el sistema, como también lo es mantener una buena **gestión de la información** que los nodos sensores van recogiendo. En el OBSEA la transmisión de datos de los instrumentos se realiza mediante el protocolo UDP, la adquisición de datos de los instrumentos se almacenan en archivos de textos y posteriormente en Base de datos SQL, la configuración de equipamientos y usuarios se hace a través de una aplicación interactiva con Base de Datos LDAP y la visualización del contenido histórico a través de navegador de Internet Descarga de archivos históricos mediante FTP. Además ofrece la posibilidad de visualizar los datos en tiempo real con aplicaciones a medida del usuario.

1.5 Otras grandes Infraestructuras Científico Tecnológicas en el ámbito Oceanográfico.

Además de los Sistemas de Observación Costeros analizados en el apartado anterior, cabe dedicar una sección a las Infraestructuras Científicas y Tecnológicas Singulares (ICTS) existentes y en continua evolución en el ámbito nacional.

1.5.1 Sistema de Observación Costero MAREAS.

1.5.1.1 Descripción.

El sistema de observación costero *MAREAS* (*Marine Research Facilities for Environment and Security*) es una iniciativa conjunta del Ministerio de Educación y Ciencia y del Principado de Asturias para la creación de una Infraestructura Científico Tecnológica (ICT) enmarcada en el Programa INGENIO 2010.

La ICTS-MAREAS tiene como ámbito de actuación la observación y el estudio del mar y sus ecosistemas, mediante adecuados programas de investigación multidisciplinar que combinen excelencia científica e investigación orientada y que permita a la sociedad contar con el conocimiento e información que necesita en su toma de decisiones. Los ámbitos de actuación de la ICTS-MAREAS se concretan en la **oceanografía operacional, biodiversidad marina y cambio climático** y la **gestión ambiental del medio marino**.

Las características fisiogeográficas del litoral y fondos del Mar Cantábrico, entre los que destacan los cañones submarinos más abruptos del mundo con profundidades de 4500 m a sólo 6 km de la costa o la prevista Area Marina Protegida submarina "El Cachucho" de gran riqueza biológica, son ventajas estratégicas que favorecen la creación en Asturias de una instalación como la propuesta. Adicionalmente, la creación de nuevos sistemas integrales de observación y predicción costeros está respaldada por una estrategia científica y tecnológica bien definida a nivel internacional, y ello ocurre en un momento de revolución tecnológica en los sistemas de observación y predicción en la zona costera.

1.5.1.2 Objetivos.

La misión de la ICTS-MAREAS es la de movilizar los recursos humanos y materiales necesarios para que la comunidad científica, ejecute una investigación de calidad que satisfaga la demanda de conocimientos necesarios, para mejorar nuestra comprensión del medio y sus ecosistemas, pueda desarrollar toda su capacidad de investigación en oceanografía, y produzca información objetiva y estrategias de gestión de los mismos que sean científicamente robustas, económicamente eficientes y ecológicamente sostenibles.

La ICTS-MAREAS permite mejorar la calidad y frecuencia de las observaciones del océano con la adecuada resolución espacial y temporal, y en consecuencia resolviendo las distintas escalas de variabilidad, e incrementando la capacidad predictiva de los modelos. Si lo analizamos desde un punto de vista científico, la ICTS-MAREAS permite:

- a) Avanzar en la comprensión y parametrización de las diversas fuentes de variabilidad temporal, tanto en sus características oceanográficas como en las comunidades biológicas y modelizar operacionalmente su respuesta a distintas escalas espaciales y temporales.
- b) Detectar y describir los procesos asociados al cambio global y a los gases de efecto invernadero en el ecosistema marino y la evaluación de estrategias de mitigación de los efectos del cambio climático en los ecosistemas y en la sociedad.
- c) Producir información objetiva para la explotación sostenible y la protección de los ecosistemas marinos, incluyendo la conservación de la biodiversidad, y la detección de nuevos problemas ambientales cuando aún es posible establecer medidas correctoras.

1.5.2 Sistema de Observación Costero de las Islas Baleares (SOCIB).

1.5.2.1 Descripción.

El Sistema de Observación Costero de las Islas Baleares (**SOCIB**) es una instalación de investigación y tecnología para **oceanografía operacional** creada como un Consorcio del Ministerio Español de Educación y Ciencia del Gobierno de las Islas Baleares, como parte de la implementación de las infraestructuras tecnológicas y científicas de gran escala españolas.

SOCIB se puede definir como un sistema integrado e interdisciplinario de investigación para la observación y predicción de la variabilidad en la zona costera y está constituido principalmente por tres sistemas: (1) un sistema de observación, (2) un sistema de predicción numérica y asimilación de datos y (3) un sistema de gestión de datos y visualización

La Plataforma permite disponer de un seguimiento en tiempo real del estado del litoral y además, prever su evolución espacial y temporal, así como desarrollar nuevas herramientas tecnológicas que contribuyan a avanzar hacia una verdadera gestión sostenible de la zona costera basada en el conocimiento y los avances científicos.

1.5.2.2 Objetivos.

El objetivo general es desarrollar y poner en marcha la Plataforma Tecnológica de Investigación en Oceanografía Operacional de las Islas Baleares – SOCIB –, una ICTS que permita:

- Responder a los grandes retos científicos, tecnológicos y estratégicos de la próxima década relacionados con las nuevas capacidades de predicción operacional en la zona costera.
- Consolidar y vertebrar la investigación de excelencia realizada en Oceanografía Operacional.
- Afianzar a las Islas Baleares como un centro de referencia internacional en investigación marina y litoral.

El objetivo científico general de SOCIB es avanzar en la comprensión de los procesos físicos y multidisciplinarios, y de sus interacciones no lineales, directamente relacionadas con la Oceanografía Operacional en la zona costera. Se pretende por tanto, detectar y cuantificar cambios en los sistemas y ecosistemas bento-pelágicos, comprender los mecanismos que los regulan y realizar predicciones sobre su evolución ante distintos escenarios futuros, proporcionando servicios de distinto nivel de complejidad a usuarios finales (industrias marinas y de ocio, ciudadanos, escuelas y público en general, etc.).

El establecimiento de SOCIB permite por tanto realizar un seguimiento integrado e interdisciplinario de la variabilidad del litoral, con especial énfasis en el análisis de su vulnerabilidad ante el cambio climático y en el desarrollo de nuevas tecnologías y herramientas que permitan avanzar hacia una verdadera gestión sostenible e integrada de la zona costera, basada en el conocimiento.

SOCIB por su planteamiento innovador, científico, tecnológico estratégico, y de formación y transferencia de conocimiento puede servir de experiencia piloto para el anterior desarrollo de una red de observación a nivel nacional.

1.5.3 Plataforma Oceánica de Canarias (PLOCAN).

El proyecto *PLOCAN* contempla construir y operar una plataforma oceánica que albergue instalaciones y laboratorios experimentales situados sobre el borde de la plataforma continental. Desde ella se inicia una ocupación y operación oceánica estables y se accede al océano profundo por medio de toda clase de vehículos, maquinaria de trabajo submarino e instrumentos para observar, producir, aprovechar recursos o instalar servicios en profundidades. Hasta ahora esto sólo era posible en la industria de prospección y extracción de hidrocarburos. La PLOCAN acoge trabajos de diferentes organismos de investigación (Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto Español de Oceanografía, universidades), que se podrán apoyar mutuamente para el estudio de distintos aspectos de las interacciones entre los procesos físicos, químicos, biológicos y geológicos que configuran la variabilidad de las aguas costeras y el litoral, con una resolución espacial y temporal sin precedentes.

1.5.4 Unidad Oceanográfica de Galicia (UOG).

La Unidad Oceanográfica de Galicia (*UOG*) procura servicio técnico y tecnológico a la investigación, y genera tecnología necesaria para buques oceanográficos. Se trata, pues, de una base oceanográfica para proporcionar soporte logístico, técnico y tecnológico para el desarrollo de la investigación marina en la costa nororiental española y en el Atlántico. También contribuye al diseño, construcción y supervisión de tecnología (constructiva, de comunicaciones, de investigación) de aplicación en los nuevos buques que demande la flota oceanográfica. Esta instalación sirve para modernizar los buques oceanográficos y dar soporte a la comunidad investigadora en ciencias marinas.

El objetivo estratégico es la creación de una ICTS que asuma integralmente las funciones de Construcción, Mantenimiento y Desarrollo de Innovaciones Tecnológicas en los buques, trabajando conjuntamente con la Comunidad de Investigación Marítima. La instalación asumirá la prestación de servicios técnicos de apoyo a la investigación en oceanografía y pesquerías, y la generación de tecnología “nacional” en el campo de la construcción de buques oceanográficos, así como en el desarrollo de su instrumentación y dotación científica. Su ubicación será en Vigo.

1.5.5 Observatorio Oceanográfico Costero de la Región de Murcia (OOCMur)

Dada la relevancia del mar para la Región de Murcia es preciso estudiar los cambios que están experimentando los sistemas costeros marinos. *OOCMur* nace como respuesta a la creciente necesidad, por un lado, de analizar la capacidad de los ecosistemas marinos para contribuir a la generación de productos y servicios de utilidad para la sociedad y, por otro lado, la necesidad de desarrollar tecnologías de gestión sostenible del medio ambiente marino.

La misión de OOCMur es desarrollar una red de observación para una gestión integrada de la zona costera que permita desarrollar nuevos conocimientos y tecnologías en el ámbito de las ciencias del mar, profundizando en el estudio de los procesos oceanográficos y biológicos ligados al cambio climático y a las transformaciones producidas por las actividades humanas para mejorar nuestra comprensión de los ecosistemas marinos, y pueda producir información objetiva que permita su gestión sostenible. El conocimiento de los procesos que ocurren en el mar permitirá afrontar con mayor capacidad de predicción la evolución futura de estos ecosistemas influenciados cada vez más por la actividad humana. La incidencia del cambio climático a escala local, regional o global, el incremento de las actividades náuticas y de acuicultura y el desarrollo turístico litoral son algunas de las amenazas al recurso litoral y su sostenibilidad.

Para cubrir sus objetivos generales como motor tecnológico y observatorio de la biodiversidad y de las consecuencias del cambio global en los ecosistemas marinos costeros, OOCMur llevará a cabo investigaciones en ecología marina y tecnología naval y del mar y

proporcionará servicios de alto nivel a los sectores económicos relacionados con el mar, contribuyendo, así mismo, al desarrollo de nuevas tecnologías marinas.

2. Sistemas de Observación Costero a nivel internacional.

Existen distintos observatorios y redes de muestreo a nivel internacional aunque su nivel de complejidad y objetivos es muy dispar. Así, mientras que el nivel de desarrollo alcanzado en los EEUU y Canadá es bastante elevado y los observatorios son capaces de abordar problemas multidisciplinarios mediante sistemas de adquisición de datos y análisis más elaborados, las plataformas observacionales europeas se encuentran aún en fase de desarrollo y están dedicadas a objetivos más sectoriales (clima marítimo, biología, etc.). En Francia, los puntos de observación están agregados en una red nacional que se implementa de forma relativamente paralela a lo largo de distintos puntos de la costa mediterránea y atlántica.

La siguiente tabla muestra los Sistemas de Observación a nivel internacional:

Observatorio	País	Contacto
East Yorkshire Observatory	Reino Unido	http://www.hull.ac.uk/coastalobs/
Liverpool Bay Coastal Observatory	Reino Unido	http://cobs.pol.ac.uk/
Channel Coastal Observatory (CCO)	Reino Unido	http://www.channelcoast.org/
Marine Environmental Monitoring Network in the North Sea and Baltic Sea (MARNET)	Alemania	http://www.bsh.de/de/index.jsp
Observatoire Océanologique de Villefranche sur mer (OOV)	Francia	http://www.obs-vlfr.fr/
Observatoire Océanologique de Banyuls – Laboratoire (OOB)	Francia	http://www.obs-banyuls.fr/
POSEIDON System	Grecia	http://www.poseidon.hcmr.gr/
Pearl River Estuary Integrated Observation System (PEIOS)	China	http://envf.ust.hk/cis
Victoria Experimental Network Under the Sea (VENUS)	Canadá	http://www.venus.uvic.ca/
Gulf of Marine Ocean Observing System (GoMOOS)	EEUU	http://www.gomoos.org/

Martha's Vineyard Coastal Observatory (MVCO)	EEUU	http://www.whoi.edu/
Coastal Ocean Observation Lab (COOL)	EEUU	http://rucool.marine.rutgers.edu/
Duck filed research facility	EEUU	http://www.frf.usace.army.mil/
Southeastern US and Gulf of Mexico (SEACOOS)	EEUU	http://seacoos.org/
San Diego Coastal Ocean Observing System (SDCOOS)	EEUU	http://www.sdcoos.ucsd.edu/index.php
Monterey Accelerated Research System (MARS)	EEUU	http://www.mbari.org/mars/
Monterey Ocean Observing System (MOOS)	EEUU	http://www.mbari.org/muse/
Coastal Ocean Advances in Shelf Transport (COAST)	EEUU	http://damp.coas.oregonstate.edu/coast/
Gulf of Alaska: SALMON	EEUU	
Great Lakes	EEUU	http://www.waterbase.uwm.edu/
Institute for Coastal Research	Alemania	http://coast.gkss.de/ecomod/k_koe_objectives.html
Institut National de Recherches Marines (IFREMER)	Francia	http://www.ifremer.fr/francais/program/progh.htm
Red Neptune. North East Pacific Time-series Undersea Networked Experiment (NEPTUNE)	Washington	http://www.neptune.washington.edu
The Ocean Research Interactive Observatory Networks (ORION)	EEUU	http://www.orionprogram.org/
LEO-15	EEUU	http://marine.rutgers.edu/mrs/LEO/LEO15.html

Tabla 3.3: SOC a nivel internacional

A continuación se describen los observatorios *NEPTUNE*, *MVCO* y *VENUS* por ser los más relevantes.

2.1 North-East Pacific Time-series Undersea Networked Experiment (NEPTUNE)..

Un equipo formado por la universidad de Washington, el Woods Hole Oceanographic Institute (WHOI), el Monterey Bay Aquarium Research Institute (MBARI), el Jet Propulsion Laboratory (JPL) y el Institute for Pacific Ocean Science and Technology (IPOST) de Canadá desarrollaron conjuntamente *NEPTUNE*, [3]. NEPTUNE es un observatorio oceanográfico regional cableado que abarca aproximadamente unos 3000 km y dispone de gran cantidad de instrumentos científicos en el fondo del mar y boyas para la observación de las columnas de agua, vehículos autónomos y operados remotamente.



Figura 3.14: NEPTUNE

El observatorio NEPTUNE está ubicado en Juan de Fuca formado por 30 nodos distribuidos en el rango abarcado. La mayoría del cableado forma un bucle cerrado en torno a dos estaciones base que proporcionan una alta fiabilidad. Las estaciones base están emplazadas en Nedonna Beach, Oregon y Victoria, British Columbia. La zona de estudio de NEPTUNE incluye los principales tipos de límites oceánicos incluyendo la zona de Cascadian. La capacidad de NEPTUNE ayudará a establecer enlaces y variaciones entre procesos geológicos, físicos, químicos y biológicos.

Los sistemas de comunicaciones, de alimentación y de distribución y almacenamiento de datos son distribuidos en todos los elementos físicos del observatorio NEPTUNE, nodos, cables, estaciones base, archivo de datos, centro de control, etc.

NEPTUNE usa el estándar de comunicaciones de fibra óptica para proporcionar una infraestructura de comunicación y alimentación al sistema. El usuario del sistema podrá acceder a cualquiera de los instrumentos a través de Internet ya que cada instrumento tendrá su dirección IP. Además será necesaria la configuración de un firewall para la protección contra intrusos.

En 2007 la infraestructura asociada a NEPTUNE fue renombrada por ***Regional Scale Nodes*** lo que significaba la integración en la ***Ocean Observatories Initiative*** (OOI) (<http://www.ooi.washington.edu/>). El nombre NEPTUNE ahora únicamente es usado para actividades de educación y ciencia centradas regionalmente que aprovecharán la alta potencia y el ancho de banda del observatorio cableado regional.

2.2 Observatorio Costero Martha's Vineyard (MVCO).

El observatorio *MVCO* constituye una de las plataformas tecnológicas de observación marina más sofisticadas ya que sus recursos de observación incluyen satélites, aviones, barcos oceanográficos, anclajes con cableado submarino y torres de observación meteorológica. Está destinada al **estudio de la variabilidad fitoplanctónica** en aguas muy próximas a la costa y poco profundas, el grado de sinergia es muy bajo debido a la falta de sistemas de procesamiento/simulación en tiempo real.

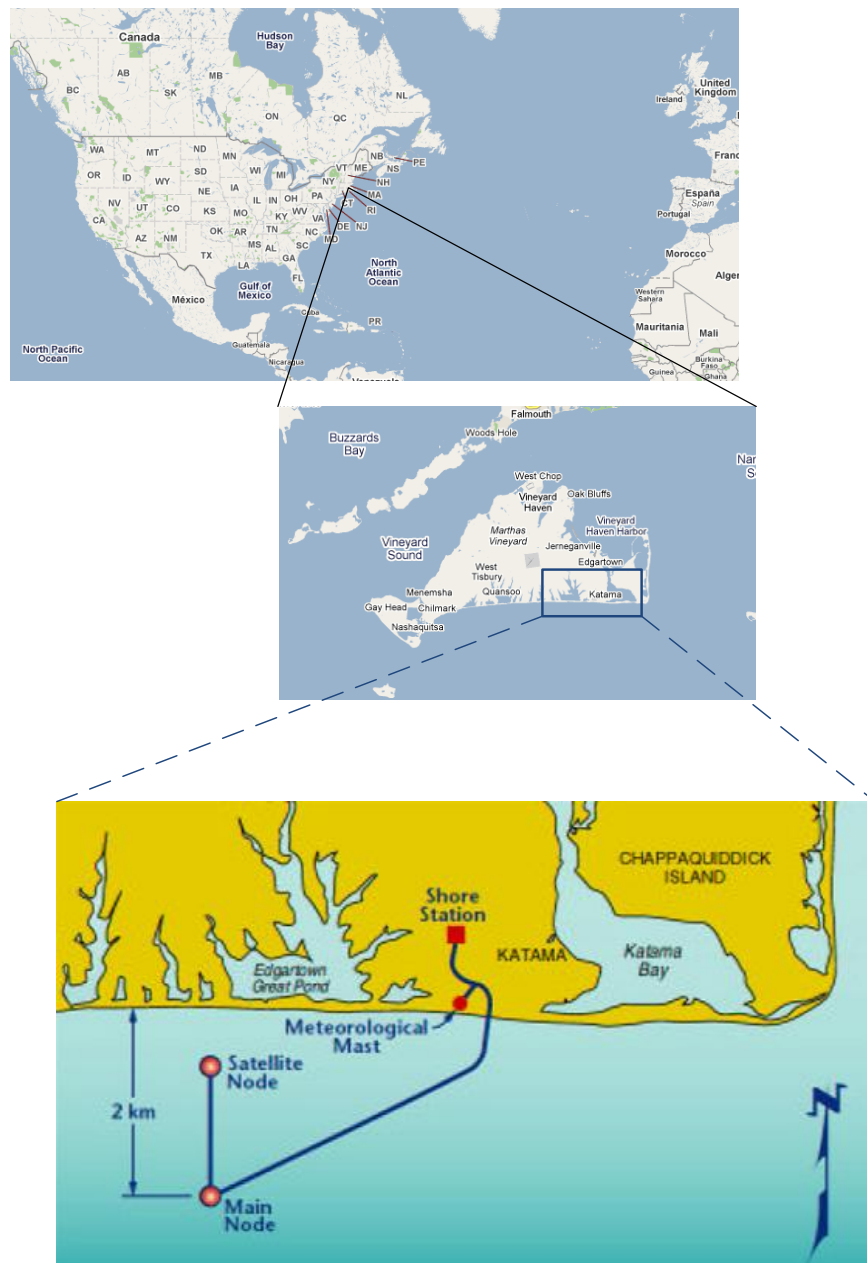


Figura 3.15: Ubicación geográfica de MVCO

Este observatorio, [1] y [2], consiste en un principal-nodo (“*Main Node*”) submarino situado aproximadamente a 2 kilómetros de la costa y a 14.5 metros de profundidad en el mar (ver Figura 3.15) y está conectado con la estación base mediante un cable enterrado. El nodo servirá como un punto de conexión para los numerosos instrumentos científicos usados para el control del medio ambiente del ecosistema costero. Un segundo nodo (“*Satellite Node*”) está instalado muy cerca de la playa a una profundidad de aproximadamente 7 metros. Además de los nodos del fondo del mar, hay un mástil que contiene una estación de sensores meteorológicos para supervisar las condiciones atmosféricas del lugar.

El MVCO está situado a lo largo de la costa meridional de Martha's Vineyard. Esta línea de la costa es caracterizada por 25 kilómetros de largo, playa south-facing, la cual proporciona la exposición ideal para los vientos predominantes del suroeste. También se expone a las tormentas costeras severas durante los meses del invierno que están de interés particular a los científicos implicados en el proyecto. Por lo tanto, el MVCO proporcionará un ajuste único en la costa del este para investigar los procesos costeros que complementarán la investigación que es conducida en los observatorios existentes a lo largo del litoral del este demostrado en la Figura 3.16.

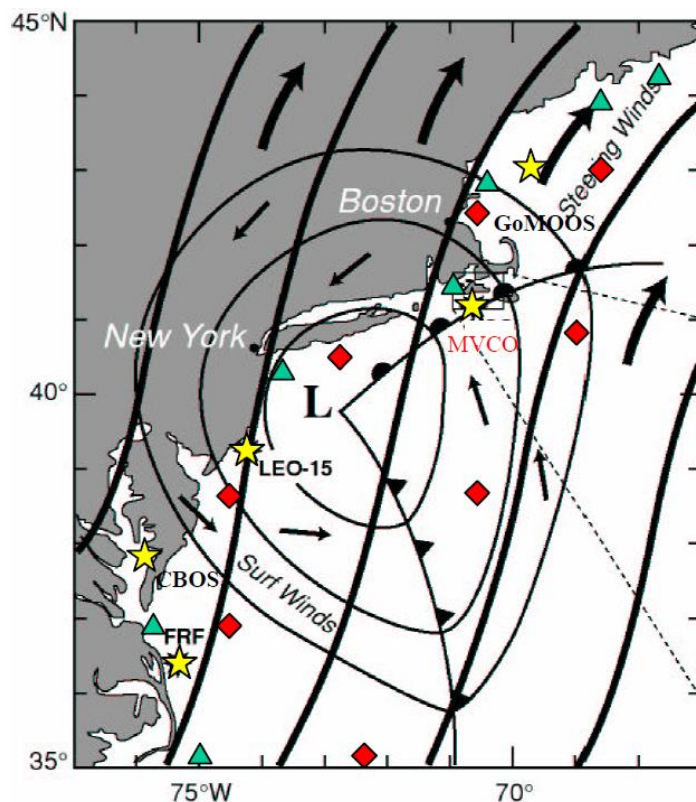


Figura 3.16: Algunos de los observatorios y de los sistemas costeros de observación a lo largo del litoral del noreste (estrella amarilla).

La estación terrena (*Shore Laboratory*) contiene los sistemas informáticos y las fuentes de alimentación necesarias para controlar los sensores y los datos registrados localmente. Un mástil corto que extiende sobre el laboratorio sostendrá los sensores para medir la radiación solar e infrarroja (una medida de nubosidad), el ritmo de las precipitaciones, la temperatura, la humedad, la velocidad y la dirección del viento. El laboratorio incluye un generador de energía de reserva automática para continuar la operación del sistema completo durante interrupciones de energía. Toda la operación de la computadora y del equipo será supervisada remotamente de WHOI.

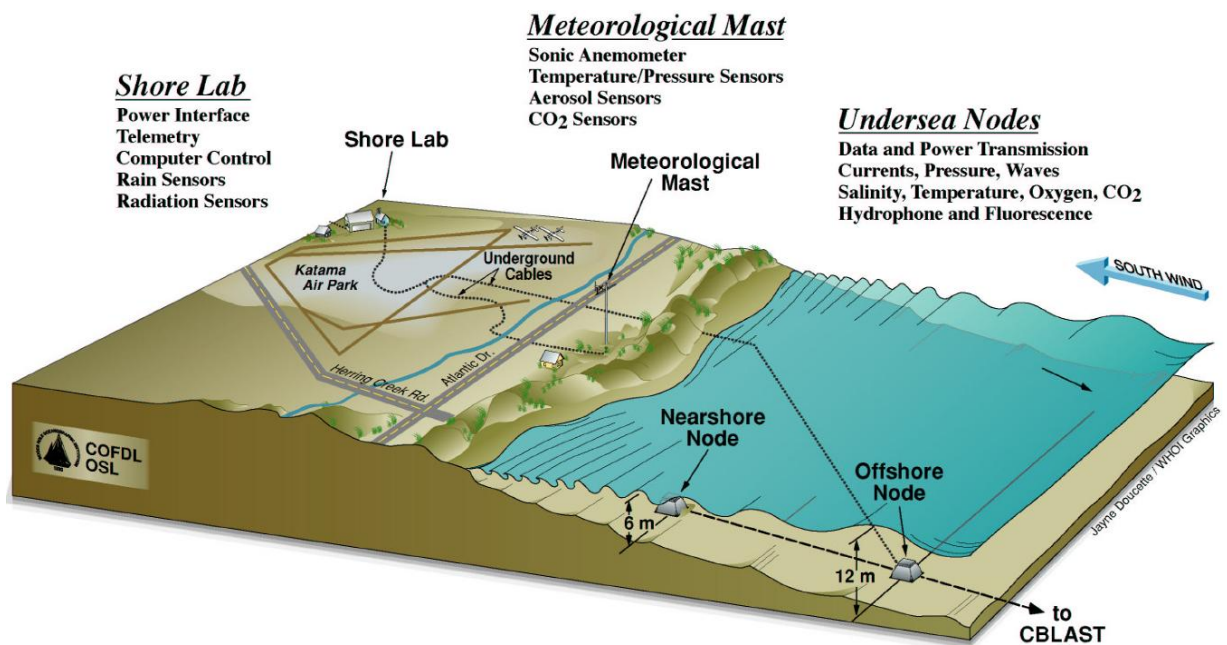


Figura 3.17: Componentes de MVCO

2.3 Victoria Experimental Network Under the Sea (VENUS).

El observatorio oceanográfico cableado *VENUS* es una de las primeras generaciones de plataformas de observación del océano. Se trata de la integración de las telecomunicaciones y tecnologías marinas con sistemas instrumentales oceánicos, accesibles desde Internet. Las órdenes se originan en el Centro de Operaciones de Red y son transmitidas sobre una red privada virtual (*Virtual Private Network, VPN*) a través de la estación terrena y bajo el mar mediante fibra óptica hasta los nodos centrales e instrumentos adecuados. Los datos obtenidos por los sensores de los instrumentos son enviados a través de toda la infraestructura hacia la estación terrena donde son almacenados antes de ser transmitidos al sistema de archivos (*Data Management and Archive System, DMAS*) en la universidad de Victoria. Aquí la información es analizada, clasificada y almacenada para publicaciones en la web del proyecto en cuestión y la visualización de los usuarios.



Figura 3.18: Ubicación del Observatorio VENUS

El observatorio está formado por dos partes independientes localizadas en aguas costeras del sur de British Columbia, [4]. La primera está en **Saanich Inlet** con un nodo a 96 m de profundidad cerca de la entrada de la bahía Patricia. La segunda parte está en el **estrecho de Georgia**, con dos nodos en el suroeste del río Fraser, un nodo a una profundidad de 300 m y otro nodo a 170 m.

En el observatorio cableado VENUS se pueden distinguir 3 componentes principales (Figura 3.19): 1) una infraestructura permanente, 2) un sistema instrumental, 3) un sistema de archivos y gestor de datos.

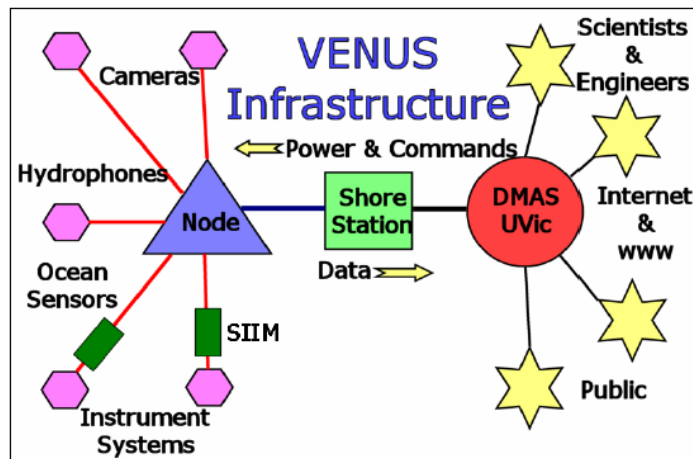


Figura 3.19: Infraestructura de VENUS

1) Infraestructura permanente.

El núcleo del observatorio es la infraestructura permanente, formada por los componentes necesarios para suministrar energía y comunicaciones a los instrumentos y sistemas sensores. Los servidores de la *estación terrena* aseguran la conexión entre los nodos e instrumentación marina y el exterior del despliegue. Cada *nodo* consiste en dos partes, la parte inferior permanente del nodo conectado al cable submarino principal, y una parte desmontable que contiene la alimentación, el hardware de comunicaciones y los sistemas de monitorización y distribución.

2) Sistema instrumental.

El observatorio ha sido diseñado para soportar un amplio rango de sistemas sensores y de instrumentos desarrollados específicamente para observatorios cableados. Debido a la profundidad de los dos nodos, todas las operaciones de observación son dirigidas usando ROVs (*Remote Operated Vehicle*) y el diseño de los instrumentos es crítico para asegurar un fácil despliegue, la conexión a un nodo remoto y la recuperación del nodo.

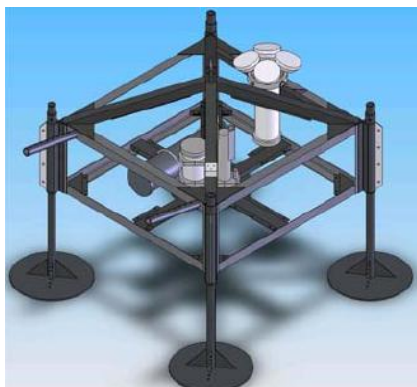


Figura 3.20: Plataforma instrumental VENUS



Figura 3.21: Sistema Hydrophone VENUS

El ***VENUS Instrument Platform*** (VIP) mostrado en la Figura 3.20 es una gran estructura de acero diseñada con el propósito expreso de proteger los instrumentos oceanográficos conectados con el observatorio. El pilar principal de la oceanografía física es la medida de la conductividad (salinidad) y de la temperatura en relación a la profundidad (presión) (CTD).

Aunque el océano es opaco a la luz visible y a la mayoría de las formas de radiación, el sonido se propaga muy bien y es por ello por lo que los oceanógrafos han utilizado acústica pasiva y activa para explorar el interior del océano. La elevada capacidad de ancho de banda de datos del observatorio cableado VENUS ofrece nuevas oportunidades en este ámbito. Svein Vagle (Institute of Ocean Sciences) y John Ford (Pacific Biological Station) han diseñado y construido un sistema de ***hydrophones*** para VENUS (ver Figura 3.21) que incorpora 3 hydrophones de banda ancha (7Hz–100kHz) a una separación aproximadamente de 10 m. El principal objetivo del array de hydrophones es monitorizar cetáceos aunque otras fuentes ambientales como el viento, la lluvia o el ruido de los barcos, también son parámetros de interés.

3) Sistema de archivos y gestor de datos.

La adquisición, el almacenamiento, la recuperación y el envío de datos son dirigidos, como se comentó anteriormente, por el DMAS. La estación terrena está conectada a un sistema de base de datos central ubicado en la University de Victoria mediante una conexión ISP. La estación terrena incluye un sistema de gestión de base de datos para almacenar los datos y tener así una copia de seguridad de la información por si no es posible la comunicación con la central de datos. Además, la estación terrena incorpora un sistema de detección eventos y respuesta ante éstos, de forma que el usuario recibirá una notificación mediante email si se produce alguna anomalía.

Capítulo 4: Propuesta de un caso de estudio para la laguna costera del Mar Menor

1. Importancia de las lagunas costeras.

Las lagunas costeras son masas de aguas someras más o menos extensas, saladas, cuyo origen está vinculado al mar adyacente, del que se mantienen separadas por una franja de tierra, generalmente arenosa. Estos ambientes presentan una serie de características intrínsecas que los hacen especialmente interesantes para el hombre [6].

Al estar relativamente aisladas del mar abierto adyacente, sus aguas presentan valores extremos de salinidad y temperatura y las especies que las habitan necesitan estar especialmente adaptadas a dichas fluctuaciones. La escasa profundidad de sus aguas permite que la luz penetre hasta el fondo y que los vientos afecten a toda la columna de agua, resuspendiendo partículas de sedimento, los nutrientes necesarios para el desarrollo de las algas y pequeños organismos que viven en el fondo.

Al mismo tiempo, el elevado número de fronteras que presentan con los ambientes terrestres, con el mar abierto y con la atmósfera permite el intercambio de materiales y la generación de gradientes físicos y químicos que conllevan un gran potencial para generar trabajo y, por tanto, producción biológica.

Todas estas características hacen que las lagunas costeras se encuentren entre los ambientes más productivos del planeta y que muchas especies marinas las utilicen como refugio y como zona en las que pueden desarrollarse sus larvas y juveniles, en un ambiente

con abundante alimento y, sin embargo, con escasos depredadores y parásitos, ya que la mayor parte de estos no toleran las condiciones salinas extremas de las lagunas.

Desde el punto de vista humano, a su elevada producción biológica, que permite el desarrollo de actividades pesqueras, marisqueras y de cultivos marinos altamente rentables, hay que unir la idoneidad de sus aguas y riberas para las actividades turístico-recreativas y deportivas. Además, constituyen un sistema de indudable valor científico y educativo, ya que a sus peculiaridades como ecosistema se une la posibilidad de realizar estudios controlados de seguimiento, difíciles de llevar a cabo en mar abierto.

En el caso del **Mar Menor**, la preocupación por establecer este tipo de relaciones es antigua y desde hace tiempo se vienen buscando las razones del descenso de las capturas pesqueras, para las que se han formulado diversas explicaciones no siempre satisfactorias. Asimismo, la gran demanda de usos en su ribera ha inducido la elaboración de planes indicativos de usos del litoral y distintas evaluaciones del impacto de las actividades humanas en base a la cartografía y sectorización del medio físico, biótico y humano que rara vez se ajustan a los procesos ecológicos, la fisiografía y evolución lagunar propias del Mar Menor.

La dificultad inherente al establecimiento de dichas relaciones causa-efecto, en el caso del Mar Menor, se ve agravada por la carencia de estudios detallados sobre sus condiciones hidrográficas y poblamientos biológicos previos a la mayoría de las actuaciones humanas más importantes, aún a pesar de que muchas de ellas son relativamente recientes.

La principal característica que permite definir al Mar Menor es que se trata de una laguna costera cuyo origen está vinculado al mar adyacente, del que se mantiene separada por una franja arenosa de tierra, La Manga.

En este capítulo se realiza un estudio de la laguna costera del Mar Menor y se presenta la necesidad de obtener resultados del comportamiento tanto de las especies marinas como del mar. A continuación se entra en detalle en el análisis de la laguna, describiendo cada una de las diferentes zonas de estudio y aportando una solución para la obtención de resultados.

2. Caso de Estudio para el Mar Menor.

2.1 Descripción de la zona de estudio.

El Mar Menor es una laguna de agua salada de 135,24 km², situada al sureste de la Península Ibérica, en la Región de Murcia [9]. Está separada del Mar Mediterráneo por una franja de arena de 24 km de longitud y entre 100 y 1.200 m. de anchura, La Manga, en la que existen tres golos que comunican el Mar Menor con el Mar Mediterráneo. La profundidad máxima es de 6,8 m y presenta una salinidad entre 42 y 47 g/L, superior a la del Mar Mediterráneo cuya salinidad es de entre 36 y 37 g/L.

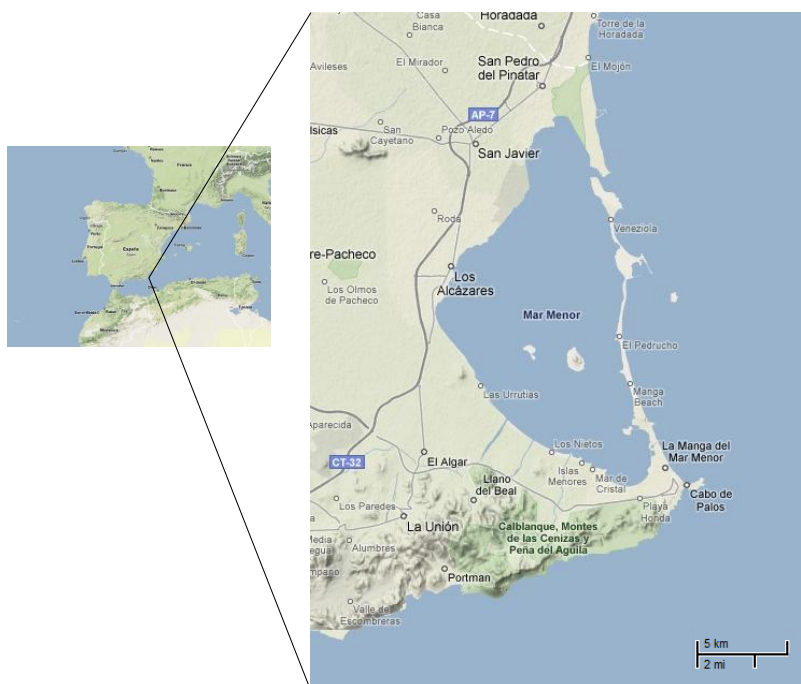


Figura 4.1: Zona de Estudio

En el Campo de Cartagena no existen cursos permanentes de agua; los aportes de agua continental se reducen a los de unas pocas ramblas de curso seco durante la mayor parte del año y de cauce ancho y plano, aunque debido a las peculiaridades climáticas del Mediterráneo pueden llegar a evacuar elevados caudales durante breves intervalos de tiempo (riadas o avenidas), en respuesta a eventos singulares de lluvia. La escorrentía superficial se drena en las sierras a través de numerosas ramblas de recorridos generalmente cortos y sinuosos, incorporándose progresivamente en la llanura a un sistema más jerarquizado que vierte al Mar Menor. Algunas ramblas se extinguen en la planicie debido a la escasez de pendiente y a la permeabilidad de los terrenos circundantes, o bien se ramifican en un conjunto de escorrentía difusa.

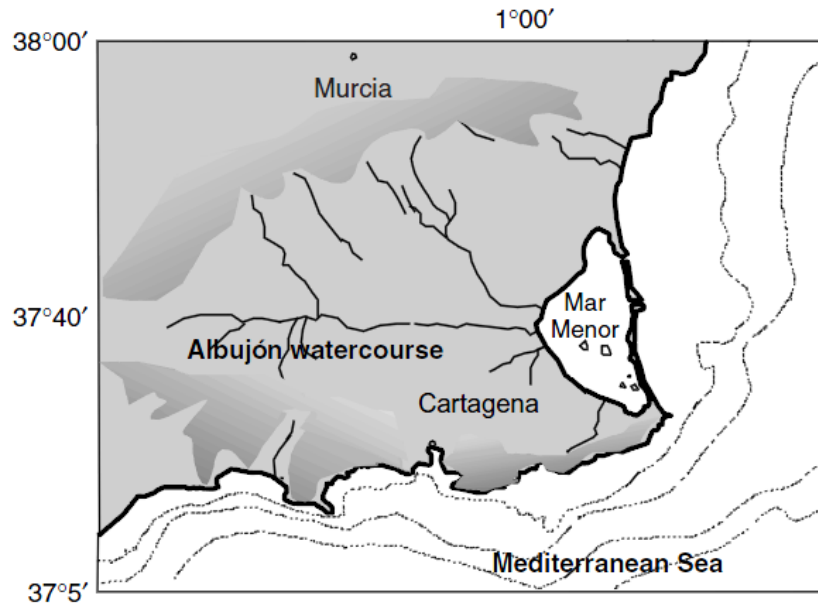


Figura 4.2: Rambla del Albuñón

La Rambla del Albuñón constituye el principal colector del Campo de Cartagena; recoge las aguas superficiales de un área de 800 km² aproximadamente. Por otra parte también recoge por su margen derecha a las ramblas procedentes de la Sierra de Carrascoy, Algarrobo, Victorias y Gómez.

2.2 Modelo de circulación de la laguna y tramo litoral próximo.

Para llevar a cabo con precisión la observación del Mar Menor se requiere comprender los procesos hidrodinámicos que tienen lugar en la laguna y los mecanismos físicos de intercambio y transporte de sustancias entre los distintos espacios [8]. Así, conoceremos las zonas de mayor interés de la laguna y se podrá llevar a cabo la monitorización de la misma.

En bajamar, debido esencialmente a la diferencia de niveles medios entre el Mar Menor y el Mar Mediterráneo, se establece un flujo neto de agua desde el primero al segundo. En esta fase, la altura de la columna de agua media en el Mar Menor es superior a la del Mediterráneo, existiendo un desfase de alturas de hasta 1m entre ambos. El desfase se hace especialmente evidente por lo abrupto en las cercanías de las golas. De modo intuitivo, el cordón litoral limita el flujo de agua actuando de barrera, permitiendo trasvase de agua solamente a través de las golas y haciendo que, por tanto, el Mar Menor se retrase al seguir el ritmo de variación del mar exterior. Por otra parte, apenas hay variaciones de la columna de agua dentro de la laguna, presentando una distribución casi uniforme de alturas.

Las figuras 4.3 y 4.4 muestran información adicional sobre el comportamiento hidrodinámico del Mar Menor, los campos de velocidades y las líneas de corriente asociadas. Se observa que existen dos zonas de circulación independientes y bien definidas al norte y al sur de islas Perdiguera y del Barón. Aunque no se puede afirmar que ambas se encuentren físicamente aisladas, el intercambio de agua entre ellas es menor de lo que cabría esperar. En efecto, a lo largo del eje formado por estas dos islas el campo de velocidades exhibe principalmente componente paralela al mismo. Además, se observan flujos rotacionales en sentido antihorario debido primordialmente a que existe una mezcla más activa de agua entre ambos mares en la subcuenca norte que en la subcuenca sur.

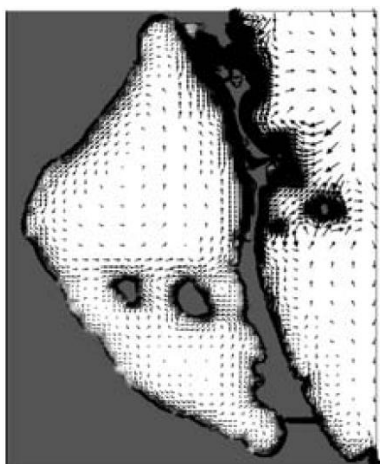


Figura 4.3: Campo de velocidades en bajamar

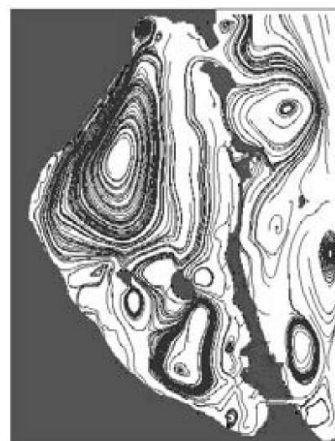


Figura 4.4: Líneas de corriente asociadas al campo de velocidades durante la fase bajamar

En representación mediante líneas de corriente, se hace evidente lo complicado del flujo, observándose con claridad las dos celdas de circulación principales con numerosas subceldas, especialmente localizadas en la subcuenca sur.

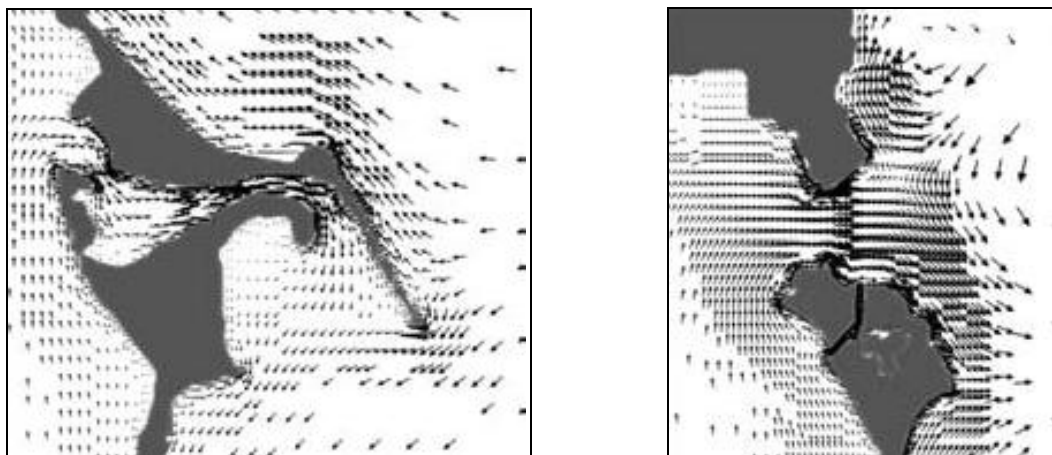


Figura 4.5: Detalle del campo de velocidades de las golos de las Encañizadas (derecha) y de El Estacio (izquierda) en bajamar. Los vectores representan magnitud y sentido de las velocidades.

En la Figura 4.5 se presenta una ampliación del campo de velocidades en la Gola natural de las Encañizadas y de El Estacio. El estudio de estas regiones concretas del Mar Menor es especialmente interesante puesto que la renovación de masas de agua se hace principalmente por estas dos golos.

En Pleamar se reproducen, en líneas generales, los mismos resultados que en bajamar, excepto que en este caso la laguna gana masa y el sentido del flujo cambia en las golos.

2.3 Especificación del caso de estudio.

Una de las formas de realizar un estudio en profundidad del comportamiento del Mar Menor, manteniendo una constante información de su evolución, consiste en realizar el despliegue de una serie de sensores en lugares estratégicos cuyo objetivo será monitorizar las zonas de interés y con los datos obtenidos poder realizar los informes oportunos.

Para dar una respuesta a todas las cuestiones anteriores se plantea el siguiente estudio de la laguna costera del Mar Menor. En dicha laguna, se pueden distinguir diferentes zonas de interés que será necesario estudiar para poder obtener una serie de resultados y contrastarlos con los hechos ocurridos en la realidad.



Figura 4.6: Zonas de interés

En la Figura 4.6 se observan las siguientes zonas a analizar: tres zonas en La Manga (**Gola de las Encañizadas**, **Gola de El Estacio** y **Gola de Marchamalo**), la cual separa el Mar Menor del Mar Mediterráneo o conocido como Mar Mayor con la única conexión entre ambos mares de tres golas ubicadas en dichas zonas, las **cubetas norte** y **sur** y la **desembocadura de la rambla del Albuñón**.

En las zonas indicadas en la Manga del Mar Menor será imprescindible conocer las corrientes del mar y en consecuencia la profundidad de las aguas en ambos mares frente a dichas corrientes. Ante vientos de poniente y levante, en las golas indicadas tendrá lugar el intercambio de aguas y por tanto se convierten en lugares de gran interés investigador.

En la Figura 4.7 se muestra la primera zona de estudio, Las encañizadas. En la gola que comunica ambos mares se sitúa un nodo correntómetro cuyo objetivo será medir la velocidad de corrientes en el mar. En ambos extremos de la gola, en el Mar Menor y en el Mar Mayor, sería ideal ubicar un nodo encargado de medir la presión en la zona adecuada (nodo Depth).

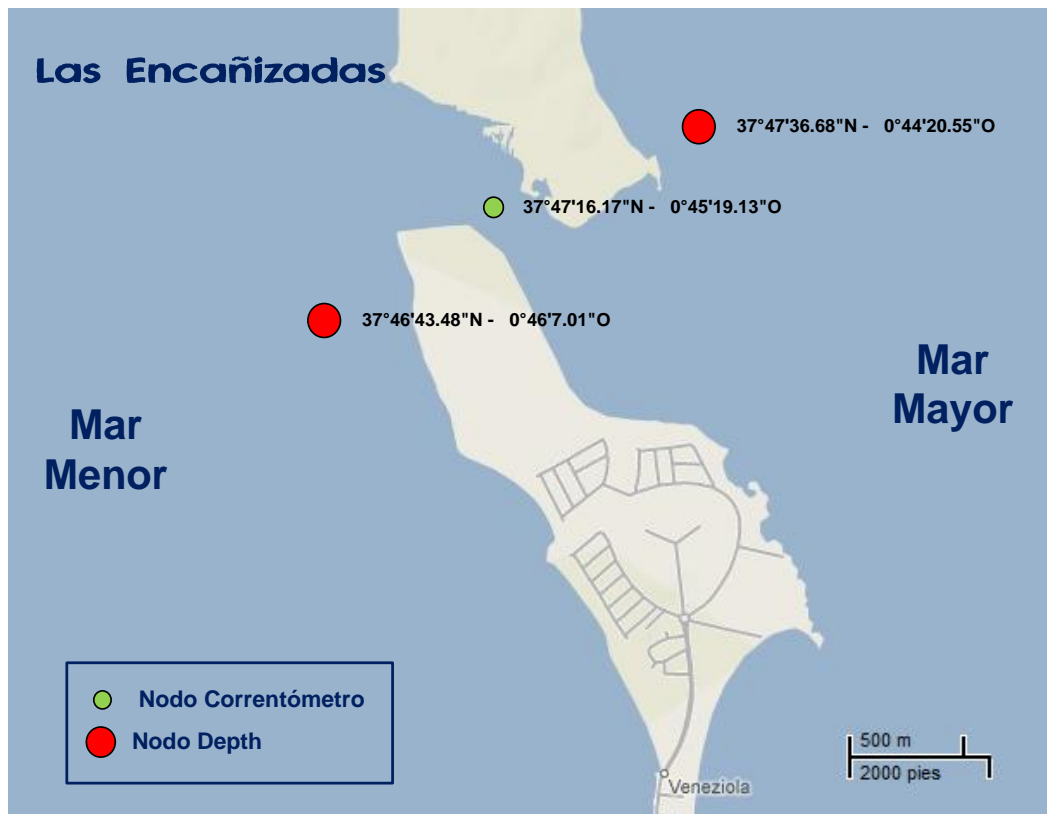


Figura 4.7: Las Encañizadas

De igual forma, en El Estacio y en Marchamalo se deberían desplegar los mismos tipos de nodos sensores (ver Figura 4.8 y Figura 4.9)

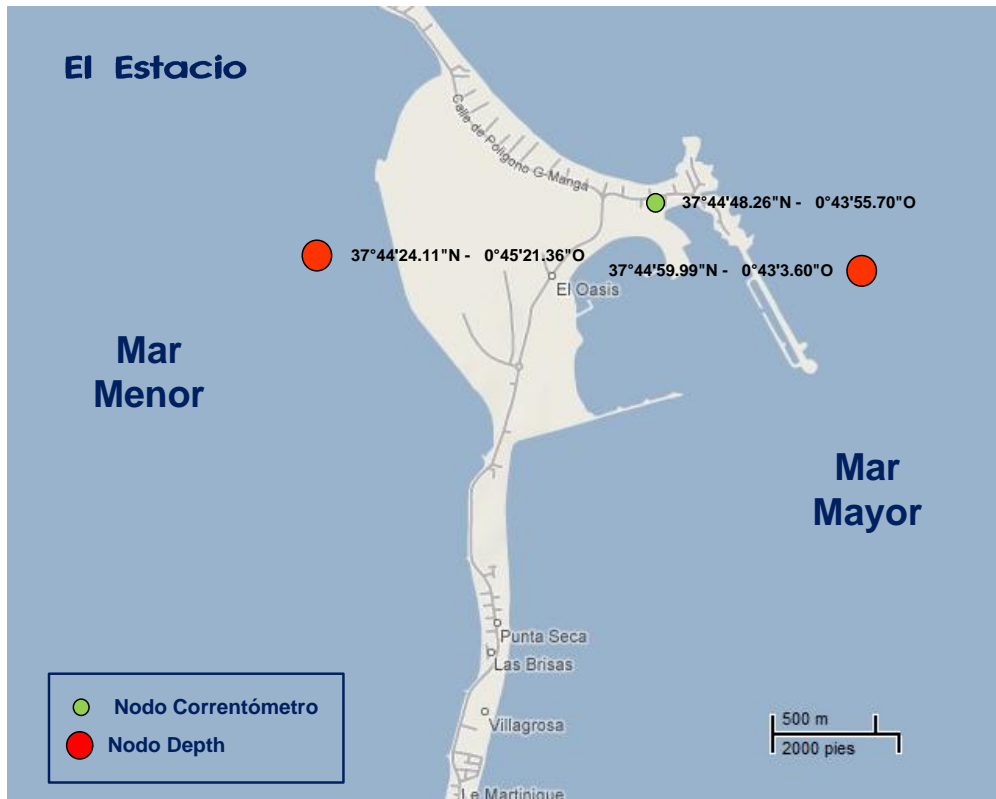


Figura 4.8: El Estacio

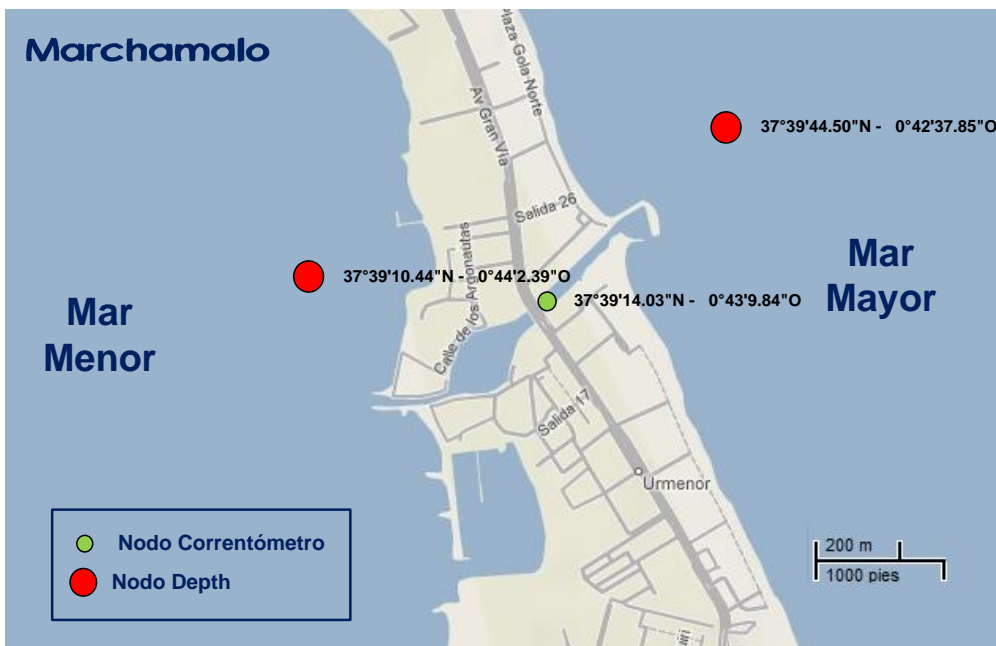


Figura 4.9: Marchamalo

Para obtener un estudio completo se deberían estudiar las aguas adyacentes a La Manga en el Mar Mayor debido a que tanto las mareas, los vientos como las presiones atmosféricas influyen en la altura del mar. Para ello, se pueden emplazar dos nodos Depth, uno cercano a Isla Grosa, y otro en Cabo de Palos (ver Figura 4.10).

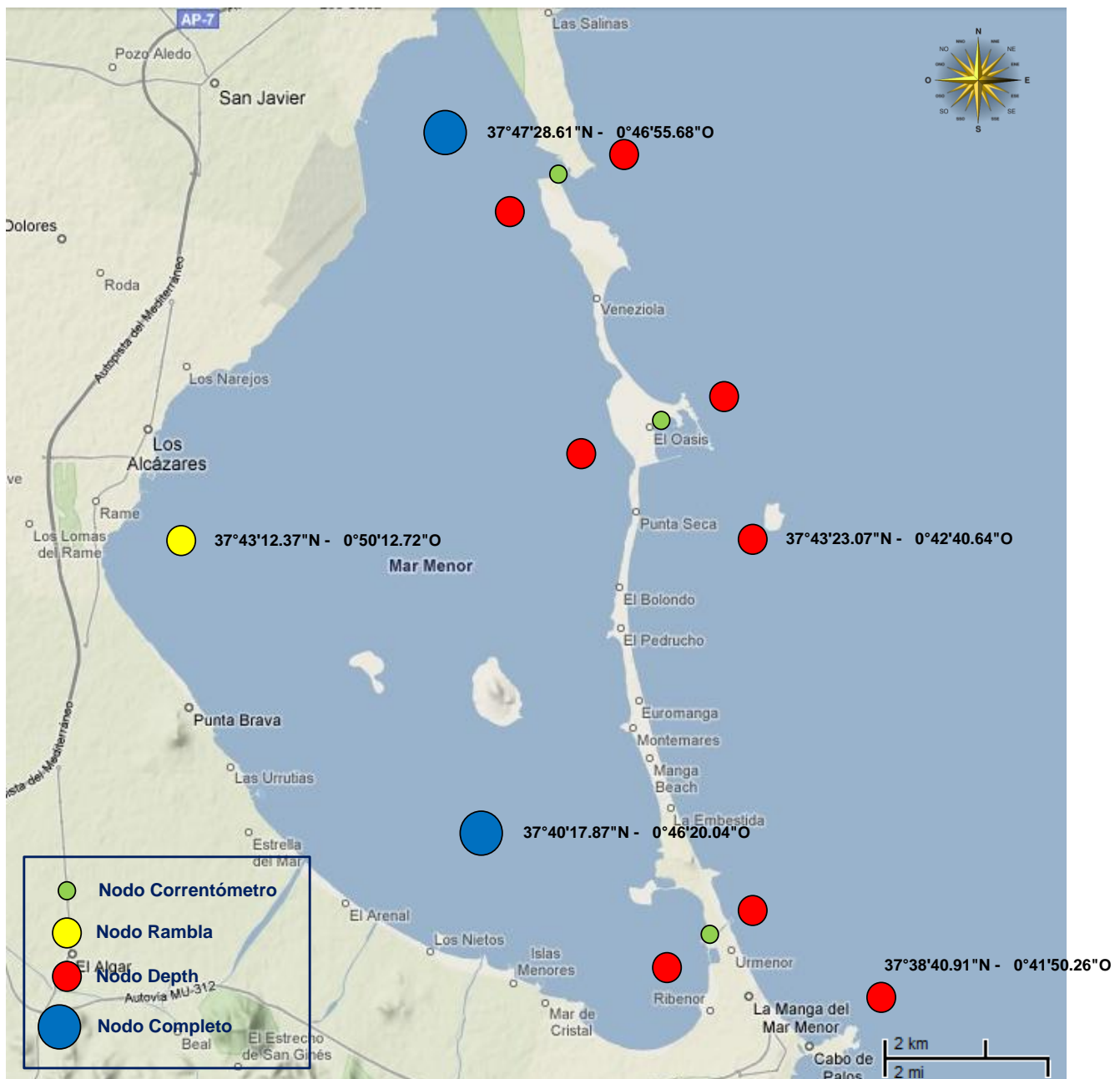


Figura 4.10: Diseño Completo

Las siguientes zonas de interés son las cubetas norte y sur del Mar Menor. Para estudiar su comportamiento se pueden instalar dos nodos que incorporen sensores de presión, correntómetros, sensores de salinidad y una serie de termistores posicionados verticalmente que nos proporcionen un perfil de temperatura (denominados Nodos Completos en la Figura 4.10). De esta forma se tendrán monitorizadas ambas cubetas en las que existen corrientes de agua cuyo conocimiento es esencial para conocer el comportamiento de la laguna costera.

Por último, y no por ello menos importante, es controlar el agua vertida a la laguna procedente de la desembocadura de la rambla del Albuñón. Este nodo estará encargado de medir los siguientes parámetros: temperatura, salinidad, presión, turbidez, oxígeno disuelto, clorofila, nitratos, fosfatos, amonio y silicatos.

Una vez obtenidos todos los parámetros monitorizados se podrán aplicar los modelos teóricos, obtener resultados y realizar predicciones.

2.4 Selección de la instrumentación.

En el despliegue de nodos sensores del Mar Menor se distinguen 4 tipos de nodos (nodo *Depth*, nodo *Correntómetro*, nodo *Rambla* y nodo *Completo*) encargados cada uno de ellos de la monitorización de diferentes parámetros. En este apartado se detallan las características más significativas de los distintos tipos de instrumentos necesarios para monitorizar los parámetros expuestos en el apartado 2.3.

Los *Nodos Depth* toman muestras de la presión y la temperatura del mar. Los *Nodos Correntómetros* son los encargados de medir la velocidad de las corrientes. Los *Nodos Completos* monitorizan la presión, la corriente del mar, la salinidad y el perfil de temperaturas. Y por último, en el *Nodo Rambla* se miden, además de los parámetros físicos de la temperatura, presión y salinidad, los parámetros químicos nombrados con anterioridad: turbidez, oxígeno disuelto, clorofila, nitratos, fosfatos, amonio y silicatos. Hoy en día el análisis químico de los tres últimos se realiza en el laboratorio y por ello no se realizará una selección de instrumentos para dichos parámetros (fosfatos, amonio y silicatos).

Por tanto, un mismo nodo puede incorporar varios sensores que se resumen en la Tabla 4.1.

	Nodo Depth	Nodo Correntómetro	Nodo Rambla	Nodo Completo
Temperatura	X	-	X	-
Presión	X	-	X	X
Salinidad	-	-	X	X
Velocidad de corrientes	-	X	-	X
Turbidez	-	-	X	-
Clorofila	-	-	X	-
Oxígeno Disuelto	-	-	X	-
Nitratos	-	-	X	-
Perfil de Temperatura	-	-	-	X

Tabla 4.1: Sensores de cada nodo

“X”: El nodo contiene el sensor

“-”: El nodo no contiene el sensor

Para seleccionar la instrumentación adecuada, se ha realizado un estudio sobre los instrumentos que ofrecen diversos fabricantes y únicamente se expondrán los que finalmente han sido seleccionados de acuerdo a los requisitos del despliegue.

En el despliegue de nodos sensores propuesto nos encontraremos en todo momento en profundidades inferiores a los 20 metros y éste será, entre otros, un factor a tener en cuenta a la hora de seleccionar el instrumento en cuestión. Otros factores indispensables para la selección de la instrumentación que más se adapte a nuestras necesidades son los rangos de medida de cada uno de los parámetros. En la siguiente Tabla 4.2 se muestran los valores de los rangos para cada uno de los parámetros que son objeto de este trabajo.

Parámetro a medir	Rango	Unidades
Temperatura	1 – 35	°C
Presión	20 max.	metros
Salinidad (Conductividad)	0 – 50	PSU (<i>Unidades Prácticas de Salinidad</i>)
Velocidad de corrientes	0.01 – 3	m/s
Turbidez	0 – 500	NTU (<i>Unidades Nefelométricas de Turbidez</i>)
Clorofila	0 – 300	µg/L
Oxígeno Disuelto	0 – 10	mg/L
Nitratos	0 – 100	mg/L

Tabla 4.2: Rango de medidas

Una vez especificados los requisitos de medidas y valores, a continuación se describen las especificaciones y fabricante de cada uno de los instrumentos seleccionados.

2.4.1 Presión y temperatura.

Para la medición de los parámetros de presión y temperatura se ha seleccionado el sensor **SBE 39** de **Seabird**. Se trata de un registrador de alta precisión de temperatura y presión con batería interna y memoria de 64 Mbytes no volátil para despliegues a profundidades de hasta 20 m, ya que en el despliegue previsto no se superará dicha profundidad. La comunicación entre el ordenador o instrumento que gestione su funcionamiento y el sensor SBE 39 se realiza mediante la interfaz estándar RS-232.



Figura 4.11: Sensor SBE 39

En la siguiente tabla se recogen las especificaciones más relevantes de este sensor como pueden ser el rango de medida, para comprobar que efectivamente este sensor es adecuado para los requisitos del caso de estudio, la precisión y resolución del instrumento para verificar la fiabilidad del mismo y el consumo de batería en los distintos modos de funcionamiento del sensor.

	Temperature (°C)	Pressure
Measurement Range	-5 to +35	20 m
Initial Accuracy	0.002	0.1 % of full scale range
Resolution	0.0001	0.002% of full scale range
Typical Stability	0.0002 per month	0.05% of full scale range per year
Internal Battery	Standar: 9-volt lithium battery	
Current consumption	Quiescent current: 10 μ A	
	Current consumption (per sample): T only 0.018 A-sec T & P 0.023 A-sec	
	Current consumption (continuos sampling): 15 mA	
Opcional external power	9 – 30 VDC	
More info	Ref. [10]	

Tabla 4.3: Especificaciones del sensor SBE 39

2.4.2 Salinidad (Conductividad).

Para monitorizar la conductividad del agua se ha seleccionado un sensor del mismo fabricante que en el caso anterior, concretamente el registrador **SBE 16plusV2**. Además de la conductividad, este sensor proporciona medidas de temperatura y presión siendo ésta última opcional en la compra del instrumento. Tiene una memoria flash de 64 Mbytes y un canal de entrada de datos RS-232. La salida de los datos se puede obtener en diferentes formatos, XML, ASCII y HEX.



Figura 4.12: Sensor SBE 16plusV2

En este caso de estudio, puesto que en los nodos Rambla y Completo se monitorizan los tres parámetros (conductividad, presión y temperatura), será este sensor el que se utilice para dicho fin, dejando el sensor SBE 39 presentado en el apartado anterior para la medición de presión y temperatura en los nodos Depth.

En este caso también se detallan las especificaciones más relevantes del sensor SBE 16plusV2 (ver Tabla 4.4). Para conocer el resto de características y el funcionamiento del mismo se puede consultar la hoja de especificaciones visitando el enlace que se muestra en la Tabla 4.4.

	Temperature (°C)	Conductivity (S/m)	Pressure
Range	-5 to +35	0 to 9	20 m
Initial Accuracy	0.005	0.0005	Strain-gauge 0.1 % of full scale range Quartz 0.02% of full scale range
Resolution	0.0001	0.00005	Strain-gauge 0.002% of full scale range Quartz 0.0006% of full scale range for 1-second integration
Typical Stability	0.0002 per month	0.0003 per month	Strain-gauge 0.1 % of full scale range per year Quartz 0.025% of full scale range per year

Internal Battery	9 alkaline D-cells
External Power Supply	9 – 28 VDC
Current consumption	Sampling: no pressure sensor 55 mA with internally mounted pressure sensor 70 mA Communications: 65 mA Quiescent: 20 μ A
Depth Rating	600 m with plastic housing
More info	Ref. [11]

Tabla 4.4: Especificaciones del sensor SBE 16plusV2

2.4.3 Velocidad de corrientes.

El instrumento encargado de medir la velocidad de las corrientes marinas recibe el nombre de correntómetro. El correntómetro elegido en este estudio es el correntómetro **Aquadopp** de **NORTEK**. Uno de los inconvenientes de este tipo de aparatos consiste en el ensuciamiento de los mismos debido a los sedimentos marinos que se depositan en él y esto puede repercutir en las medidas del instrumento. Para ello, este instrumento incorpora un sistema de limpieza lo que aumenta el tiempo de funcionamiento fiable.



Figura 4.13: Correntómetro – Aquadopp

Algunas de las características de este correntómetro se muestran en la siguiente tabla:

Water Velocity Measurement	
Range	± 5m/s
Accuracy	1% of measured value ±0.5cm/s
Power	DC input: 9-16 VDC Max. consumption, 1 Hz: 0.2-1.4W Sleep consumption: 0.0013 W
Sensors	<p>Temperature: Thermistor embedded in head Range : -4°C to 40°C Accuracy/Resolution: 0.1°C/0.01°C Time response: 10min</p> <p>Compass: Flux-gate with liquid tilt Maximum tilt: 30° Accuracy/Resolution: 2°/0.1° for tilt < 20°</p> <p>Tilt: Liquid level Accuracy/Resolution: 0.2°/0.1° for tilt < 20° Up or down: Automatic detect</p> <p>Pressure: Piezoresistive Range: 0-200 m (standard) Accuracy/Resolution: 0.5% / Better than 0.005% of full scale per sample</p>
More info	Ref. [12]

Tabla 4.5: Especificaciones del Correntómetro Aquadopp

2.4.4 Turbidez y Clorofila.

Los parámetros de turbidez y clorofila en el nodo Rambla serán medidos mediante un sistema de monitorización proporcionado por el proveedor **YSI**. Se trata de la sonda **6-Series** (ver Figura 4.14) que puede incluir diferentes sensores. Concretamente nos interesan los sensores de turbidez y clorofila del agua, el sensor **YSI 6136** de turbidez y el sensor **YSI 6025** de clorofila.



Figura 4.14: Sonda 6-Series

La turbidez es producida por materias en suspensión, materias orgánicas e inorgánicas finamente divididas, compuestos orgánicos solubles coloreados y otras sustancias que son causa de una pérdida de “transparencia” en el agua. El método de medida de turbidez utilizado en el equipo corresponde a la norma ISO 7027, basado en la dispersión de 90° que sufre el rayo de luz que atraviesa un fluido con partículas en suspensión. Existen diferentes unidades de medida de turbidez (FNU, FTU, NTU, etc) entre las cuales destacamos las unidades NTU (*Nephelometric Turbidity Units*) que son las utilizadas en este instrumento. En la siguiente Tabla 4.6 se detallan las especificaciones de ambos sensores:

YSI 6136 Turbidity and YSI 6025 Chlorophyll Sensors

Turbidity	<i>Range</i>	0 to 1000 NTU
	<i>Resolution</i>	0.1 NTU
	<i>Accuracy</i>	±5% of reading or 2 NTU, whichever is greater
	<i>Depth</i>	61 m (200 feet)
Chlorophyll	<i>Range</i>	0 to 400 µg/L; 0 to 100% FS
	<i>Resolution</i>	0.1 µg/L Chl; 0.1% FS
	<i>Depth</i>	61 m (200 feet)
More info		Ref. [13]

Tabla 4.6: Especificaciones sensores turbidez y clorofila

2.4.5 Oxígeno disuelto.

El oxígeno está involucrado en la mayoría de procesos químicos y biológicos en entornos acuáticos y de ahí que sea uno de los parámetros más importantes a medir para realizar los estudios pertinentes. El sensor elegido en este trabajo, **Oxygen Optode 4835**, opera mediante el principio de medida óptico. El método óptico para la medida de oxígeno disuelto elimina las desventajas relativas a los métodos de medida electroquímicos tradicionales. Este método está basado en el fenómeno físico de la luminiscencia, que se define como la propiedad de algunos materiales (luminóforos) de emitir luz cuando son excitados por un estímulo diferente del calor.



Figura 4.15: Oxygen Optode 4835

En cuanto a sus características, tienen un gran periodo de estabilidad y más de un año para la recalibración. En la Tabla 4.7 se muestran las especificaciones técnicas de este instrumento pudiendo ampliar dicha información en la web indicada.

	Oxygen		Temperature
	O2-Concentration	Air Saturation	
Range	0-500 μM	0-150%	-5 to +40 $^{\circ}\text{C}$
Resolution	< 1 μM	0.4%	0.01 $^{\circ}\text{C}$
Accuracy	< 8 μM or 5%	< 5%	\pm 0.1 $^{\circ}\text{C}$
Supply Voltage	5 to 14 VDC		
Current Drain	Average: 0.16 +48 mA/S (S= sampling interval in second)		
	Maximun: 100mA		
	Quiescent: 0.16mA		
Operating Depth	0-300 m		
More info	Ref. [14]		

Tabla 4.7: Especificaciones Oxygen Optode 4835

2.4.6 Nitratos.

Para el sensor de nitratos se ha seleccionado la línea de **Satlantic**, en concreto el **SUNA** (*Submersible Ultraviolet Nitrate Analyzer*). El método de análisis de nitrato de este sensor se basa en las características de absorción de los componentes inorgánicos disueltos en el espectro de luz ultravioleta (UV). El SUNA usa algoritmos avanzados de absorción UV para calcular la concentración de nitratos directamente. Esta tecnología proporciona robustez, estabilidad y sensibilidad, operando de forma continuada durante largos periodos de tiempo en entornos remotos.



Figura 4.16: SUNA (Submersible Ultraviolet Nitrate Analyzer)

A continuación se detallan las especificaciones del sensor de nitratos:

SUNA

Range	0.007 to 28 mg/l-N *(0.5 to 2000 μ M)
Accuracy	± 0.028 mg/l (± 2 μ M) or $\pm 10\%$ of reading
Long term drift	0.007 mg/l per hour of lamp time
Optics	Path length: 1 cm Wavelength range: 190 - 370 nm Lamp type: Deuterium Lamp lifetime: 900 h
Electrical Characteristics	Input voltage: 8 - 18 VDC Power consumption: 7.5 W (0.625 A @ 12V) Sample rate: 0.5 Hz Telemetry options: RS-232 Baud rate user selectable - default 38,400 bps Analog output 0 - 4.096 VDC and 4 - 20 mA SDI-12
More info	Ref. [15]

Tabla 4.8: Especificaciones SUNA

2.4.7 Perfil de Temperatura.

Otra de las cuestiones interesantes en el estudio marino es conocer la variación de temperatura a lo largo de una columna de agua. Para ello, se realiza la medida de temperatura del agua a diferentes profundidades en un mismo punto geográfico y así poder sacar conclusiones sobre las posibles variaciones de las medidas. Una forma de llevar a cabo la medición del perfil de temperatura es realizando una boya instrumental como se muestra en la Figura 4.17. En ella se sitúan una serie de termistores separados una cierta distancia y diseñados para medir y almacenar la temperatura del agua. En la parte superior de la boya se localiza la instrumentación necesaria para llevar a cabo la gestión de la boya instrumental y enviar la información recogida a la estación base donde los datos serán analizados.

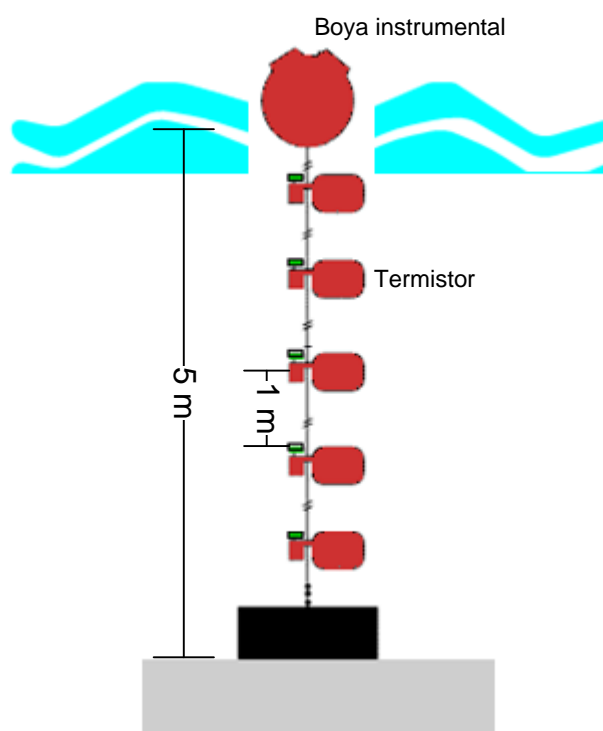


Figura 4.17: Medición del perfil de temperatura

Los termistores elegidos se muestran en la Figura 4.18, **StowAway Tidbit Temp Logger**. Como se puede apreciar son de pequeño tamaño y además tienen un peso de 23 gr, por tanto se pueden colocar perfectamente a lo largo de un cable verticalmente y un total de 5 termistores por nodo Completo, que son los únicos nodos del despliegue encargados de medir el perfil de temperatura del agua.



Figura 4.18: StowAway Tidbit Temp Logger

Las especificaciones técnicas de los termistores se describen en la Tabla 4.9 y cabe destacar que son adecuados para el caso de estudio que se está realizando ya que proporcionan un rango de medida de temperatura de -4°C a 37°C .

StowAway Tidbit Temp Logger

Temperature Range	-4°C to 37°C (24°F to 99°F)
Temperature Accuracy	$\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ (0.4°F) at 70°F
Temperature Resolution	0.16°C (0.29°F) at 70°F
Response Time (Water)	5 Minutes (Typical to 90%)
Memory	Nonvolatile EEPROM, retains data when battery fails Memory Modes: Stop when Full or Wrap-around when Full
Time Accuracy	± 1 Minute per Week at 68°F (20°C)
Sampling Interval	0.5 Seconds to 9 Hours
Waterproof Depth	1000 ft (304.8 m)
Battery Life	5 Years (Non-replaceable Battery)
Visual Alarm	Blinking LED when user-configured parameters exceeded
Environment (Typical)	16 3-Month Deployments in water (35F to 80F) with 4 minute or more Sampling Interval
More info	Ref. [16]

Tabla 4.9: Especificaciones termistor

2.5 Resumen de la instrumentación.

Para concluir con la sección de instrumentación de sensores, se presenta un resumen de los parámetros que miden cada tipo de nodo, los instrumentos elegidos para dicha medición y la cantidad de sensores necesarios para el despliegue completo teniendo en cuenta los sensores que incorpora cada nodo y la cantidad de nodos del mismo tipo.

En la Tabla 4.10 se vuelven a detallar los parámetros que mide cada tipo de nodo especificando en cada caso el instrumento concreto de medida, modelo y fabricante.

Tipo de nodo Parámetro	Tipo de nodo			
	Nodo Depth	Nodo Correntómetro	Nodo Rambla	Nodo Completo
Temperatura	SBE 39	-	SBE 16plusV2	-
Presión	SBE 39	-	SBE 16plusV2	SBE 16plusV2
Salinidad	-	-	SBE 16plusV2	SBE 16plusV2
Velocidad de corrientes	-	Aquadopp (NORTEK)	-	Aquadopp (NORTEK)
Turbidez	-	-	YSI 6-Series	-
Clorofila	-	-	YSI 6-Series	-
Oxígeno Disuelto	-	-	Oxygen Optode 4835 (AANDERAA)	-
Nitratos	-	-	SUNA (Satlantic)	-
Perfil de Temperatura	-	-	-	StowAway Tidbit Temp Logger

Tabla 4.10: Resumen instrumentación

En la Tabla 4.11 se muestra la cantidad de nodos del despliegue, los sensores que incluye cada nodo y en función de éstos, los sensores para el despliegue completo. Por ejemplo,

disponemos de 8 nodos Depth cada uno de ellos con un sensor SBE 39 para la medición de temperatura y presión del agua, por tanto, en total se necesitan 8 sensores del tipo SBE 39. En el nodo Completo son necesarios un sensor SBE16plusV2, un correntómetro Aquadopp y 5 termistores para realizar la medición del perfil de temperatura del agua. Puesto que se requieren 2 nodos del tipo Completo, necesitaremos 2 sensores SBE16plusV2, 2 correntómetros Aquadopp y 10 termistores. De igual forma con el resto de tipos de nodos.

Tipo de Nodo	Cantidad de Nodos	Sensores/ Nodo	Total de Sensores en el despliegue
Nodo Depth	8	SBE 39	SBE 39: 8
Nodo Correntómetro	3	Aquadopp	Aquadopp: 3
Nodo Rambla	1	SBE 16plusV2 Oxygen Optode 4835 SUNA YSI 6-Series	SBE 16plusV2: 1 Oxygen Optode 4835: 1 SUNA: 1 YSI 6-Series: 1
Nodo Completo	2	SBE 16plusV2 Aquadopp 5 Termistores por nodo	SBE 16plusV2: 2 Aquadopp: 2 Termistores: 10

Tabla 4.11: Sensores / Nodo

En la tabla 4.12 simplemente se unifican la cantidad de sensores requeridos para completar todos los nodos del despliegue.

Tipo de Sensor	Cantidad
SBE 39	8
SBE 16plusV2	3
Aquadopp	5
YSI 6-Series	1
Oxygen Optode 4835	1
SUNA	1
Termistores	10

Tabla 4.12: Cantidad de sensores en el despliegue

Capítulo 5: Diseño y definición de una configuración para la red de sensores

El ciclo de trabajo de cada nodo consistirá en la toma de medidas cada cierto tiempo preestablecido en la programación del nodo, y finalizada la toma de datos se deberá enviar la información a la estación base donde será almacenada y analizada. Para ello, en este capítulo se verán diferentes formas de gestionar la comunicación desde la red inalámbrica de sensores hasta la estación base ubicada en Cartagena.

Para establecer un enlace de comunicaciones entre la red inalámbrica de sensores desplegada en el Mar Menor y la estación base en Cartagena, será necesario de alguna forma realizar una conexión vía GSM o GPRS que permita dicha comunicación gran distancia. Analizando los resultados que se obtuvieron en el capítulo 2, *Tecnologías Inalámbricas*, entre GSM y GPRS se puede concluir que, puesto que el objetivo perseguido es realizar la transmisión únicamente de datos, se hará uso del servicio GPRS.

Una vez planteado el despliegue de nodos detallado en el capítulo anterior, cabe realizar el estudio de las diferentes alternativas de configuraciones para la red de sensores, analizando sus ventajas e inconvenientes, para finalmente llevar a cabo la implementación de la más adecuada. Se pueden identificar 3 posibles configuraciones: *configuración basada en nodos sensores independientes con conexión de largo alcance con estación base*, *configuración basada en una red de sensores en estrella con conexión de largo alcance con estación base* y *configuración basada en varias subredes en estrella cada una de ellas con conexión de largo alcance con estación base*.

A continuación se presentan cada una de estas configuraciones. Para ello se tendrá en cuenta el despliegue de nodos sensores propuesto en la Figura 5.1.

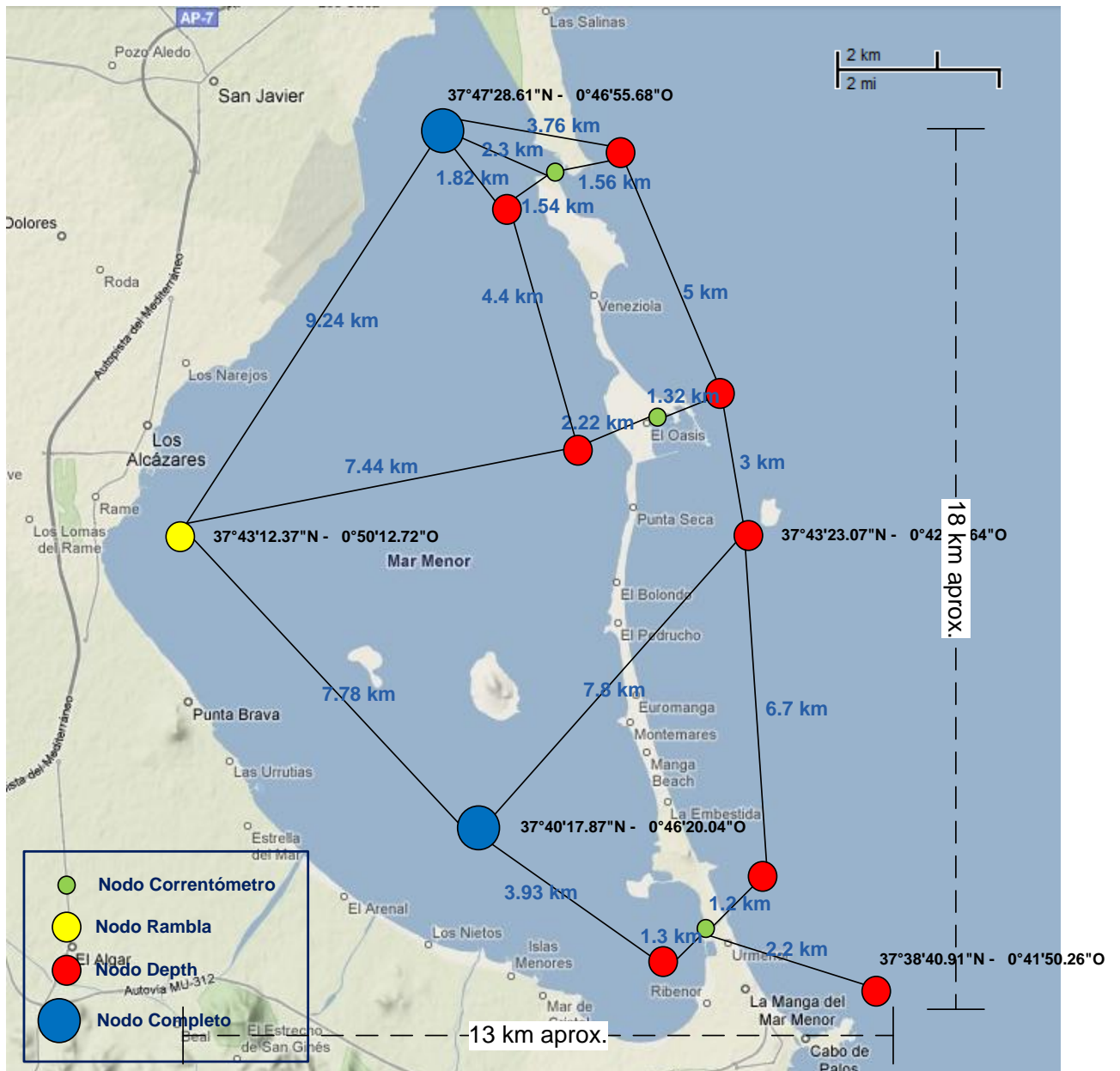


Figura 5.1: Despliegue de nodos

1. Configuración basada en nodos sensores independientes con conexión de largo alcance con estación base. Caso A.

Una posible arquitectura de comunicaciones descentralizada podría ser la siguiente: cada nodo, independientemente de los demás y tras finalizar la toma de datos, realiza una conexión GPRS con un servidor para el envío de la información recogida y será en dicho servidor en el que se almacenarán los datos tomados por todos los nodos.

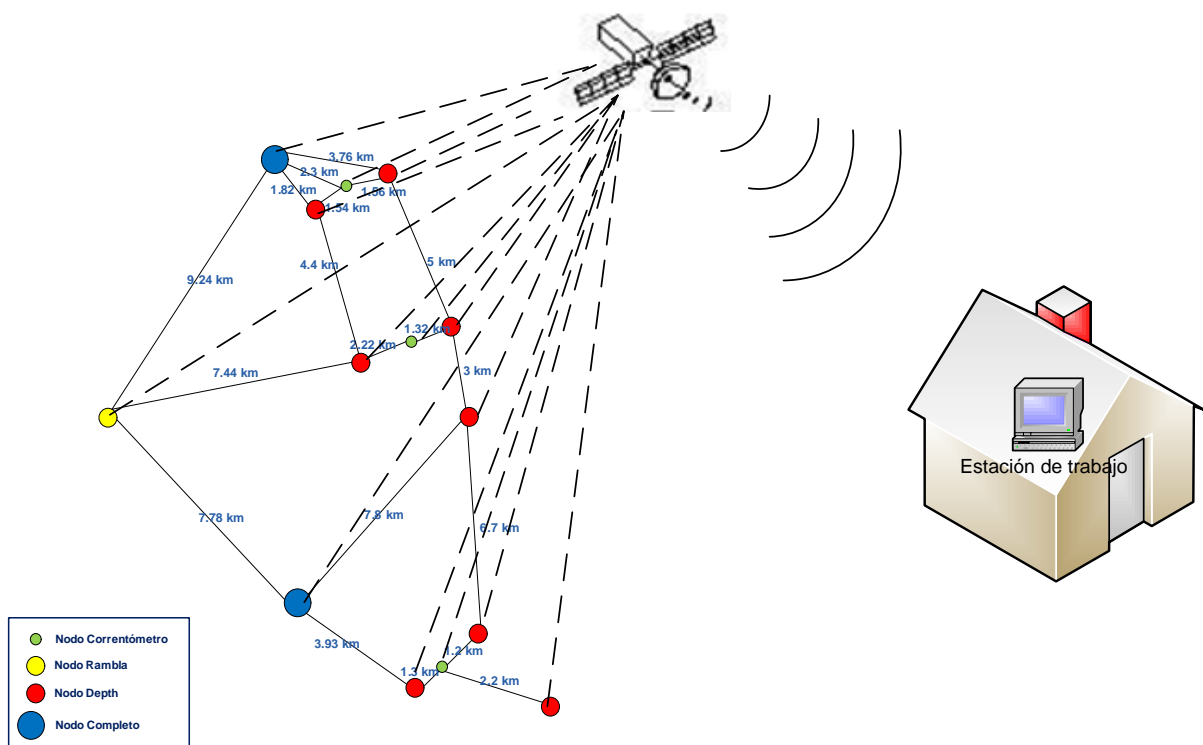


Figura 5.2: Configuración Caso A

Como ventaja de esta configuración se tendría la ausencia de puntos de fallo en el sistema, es decir, aunque falle la comunicación con algún nodo, no se vería afectada la red completa. Sin embargo, se obtendría un elevado coste de infraestructura ya que cada uno de los nodos debería realizar una conexión GPRS y para ello dar de alta una nueva línea de datos para el establecimiento de la conexión GPRS. No obstante es un coste que habrá que estudiar de cara a otras posibles alternativas de arquitecturas de comunicaciones como las que se describen en los siguientes apartados.

2. Configuración basada en una red de sensores en estrella con conexión de largo alcance con estación base. Caso B.

En una arquitectura centralizada se destaca el papel de uno de los nodos que actuaría como *nodo principal* de la red inalámbrica de sensores (ver Figura 5.3). Entre todos los nodos del despliegue se podría establecer una red inalámbrica, con alguna de las tecnologías de comunicación inalámbricas analizadas en el capítulo 2 de este trabajo, y que sea únicamente uno de los nodos (el nodo principal) el encargado de establecer la conexión GPRS con el servidor para el intercambio de datos, es decir, que un nuevo nodo se comporte como Gateway entre la red y la estación base.

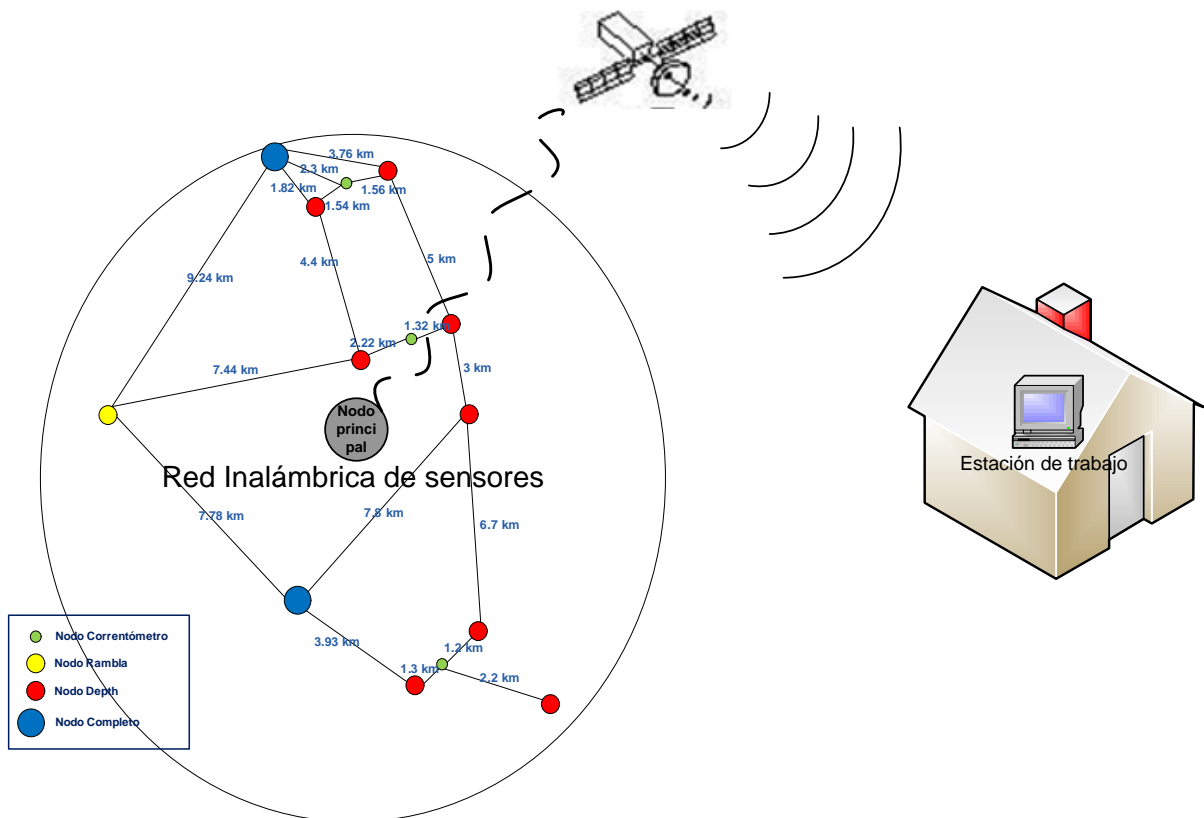


Figura 5.3: Configuración Caso B

Tomando esta opción además habría que tener en cuenta la presencia de repetidores de señal o que alguno de los nodos sensores actuase además como nodo repetidor. Dependiendo del alcance de la tecnología inalámbrica utilizada, será necesario utilizar más o menos dispositivos de este tipo. Además, el nodo principal se convierte en un punto de fallo del sistema completo.

3. Configuración basada en varias subredes en estrella cada una de ellas con conexión de largo alcance con estación base. Caso C.

Finalmente, otra posible opción es identificar diferentes subredes dentro del despliegue cada una con un Gateway y que sea éste el que, igual que en el caso anterior, establezca una conexión GPRS con el servidor de datos.

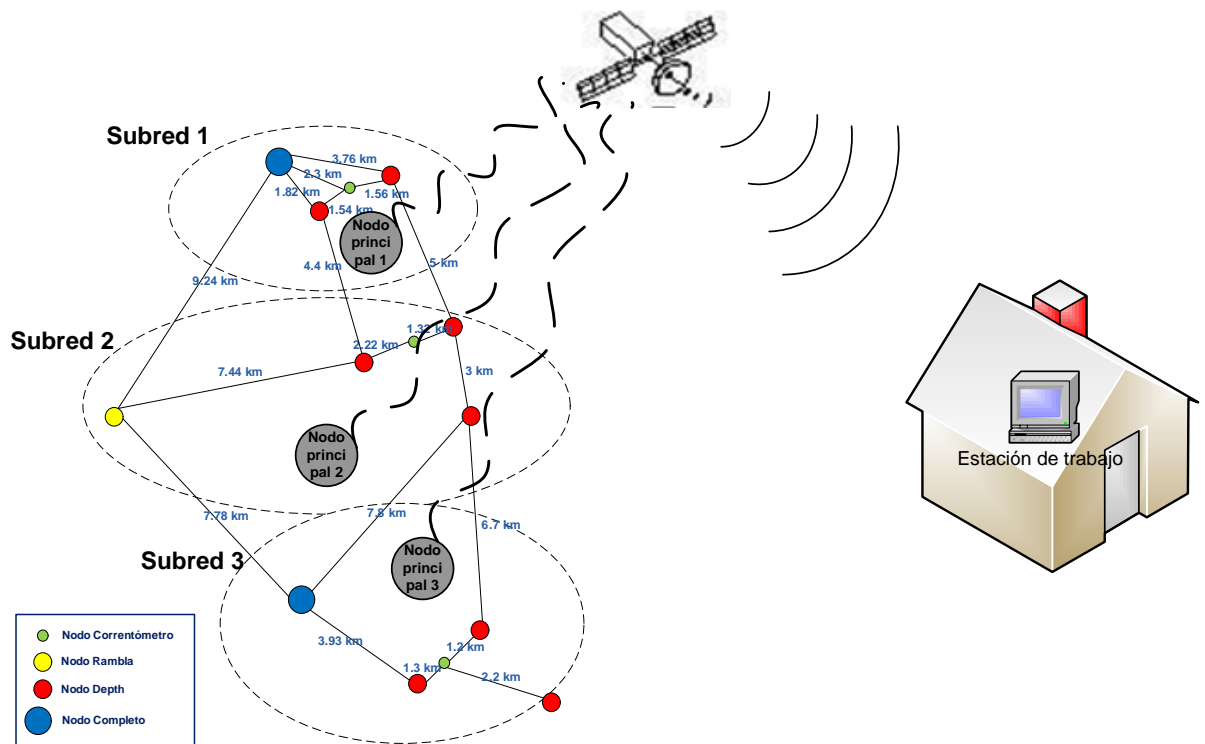


Figura 5.4: Configuración Caso C

En este caso, se tienen diferenciadas las zonas de la cubeta norte del Mar Menor, la cubeta sur, y la zona central de la laguna. En cada subred se establecerá la comunicación con una de las tecnologías inalámbricas disponibles en el mercado y analizadas en el Capítulo 2 de este trabajo.

En esta arquitectura los nodos principales siguen siendo puntos de fallo, pero al existir 3 subredes independientes disminuye el grado de fallo.

4. Arquitectura global de cada nodo.

Cada uno de los diferentes nodos requerirá un diseño parecido aunque distinto ya que incorporan diversos sensores y además variará dependiendo de la configuración de la red inalámbrica de sensores. En este apartado se describe mediante diagramas de bloques la arquitectura hardware de cada nodo (nodos sensores y nodos principales) en los que se apreciarán los distintos componentes necesarios en cada caso.

4.1 Nodos Sensores para el Caso A.

Todos los nodos sensores tienen un esquema hardware similar variando únicamente el número de sensores que incorpora y la interfaz de cada uno de ellos. En el Caso A, en el que la configuración de la red de sensores está basada en nodos sensores independientes con conexión de largo alcance con estación base, se presentan los siguientes diagramas para los distintos tipos de nodos sensores (ver Figuras 5.5, 5.6, 5.7 y 5.8).

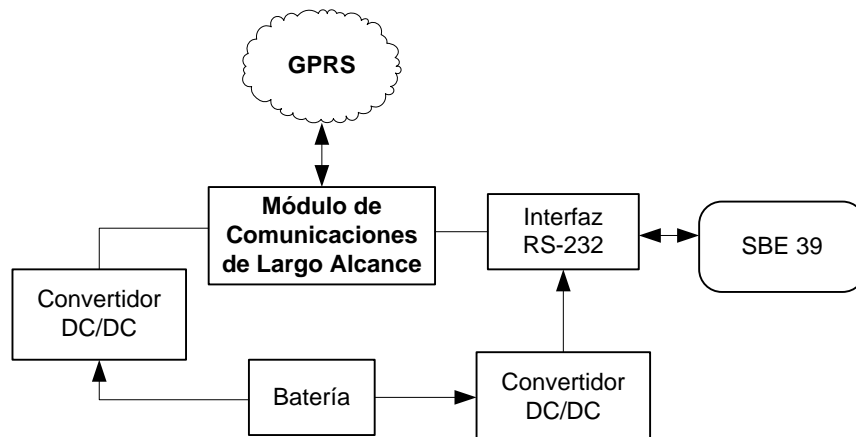


Figura 5.5: Diagrama Hardware del Nodo Depth. Caso A

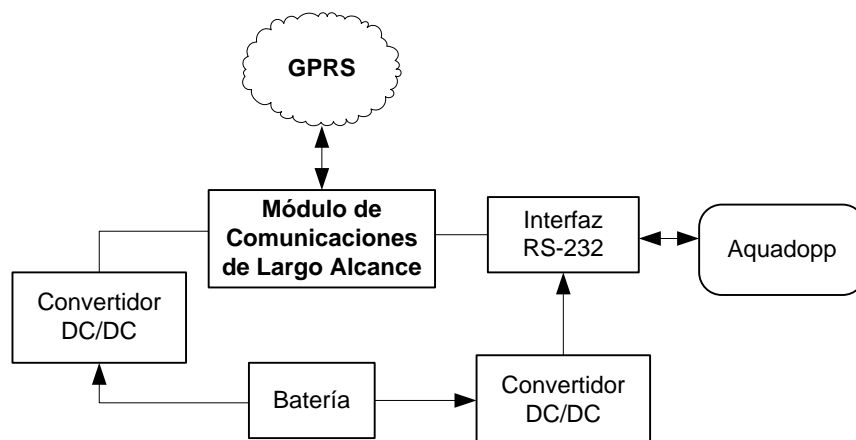


Figura 5.6: Diagrama Hardware del Nodo Correntómetro. Caso A

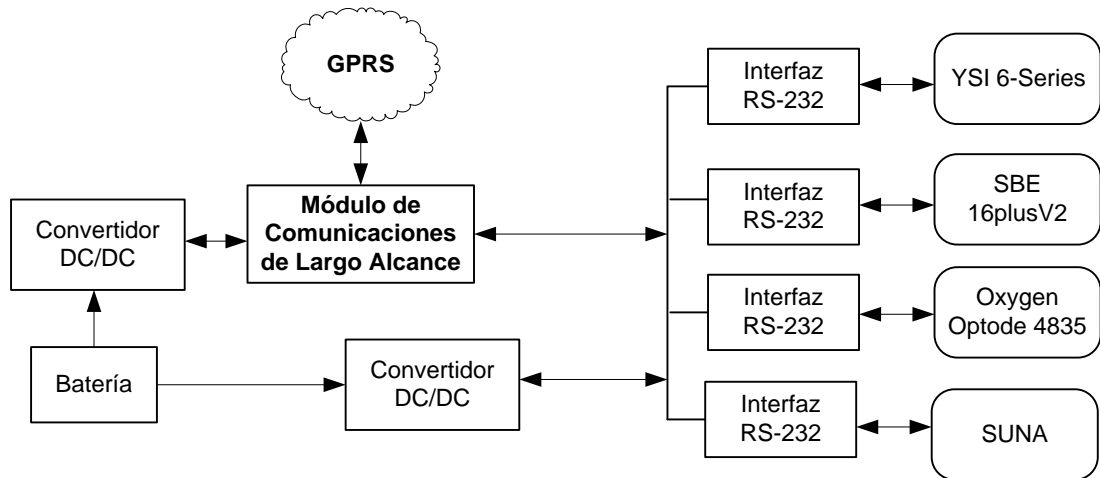


Figura 5.7: Diagrama Hardware del Nodo Rambla. Caso A

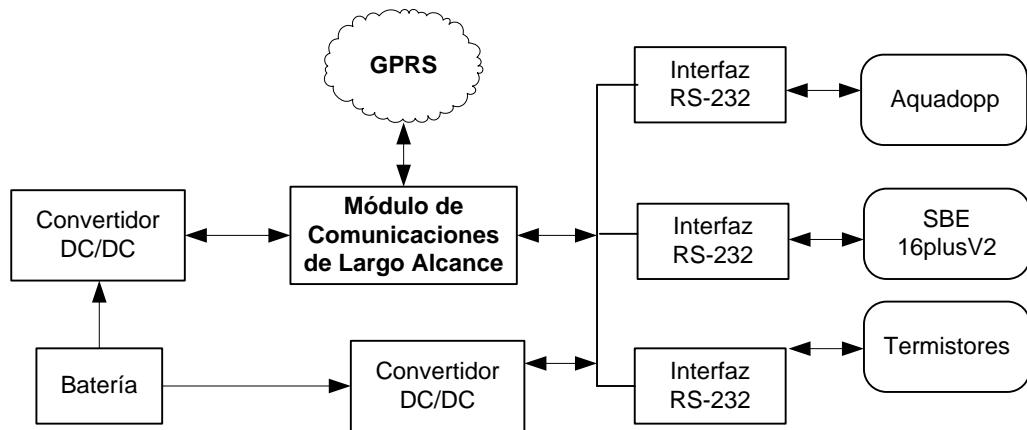


Figura 5.8: Diagrama Hardware del Nodo Completo. Caso A

En esta configuración, son los nodos sensores los encargados de, además de realizar la toma de muestras, establecer una comunicación con la estación base para el intercambio de información. Por tanto, los nodos sensores del Caso A consistirán en un módulo de comunicaciones de largo alcance, concretamente se está trabajando con el sistema de desarrollo **Starter-Kit STK-AARLOGIC-C01** (ver Figura 5.9) que incluye un módulo *Telit GE863-GPS* que incorpora los servicios de GSM/GPRS y GPS, la comunicación entre el módulo y el sensor se realiza mediante un puerto RS-232 y se incluye además el sistema de alimentación adecuado.

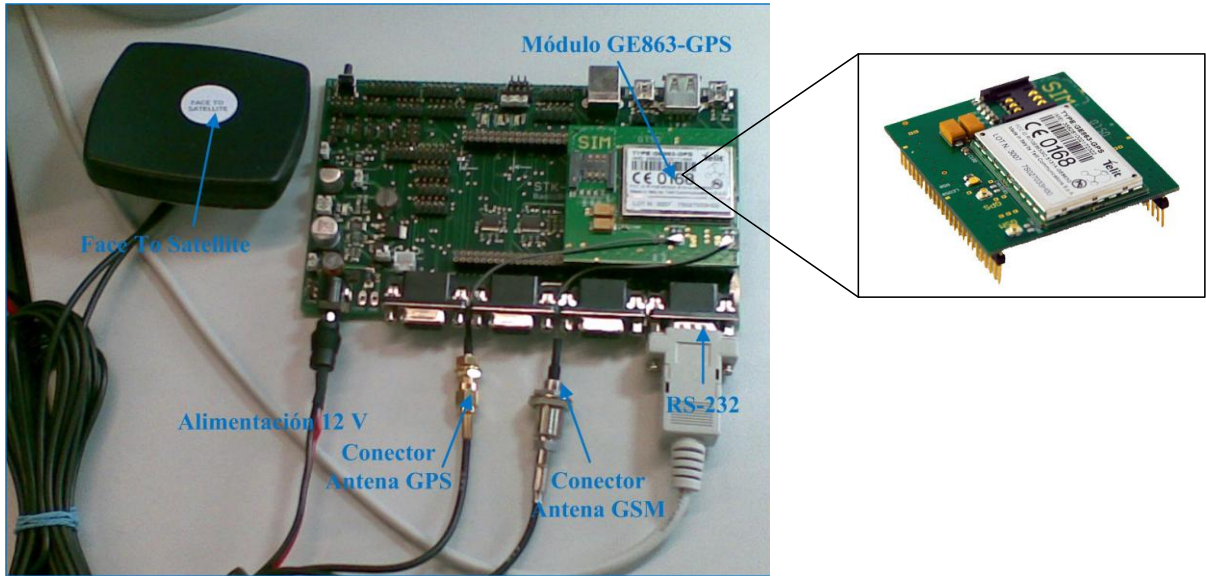


Figura 5.9: Starter-Kit STK-AARLOGIC-C01

4.2 Nodos Sensores para los Casos B y C.

En este apartado se contemplan los diagramas hardware de los nodos sensores para las configuraciones de los Casos B y C. Cada nodo tiene un micro controlador que gestiona el comportamiento del nodo, un módulo de comunicaciones para establecer la conexión con otros nodos y transferir la información recogida por los sensores y los sensores que se conectan al nodo mediante las interfaces requeridas. Además, cada nodo debe tener el propio sistema de alimentación que lo dota de una cierta autonomía.

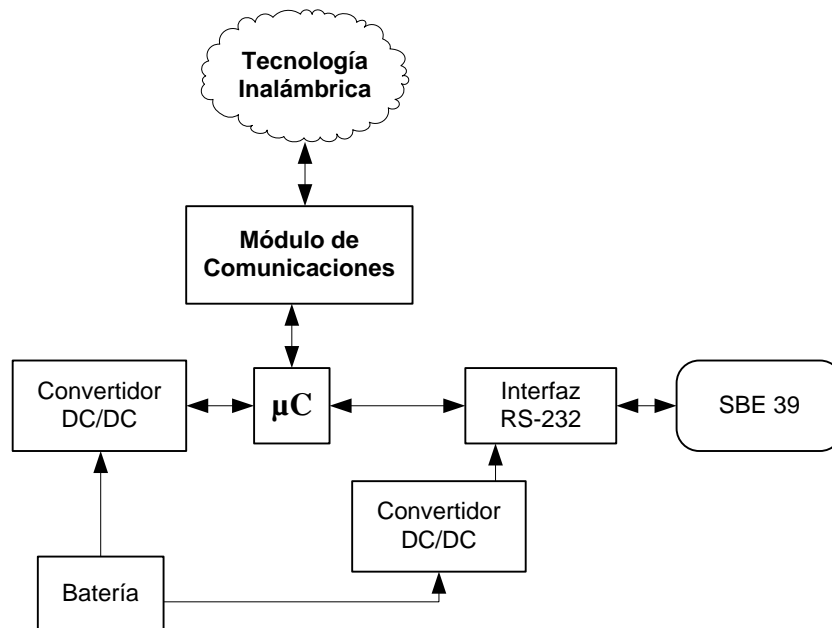


Figura 5.10: Diagrama Hardware del Nodo Depth. Casos B y C

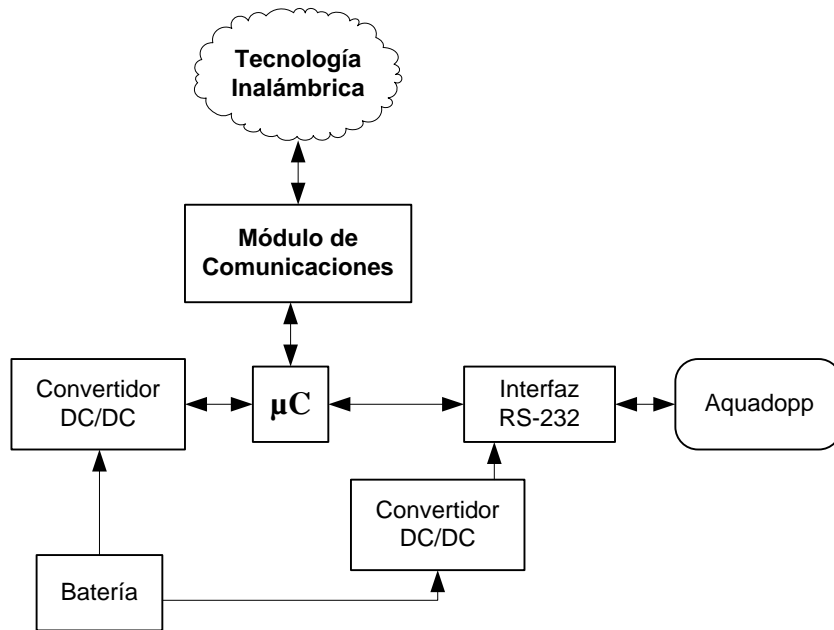


Figura 5.11: Diagrama Hardware del Nodo Correntómetro. Casos B y C

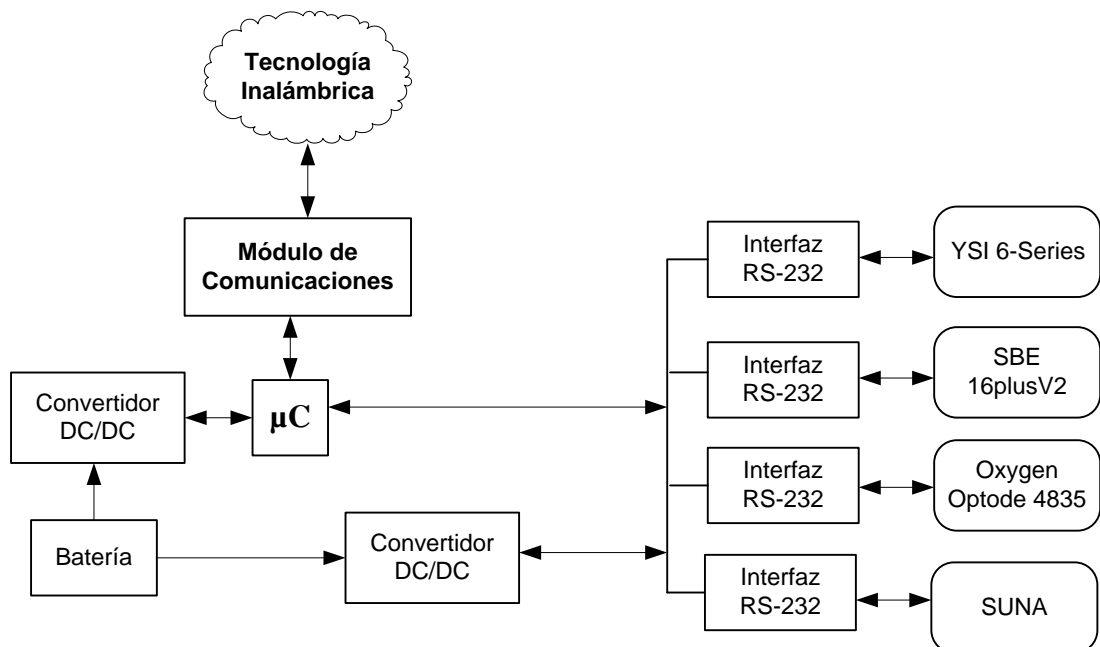


Figura 5.12: Diagrama Hardware del Nodo Rambla. Casos B y C

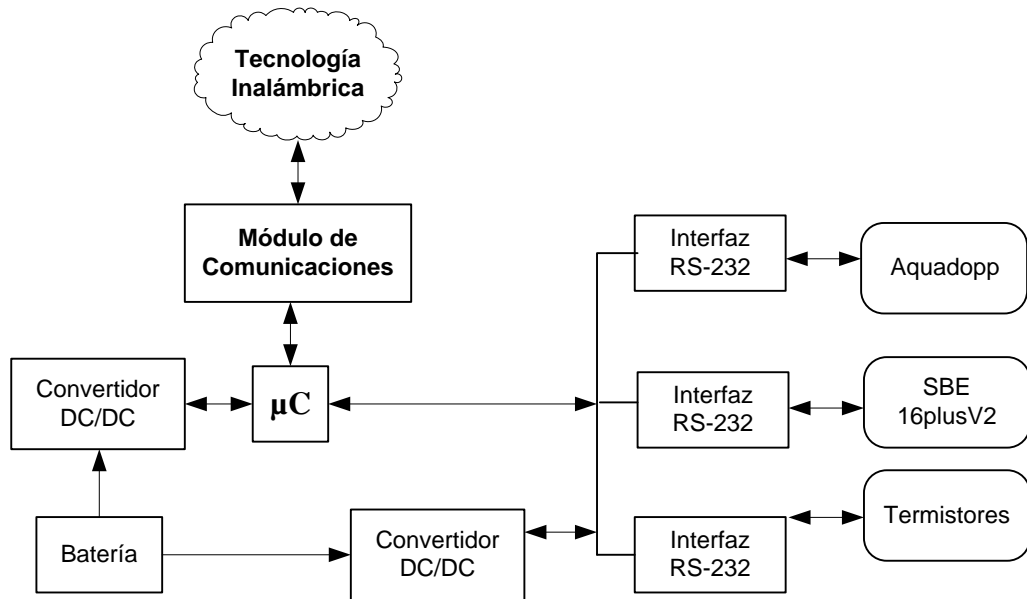


Figura 5.13: Diagrama Hardware del Nodo Completo. Casos B y C

4.3 Nodo Principal para los Casos B y C.

El nodo principal en los Casos B y C es el encargado de recibir los datos de los nodos sensores mediante el módulo de comunicaciones de la tecnología inalámbrica adecuada y retransmitirlos hasta un servidor de datos o estación base estableciendo previamente una conexión GPRS con dicho servidor.

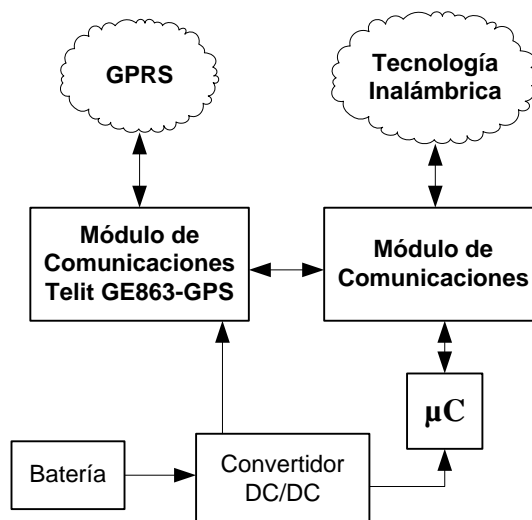


Figura 5.14: Diagrama Hardware del Nodo Principal.

Por tanto, el nodo principal (ver Figura 5.14) incorpora dos módulos de comunicaciones, uno para la comunicación inalámbrica con los nodos sensores y un segundo módulo para la conexión GPRS. Será necesario un micro controlador para la gestión de datos y comunicaciones y un sistema de alimentación que mantenga activo el nodo.

5. Selección de la tecnología inalámbrica.

A la vista de los requisitos de enlaces de distancias del orden de kilómetros de nuestra red inalámbrica de sensores y de los sistemas de desarrollo hardware disponibles en el mercado se han seleccionado tres posibles tecnologías candidatas que se analizarán en este apartado. En primer lugar se presenta un módulo de RF XStream (versión OEM), a continuación una implementación mejorada de ZigBee con módulos de radio de gran alcance (CC2591) y por último se trata la tecnología WiMAX.

5.1 Módulo RF de XStream.

Una posibilidad para realizar la telemetría de los datos muestreados durante la vida de la red inalámbrica de sensores es realizar un radio enlace mediante el módulo Xstream OEM RF (ver Figura 5.15). Este módulo ofrece un alcance de 16 kilómetros en ambientes exteriores, considerando línea de visión y además utilizando una antena dipolo de alta ganancia. En estas mismas condiciones pero haciendo uso de una antena dipolo de 2.1 dB se pueden llegar a alcanzar hasta 5 kilómetros. Las especificaciones en ambos casos se refieren a la banda de 2.4 GHz [17].



Figura 5.15: Xstream OEM RF module

5.2 ZigBee mejorado.

En cuanto a la cobertura que se puede llegar a alcanzar con ZigBee va a depender de la potencia de transmisión utilizada. El proveedor **Texas Instruments** proporciona un dispositivo de radio **CC2520** que en combinación con el **CC2591** se puede alcanzar un rango del orden de varios kilómetros [18]. El CC2520 es un chip que introduce la segunda generación de los transceptores RF ZigBee® / IEEE 802.15.4 en la banda ISM a 2.4 GHz sin necesidad de licencias. El CC2591 consiste en un amplificador de rango para transceptores RF y productos de Texas Instruments. El objetivo de este segundo chip es incrementar el alcance del enlace proporcionando una amplificación de potencia para mejorar la potencia de salida y el LNA (*Low Noise Amplifier*) y de esta forma mejorar la sensibilidad en el receptor. El módulo CC2591 ofrece una potencia de salida en transmisión de 20.6 dBm [19] y estableciendo una comparación con el módulo RF de XStream, el cual ofrece una potencia de

17 dBm obteniendo un alcance máximo de 16 km, podemos concluir que con el módulo radio CC2591 se conseguirá una distancia superior a 16 km.



Figura 5.16: Módulos de radio CC2520 (imagen a la izquierda) y CC2591 (imagen a la derecha)

5.3 WiMAX.

La tecnología inalámbrica WiMAX parece ser una tecnología prometedora pero hoy en día no existen sistemas de desarrollo que nos permitan realizar aplicaciones a medida como es la planteada en este trabajo.

5.4 Conclusión.

Concluyendo con la sección de selección de la tecnología inalámbrica se considera más adecuada a los requisitos del despliegue emplear los módulos radio *CC2520* y *CC2591* puesto que son los que proporcionan un mayor alcance y el módulo CC2591 es relativamente nuevo en el mercado.

6. Estudio de consumo en las diferentes configuraciones.

En redes de sensores inalámbricas uno de los factores preocupantes, y por ello es necesario tener muy en cuenta, es el consumo de los nodos que forman dicha red ya que de ellos depende el tiempo de vida del despliegue, la robustez de la red completa y la obtención de datos consistentes.

De las arquitecturas de comunicaciones propuestas en los tres anteriores apartados es interesante realizar un estudio de consumo de las diferentes opciones que se presentan para finalmente, y conjuntamente con las ventajas y desventajas analizadas ya en apartados anteriores, poder concluir la elección de la mejor arquitectura que se adapte a los requisitos de la red de sensores inalámbrica para la monitorización del Mar Menor.

A la hora de realizar dicho estudio se han tenido en cuenta la variedad de sensores que incluye cada nodo, incluso los distintos tipos de nodos dependiendo de la función que realizan, es decir, nodos sensores (nodos Depth, Correntómetro, Rambla y Completo) y nodos principales (Gateway entre la red o subred y la estación base).

Se han considerado un periodo de muestreo de 15 minutos y un estudio sobre el consumo de los nodos durante una hora. Por tanto, los sensores realizarán 4 tomas de medida por hora tomando la siguiente relación para el cálculo del consumo energético:

$\text{Consumo de 4 muestras/hora} = (4 * \text{consumo/muestra}) + (\text{consumo sleep})$

Dependiendo de la arquitectura de comunicaciones la actividad de los nodos variará en función del tipo de nodo, nodo sensor o nodo principal. En el caso de la arquitectura descentralizada, cada nodo sensor realizará el muestreo cada 15 minutos, almacenará las muestras, y al cabo de una hora establecerá una comunicación vía GPRS con el servidor de para realizar la transferencia de datos. En el resto de arquitecturas, centralizada e híbrida, distinguimos dos tipos de nodos con funciones diferentes: los nodos sensores son los encargados de tomar las muestras cada 15 minutos, almacenarlas, transferir la información cada hora al nodo principal mediante la tecnología inalámbrica elegida, y será el nodo principal el encargado de establecer la conexión GPRS con el servidor.

Además destacar que el estudio se ha realizado considerando la tecnología inalámbrica ZigBee haciendo uso del módulo de radio CC2520 y CC291.

Para evaluar el consumo total en una hora para las diferentes arquitecturas se han considerado las siguientes fórmulas, (NS= Nodos Sensores, NP= Nodo Principal):

▪ **Caso A:**

Consumo NS = Consumo sensores/hora + Consumo GPRS /hora + Sleep el resto del tiempo

Consumo Total = Consumo NS

▪ **Caso B:**

Consumo Total = Consumo NS + Consumo NP

Consumo NS = Consumo sensores/hora + Consumo NS Tx Radio/hora + Sleep el resto del tiempo

Consumo NP = Consumo NP Rx Radio/hora + Consumo GPRS /hora + Sleep el resto del tiempo

▪ **Caso C:**

Consumo Total = Consumo NS + Consumo NP

Consumo NS = Consumo sensores/hora + Consumo NS Tx Radio/hora + Sleep el resto del tiempo

Consumo NP = (Consumo NP Rx Radio/hora + Consumo GPRS /hora + Sleep el resto del tiempo)*3

En las siguientes Tablas 5.2, 5.3 y 5.4 se detallan los consumos de cada uno de los sensores y nodos y el consumo total de cada arquitectura. Los datos utilizados para este estudio son los que muestran los fabricantes en las hojas de características de los instrumentos exceptuando los que aparecen en cursiva y subrayados que han sido estimados ya que el fabricante no ofrecía dichos valores.

	Tipo de Nodo	Sensores / Nodo	Total de Sensores	Consumo/nodo (Activo)	Consumo/nodo (Sleep)	Consumo / hora y sensor Nota(1)	Consumo GPRS (Idle)	Consumo GPRS (Tx)	Consumo hora y nodo Nota(2)	Consumo Total Nota(3)	
Nodos	Depth	SBE 39	8	23	0,01	127,92	2,6	370	9701,92	77615,36	
	S	Correntómetro	Aquadopp	3	103,7	0,0963	760,7096	2,6	370	10334,7096	31004,1288
		E	Rambla	SBE 16plusV2	1	120	0,02	551,84	2,6	370	10125,84
	Oxygen Optode 4835			1	0,1636	0,16	575,3742	2,6	370	10149,3742	
	SUNA			1	625	<u>0,2</u>	3218,4	2,6	370	12792,4	
	YSI 6-Series			1	<u>200</u>	<u>0,2</u>	1518,4	2,6	370	11092,4	
	S	Completo	SBE 16plusV2	2	120	0,02	551,84	2,6	370	10125,84	64265,0992
			Aquadopp	2	103,7	0,0963	760,7096	2,6	370	10334,7096	
			5 Termistores/nodo	10	<u>300</u>	<u>0,25</u>	2098	2,6	370	11672	
										mA	217044,602
									A	217,044602	
									W	2604,53523	

Tabla 5.2: Estudio de consumo – Caso A

	Tipo de Nodo	Sensores / Nodo	Total de Sensores	Consumo/nodo (Activo)	Consumo/nodo (Sleep)	Consumo / hora y sensor	Consumo GPRS (Idle)	Consumo GPRS (Tx)	Consumo CC2520-91	Consumo / hora y nodo Nota(4)	Consumo Total Nota(5)	
Nodos	Depth	SBE 39	8	23	0,01	127,92	0	0	111	238,92	1911,36	
	S	Correntómetro	Aquadopp	3	103,7	0,0963	760,7096	0	0	111	871,7096	2615,1288
		E	Rambla	SBE 16plusV2	1	120	0,02	551,84	0	0	111	662,84
	Oxygen Optode 4835			1	0,1636	0,16	575,3742	0	0	111	686,374222	
	SUNA			1	625	<u>0,2</u>	3218,4	0	0	111	3329,4	
	YSI 6-Series			1	<u>200</u>	<u>0,2</u>	1518,4	0	0	111	1629,4	
	S	Completo	SBE 16plusV2	2	120	0,02	551,84	0	0	111	662,84	3089,0992
			Aquadopp	2	103,7	0,0963	760,7096	0	0	111	871,7096	
			5 Termistores/nodo	10	<u>300</u>	<u>0,25</u>	2098	0	0	111	2209	
	Principal	Principal	X	1	X	X	X	2,6	370	111	9685	9685
									mA	23608,60222		
									A	23,60860222		
									W	283,3032267		

Tabla 5.3: Estudio de consumo – Caso B

	Tipo de Nodo	Sensores / Nodo	Total de Sensores	Consumo/nodo (Activo)	Consumo/nodo (Sleep)	Consumo / hora y sensor	Consumo GPRS (Idle)	Consumo GPRS (Tx)	Consumo CC2520-91	Consumo / hora y nodo Nota(6)	Consumo Total Nota(7)
Nodos S E N S O R E S P R I N C I P A L	Depth	SBE 39	8	23	0,01	127,92	0	0	111	238,92	1911,36
	Correntómetro	Aquadopp	3	103,7	0,0963	760,7096	0	0	111	871,7096	2615,1288
	Rambla	SBE 16plusV2	1	120	0,02	551,84	0	0	111	662,84	6308,01422
		Oxygen Optode 4835	1	0,1636	0,16	575,3742	0	0	111	686,374222	
		SUNA	1	625	0,2	3218,4	0	0	111	3329,4	
		YSI 6-Series	1	200	0,2	1518,4	0	0	111	1629,4	
	Completo	SBE 16plusV2	2	120	0,02	551,84	0	0	111	662,84	3089,0992
		Aquadopp	2	103,7	0,0963	760,7096	0	0	111	871,7096	
		5 Termistores/nodo	10	300	0,25	2098	0	0	111	2209	
	Principal		1				2,6	370	111	9685	29055
									mA	42978,6022	
									A	42,9786022	
									W	515,743227	

Tabla 5.4: Estudio de consumo – Caso C

Nota (1): Consumo de un sensor en una hora muestreando cada 15 min → 4 muestras por hora. Se considera que el sensor tarda 2 segundos en realizar la toma de una muestra.

$$\text{Consumo / hora y sensor} = 4 * \text{Consumo/nodo (Activo)} + \text{Consumo/nodo (Sleep)} * (3600 - 2 * 4) \text{ seg}$$

Nota (2): Consumo de un nodo Caso A. Se considera que la conexión GPRS y transferencia de datos tiene una duración de 60 segundos.

$$\text{Consumo / hora y nodo} = (\text{Consumo / hora y sensor}) + \text{Consumo GPRS (Tx)} + \text{Consumo GPRS (Idle)} * (3600 - 60)$$

Nota (3): Consumo Caso A

$$\text{Consumo Total} = \text{sum} [(\text{Consumo / hora y nodo}) * (\text{Total de Sensores})]$$

Nota (4): Consumo de un nodo Caso B. Se considera que la conexión GPRS y transferencia de datos tiene una duración de 60 segundos.

$$\text{NS} \rightarrow \text{Consumo / hora y nodo} = (\text{Consumo / hora y sensor}) + \text{Consumo CC2520-91}$$

NP → Consumo / hora y nodo = Consumo CC2520-91+ Consumo GPRS (Tx) + Consumo GPRS (Idle) * (3600 - 60)

Nota (5): Consumo Caso B

Consumo Total = NS + NP = {sum [(Consumo / hora y nodo) * (Total de Sensores)]} + NP

Nota (6): Consumo de un nodo Caso C. Se considera que la conexión GPRS y transferencia de datos tiene una duración de 60 segundos.

NS → Consumo / hora y nodo = (Consumo / hora y sensor) + Consumo CC2520-91

NP → Consumo / hora y nodo = Consumo CC2520-91+ Consumo GPRS (Tx) + Consumo GPRS (Idle) * (3600 - 60)

Nota (7): Consumo Caso C. Hay 3 NP

Consumo Total = NS + NP = {sum [(Consumo / hora y nodo) * (Total de Sensores)]} + NP*3

7. Comparación de Configuraciones para la Red de Sensores.

En la siguiente Tabla 5.5 se establece una comparación de las distintas configuraciones de la red de sensores definidas en términos de puntos de fallo, consumo, tecnología inalámbrica empleada, coste de conexión y tipos de nodos implicados en cada arquitectura.

	Caso A	Caso B	Caso C
Punto de fallo	Nivel Bajo	Nivel Alto	Nivel Medio
Consumos	2605 W	283 W	516 W
Tecnología Inalámbrica	GPRS	GPRS + ZigBee mejorado	GPRS + ZigBee mejorado
Coste de conexión	10 € Tarifa Plana de Datos x 14 nodos	10 € Tarifa Plana de Datos	10 € Tarifa Plana de Datos x 3 nodos
Tipos de nodos	Nodos sensores	Nodos sensores Nodo principal	Nodos sensores Nodos principales

Tabla 5.5: Comparación de configuraciones para la red de sensores

Analizando los datos de la Tabla 5.5, se puede concluir que la configuración con la que se obtiene una mejor relación de consumo frente a ventajas que proporciona es la **configuración basada en varias subredes en estrella cada una de ellas con conexión de largo alcance con estación base, Caso C**. Es una opción intermedia entre los Casos A y B ya que en términos de consumo, coste y puntos de fallo se sitúa entre ambas siendo una configuración algo más cara que la opción B pero mejor que la opción A.

Capítulo 6: Conclusiones

A lo largo de este trabajo, realizado en el marco del proyecto de investigación “Sistema de Monitorización Costera para el Mar Menor (CMS, 463.01.08_CLUSTER)”, se ha profundizado en el diseño de redes inalámbricas de sensores aplicadas al ámbito marino para llevar a cabo la monitorización de la laguna costera del Mar Menor.

La finalidad de este trabajo era la de realizar un estudio completo analizando las características de la laguna del Mar Menor y adoptando una solución hardware y de diseño que permita monitorizar dicha laguna.

En primer lugar se ha realizado un estado del arte de las tecnologías de comunicación inalámbricas y los Sistemas de Observación Costeros en desarrollo y ya implantados tanto a nivel nacional como a nivel internacional.

A continuación, y tras estudiar las características físicas y el modelo de circulación del Mar Menor y el tramo litoral próximo, se ha especificado un caso de estudio distinguiendo principalmente seis zonas de interés: Cubetas Norte y Sur del Mar Menor, la desembocadura de la rambla del Albuñón y las tres golas en la Manga del Mar Menor (Las Encañizadas, El Estacio y Marchamalo). En cada una de dichas zonas se ha propuesto ubicar diferentes nodos sensores para la monitorización de ciertos parámetros de interés. En las *Cubetas Norte y Sur* se emplaza un *nodo Completo* con sensores que miden presión, salinidad, velocidad de la corriente del mar y el perfil de temperatura del agua. En la *rambla del Albuñón* un *nodo Rambla* con el objetivo de controlar la temperatura, presión, salinidad, turbidez, clorofila, oxígeno disuelto y nitratos presentes en el mar. Y en las tres *golas* nombradas anteriormente

se sitúan dos *nodos Depth* en ambos extremos del canal y un *nodo Correntómetro* en el centro del canal donde más acusadas serán las corrientes marinas. Además de este despliegue de nodos sensores se incluyen dos *nodos Depth* adicionales, uno en *Cabo de Palos* y otro cercano a la *Isla Grosa*.

Una vez expuestas las necesidades de caracterización de la laguna, se ha seleccionado la instrumentación adecuada a dichas necesidades especificando para cada parámetro a medir el fabricante y el tipo del instrumento oceanográfico.

Finalmente, se han discutido diferentes configuraciones de la red de sensores para la transmisión de datos recogidos por los sensores desde la red inalámbrica de sensores hasta la estación base. Una primera *configuración basada en nodos sensores independientes con conexión de largo alcance con estación base (Caso A)*, consiste en que cada uno de los nodos sensores, tras realizar el muestreo de los parámetros requeridos, establezcan una conexión GPRS y envíen de esta forma la información hasta el servidor de datos. Una segunda propuesta, *basada en una red de sensores en estrella con conexión de largo alcance con estación base (Caso B)*, consta de un nodo principal cuya función es establecer la comunicación entre los nodos sensores y la estación base vía GPRS. Y la tercera de las configuraciones, *basada en varias subredes en estrella cada una de ellas con conexión de largo alcance con estación base (Caso C)*, es una combinación de las dos anteriores. En este último caso existen diferentes subredes cada una de ellas con un nodo principal con el objetivo de establecer la conexión entre dichas subredes y el servidor de datos.

Tras analizar las ventajas e inconvenientes de cada una de estas configuraciones, seleccionar la tecnología inalámbrica entre los nodos sensores y el nodo principal de las configuraciones B y C, y realizar un estudio teórico del consumo energético de cada una de ellas se ha llegado a la conclusión de que la configuración más adecuada a los requisitos de nuestro sistema es la ***configuración basada en varias subredes en estrella cada una de ellas con conexión de largo alcance con estación base*** (Caso C) haciendo uso, para la comunicación entre los nodos sensores y el nodo principal dentro de cada subred, de la tecnología de comunicaciones inalámbrica ZigBee mejorada ya que proporciona un alcance de varios kilómetros cubriendo de esta forma las necesidades del despliegue de nuestra red inalámbrica de sensores.

Por último en este trabajo, se ha propuesto un diseño hardware a nivel de diagramas de bloques de cada uno de los nodos que forman el despliegue.

Como líneas futuras a este trabajo se plantea llevar a cabo la construcción hardware de los modelos de nodos expuestos en este trabajo y, en definitiva, poner en práctica el diseño de la red inalámbrica de sensores estudiado. Este trabajo además puede servir como un primer estudio para un futuro desarrollo del Observatorio Oceanográfico Costero de la Región de Murcia (OOCMur).

Bibliografía

- [1] Thomas Austin, James Edson, Wade McGillis, Chris von Alt, Mike Purcell, Robert Petitt, Marguerite McElroy, Jonathan Ware, Roger Stokey: “The Martha’s Vineyard Coastal Observatory: A Long Term Facility for Monitoring Air-Sea Processes”
- [2] James Edson, Thomas Austin, Wade McGillis, Mike Purcell, Robert Petitt, Jonathan Ware, Marguerite McElroy, Sheila Hurst, and Carlton Grant: “The Martha’s Vineyard Coastal Observatory”
- [3] C. R. Barnes, M. M. R. Best, B. D. Bornhold, S. K. Juniper, B. Pirenne, P. Phibbs: “The NEPTUNE Project - a cabled ocean observatory in the NE Pacific: Overview, challenges and scientific objectives for the installation and operation of Stage I in Canadian waters”
- [4] R. Dewey, A. Round, P. Macoun, J. Vervynck, and V. Tunnicliffe: “The VENUS Cabled Observatory: Engineering Meets Science on the Seafloor”
- [5] Carlos M. Duarte. Las ciencias y tecnologías marinas en España. Consejo Superior de investigaciones científicas. Informes CSIC.
- [6] MEMORIA TÉCNICA Y ECONÓMICA. Observatorio Oceanográfico Costero de la Región de Murcia (OOCMur)
- [7] Carlos M. Duarte. Las ciencias y tecnologías marinas en España. Consejo Superior de investigaciones científicas. Informes CSIC.

- [8] E. G. Bautista, E. Sánchez-Badorrey, M. Díez-Minguito, M. A. Losada, F. Baraza: “Modelo de gestión integral del Mar Menor (I): modelo de circulación de la laguna y tramo litoral próximo”
- [9] M.J. Polo, M. Egüen, M. Nofuentes, M.A. Losada, F. Baraza: “Modelo de gestión integral del Mar Menor (II): forzamiento atmosférico-terrestre del sistema”
- [10] http://www.seabird.com/products/spec_sheets/39data.htm
- [11] http://www.seabird.com/products/spec_sheets/16plusdata.htm
- [12] <http://www.nortek-as.com/en/products/CurrentMeter/aquadopp-3d-current-meter>
- [13] https://www.ySI.com/portal/page/portal/YSI_Environmental/Products/Product_Family/Product?productID=EMS_SEN03_6025 ,
https://www.ySI.com/portal/page/portal/YSI_Environmental/Products/Product_Family/Product?productID=EMS_SEN02_6136
- [14] <http://www.aadi.no/Aanderaa/Products/Sensors/OxygenOptode/default.aspx>
- [15] <http://www.satlantic.com/details.asp?ID=32&CategoryID=2&SubCategoryID=0>
- [16] <http://www.microdaq.com/occ/underwater/tidbit.php#specs>
- [17] **Datasheet XStream OEM RF Modules**
- [18] **Application Note AN065: “AN065 Using CC2591 Front End with CC2520”.**
- [19] **Datasheet CC2591 - www.ti.com**
- [20] <http://www.redictsmarinas.ieo.es/>

Anexo I:
Especificaciones Técnicas de la Instrumentación
Oceanográfica



YSI Chlorophyll Sensor

Measure Chlorophyll Fluorescence with a Self-cleaning Sensor

Determine phytoplankton concentrations by detecting the fluorescence from chlorophyll *in situ* with the YSI 6025 Chlorophyll sensor.



The YSI 6025 Chlorophyll Sensor

- *In situ* monitoring
- Self-cleaning sensor for long-term deployment
- Field-replaceable
- Complements extractive analysis for accurate trending
- Use data in predicting Harmful Algal Blooms

Take Advantage of YSI's New V2 Sondes

Expand your optical monitoring capability and upgrade your 6820, 6920 or 6600. V2 upgrades increase the number of optical ports on your sonde, allowing for measurement of additional optical sensors including:

- Chlorophyll
- Blue-Green Algae - Phycocyanin (for freshwater applications)
- Blue-Green Algae - Phycoerythrin (for marine applications)
- ROX™ Optical Dissolved Oxygen
- Turbidity
- Rhodamine

Upgrades are available from YSI Authorized Service Centers. Contact YSI for details.

Pure
Data for a
Healthy
Planet.®
Predict algae blooms and
determine nutrient loading

Sensor performance verified*

The performance of the YSI 6025 Chlorophyll Sensor was verified through the US EPA's Environmental Technology Verification Program (ETV).





To order, or for more information, contact YSI Environmental.

+1 937 767 7241
800 897 4151 (US)
www.ysi.com

YSI Environmental
+1 937 767 7241
Fax +1 937 767 9353
environmental@ysi.com

Endeco/YSI
+1 508 748 0366
Fax +1 508 748 2543
systems@ysi.com

SonTek/YSI
+1 858 546 8327
Fax +1 858 546 8150
inquiry@sontek.com

YSI Gulf Coast
+1 225 753 2650
Fax +1 225 753 8669
environmental@ysi.com

YSI Hydrodata (UK)
+44 1462 673 581
Fax +44 1462 673 582
europe@ysi.com

YSI Middle East (Bahrain)
+973 1753 6222
Fax +973 1753 6333
halsalem@ysi.com

YSI (Hong Kong) Limited
+852 2891 8154
Fax +852 2834 0034
hongkong@ysi.com

YSI (China) Limited
+86 10 5203 9675
Fax +86 10 5203 9679
beijing@ysi-china.com

YSI Nanotech (Japan)
+81 44 222 0009
Fax +81 44 221 1102
nanotech@ysi.com

ISO 9001
ISO 14001

Yellow Springs, Ohio Facility

EcoWatch, Pure Data for a Healthy Planet and Who's Minding the Planet? are registered trademarks of YSI Incorporated.

©2006 YSI Incorporated
Printed in USA 1206 E39-03



*Sensors with listed with the ETV logo were submitted to the ETV program on the YSI 6600EDS. Information on the performance characteristics of YSI water quality sensors can be found at www.epa.gov/etv, or call YSI at 800.897.4151 for the ETV verification report. Use of the ETV name or logo does not imply approval or certification of this product nor does it make any explicit or implied warranties or guarantees as to product performance.

YSI incorporated
Who's Minding
the Planet?[®]


Chlorophyll Basics

Chlorophyll in various forms is bound within the living cells of algae, phytoplankton, and other plant matter found in water. Chlorophyll is a key component in the process of photosynthesis, the critical process in which energy from sunlight is used to produce life-sustaining oxygen. The amount of chlorophyll in a water sample is used as a measure of suspended phytoplankton, the magnitude of which can significantly affect the overall quality of water.

Technology Developments

Before the YSI 6025 chlorophyll sensor made *in situ* measurement convenient, the common way to measure chlorophyll was to collect samples and use extractive analysis in a laboratory, or take large equipment to the field. Extractive analysis methods, though highly accurate, are time-consuming and require an experienced analyst. The YSI optical, fluorescence probe is quick and efficient to use, and enables spot sampling in remote areas as well as continuous or interval monitoring.

YSI 6025 Chlorophyll Sensor Specifications

	Range	Detection Limit	Resolution	Linearity
Chlorophyll* 6025 Sensor* 	~0 to 400 µg/L 0 to 100 RFU	~0.1 µg/L [§]	0.1 µg/L Chl 0.1% RFU	R ² > 0.9999**
<ul style="list-style-type: none"> Maximum depth rating for all optical probes is 200 feet, 61 m. RFU = Relative Fluorescence Units ~ = Approximately 	Explanation of Ranges can be found in the 'Principles of Operation' section of the 6-Series Manual, Rev D.	§ Determined from cultures of <i>Isochrysis sp.</i> and chlorophyll <i>a</i> concentration determined via extractions.		**Relative to serial dilution of Rhodamine WT (0-500 ug/L).

Applications include:

Ocean and Coastal Studies

- Investigate the distribution of phytoplankton in marine systems
- Check the algae in different layers and columns of water

River, Lake, Pond, and Reservoir Management

- Monitor growth of phytoplankton due to high concentrations of plant nutrients
- Observe the algae population and distribution in lakes and reservoirs
- Sample phytoplankton at different depths to profile lakes and reservoirs
- Monitor ponds where algae control is of concern (eutrophication)

Drinking Water from Rivers, Lakes, and Reservoirs

- Monitor algae blooms which may be toxic
- Minimize filtration system clogs through early detection of algae blooms

Aquaculture

- Estimate changes in quantity of phytoplankton when used as a food source
- Manage dissolved oxygen requirements based on algae blooms
- Optimize amounts of phytoplankton in larval tanks

Aquadopp®

Open water 3D Current Meter

Imagine an ocean current meter without need for recalibration, without moving parts, with the ability to withstand fouling and with the sampling volume moved away from the mounting structure. These are among the factors making the Aquadopp® family the most versatile ocean current meters available. Leading oceanographers and engineers all over the world use the Aquadopp®. Typical applications are:

- ✓ Self-contained deployments
- ✓ Permanent monitoring stations
- ✓ Real time data collection on buoys, ROVs, offshore platforms, etc.

The Aquadopp® is usually configured from a PC, but it can be operated from any third-party controller using the RS232/RS422 interface (binary or ASCII) or analog outputs.

Software

The Aquadopp® comes standard with Windows® software both for real time data collection and for controlling autonomous deployments. Different views and menus guide you through the process from configuration to data conversion. The software has an extensive on-line help section and requires no special skills.

New firmware versions from Nortek can be loaded into the Aquadopp® using the standard software, removing the need for opening the canister and replacing components.

The effect of magnetic deployment frames can be eliminated in the on-line compass calibration procedure.

In the final analyses, the Aquadopp® offers great value through the combined use of advanced Doppler technology and a flexible system design.

Wave directional spectra

The Aquadopp® can be configured to collect wave directional data at the same time as it measures the mean current. Nortek provides postprocessing software that allows you to calculate the wave spectra from the raw data.



The Aquadopp® has several significant advantages when compared to other open water current meters:

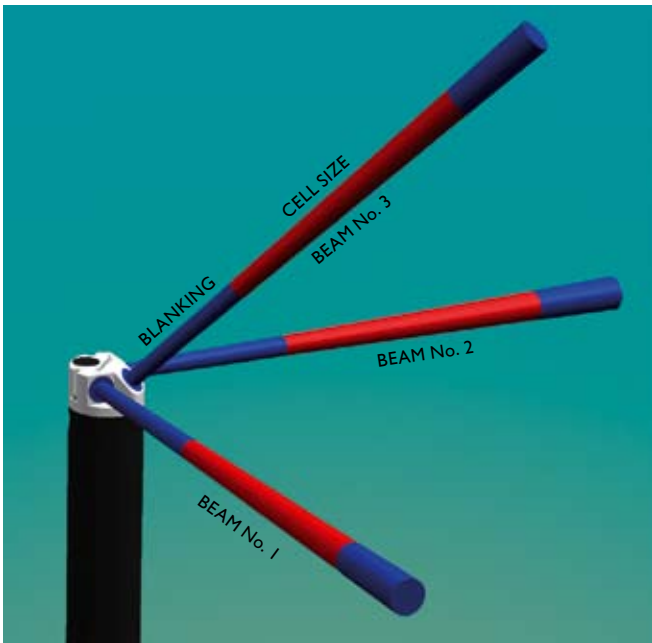
- ✓ All plastic and titanium parts stops corrosion
- ✓ Small and light weight (less than 3kg!)
- ✓ No moving parts that can be blocked or sensitive parts that are easily damaged
- ✓ Low power consumption for long deployments
- ✓ A variety of sensor heads and the ability to move the sampling volume away from the mounting structure assure undisturbed measurements in all situations.

Diagnostic mode

The diagnostic mode is unique for Aquadopp®. It allows the user to intersperse the average data with periods of rapid sampling (1Hz). Diagnostic data are typically used to analyze mooring motion or to gather information about surface waves or internal waves.



Aquadopp Head Configurations – collecting



A variety of sensor heads are available for the Aquadopp®. Each head is optimized for certain applications to ensure that you can collect data which you really want to.

The Aquadopp® measures the Doppler shift occurring when transmitting and receiving sound along two or more narrow acoustic beams. The Doppler shift is proportional to the velocity component along the beam. The data can be combined, using the exact geometry, to generate 2D (minimum 2 beams) or 3D velocity (minimum 3 beams).

Sampling Area, Blanking and Cell Size

The sampling area is determined by the blanking, cell size, and beam geometry, as shown in the above Fig. The parameters blanking and cell size are user selectable in software, whereas the geometry is determined by the orientation of the acoustic beams. The tilt and the compass sensor in the Aquadopp® work equally well whether it points up or down. Consequently, any head may be used up-looking just as well as down-looking.

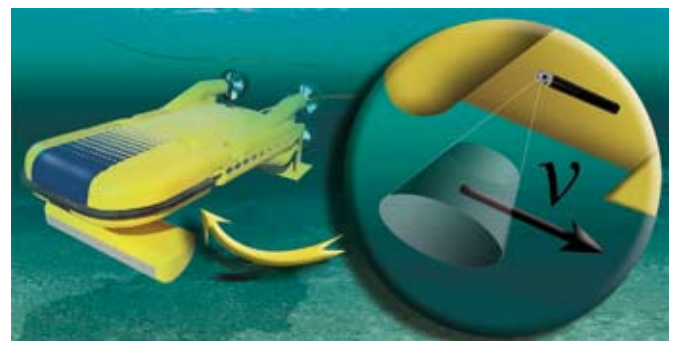
Custom Sensor Design

The Aquadopp® sensor head is made from a tough epoxy and polyurethane plastic materials suitable for molding. This allows us to design and construct new sensor heads with a lead time of four weeks or less. Contact Nortek or your local representative today if you have applications that may require a new sensor head design!

Other Sensors

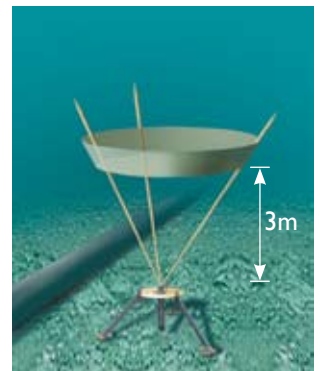
All heads have tilt and temperature sensors built in. Pressure sensor is standard for all heads except for the 2D side-looking head.

A typical application for the 2D side-looking sensor head is to measure 2D flow away from walls or boundaries. Shown here is an example of channel flow monitoring where the Aquadopp® is mounted on the channel wall, protected from floating debris, and the measurements are made in the free flow away from the wall.



A European military contractor has developed a system for mine hunting based on a powerful ROV. The ROV runs ahead of the ship at a distance of a few hundred meters, tracking targets as it goes. To measure the speed and direction, the vehicle is fitted with an Aquadopp® with right-angle sensor head to get accurate readings at 1-sec intervals.

An Aquadopp® with a symmetric sensor head can be used to measure at a fixed distance above the bottom.



AquaFin Deployment Fixture.

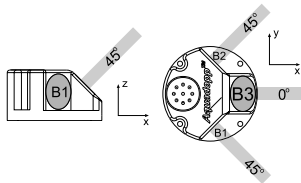
The AquaFin is designed for mooring an Aquadopp® Current Meter or a Current Profiler. It shackles into the mooring line and allows the Aquadopp® to swivel freely so that its beams always look into undisturbed flow. Choose non-magnetic stainless steel or titanium for mooring loads of 450, 900, and 1350 kg, respectively. Dimensions are: 414 mm × 684 mm (w × h). Fin alone is 306 mm wide.



ing data undisturbed by flow interference

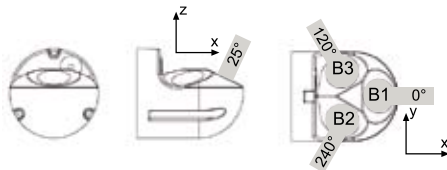
Head Configurations

Standard sensor head



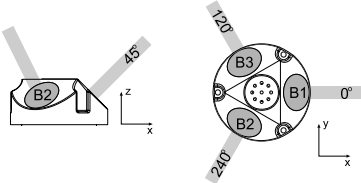
The **Standard sensor head** is designed for mooring applications. The transducer orientation is optimized to give the best possible precision for the horizontal velocity. All three transducers are mounted on one side and the instrument should be mounted to assure that the beams are pointing into the undisturbed flow. In the case of a mooring line, this can be achieved by attaching a balancing fin to the Aquadopp® or by using the Aquafin.

Right angle sensor head



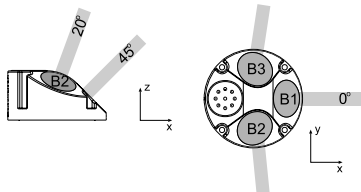
The **Right-angle sensor head** is used when it is important to give the instrument a low profile to minimize drag. Typical examples are bottom frames, ROVs, and applications where the Aquadopp® will be towed.

Symmetric sensor head



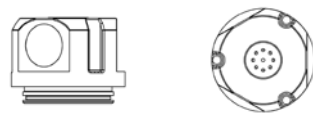
Symmetric sensor heads are designed to measure above or below the Aquadopp®. The most common application is Aquadopp® units mounted on bottom frames. In addition to measuring above the frame at a programmable distance, the vertical extent of the sampling volume is more precisely defined with the symmetric design than with the standard head, which is designed for mooring applications.

Asymmetric sensor head



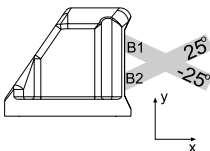
The **Asymmetric sensor head** is used in situations where the sample area is best located above (or below) the instrument and out to the side. A good example is buoy mounted Aquadopp® units, where the measurement area should be positioned both below the hull and away from the anchor chain.

Hockey-puck-looking sensor head



The **Hockey-puck-looking sensor head** has all three beams in the horizontal plane. The sensor head can only measure 2D velocity, but has the advantage that one of the beams can be eliminated in the calculation of the horizontal velocity. This head can be used when making measurements close to the surface or bottom.

2D side-looking sensor head



Sensor head nomenclature. The acoustic beams are defined by their unity vectors B_i in the reference coordinate system XYZ. The reference system remains constant, regardless of the sensor orientation. The conversion from beam velocity to XYZ velocity is given by the inverse matrix generated from the B_i vectors.

The **2D side-looking sensor head** is used to measure 2D flow away from walls or boundaries. Typical applications include velocity monitoring where the Aquadopp® is mounted on the channel wall – protected from floating debris – and the measurements are made in the free flow away from the wall.

Should none of these configurations fit your application, note that other head configurations are available on request.

Specifications

Water Velocity Measurement

Range	±5 m/s (inquire for higher ranges)
Accuracy	1% of measured value ±0.5 cm/s
Maximum sampling rate (output)	1 Hz, 4 Hz on request
Internal sampling rate	23 Hz

Measurement area

Measurement cell size	0.75 m
Measurement cell position (user selectable)	0.35–5.0 m
Default position (along beam)	0.35–1.8 m

Doppler uncertainty (noise)

Typical uncertainty for default configurations	0.5–1.0 cm/s
Uncertainty in U,V at 1 Hz sampling rate	1.5 cm/s

Echo Intensity

Acoustic frequency	2 MHz
Resolution	0.45 dB
Dynamic range	90 dB

Sensors

Temperature	Thermistor embedded in head
Range	–4°C to 40°C
Accuracy/Resolution	0.1°C/0.01°C
Time response	10 min

Compass	Flux-gate with liquid tilt
Maximum tilt	30°
Accuracy/Resolution	2°/0.1° for tilt < 20°

Tilt	Liquid level
Accuracy/Resolution	0.2°/0.1° for tilt < 20°
Up or down	Automatic detect

Pressure	Piezoresistive
Range	0–200 m (standard)
Accuracy/Resolution	0.5% / Better than 0.005% of full scale per sample

Analog inputs

Number of channels	2
Voltage supply	12 V. Hardware can be modified to provide 5 V or battery voltage.
Voltage input	16 bit A/D

Data Communication

I/O	RS232, RS422, or analog outputs Software supports most commercially available USB–RS232 converters.
Baud rate	300–115200
User control	Handled via WIN32® software, ActiveX function calls, or direct commands with binary or ASCII data output.

Software (“Aquadopp”)

Operating system	Windows® 2000 & XP Functions Deployment planning, start with alarm, data retrieval, ASCII conversion. Online data collection and graphical display. Test modes.
------------------	--

Data Recording

Capacity (standard)	9 MB, expandable to 33, 89, or 161 MB
Data record	40 bytes
Diagnostic record	40 bytes

Power

DC input	9–16VDC
Peak current	2A at 12VDC (user adjustable)
Max. consumption, 1 Hz	0.2–1.4 W
Avg. consumption	0.1 W (0.02 Hz), 0.01 W (0.002 Hz)
Sleep consumption	0.0013 W
Battery capacity	50 Wh. Extended 6000 m version has 2 battery packs (i.e. double capacity)
New battery voltage	13.5 VDC
Data collection (alkaline)	6 months at 10-min, ±1.5 cm/s noise
Data collection (lithium)	18 months at 10-min, ±1.5 cm/s noise

Connectors

Bulkhead (Impulse)	MCBH-8-FS
Cable	PMCIL-8-MP on 10m polyurethane cable

Materials

Standard model	Delrin® and polyurethane plastics with titanium screws
----------------	--

Environmental

Operating temperature	–5°C to 45°C
Storage temperature	–20°C to 60°C
Shock and vibration	IEC 721-3-2
Pressure rating	300 m for housing

Antifouling paint

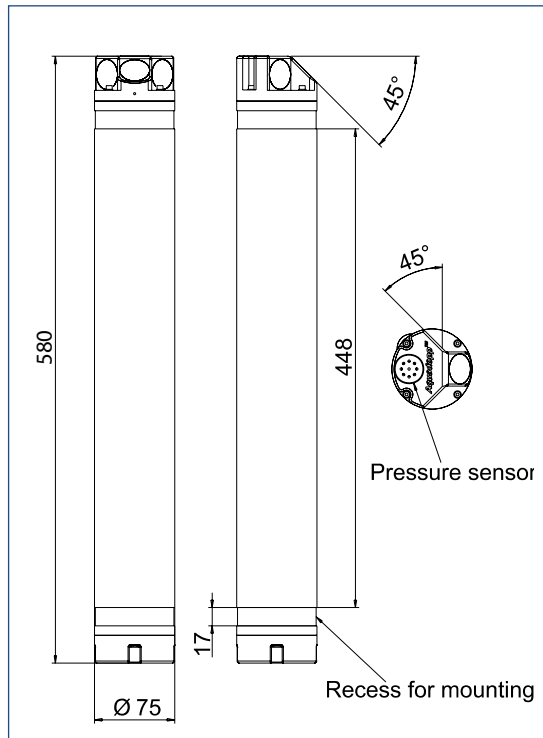
May be applied to all surfaces

Dimensions

Cylinder	See drawing below
Weight in air	2.2 kg
Weight in water	Neutral

Options

Acoustic beams	Several different sensor heads available
Battery	See battery brochure
Analogue sensors	Optical backscatter and CT sensors available
Communication	Request special harness for RS-422 communication
Cable	Specify length
Pressure sensor	Specify range



www.nortek.no

NORTEK AS
Vangkroken 2
NO-1351 Rud
Norway

Tel: +47/ 6717 4500

Fax: +47/ 6713 6770

E-mail: inquiry@nortek.no

青岛诺泰克测量设备有限公司
地址: 中国青岛香港西路65号

汇融广场1302

邮编: 266071

Tel: 0532-85017570, 85017270

Fax: 0532-85017570

E-mail: inquiry@nortek.com.cn

NortekUK

Mildmay House, High St.
Hartley Wintney
Hants. RG27 8NY

Tel: +44- 1428 751 953

Fax: +44- 1428 751 533

E-mail: inquiry@nortekuk.co.uk

NORTEKUSA

222 Severn Avenue
Suite 17, Building 7
Annapolis, MD 21403

Tel: +1 (410) 295-3733

Fax: +1 (410) 295-2918

E-mail: inquiry@nortekusa.com

www.nortekusa.com



SUNA (Submersible Ultraviolet Nitrate Analyzer)

The SUNA nitrate analyzer is the latest addition to Satlantic's line of leading edge water quality monitoring sensors. SUNA is a cost-effective solution for real time, chemical-free nitrate analysis in coastal and freshwater environments. The sensor provides quick, continuous nitrate measurements and easily integrates into existing water monitoring systems. SUNA is complemented by a newly developed Windows™ based software package enabling easy set up, operation and in-field calibration updates.

SUNA incorporates the proven MBARI-ISUS nitrate measurement technology, which is in extensive use worldwide. This method of nitrate analysis is based on the absorption characteristics of dissolved inorganic compounds in the UV light spectrum. Chemicals absorb light in the UV and each has a unique absorption spectrum. The SUNA uses advanced UV absorption algorithms to compute the nitrate concentration directly, without the use of reagents. This technology has proven to be robust, sensitive and stable, operating continuously for extended periods of time in remote and harsh environments.

SUNA is the latest advance in accurate and cost-effective nutrient monitoring. Features include:

- **Real time nitrate calculation**
- **Full UV spectrum for maximum accuracy**
- **Simple in-field reference update**
- **Includes easy to use Windows™ software package**
- **Based on proven MBARI-ISUS technology**



SUNA is the economical choice for routine nitrate measurements in virtually any aquatic environment:

- **Lakes and rivers**
- **Coastal estuaries**
- **Drinking water reservoirs**
- **Agricultural drainage systems**

For extended deployment options, please talk to a Satlantic representative about our external data logging instruments and third party integration experience.

For additional information about SUNA and our range of water quality monitoring equipment, please visit www.satlantic.com.



SUNA SPECIFICATIONS

PERFORMANCE

Detection range:	0.007 to 28 mg/l-N *(0.5 to 2000 μ M)
Accuracy:	± 0.028 mg/l (± 2 μ M) <i>or</i> $\pm 10\%$ of reading, whichever is greater (σ under laboratory conditions)
Long term drift:	0.007 mg/l per hour of lamp time
Thermal Compensation:	0 to 40 °C
Salinity Compensation:	0 to 50 psu

OPTICS

Path length:	1 cm
Wavelength range:	190 - 370 nm
Lamp type:	Deuterium
Lamp lifetime:	900 h

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Input voltage:	8 - 18 VDC
Power consumption:	7.5 W (0.625 A @ 12V)
Sample rate:	0.5 Hz
Telemetry options:	RS-232 Baud rate user selectable - default 38,400 bps Analog output 0 - 4.096 VDC and 4 - 20 mA SDI-12

PHYSICAL CHARACTERISTICS

Depth rating:	500 m (1640 ft)
Length:	530 mm (20.9 in)
Diameter:	50 mm (2 in)
Weight:	2.5 kg (5.5 lb) in air 1.4 kg (3.1 lb) in water
Housing material:	Stainless steel
Operating temperature:	0 to 40 °C

*Specifications may change without notice.
February 2009*



OXYGEN OPTODE 4835

is a compact fully integrated sensor for measuring the O₂-concentration in shallow water.

Features of the Oxygen Optode 4835:

- Optical measurement principle
- Long time stability
- More than one year without recalibration
- Low maintenance
- Userfriendly
- Use with AADI SEAGUARD® Platform
- Use as stand-alone sensor
- Output format: CANbus AiCaP, RS-232
- Operating range: 0 - 300m

Since oxygen is involved in most of the biological and chemical processes in aquatic environments, it is the single most important parameter needed to be measured. Oxygen can also be used as a tracer in oceanographic studies.

For environmental reasons it is critical to monitor oxygen in areas where the supply of oxygen is limited compared to demand e.g.

- In shallow coastal areas with significant algae blooms.
- In fjords or other areas with limited exchange of water.
- Around fish farms.
- In areas interesting for dumping of mine or dredging waste.

The AADI Aanderaa Oxygen Optodes are based on the ability of selected substances to act as dynamic fluorescence quenchers. The fluorescent indicator is a special platinum porphyrin complex embedded in a gas permeable foil that is exposed to the surrounding water. A black optical isolation coating protects the complex from sunlight and fluorescent particles in the water.

This sensing foil is attached to a sapphire window providing optical access for the measuring system from inside a watertight housing.

The lifetime-based luminescence quenching principle offers the following advantages over electro-chemical sensors:

- Not stirring sensitive (it consumes no oxygen).
- Less affected by fouling.
- Measures absolute oxygen concentrations without repeated calibrations.
- Better long-term stability.
- Less affected by pressure.
- Pressure behaviour is predictable.
- Faster response time.

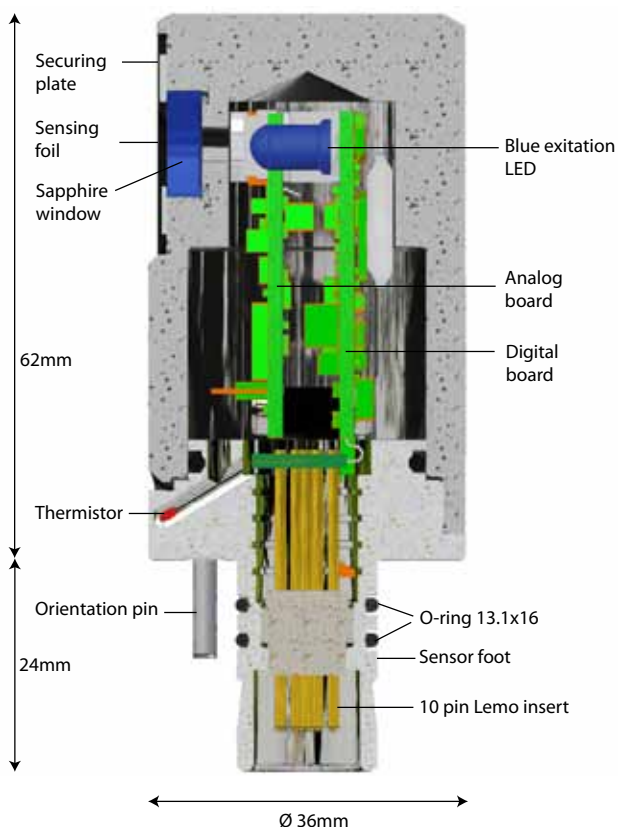
The Oxygen Optode outputs data in AiCaP CANbus and RS-232. The sensor can present the O₂ concentration in μ M, the Air Saturation in % and the Temperatur in °C.

The SEAGUARD® datalogger and the smart sensor are interfaced by means of a reliable CANbus interface (AiCaP), using XML for plug and play capabilities.

The smart sensors can be mounted directly on the top end plate of the AADI SEAGUARD® and are automatically detected and recognized.

Specifications 4835

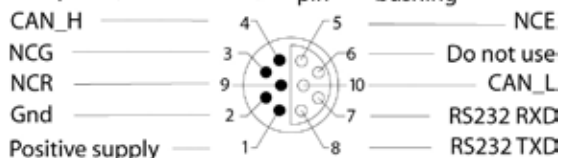
D385 - February 2009



PIN CONFIGURATION

Receptacle, exterior view;

pin = ● bushing = ○



OXYGEN:	O₂-Concentration	Air Saturation
Measurement Range:	0 – 500 μM ¹⁾	0 - 150%
Resolution:	< 1 μM	0.4 %
Accuracy:	<8 μM or 5% ²⁾ whichever is greater	<5 % ³⁾
Response Time (63%):	<25 sec	
TEMPERATURE:		
Range:	-5 to +40°C (23 - 104°F)	
Resolution:	0.01°C (0.018°F)	
Accuracy:	±0.1°C (0.18°F) ⁴⁾	
Response Time (63%):	<10 sec	
OUTPUT FORMAT:	AiCaP CANbus, RS-232	
SAMPLING INTERVAL:	2s – 255 minutes	
SUPPLY VOLTAGE:	5 to 14VDC	
CURRENT DRAIN:		
Average:	0.16 +48 mA/S where S is sampling interval in seconds	
Maximum:	100 mA	
Quiescent:	0.16 mA	
OPERATING DEPTH:	0 – 300 meters (0 – 984.3ft)	
ELEC. CONNECTION:	10-pin receptacle mating plug 3216A	
DIMENSIONS (WxDxH):	Ø36 x 86 mm (Ø1.4" x 3.4")	
WEIGHT:	153g (5.40oz)	
MATERIALS:	Titanium, Hostaform (POM)	
WARRANTY:	Two years against faulty materials and workmanship	
ACCESSORIES	Patch Cable 3969492	
(not included):	Sensor Cable 3855/3855A to PC Standard Foil Service Kit 4733 PSt	

¹⁾ O₂ concentration in μM = μmol/l. To obtain mg/l, divide by 31.25

²⁾ requires salinity compensation for salinity < 1mS/cm

³⁾ within calibrated range 0 - 120%

⁴⁾ within calibrated range 0 - 36%

Specifications subject to change without prior notice.

Operating Principle

The sensing foil is excited by modulated blue light; the sensor measures the phase of the returned red light. For improved stability the Optode also performs a reference phase reading by use of a red LED that do not produce fluorescence in the foil. The sensor has an incorporated temperature thermistor which enables linearization and temperature compensation of the phase measurements to provide the absolute O₂ concentration.

Post Box 34 SLÅTTHAUG
5851 BERGEN, NORWAY
TEL. +47 55 60 48 00
FAX. +47 55 60 48 01

<http://www.aadi.no>
e-mail: info@aadi.no

Representative's Stamp



YSI 6136 Turbidity Sensor

Accurate, in situ turbidity measurements

The 6136 is a fouling-resistant, wiped sensor designed to seamlessly integrate – using no external interface hardware – with all YSI sondes that contain an optical port. It provides accurate, *in situ* measurement of turbidity in fresh, brackish, and sea water, and features an improved mechanical self-wiping capability for long-term monitoring, which helps ensure proper turbidity measurements.



YSI 6136 Optical Turbidity Sensor

- *In situ* monitoring
- Self-cleaning sensor for long-term deployment
- Field-replaceable

Take Advantage of YSI's New V2 Sondes

Expand your optical monitoring capability and upgrade your 6820, 6920, or 6600. V2 upgrades increase the number of optical ports on your sonde, allowing for measurement of additional optical sensors including:

- Turbidity
- Blue-Green Algae - Phycocyanin (for freshwater applications)
- Blue-Green Algae - Phycoerythrin (for marine applications)
- ROX™ Optical Dissolved Oxygen
- Chlorophyll
- Rhodamine

Upgrades are available from YSI Authorized Service Centers. Contact YSI for details.

Pure
Data for a
Healthy
Planet.®

Accurate, *in situ* turbidity
measurement

Sensor performance verified*

The performance of the YSI 6136 Turbidity Sensor was verified through the US EPA's Environmental Technology Verification Program (ETV).





To order, or for more info,
contact
+1 937 767 7241
800 897 4151 (US)
www.yssi.com

YSI Environmental
+1 937 767 7241
Fax +1 937 767 9353
environmental@yssi.com

YSI Integrated Systems & Services
+1 508 748 0366
systems@yssi.com

SonTek/YSI
+1 858 546 8327
inquiry@sontek.com

YSI Gulf Coast
+1 225 753 2650
gulfc coast@yssi.com

YSI Hydrodata (UK)
+44 1462 673 581
europe@yssi.com

YSI Middle East
+973 3977 1055
halsalem@yssi.com

YSI India
+91 9891220639
sham@yssi.com

YSI (Hong Kong) Limited
+852 2891 8154
hongkong@yssi.com

YSI (China) Limited
+86 10 5203 9675
beijing@yssi-china.com

YSI Nanotech (Japan)
+81 44 222 0009
nanotech@yssi.com

YSI Australia
+61 7 39017223
acorbett@yssi.com

ISO 9001
ISO 14001
Yellow Springs, Ohio Facility

ROX, Pure Data for a Healthy Planet, and Who's Minding the Planet? are trademarks of YSI Incorporated. Hach is a registered trademark of Hach Company.

©2007 YSI Incorporated
Printed in USA 0109 E56-03

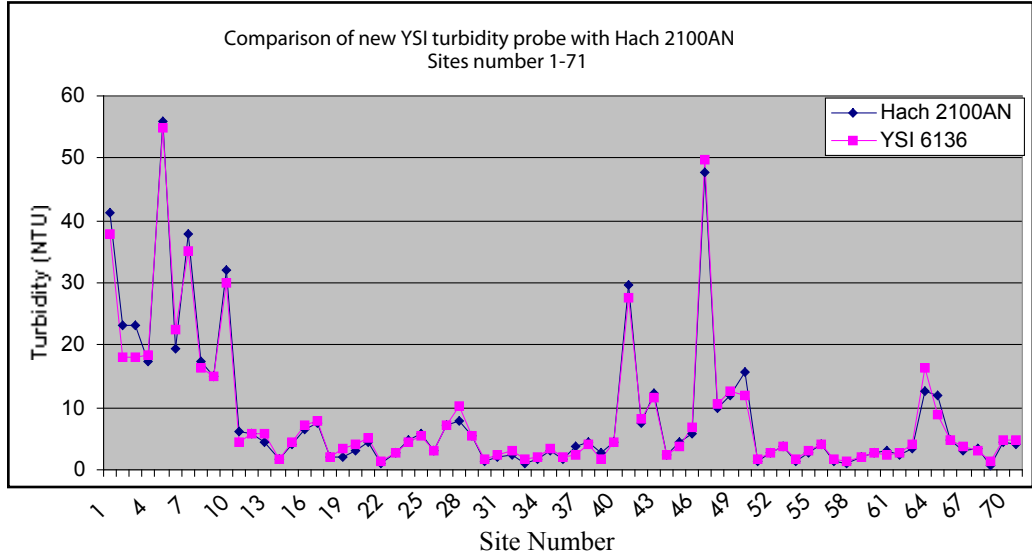


*Sensors with listed with the ETV logo were submitted to the ETV program on the YSI 6600EDS. Information on the performance characteristics of YSI water quality sensors can be found at www.epa.gov/etv, or call YSI for the ETV verification report. Use of the ETV name or logo does not imply approval or certification of this product nor does it make any explicit or implied warranties or guarantees as to product performance.

YSI incorporated
Who's Minding the Planet?®

Excellent agreement with the industry standard

Extensive empirical field and laboratory tests performed by YSI and independent agencies in Alpha and Beta studies document close agreement between *in situ* measurements made with the YSI 6136 turbidity sensor and data from the Hach® 2100AN, a laboratory instrument recognized as the standard for turbidity measurement.



Comparison of turbidity measurements made with the YSI 6136 Turbidity Sensor and Hach® 2100AN at 70 different riverine and lacustrine sites exhibiting widely varying (lower) turbidity ranges.

YSI 6136 Sensor Specifications

	Range	Resolution	Accuracy
Turbidity* 6136 Sensor*	0 to 1,000 NTU	0.1 NTU	±2% of reading or 0.3 NTU, whichever is greater**

* Maximum depth rating for all standard optical sensors is 200 feet, 61 m. Turbidity is also available in a Deep Depth option (0 to 200 m).

**In YSI AMCO-AEPA Polymer Standards.

Applications include:

- Dredging
- Storm water
- Construction site monitoring
- Vertical profiling
- Long-term studies
- Surface water evaluations
- Circulation in lakes, reservoirs, bays, and estuaries

SEACAT C-T Recorder

SBE 16*plus* V2


The SBE 16*plus* V2 (Version 2) SEACAT Recorder measures temperature and conductivity (pressure optional) and provides high accuracy and resolution, reliability, and ease-of-use on moorings and other long-duration, fixed-site deployments. The V2 is the most versatile successor in the line of SEACAT Recorders begun with the original SBE 16 SEACAT in 1987.

Compared to the previous 16*plus*, the 16*plus* V2 incorporates an electronics upgrade and additional features. The V2 has two additional (six total) differentially-amplified A/D input channels, FLASH memory is increased from 8 to 64 MB, and one RS-232 data input channel is added. Data can be output in XML as well as ASCII and HEX formats. Firmware upgrades can be downloaded through the communications port by the user, without opening the instrument.



The SBE 16*plus* V2 uses the same temperature and conductivity sensors proven in 10,000 SEACATs and MicroCATs, and (optionally) a silicon strain gauge or Digiquartz® pressure sensor. Improvements in design, materials, and signal acquisition techniques yield a low-cost instrument with superior performance that is also easy to use. Calibration coefficients, obtained in our computer-controlled high accuracy calibration baths, are stored in EEPROM memory. They permit data output in ASCII engineering units (degrees C, Siemens/m, decibars, salinity [PSU], sound velocity [m/sec.], etc.).

The SBE 16*plus* V2 sample interval is soft-programmable in 1-second increments ranging from 10 to 14,400 seconds. Between samples, the 16*plus* V2 powers down, drawing only 20 microamps of current. Nine alkaline D-cells provide power for 355,000 samples of C and T (operation time is shorter if powering auxiliary sensors). Conditioned power (500 ma) is available for auxiliary sensors (dissolved oxygen, turbidity, fluorescence, PAR, etc.). Data is recorded in non-volatile FLASH memory for 38.4K baud upload after recovery.

Real-time monitoring is practical using the SBE 16*plus* V2 3-wire RS-232C data output. The 16*plus* V2 is well suited to networked sensor arrays where its operation can be triggered by satellite, radio, or hardwire telemetry equipment. Optional RS-485 (2-wire) and inductive modem (1-wire loop) interfaces allow multiple SEACATs to share a simple and robust telemetry cable.

CONFIGURATION, OPTIONS, AND ACCESSORIES

A standard SBE 16*plus* V2 is supplied with:

- Plastic housing for depths to 600 meters
- 64 Mbyte FLASH RAM memory
- 9 D-size alkaline batteries
- Glass-reinforced epoxy bulkhead connectors
- Anti-foul attachments and expendable anti-foulant devices

Options and accessories include:

- Titanium housing for depths to 7000 or 10,500 meters
- Semi-conductor strain gauge pressure sensor or Digiquartz® pressure sensor
- RS-485 half-duplex interface in place of RS-232
- Inductive modem interface in place of RS-232 / RS-485 (see SBE 16*plus*-IM V2 datasheet for details)
- Auxiliary sensors for dissolved oxygen, fluorescence, radiance (PAR), light transmission, and optical backscatter (turbidity)
- SBE 5M miniature pump for pumped conductivity; SBE 5P or 5T pump for pumped conductivity and pumped auxiliary sensor(s)
- Wet-pluggable MCBH series connectors
- Battery pack kit for lithium batteries (lithium batteries **not** supplied by Sea-Bird)

SOFTWARE

The SBE 16*plus* V2 is supplied with a powerful Windows 2000/XP software package, SEASOFT®-Win32, which includes programs for communication and data retrieval, real-time data acquisition and display, and data processing (filtering, aligning, averaging) and plotting of CTD and auxiliary sensor data and derived variables.



Sea-Bird Electronics, Inc.

1808 136th Place NE, Bellevue, Washington 98005 USA

Website: <http://www.seabird.com>

E-mail: seabird@seabird.com

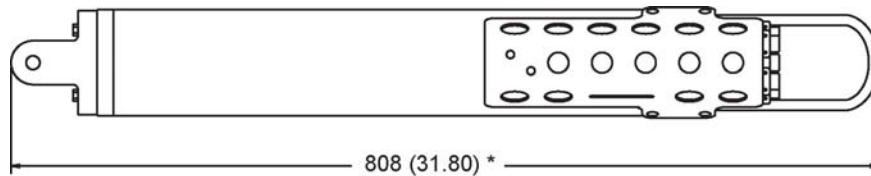
Telephone: (425) 643-9866

Fax: (425) 643-9954

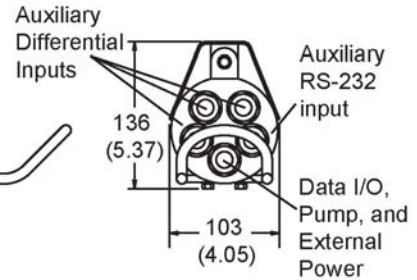
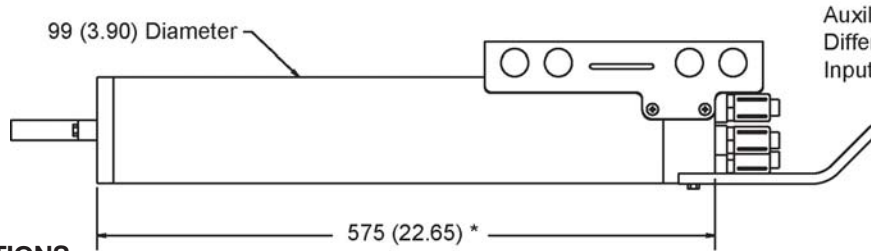
SEACAT C-T Recorder

SBE 16plus V2

Dimensions
in millimeters
(inches)



* Note: 16plus V2 with optional Quartz pressure sensor is 190 mm (7.5 inches) longer than shown in drawing.



SPECIFICATIONS

Measurement Range

Temperature -5 to +35 °C
 Conductivity 0 to 9 S/m
 Pressure (optional) Strain-gauge 0 to 20/100/350/600/1000/2000/3500/7000 meters
 Quartz 0 to 20/60/130/200/270/680/1400/2000/4200/7000/10,500 meters

Initial Accuracy

Temperature 0.005 °C
 Conductivity 0.0005 S/m
 Pressure (optional) Strain-gauge 0.1% of full scale range
 Quartz 0.02% of full scale range

Typical Stability

Temperature 0.0002 °C/month
 Conductivity 0.0003 S/m/month
 Pressure (optional) Strain-gauge 0.1% of full scale range/year
 Quartz 0.025% of full scale range/year

Resolution

Temperature 0.0001 °C
 Conductivity 0.00005 S/m typical
 Pressure (optional) Strain-gauge 0.002% of full scale range
 Quartz — depends on sample integration time;
 0.0006% of full scale range for 1-second integration

Memory

64 Mbyte non-volatile FLASH memory

Data Storage

Recorded Parameter	Bytes/Sample
T + C	6
pressure - strain gauge or Quartz	5
each external voltage	2
auxiliary RS-232 sensor	sensor dependent
date and time	4

Real-Time Clock

32,768 Hz TCXO accurate to ±1 minute/year

Internal Batteries

9 alkaline D-cells

External Power Supply

9 - 28 VDC; consult factory for required current

Battery Endurance ¹

CT only 355,000 samples
 CTD only 240,000 samples
 CTD & 5M pump 140,000 samples

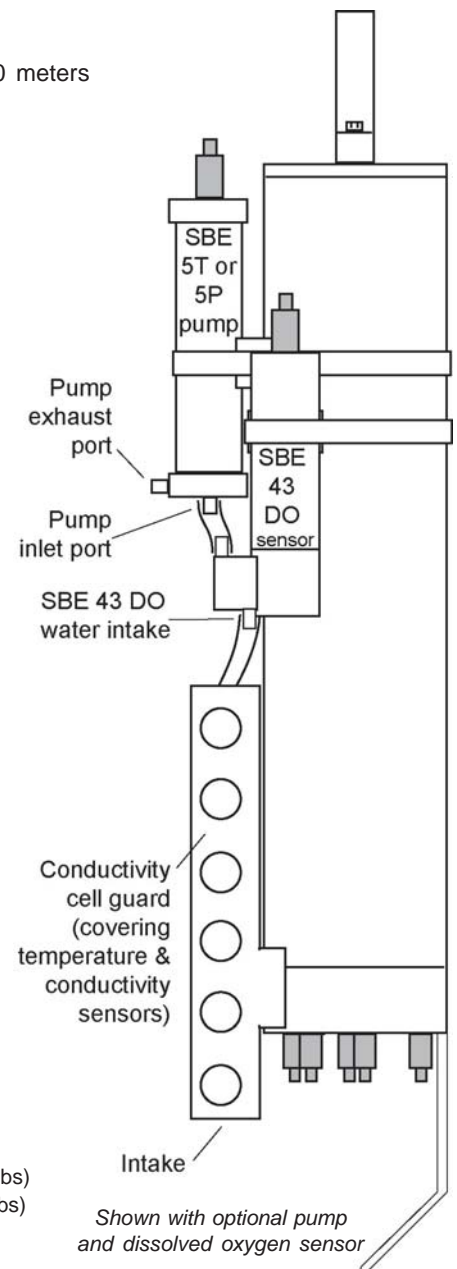
¹ With Duracell MN1300 cells. Dependent on sampling scheme.

Auxiliary Sensors

Auxiliary power out up to 500 mA at 10.5 - 11 VDC
 Voltage Sensor A/D resolution 14 bits
 Voltage sensor input range 0 - 5 VDC

Housing Materials — Depth Rating — Weight

Acetal Copolymer Plastic housing — 600 meter (1950 feet) — in air 7.3 kg (16 lbs); in water 2.3 kg (5 lbs)
 3AL-2.5V Titanium housing — 7000 meter (22,900 feet) — in air 13.7 kg (30 lbs); in water 8.6 kg (19 lbs)
 6AL-4V Titanium housing — 10500 meter (34,400 feet)



02/08



Sea-Bird Electronics, Inc.

1808 136th Place NE, Bellevue, Washington 98005 USA
 Website: <http://www.seabird.com>

E-mail: seabird@seabird.com
 Telephone: (425) 643-9866
 Fax: (425) 643-9954

Temperature (& Pressure) Recorder

SBE 39


The SBE 39 is a high-accuracy temperature (pressure optional) recorder with internal battery and non-volatile memory for deployment at depths up to 10500 m (34,400 ft). The 39 is intended for moorings or other long-term, fixed-site applications, as well as shorter-term deployments on nets, towed vehicles, or ROVs. Calibration coefficients are stored in EEPROM, and uploaded data is in ASCII engineering units (°C and decibars).

The 39's thermistor, the same sensor used in the SBE 16*plus* V2 SEACAT and 37 MicroCAT, has a long history of exceptional accuracy and stability; drift is typically less than 0.002 °C per year. Two configurations are offered:

- Thermistor embedded in titanium endcap (25-second time constant), for rugged conditions.
- External thermistor in pressure-protected sheath (0.5-second time constant), for fast sampling.

The 39's optional Druck pressure sensor employs a micro-machined *silicon diaphragm* in which the strain elements are implanted with semiconductor fabrication techniques. Unlike metal diaphragms, silicon's crystal structure is perfectly elastic, so the sensor is essentially free of pressure hysteresis. Compensation of temperature influence on pressure offset and scale is performed by the 39's CPU.

COMMUNICATIONS AND INTERFACING

The SBE 39 communicates with a computer via a standard RS-232 interface, at a user-selectable 1200 to 38,400 baud rate. Connection is dependent on the housing:

- Standard — open housing; plug data cable into connector on electronics assembly.
- Optional — plug data cable into external, waterproof connector.

User-selectable operating modes include:

- **Polled Sampling** — sampling and data transmission is triggered by a command from a computer or satellite, radio, or wire telemetry equipment.
- **Autonomous Sampling** — sampling occurs at pre-programmed intervals, and can be set up to start at a future time and date. There are two types of Autonomous Sampling —
 - *Interval*: At pre-programmed 3-second (4-second if transmitting in real time) to 9-hour intervals, 39 wakes up, samples, records, and powers off.
 - *Continuous*: 39 continuously samples, and does not power off between samples. Time between samples varies from 0.8 to 1.5 seconds, depending on data format.
- **Serial Line Sync** — sampling and data transmission is triggered by a pulse on the serial line, which causes a sleeping 39 to wake up, sample, transmit in real time (programmable option), record, and power-off automatically.

DATA STORAGE AND UPLOAD, AND BATTERY ENDURANCE

The SBE 39's non-volatile FLASH memory can store over 32,000,000 bytes. Temperature and time are always stored (7 bytes/sample), and optional pressure adds 2 bytes/sample; over 3.6 million samples of T, P, and time can be stored. Binary upload capability provides **fast upload** of large data sets. For example, a 39 uploads 466,000 samples of T, P, and time in only 55 minutes — including error checking each block of data.

With its 9-volt, non-hazardous, lithium battery (alkaline battery may be substituted), the 39 can acquire more than 150,000 samples of T, P, and time. Because of the low power consumption when not sampling, deployments of 3 years or more are possible.

CONFIGURATION

A standard SBE 39 is supplied with embedded thermistor, internal connector, and plastic housing for depths to 600 meters. Options include:

- External thermistor in pressure-protected sheath
- Titanium housing for depths to 10,500 meters
- Strain gauge pressure sensor — available in eight pressure ranges, to a maximum depth of 7000 meters
- Mooring clamp(s)
- Net fender / fairing — conical ends are shaped to shed fishing lines and nets

CALIBRATION

The SBE 39's inherent accuracy, resolution, and stability, combined with a rigorous 11-point temperature calibration, yields a true research-quality tool. Primary temperature standards (water triple point and gallium melting point cells) and state-of-the-art equipment are maintained in our NIST-traceable calibration facility. Pressure calibrations are referenced to specially maintained (at Sea-Bird) Paroscientific Digiquartz sensors that trace to Paroscientific's pressure standard.

SOFTWARE

The SBE 39 is supplied with a powerful Win 2000/XP software package, SEASOFT-Win32[®], for communication, data upload, data conversion, plotting, and export to other programs.



Sea-Bird Electronics, Inc.

1808 136th Place NE, Bellevue, Washington 98005 USA

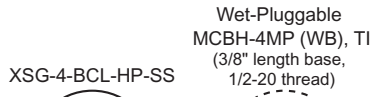
Website: <http://www.seabird.com>

E-mail: seabird@seabird.com

Telephone: (425) 643-9866

Fax: (425) 643-9954

Temperature (& Pressure) Recorder



Optional 4-Pin Connector

Pin	Signal
1	Common
2	RS-232 data receive
3	RS-232 data transmit
4	9-30 VDC

SPECIFICATIONS

Measurement Range

Temperature: -5 to +35°C

P (optional)*: 20/100/350/600/1000/2000/3500/7000 m

*Expressed in meters of deployment depth capability.

Initial Accuracy

Temperature: ± 0.002°C

P (optional): 0.1% of full scale range

Typical Stability

Temperature: 0.0002°C/month

P (optional): 0.05% of full scale range/year

Resolution

Temperature: 0.0001°C

P (optional): 0.002% of full scale range

Clock

5 seconds/month accuracy

Power Supply/Endurance

9V non-hazardous Lithium Battery: > 150,000 samples

9V Alkaline Battery: > 41,000 samples

Quiescent Current

10 microamps

Current Consumption (per sample)

T & time 0.018 amp-second

T, P, & time 0.023 amp-second

Current Consumption (continuous sampling)

15 milliamps

External Power (with optional external I/O connector)

9 - 30 VDC

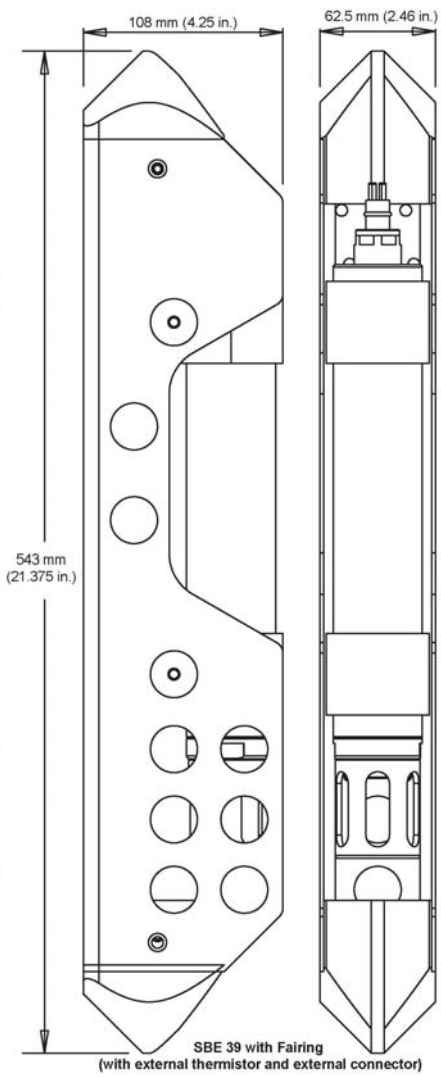
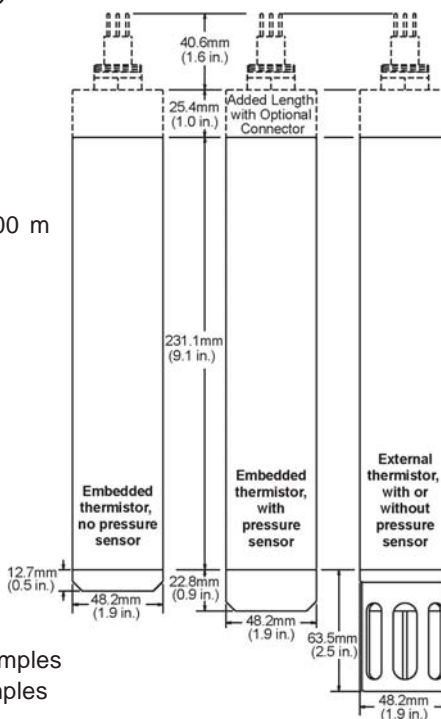
Memory 64 Mbyte non-volatile FLASH

(32,900,000 bytes usable)

Memory capacity* (T & time): 4,700,000 samples

Memory capacity* (T, P, & time): 3,655,000 samples

*T=3 bytes/sample; time=4 bytes/sample; P=2 bytes/sample



SBE 39 with Fairing
(with external thermistor and external connector)

Housing (depth rating)

PET plastic: 600 m (1960 ft)

Titanium: 10,500 m (34,400 ft)

Weight (without external connector)

Plastic housing, embedded thermistor:

in air 0.6 kg (1.2 lbs), in water 0.25 kg (0.6 lbs)

Titanium housing, thermistor in sheath:

in air 1.2 kg (2.6 lbs), in water 0.7 kg (1.6 lbs)

(Other configurations vary slightly).

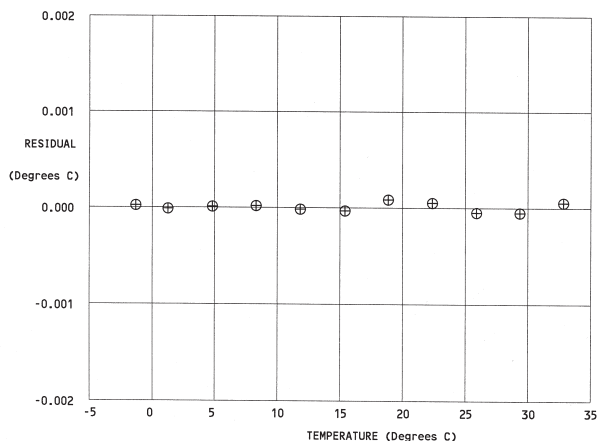
Actual Calibration Data for sensor # 204

Calibration Date: 19 May 2000

a0= -1.661595e-04 a2= -4.625199e-06

a1= 3.079553e-04 a3= 2.075766e-07

Bath Temp (deg C)	Inst Output (n)	Inst Temp (deg C)	Residual (deg C)
-1.5115	786460.1	-1.5115	0.0000
1.0482	700444.0	1.0482	-0.0000
4.6236	597614.7	4.6236	0.0000
8.1305	513142.6	8.1305	0.0000
11.6344	442083.3	11.6344	-0.0000
15.1949	381161.9	15.1949	-0.0000
18.6590	330948.6	18.6590	0.0001
22.1592	287767.8	22.1592	0.0000
25.6867	250672.7	25.6866	-0.0001
29.1579	219443.9	29.1579	-0.0001
32.6336	192584.6	32.6337	0.0000



04/08



Sea-Bird Electronics, Inc.

1808 136th Place NE, Bellevue, Washington 98005 USA

Website: <http://www.seabird.com>

E-mail: seabird@seabird.com

Telephone: (425) 643-9866

Fax: (425) 643-9954

Anexo II:
Especificaciones Técnicas de la Instrumentación de
Comunicaciones

Using CC2591 Front End with CC2520

By Charlotte Seem

Keywords

- 2.4 GHz IEEE 802.15.4 systems
- ZigBee® systems
- Range Extender
- External PA
- External LNA
- CC2520
- CC2591

1 Introduction

The CC2520 is TI's second generation ZigBee® / IEEE 802.15.4 RF transceiver for the 2.4 GHz unlicensed ISM band. This chip enables industrial grade applications by offering state-of-the-art selectivity/co-existence, an excellent link budget, and low voltage operation.

CC2591 is a range extender for 2.4-GHz RF transceivers, transmitters and SoC products from Texas Instruments. CC2591 increases the link budget by providing a Power Amplifier (PA) for improved output power and a Low Noise Amplifier (LNA) for improved receiver sensitivity. CC2591 further contains RF switches, RF matching, and a balun for a seamless interface with the CC2520. This allows for simple design of high performance wireless applications.

This application note describes how to implement the CC2520 and the CC2591 in

the same design. It further describes the expected performance from this combination as well as important factors to consider with respect to the layout and regulatory requirements. The combined CC2520 and CC2591 solution is suitable for systems targeting compliance with FCC CFR47 Part 15.

For more details regarding the SW aspects concerning how to implement the CC2520 and the CC2591 in the same design, the reader is referred to the application note AN066 TI-MAC SW modifications for using CC2591 PA/LNA with MSP430F2618+CC2520 [8]. This application note describes how to modify the TI-MAC software releases for the MSP430F2618 together with the CC2520 to support CC2591 PA/LNA controls.

Table of Contents

KEYWORDS	1
1 INTRODUCTION	1
2 ABBREVIATIONS	2
3 ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS	3
4 ELECTRICAL SPECIFICATIONS	3
4.1 OPERATING CONDITIONS.....	3
4.2 CURRENT CONSUMPTION	3
4.3 RECEIVE PARAMETERS	4
4.4 RECEIVED SIGNAL STRENGTH INDICATOR (RSSI).....	4
4.5 TRANSMIT PARAMETERS	5
4.6 OUTPUT POWER PROGRAMMING	5
4.7 TYPICAL PERFORMANCE CURVES	6
5 APPLICATION CIRCUIT	8
5.1 POWER DECOUPLING AND RF LOADING	9
5.2 INPUT/ OUTPUT MATCHING AND FILTERING.....	9
5.3 BIAS RESISTOR	9
5.4 ANTENNA CONSIDERATIONS	9
6 PCB LAYOUT CONSIDERATIONS	10
6.1 CC2591 STABILITY.....	10
6.2 THE GAIN OF THE CC2591.....	10
7 REGULATORY REQUIREMENTS	11
7.1 DUTY CYCLING WHEN COMPLYING WITH FCC.....	12
7.2 COMPLIANCE OF FCC PART 15.247 WHEN USING THE CC2520 WITH THE CC2591	12
8 CONTROLLING THE CC2591	15
9 REFERENCES	16
10 GENERAL INFORMATION	16
10.1 DOCUMENT HISTORY.....	16

2 Abbreviations

SoC	System-on-Chip
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power
EM	Evaluation Module
EVM	Error Vector Magnitude
ISM	Industrial, Scientific, Medical
FCC	Federal Communications Commission
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
LNA	Low Noise Amplifier
PA	Power Amplifier
PCB	Printed Circuit Board
PSD	Power Spectral Density
RF	Radio Frequency
RSSI	Receive Signal Strength Indicator
RX	Receive, Receive Mode
TX	Transmit, Transmit Mode

3 Absolute Maximum Ratings

The absolute maximum ratings and operating conditions listed in the CC2520 datasheet [1] and the CC2591 datasheet [2] must be followed at all times. Stress exceeding one or more of these limiting values may cause permanent damage to any of the devices.

4 Electrical Specifications

Note that these characteristics are only valid when using the recommended register settings presented in Section 4.6 and in Chapter 8, and the CC2520 - CC2591EM reference design [3].

4.1 Operating Conditions

Parameter	Min	Max	Unit
Operating Frequency	2405	2483.5	MHz
Operating Supply Voltage	2.7	3.6	V
Operating Temperature	-40	85	°C

Table 4.1 Operating Conditions

4.2 Current Consumption

$T_C = 25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = 3.0\text{ V}$, $f = 2440\text{ MHz}$ if nothing else is stated. All parameters are measured on the CC2520 - CC2591EM reference design [3] with a $50\ \Omega$ load.

Parameter	Condition	Typical	Unit
Receive Current	Wait for sync, -90 dBm input level	26	mA
	Wait for sync, -50 dBm input level	22	mA
Transmit Current	TXPOWER = 0xF9	111	mA
	TXPOWER = 0xE0	90	mA
	TXPOWER = 0x6C	83	mA
	TXPOWER = 0x79	76	mA
	TXPOWER = 0x49	67	mA
	TXPOWER = 0x09	54	mA
Power Down Current ¹	LPM2 Mode	<1	uA

Table 4.2 Current Consumption

¹ Note that GPIO5, which is configured as an input in LPM2, should be tied either to GND or VDD when entering LPM2. If GPIO5 (or any other input) is left floating, the current consumption in LPM2 will be unpredictable. On the CC2520 - CC2591EM reference design revision 1.0, the GPIO5 is connected to the CC2591 PAEN signal and it is not tied to VDD or GND. On future revisions of this reference design, a pull-down resistor will be added to ensure correct measurements of the LPM2 current.

Application Note AN065

4.3 Receive Parameters

$T_C = 25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = 3.0\text{ V}$, $f = 2440\text{ MHz}$ if nothing else is stated. All parameters are measured on the CC2520 - CC2591EM reference design [3] with a $50\ \Omega$ load.

Parameter	Condition	Typical	Unit
Receive Sensitivity HGM	1 % PER, IEEE 802.15.4 [6] requires -85 dBm	-99.8	dBm
Receive Sensitivity LGM	1 % PER, IEEE 802.15.4 [6] requires -85 dBm	-93.2	dBm
Saturation	IEEE 802.15.4 [6] requires -20 dBm	-13	dBm
Interferer Rejection	Wanted signal 3 dB above the sensitivity level, IEEE 802.15.4 modulated interferer at IEEE 802.15.4 channels		
	$\pm 5\text{ MHz}$ from wanted signal, IEEE 802.15.4 [6] requires 0 dB	51	dB
	$\pm 10\text{ MHz}$ from wanted signal, IEEE 802.15.4 [6] requires 30 dB	56	dB
	$\pm 20\text{ MHz}$ from wanted signal. Wanted signal at -82dBm	57	dB

Table 4.3 Receive Parameters

4.4 Received Signal Strength Indicator (RSSI)

To compensate for the gain in the external LNA, the RSSI readouts from *CC2520* should be compensated as shown in Table 4.4.

CC2520-CC2591EM LNA mode	RSSI offset
High Gain Mode	-8
Low Gain Mode	5

Table 4.4 RSSI Compensation

Application Note AN065

4.5 Transmit Parameters

$T_C = 25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = 3.0\text{ V}$, $f = 2440\text{ MHz}$ if nothing else is stated. All parameters are measured on the CC2520 - CC2591EM reference design [3] with a $50\ \Omega$ load, radiated measurements are done with the kit antenna.

Parameter	Condition	Typical	Unit
Radiated Emission with TXPOWER = 0xF9			
Complies with FCC 15.247. See Chapter 7 for more details about regulatory requirements and compliance	Conducted 2-RF (FCC restricted band)	-48	dBm
	Radiated 2-RF (FCC restricted band)	62	$\text{dB}\mu\text{V/m}$
Max Error Vector Magnitude (EVM)	IEEE 802.15.4 [6] requires max. 35% Measured as defined by IEEE 802.15.4 [6]		
	TXPOWER = 0xF9, $f = \text{IEEE } 802.15.4\text{ channels}$	8	%
	TXPOWER = 0xE0, $f = \text{IEEE } 802.15.4\text{ channels}$	13	%
	TXPOWER = 0x6C, $f = \text{IEEE } 802.15.4\text{ channels}$	17	%
	TXPOWER = 0x79, $f = \text{IEEE } 802.15.4\text{ channels}$	3	%
	TXPOWER = 0x49, $f = \text{IEEE } 802.15.4\text{ channels}$	4	%
	TXPOWER = 0x09, $f = \text{IEEE } 802.15.4\text{ channels}$	6	%

Table 4.5 Transmit Parameters

4.6 Output Power Programming

The RF output power of the CC2520 - CC2591EM is controlled by the 8 bit value in the CC2520 TXPOWER register. Table 4.6 shows the typical output power and current consumption for the recommended power settings. The results are given for $T_C = 25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = 3.0\text{ V}$ and $f = 2440\text{ MHz}$, and are measured on the CC2520 - CC2591EM reference design [3] with a $50\ \Omega$ load. For recommendations for the remaining CC2520 registers, see Chapter 8 or use the settings given by SmartRF Studio.

TXPOWER	Power [dBm]	Current [mA]
0xF9 ²	17	111
0xE0	15	90
0x6C	13	83
0x79	10	76
0x49	5	67
0x09	-2	54

Table 4.6 Power Table

Note that the recommended power settings given in Table 4.6 only are a small subset of all the possible TXPOWER register settings. However, using other settings than those recommended might result in unexpected problems such as high current consumption, high EVM, and high spurious emission.

² To comply with IEEE 802.15.4, this setting should only be used above 0°C . If using this setting below 0°C , the EVM will be above the 35% limit set by IEEE 802.15.4 [6].

Application Note AN065

4.7 Typical Performance Curves

$T_C = 25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = 3.0\text{ V}$, $f = 2440\text{ MHz}$ if nothing else is stated. All parameters are measured on the CC2520 - CC2591EM reference design [3] with a $50\ \Omega$ load.

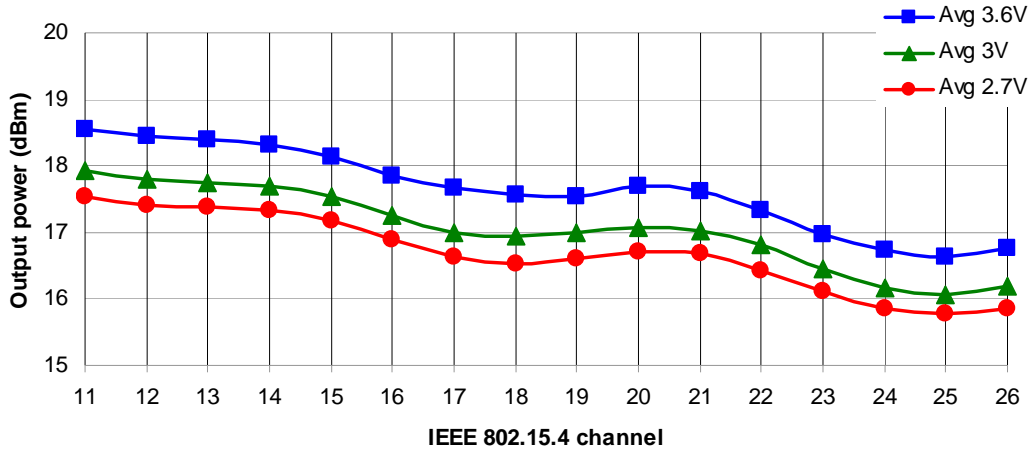


Figure 4.1 Output Power vs. Frequency and Power Supply Voltage, TXPOWER = 0xF9

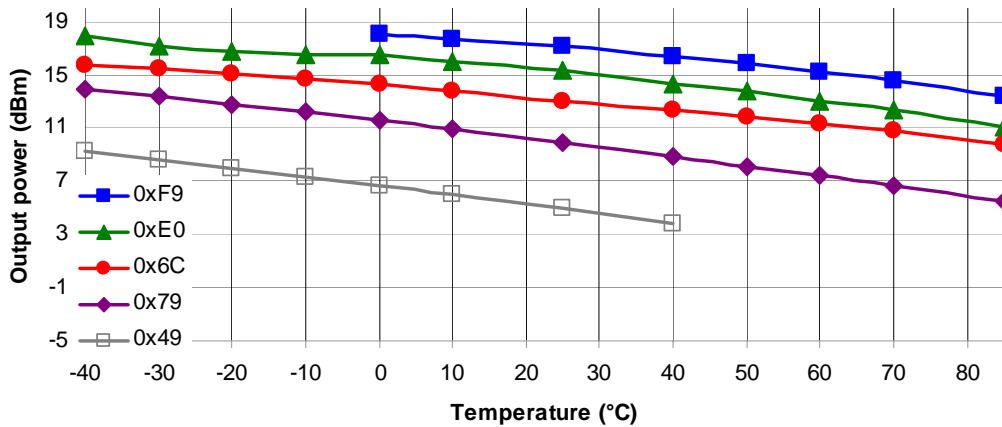


Figure 4.2 Output Power vs. Temperature

Application Note AN065

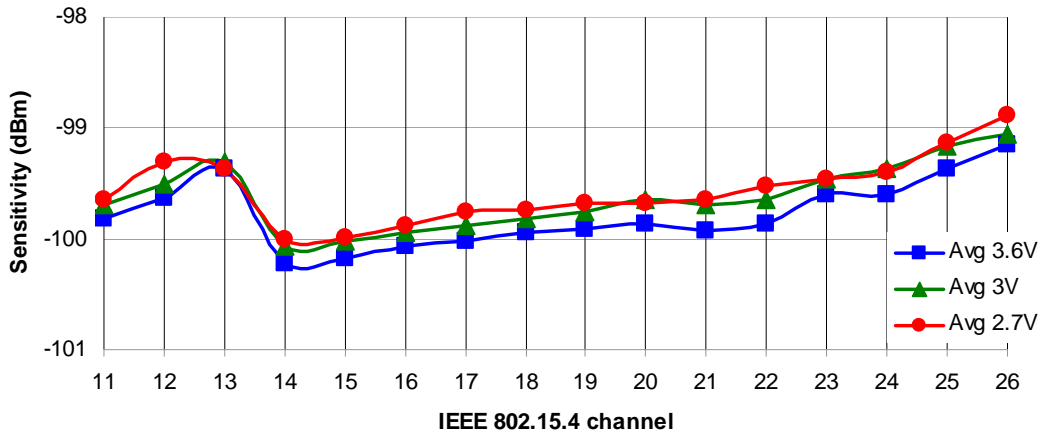


Figure 4.3 Sensitivity vs. Frequency and Power Supply Voltage

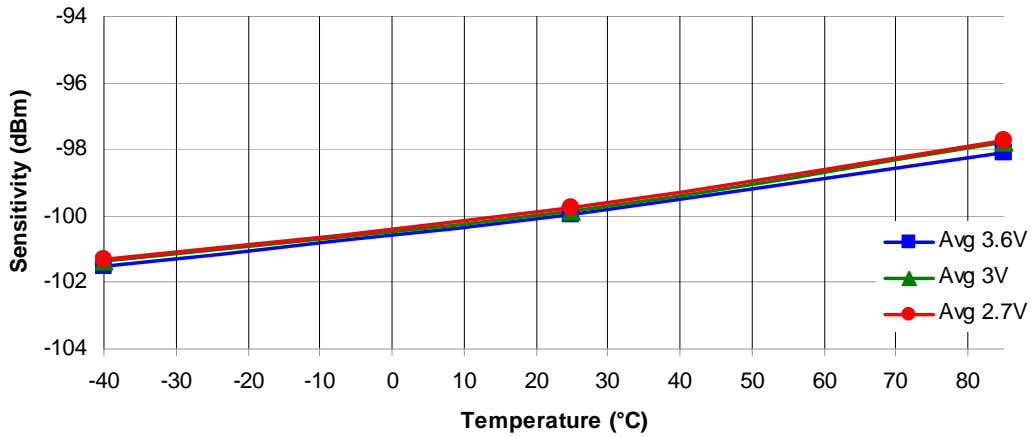


Figure 4.4 Sensitivity vs. Temperature and Power Supply Voltage

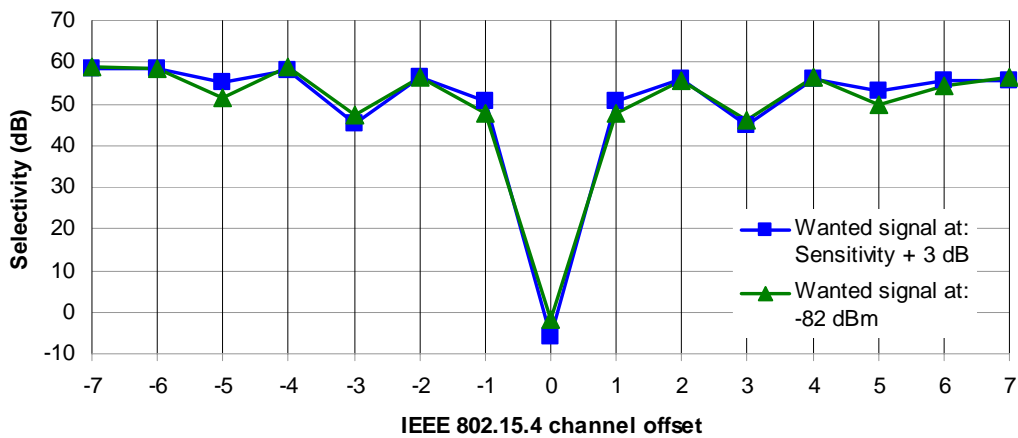


Figure 4.5 Selectivity Operating at Channel 18 (2440 MHz)

Application Note AN065

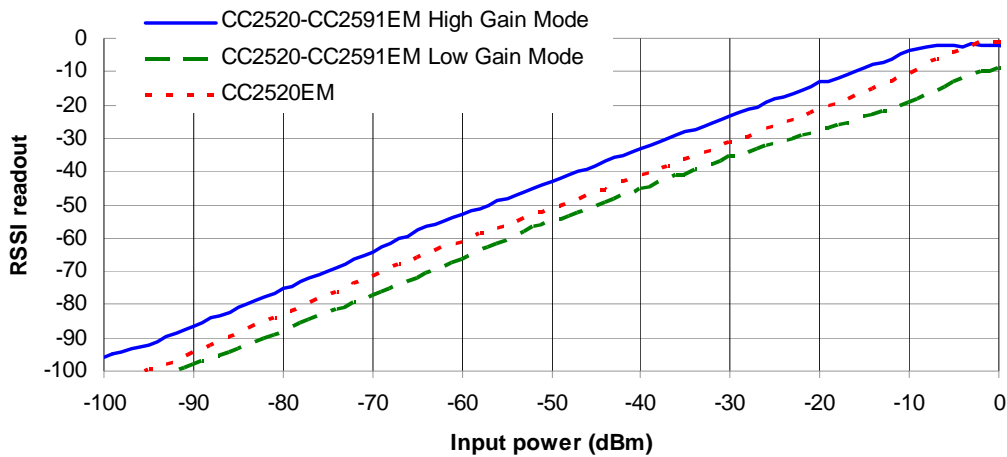


Figure 4.6 RSSI Readout vs. Input Power

5 Application Circuit

Very few external components are required for the CC2520 - CC2591EM. A typical application circuit is shown below in Figure 5.1. Note that the application circuit figure does not show how the board layout should be done. The board layout will greatly influence the RF performance of the CC2520 - CC2591EM. TI provides a compact CC2520 - CC2591EM reference design [3] that it is highly recommended to follow. The layout, stack-up and schematic for the CC2591 need to be copied exactly to obtain good performance. Note that the reference design [3] also includes bill of materials with manufacturers and part numbers.

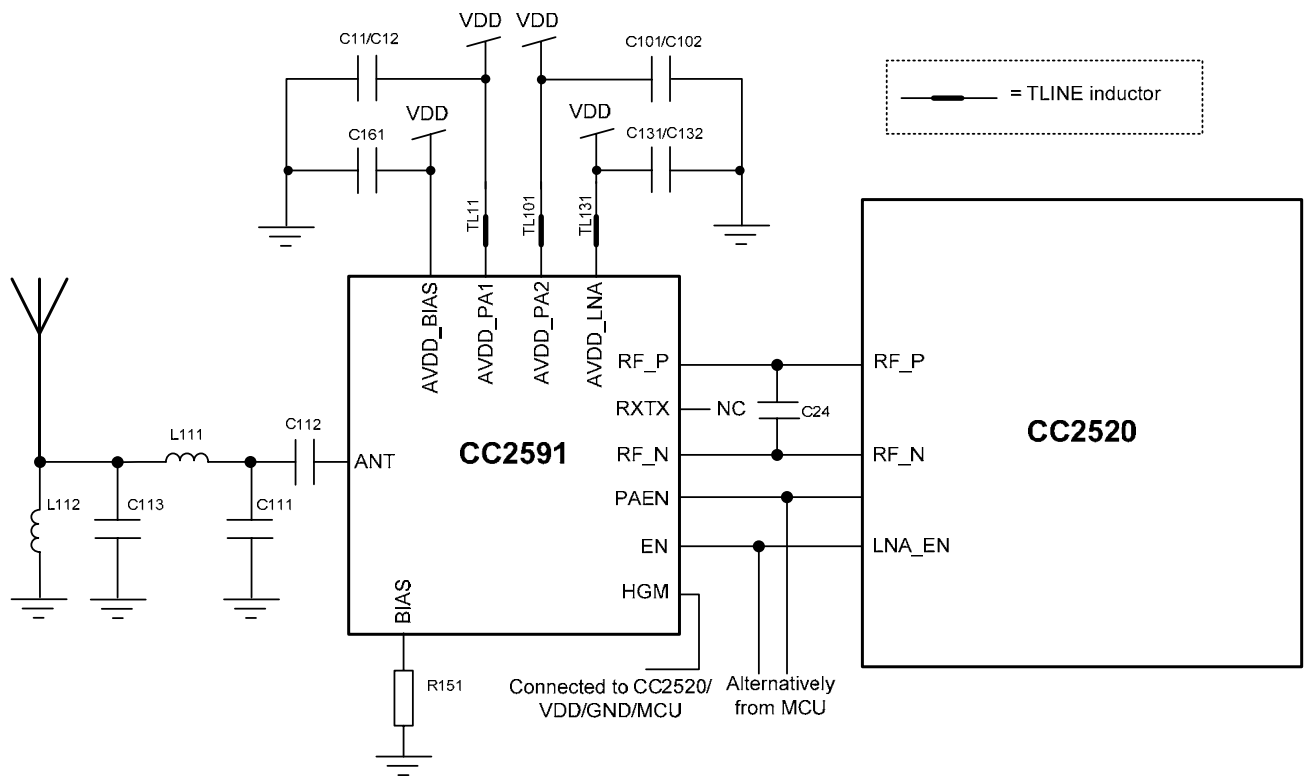


Figure 5.1 Application Circuit for the CC2520 with CC2591

Application Note AN065

5.1 Power Decoupling and RF Loading

Proper power supply decoupling must be used for optimum performance. In Figure 5.1, only the decoupling capacitors for the CC2591 are shown. This is because, in addition to decoupling, the parallel capacitors C11 and C12, C101 and C102, and C131 and C132 together with TL11, TL101 and TL131 also work as RF loads. These therefore ensure the optimal performance from the CC2591. C161 decouples the AVDD_BIAS power.

The placement and size of the decoupling capacitors, the power supply filtering and the PCB transmission lines are very important to achieve the best performance. Details about the importance of copying the CC2520 - CC2591EM reference design [3] exactly and potential consequences of changes are explained in chapter 6.

5.2 Input/ Output Matching and Filtering

The RF input/output of CC2520 is high impedance and differential. The CC2591 includes a balun and a matching network in addition to the PA, LNA and RF switches which makes the interface to the CC2520 seamless. Only one capacitor (C24) between the CC2520 and CC2591 is necessary for RF matching. Note that the PCB transmission lines that connect the two devices also are part of the RF matching. It is therefore important to copy the distance between the devices, the transmission lines and the stack-up of the PCB according to the reference design [3] to ensure optimum performance.

The network between the CC2591 and the antenna (C111, C112, L111 C113 and L112) matches the CC2591 to a 50 Ω load and provides filtering to pass regulatory demands. C112 also works as a DC-block.

5.3 Bias resistor

R151 is a bias resistor. The bias resistor is used to set an accurate bias current for internal use in the CC2591.

5.4 Antenna Considerations

The TI reference design contains two antenna options. As default, the SMA connector is connected to the balun through a 0 Ω resistor. This resistor can be soldered off and rotated 90° clockwise in order to connect to the PCB antenna, which is a planar inverted F antenna (PIFA). Note that all testing and characterization has been done using the SMA connector. The PCB antenna has only been functionally tested by establishing a link between two EMs. Please refer to the antenna selection guide [4] and the Inverted F antenna design note [5] for further details on the antenna solutions.

6 PCB Layout Considerations

The Texas Instruments reference design uses a 1.6 mm (0.062") 4-layer PCB solution. Note that the different layers have different thickness; it is important to follow the recommendation given in the CC2520 - CC2591EM reference design [3] to ensure optimum performance.

The top layer is used for components and signal routing, and the open areas are filled with metallization connected to ground using several vias. The areas under the two chips are used for grounding and must be well connected to the ground plane with multiple vias. Footprint recommendation for the CC2591 is given in the CC2591 datasheet [2].

Layer two is a complete ground plane and is not used for any routing. This is done to ensure short return current paths. The low impedance of the ground plane prevents any unwanted signal coupling between any of the nodes that are decoupled to it. A dedicated ground plane is also needed to improve stability (see Section 6.1). Layer three is a power plane. The power plane ensures low impedance traces at radio frequencies and prevents unwanted radiation from power traces. Layer four is used for routing, and as for layer one, open areas are filled with metallization connected to ground using several vias.

Important Notice

Changes in the PCB stack-up, component value, vendors, sizes or placements can cause significant effects on the performance of the combined CC2520 and CC2591 solution. Any change can cause higher current consumption, oscillations of the CC2591, unwanted spurious emissions and generally degraded performance. It is strongly advised that the reference design [3] is followed as closely as possible in order to obtain the best performance.

6.1 CC2591 Stability

When a common, center ground-pin/paddle is used, all inductance seen between this ground paddle and the ground plane will give rise to feedback. This feedback might give rise to oscillations. There is no general rule that tells exactly how much inductance that exists between the ground paddle and the ground plane – it depends on the chip design. Still, a general rule of thumb is that chances of oscillations increase when the RF currents increase. The stability issue is the main reason for using a 4-layer PCB with a ground-plane close to the top layer of the CC2520 - CC2591EM reference design [3].

6.2 The Gain of the CC2591

Changing the layout or the stack-up of the reference design [3] affects the gain of the CC2591. This is because the gain of the CC2591 can be viewed as a function of both the on-chip capacitance and impedance and the external impedance contributions. Internal on-chip routing and capacitance, bondwires (often several in parallel), the PCB transmission lines, the thermal relieves on the decoupling capacitors' ground nodes, capacitance and parasitics of the decoupling capacitors, the inductance of the vias to the ground plane and the soldering of the chip will therefore contribute to the actual performance of the CC2591. A simplified model of all of these contributions is shown in Figure 6.1.

Due to all the contributors to the CC2591 performance, several observations can be made on how changing layout and PCB stack-up affects the amplifier:

- Misplacing the decoupling capacitor or using an arbitrary capacitor will change the inductance, and hence move the resonance frequency of the amplifier, i.e. the frequency with maximum gain.
- Bad soldering of the ground paddle can reduce the gain significantly.
- Too few or too long vias will reduce the gain dramatically. This is why a checkered pattern of vias/ solder paste and a 4-layer PCB with the ground plane

Application Note AN065

close to the top layer has been chosen for the CC2520 - CC2591EM reference design.

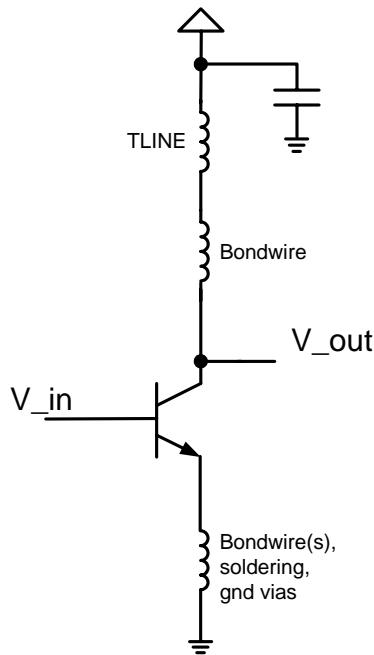


Figure 6.1 Simplified Model of the Impedance Contributors in the CC2591 Design

7 Regulatory Requirements

In the United States, the Federal Communications Commission (FCC) is responsible for the regulation of all RF devices. CFR 47, Part 15, regulates RF products intended for unlicensed operation. A product intended for unlicensed operation has to be subject to compliance testing. If the product is approved, the FCC will issue an identification number.

The specific frequency bands used for unlicensed radio equipment for the 2.4 GHz band are regulated by section 15.247 and 15.249. General rules for certification measurements are found in section 15.35. Restricted bands and general limits for spurious emissions are found in sections 15.205 and 15.209.

The CC2520 - CC2591EM reference design [3] has been tested for compliance with FCC Part 15.247. While it is not a formal certification, it does give a good representation of emissions with respect to compliance requirements. The FCC Part 15.247 compliance is generally a tougher requirement than ETSI compliance (EN 300 328) due to the restricted bands of operation. There are however requirements with regards to ETSI compliance (EN 300 328) that prevents operation at maximum output power. The clause 4.3.2.2 Maximum Power Spectral Density requirement of EN 300 328 requires maximum +10 dBm/ 1 MHz. The output power must therefore be reduced to approximately +12 dBm in order to get CE approval. The final output power level will depend on the antenna used.

FCC Part 15.247 limits the output power to 1 W or +30 dBm when Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) modulation or Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) with at least 75 hop channels is used. The spectral density of digital modulation systems (not including FHSS) shall not exceed 8 dBm/ 3 kHz. The minimum 6 dB bandwidth of such systems is 500 kHz. Since the CC2520 is a ZigBee compliant transceiver, it uses DSSS modulation. The +30 dBm limit therefore apply for the CC2520 with the CC2591 combination.

When complying with Part 15.247, in any 100 kHz bandwidth outside the operating band, the power level shall be at least 20 dB below the level in the 100 kHz bandwidth with the highest

Application Note AN065

power level in the operating band. Attenuation below limits given in 15.209 is not required. Emission that fall within restricted bands (15.205) must meet general limits given in 15.209. This is summarized in Table 7.1 below. More details about the 2.4 GHz FCC regulations are found in application note AN032 [7].

Standard	Relevant Frequency	Radiated Power (EIRP)	Conducted Power	Comment
FCC 15.247	2400 – 2483.5 MHz		+30 dBm	Maximum 6 dBi antenna gain
	Restricted bands defined by 15.205, including the 2 nd , 3 rd and 5 th harmonics	-41.2 dBm		
	All frequencies not covered in above cells		-20 dBc	

Table 7.1 Summarized FCC 15.247 Regulations for the 2.4 GHz Band

7.1 Duty Cycling when Complying with FCC

For frequencies above 1 GHz, the field strength limits are based on average limits. When using an averaging detector, a minimum bandwidth of 1 MHz shall be employed and the measurement time shall not exceed 100 ms.

Due to the averaging detector, pulsed transmissions are allowed higher peak fundamental, harmonic, and spurious power. This is a benefit for duty-cycled transmissions. The relaxation factor is $20 \log(\text{TX on-time}/100 \text{ ms})$ [dB]. A 50 % duty cycle will therefore allow for 6 dB higher peak emission than without duty cycling. Notice however that, even when an averaging detector is called for, there is still a limit on emissions measured using a peak detector function with a limit 20 dB above the average limit.

7.2 Compliance of FCC Part 15.247 when using the CC2520 with the CC2591

When using CC2520 with the CC2591, duty cycling or back-off is needed for IEEE 802.15.4 channels to comply with FCC at maximum output power (TXPOWER = 0xF9). Table 7.2 below shows the duty cycling or back-off needed to comply with the FCC Part 15.247 limits at typical conditions ($T_C = 25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = 3.0 \text{ V}$, TXPOWER = 0xF9). ZigBee and IEEE 802.15.4 systems are however typically low duty cycle systems. Note that the numbers in Table 7.2 are based on conducted emission measurements from the CC2520 - CC2591EM reference design [3]. The real required duty cycling or back-off may be different for applications with different antennas, plastic covers, or other factors that amplify/ attenuate the radiated power.

Figure 7.1 below shows the level of the conducted spurious emission and margins to the FCC Part 15.247 limits for the IEEE 802.15.4 channels under typical conditions ($T_C = 25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = 3.0 \text{ V}$) when transmitting at maximum power (TXPOWER = 0xF9) using the CC2520 - CC2591EM [3]. Figure 7.2 and Figure 7.3 show the margins versus the FCC 15.247 for the lowest frequency channels at the lower band edge and for the upper frequency channels at the upper band edge respectively. Note that channel 11, 12, and 25 will need duty cycling due to spurious emission even though they pass the band edge requirements.

Application Note AN065

Frequency [MHz]	Back-Off [dB]	Duty Cycle
2405	5.1	56 %
2410	5.5	53 %
2415	5.2	55 %
2420	1.3	86 %
2425	1.1	88 %
2430	1.0	89 %
2435	0.4	95 %
2440	2.3	76 %
2445	0.7	92 %
2450	2.2	77 %
2455	0.7	93 %
2460	1.3	86 %
2465	1.6	83 %
2470	0.0	100 %
2475	1.7	82 %
2480	16.1	16 %

Table 7.2 Duty-Cycle or Back-Off Requirement for FCC Part 15.247 Compliance under Typical Conditions

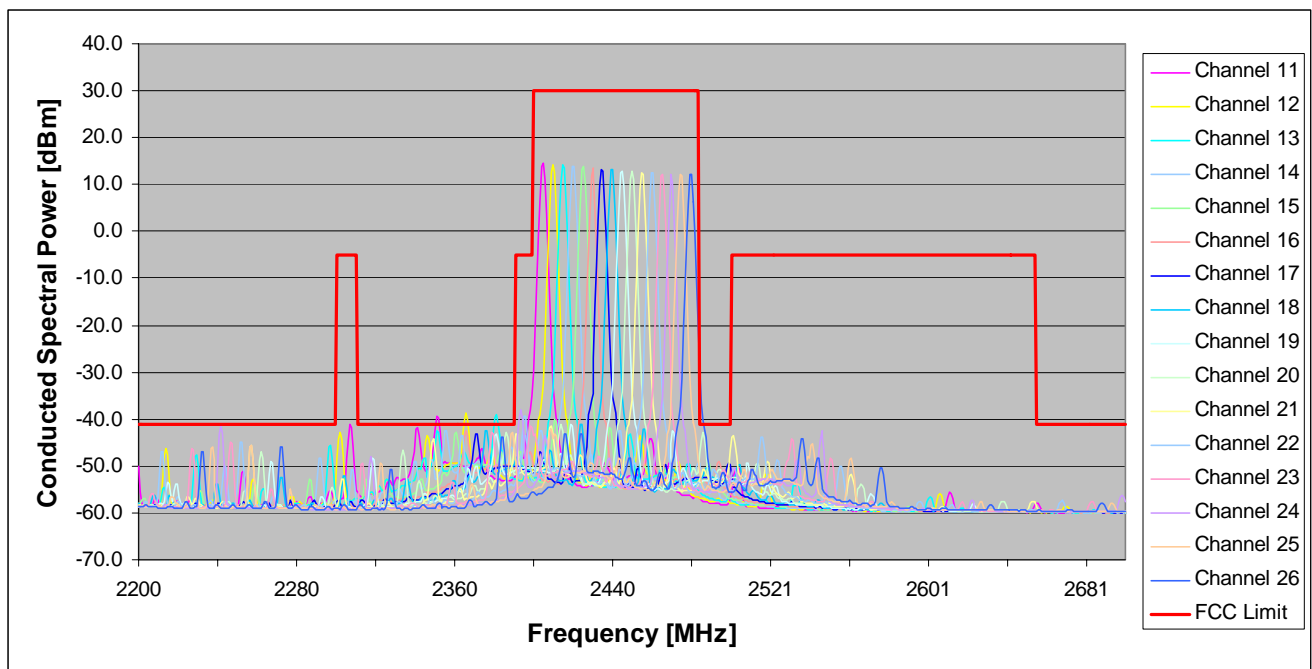


Figure 7.1 Conducted Spurious Emission vs. FCC Part 15.247 Limit (TXPOWER = 0xF9, RBW = 1 MHz, VBW = 10 Hz)

Application Note AN065

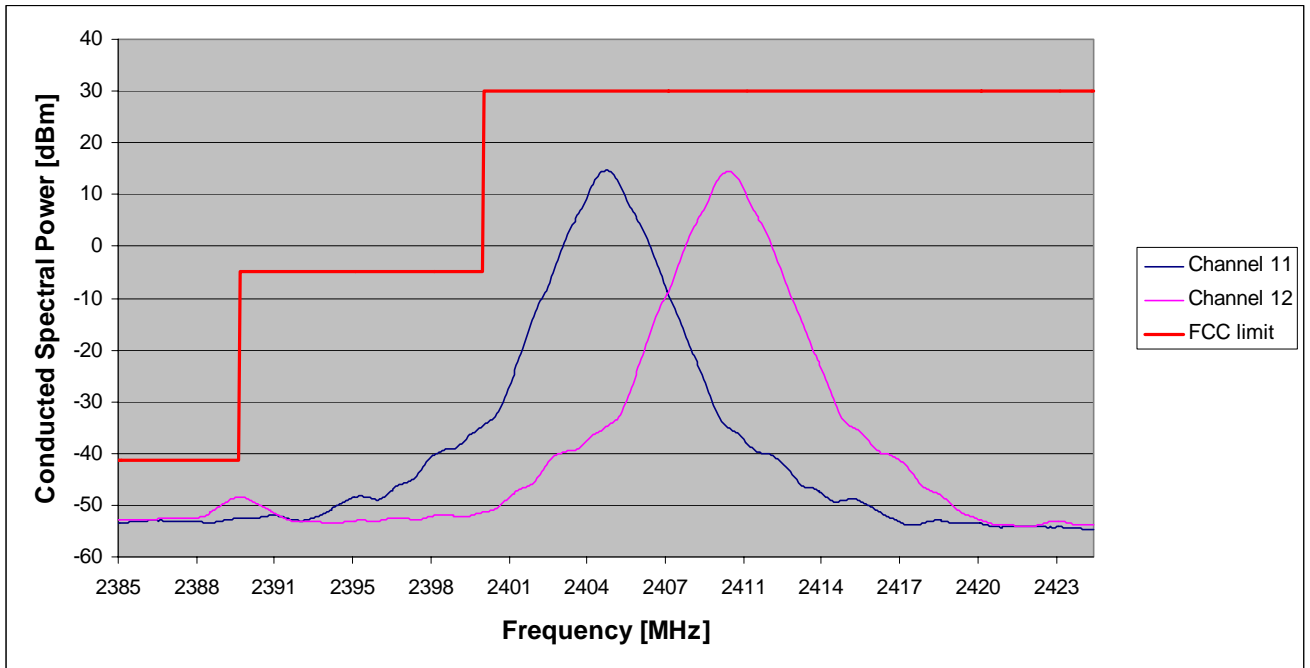


Figure 7.2 Conducted Spurious Emission, Lower Band Edge
(TXPOWER = 0xF9, RBW = 1 MHz, VBW = 10 Hz)

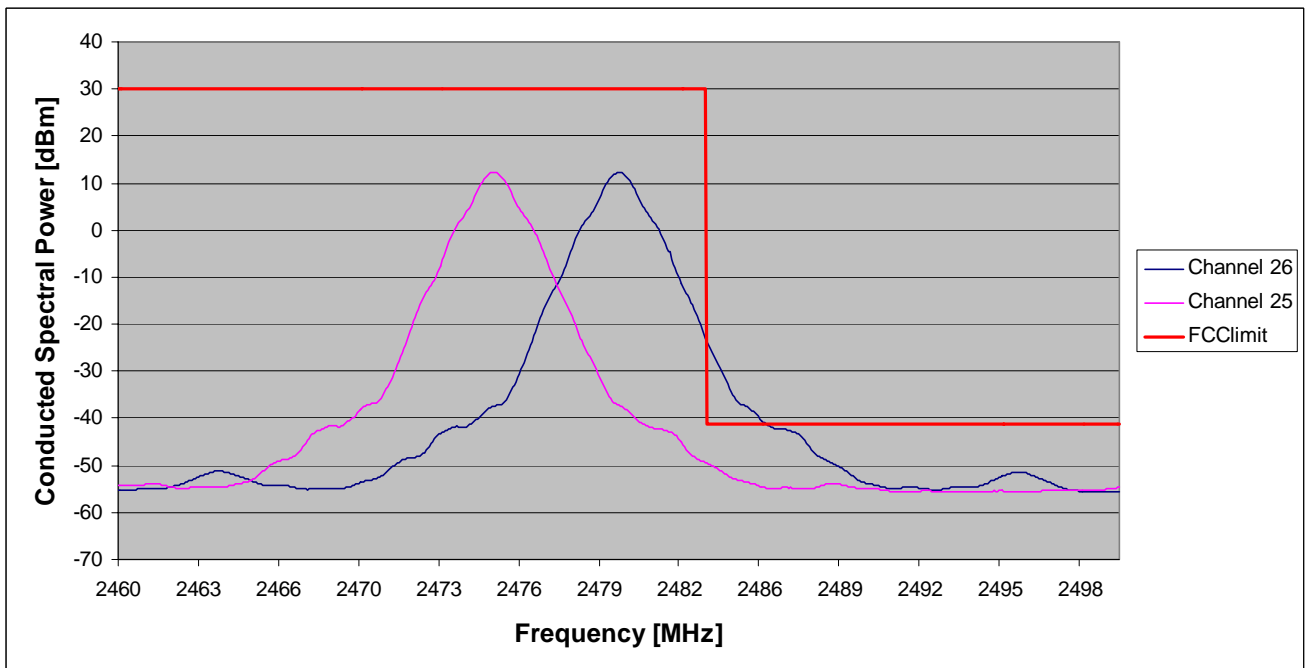


Figure 7.3 Conducted Spurious Emission, Upper Band Edge
(TXPOWER = 0xF9, RBW = 1 MHz, VBW = 10 Hz)

8 Controlling the CC2591

There are four digital control pins (PAEN, EN, HGM, and RXTX) on the CC2591 controls the state the chip is in. Table 8.1 below shows the control logic when connecting the CC2591 to a CC2520 device.

PAEN	EN	RXTX	HGM	Mode of Operation
0	0	NC	X	Power Down
0	1	NC	0	RX LGM
0	1	NC	1	RX HGM
1	0	NC	X	TX
1	1	NC	X	Not allowed

Table 8.1 Control Logic for Connecting the CC2591 to a CC2520 Device

The CC2520 – CC2591EM reference design [3] from TI uses three of the CC2520 GPIO pins on the CC2520 to control the CC2591. The CC2591 can alternatively be controlled by an external MCU.

When using the configuration used in the CC2520 – CC2591EM reference design [3], the registers listed in Table 8.2 need to be changed from the recommended CC2520 settings to control the CC2591 and give optimum performance. The new recommended values are also listed in Table 8.2. The same register settings can be used in both TX and RX. If using an external MCU to control the CC2591, the CC2520 GPIO register settings can be kept unaltered. The change in the AGCTRL1 register is due to the increased noise floor introduced by the CC2591. If this register is left unaltered, the RX performance will be degraded.

CC2520 REGISTER	ADDRESS	RECOMMENDED VALUE
GPIOCTRL3	0x023	0x7F
GPIOCTRL4	0x024	0x46
GPIOCTRL5	0x025	0x47
GPIOPOLARITY	0x026	0xF
TXPOWER	0x030	See Table 4.6
AGCTRL1	0x053	0x16

Table 8.2 New Recommended Register Settings for the CC2520 - CC2591 combination

All the recommended register CC2520 settings when including the CC2591 are automatically implemented in SmartRF Studio when checking the Range Extender box. SmartRF Studio is available on the TI website www.ti.com. Application note AN066 [8] further describes how to modify the TI-MAC software releases for the MSP430F2618 together with the CC2520 to support CC2591 PA/LNA controls.

Application Note AN065

9 References

- [1] CC2520 Datasheet ([SWRS068.pdf](#))
- [2] CC2591 Datasheet ([SWRS070a.pdf](#))
- [3] CC2520 – CC2591EM Reference Design ([SWRU190.zip](#))
- [4] AN058 Antenna Selection Guide ([SWRA161.pdf](#))
- [5] DN007 2.4 GHz Inverted F Antenna ([SWRU120B.pdf](#))
- [6] IEEE std. 802.15.4 – 2006: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specification for Low Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) (<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4-2006>)
- [7] AN032 SRD Regulations for License-free Transceiver Operation in the 2.4 GHz Band ([SWRA060.pdf](#))
- [8] AN066 TI-MAC SW modifications for using CC2591 PA/LNA with MSP430F2618+CC2520 ([SWRA230.pdf](#))

10 General Information

10.1 Document History

Revision	Date	Description/Changes
SWRA229	2008.10.09	Initial release.

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its hardware products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by government requirements, testing of all parameters of each product is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. Customers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with customer products and applications, customers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of TI information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation. Information of third parties may be subject to additional restrictions.

Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

TI products are not authorized for use in safety-critical applications (such as life support) where a failure of the TI product would reasonably be expected to cause severe personal injury or death, unless officers of the parties have executed an agreement specifically governing such use. Buyers represent that they have all necessary expertise in the safety and regulatory ramifications of their applications, and acknowledge and agree that they are solely responsible for all legal, regulatory and safety-related requirements concerning their products and any use of TI products in such safety-critical applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by TI. Further, Buyers must fully indemnify TI and its representatives against any damages arising out of the use of TI products in such safety-critical applications.

TI products are neither designed nor intended for use in military/aerospace applications or environments unless the TI products are specifically designated by TI as military-grade or "enhanced plastic." Only products designated by TI as military-grade meet military specifications. Buyers acknowledge and agree that any such use of TI products which TI has not designated as military-grade is solely at the Buyer's risk, and that they are solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

TI products are neither designed nor intended for use in automotive applications or environments unless the specific TI products are designated by TI as compliant with ISO/TS 16949 requirements. Buyers acknowledge and agree that, if they use any non-designated products in automotive applications, TI will not be responsible for any failure to meet such requirements.

Following are URLs where you can obtain information on other Texas Instruments products and application solutions:

Products

Amplifiers	amplifier.ti.com
Data Converters	dataconverter.ti.com
DSP	dsp.ti.com
Clocks and Timers	www.ti.com/clocks
Interface	interface.ti.com
Logic	logic.ti.com
Power Mgmt	power.ti.com
Microcontrollers	microcontroller.ti.com
RFID	www.ti-rfid.com
RF/IF and ZigBee® Solutions	www.ti.com/lprf

Applications

Audio	www.ti.com/audio
Automotive	www.ti.com/automotive
Broadband	www.ti.com/broadband
Digital Control	www.ti.com/digitalcontrol
Medical	www.ti.com/medical
Military	www.ti.com/military
Optical Networking	www.ti.com/opticalnetwork
Security	www.ti.com/security
Telephony	www.ti.com/telephony
Video & Imaging	www.ti.com/video
Wireless	www.ti.com/wireless

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2008, Texas Instruments Incorporated

2.4-GHz RF Front End

FEATURES

- Seamless Interface to 2.4-GHz Low Power RF Devices from Texas Instruments
- Up to 22-dBm Output Power
- 6-dB Typical Improved Sensitivity on CC24xx and CC2500, CC2510, and CC2511
- Few External Components
 - Integrated Switches
 - Integrated Matching Network
 - Integrated Balun
 - Integrated Inductors
 - Integrated PA
 - Integrated LNA
- Digital Control of LNA Gain by HGM Pin
- 100-nA in Power Down (EN = PAEN = 0)
- Low Transmit Current Consumption (100-mA at 3-V for 20-dBm Out, PAE = 33%)
- Low Receive Current Consumption
 - 3.4-mA for High Gain Mode
 - 1.7-mA for Low Gain Mode
- 4.8-dB LNA Noise Figure, including T/R Switch and external antenna match
- RoHS Compliant 4x4-mm QFN-16 Package
- 2-V to 3.6-V Operation

APPLICATIONS

- All 2.4-GHz ISM Band Systems
- Wireless Sensor Networks
- Wireless Industrial Systems
- IEEE 802.15.4 and ZigBee Systems
- Wireless Consumer Systems
- Wireless Audio Systems

DESCRIPTION

CC2591 is a cost-effective and high performance RF Front End for low-power and low-voltage 2.4-GHz wireless applications.

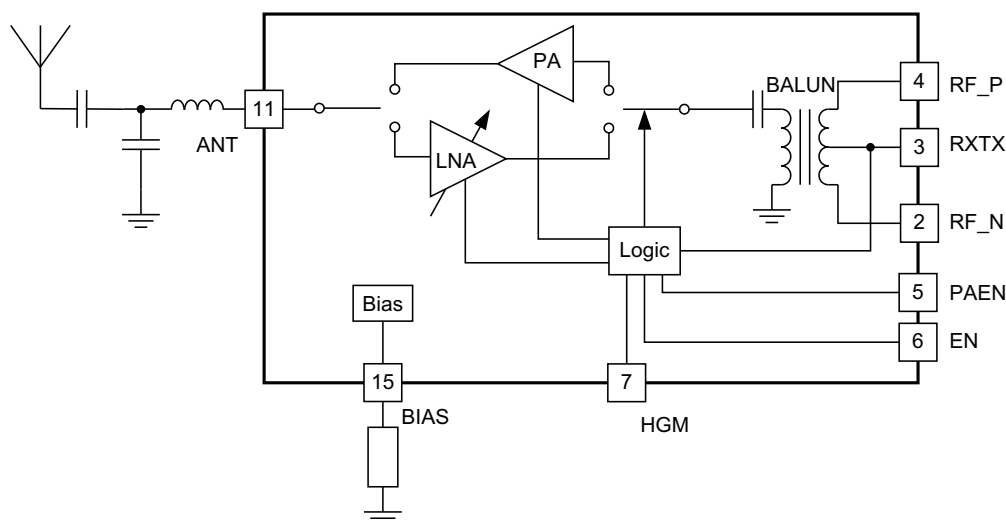
CC2591 is a range extender for all existing and future 2.4-GHz low-power RF transceivers, transmitters and System-on-Chip products from Texas Instruments.

CC2591 increases the link budget by providing a power amplifier for increased output power, and an LNA with low noise figure for improved receiver sensitivity.

CC2591 provides a small size, high output power RF design with its 4x4-mm QFN-16 package.

CC2591 contains PA, LNA, switches, RF-matching, and balun for simple design of high performance wireless applications.

CC2591 BLOCK DIAGRAM



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.



These devices have limited built-in ESD protection. The leads should be shorted together or the device placed in conductive foam during storage or handling to prevent electrostatic damage to the MOS gates.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Under no circumstances must the absolute maximum ratings be violated. Stress exceeding one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device.

PARAMETER		VALUE	UNIT
Supply voltage	All supply pins must have the same voltage	–0.3 to 3.6	V
Voltage on any digital pin		–0.3 to $V_{DD} + 0.3$, max 3.6	
Input RF level		10	dBm
Storage temperature range		–50 to 150	°C

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

The operating conditions for CC2591 are listed below.

PARAMETER		MIN	MAX	UNIT
Ambient temperature range		–40	85	°C
Operating supply voltage		2	3.6	V
Operating frequency range		2400	2483.5	MHz

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$T_C = 25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = 3\text{ V}$, $f_{RF} = 2440\text{MHz}$ (unless otherwise noted). Measured on CC2591EM reference design including external matching components.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Receive current, High Gain Mode	HGM = 1		3.4	4	mA
Receive current, Low Gain Mode	HGM = 0		1.7	2	
Transmit current	$P_{IN} = 0.5\text{ dBm}$		112		
Transmit current	No input signal		40	50	
Power down current	EN = PAEN = 0		0.1	0.3	μA
High input level (control pins)	EN, PAEN, HGM, RXTX	1.3		V_{DD}	V
Low input level (control pins)	EN, PAEN, HGM, RXTX			0.3	
Power down - Receive mode switching time			12		μs
Power down - Transmit mode switching time			1		μs
RF Receive					
Gain, High Gain Mode	HGM = 1		11		dB
Gain, Low Gain Mode	HGM = 0		1		dB
Gain variation, 2400 – 2483.5 MHz, High Gain Mode	HGM = 1		1.3		dB
Gain variation, 2.0V – 3.6V, High Gain Mode	HGM = 1		1.5		dB
Gain variation, $-40^\circ\text{C} - 85^\circ\text{C}$, High Gain Mode	HGM = 1		3		dB
Noise figure, High Gain Mode	HGM = 1, including internal T/R switch and external antenna match		4.8		dB
Input 1 dB compression, High Gain Mode	HGM = 1		–17		dBm
Input IP3, High Gain Mode	HGM = 1		–2		dBm
Input reflection coefficient, S11	HGM = 1, measured at antenna port		–11		dB

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

$T_C = 25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = 3\text{ V}$, $f_{RF} = 2440\text{MHz}$ (unless otherwise noted). Measured on CC2591EM reference design including external matching components.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
RF Transmit					
Gain			22		dB
Output power, P_{OUT}	$P_{IN} = 0.5\text{ dBm}$		20.6		dBm
Maximum output power	$P_{IN} = 5\text{ dBm}$		22		dBm
Power Added Efficiency, PAE	$P_{IN} = 0.5\text{ dBm}$		34%		
Output 1 dB compression			19		dBm
Output IP3			32		dBm
Output power variation over frequency	2400 – 2483.5 MHz, $P_{IN} = 0.5\text{ dBm}$		0.5		dB
Output power variation over power supply	2V – 3.6V, $P_{IN} = 0.5\text{ dBm}$		3.5		dB
Output power variation over temperature	$-40^\circ\text{C} - 85^\circ\text{C}$, $P_{IN} = 0.5\text{ dBm}$		1.5		dB
2nd harmonic power	$P_{IN} = 0.5\text{ dBm}$. The 2nd harmonic can be reduced to below regulatory limits by using an external LC filter and antenna.		-15		dBm
3rd harmonic power	$P_{IN} = 0.5\text{ dBm}$. The 3rd harmonic can be reduced to below regulatory limits by using an external LC filter and antenna.		-30		dBm

DEVICE INFORMATION

The CC2591 pinout and description are shown in [Figure 1](#) and [Table 1](#), respectively.

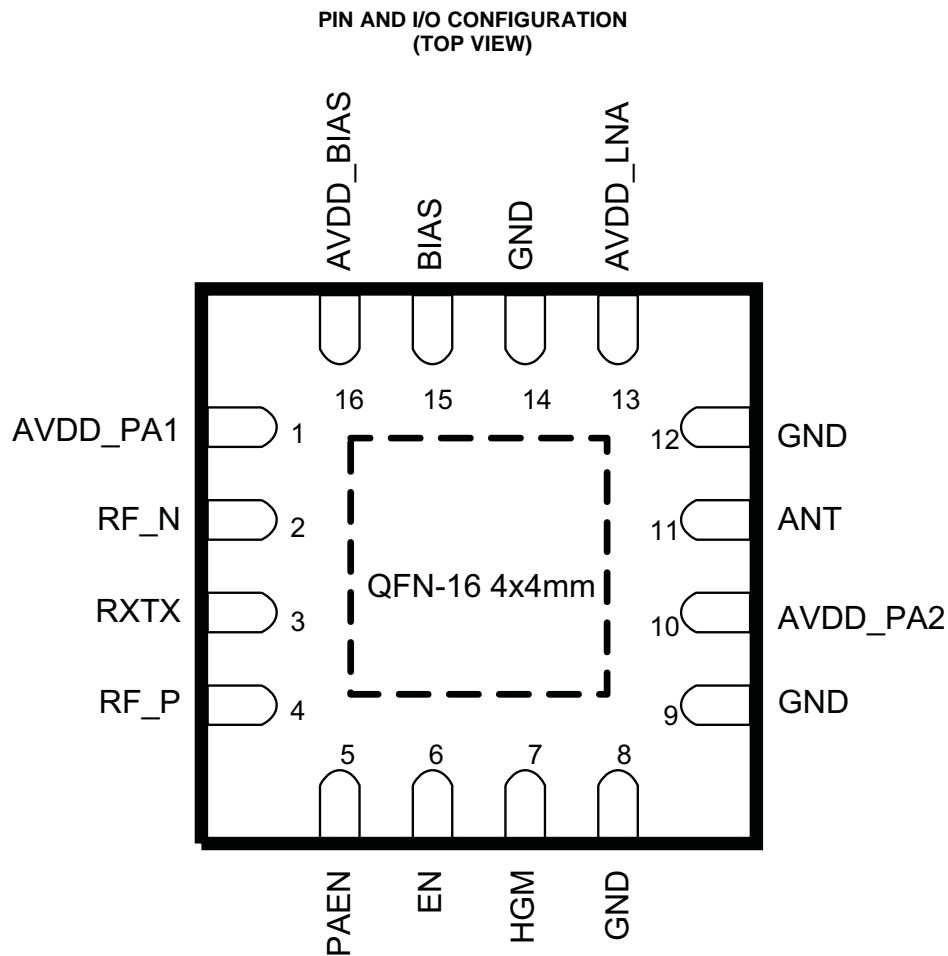


Figure 1.

NOTE:

The exposed die attach pad **must** be connected to a solid ground plane as this is the primary ground connection for the chip. Inductance in vias to the pad should be minimized. It is highly recommended to follow the reference layout. Changes will alter the performance. Also see the PCB landpattern information in this data sheet.

For best performance, minimize the length of the ground vias, by using a 4-layer PCB with ground plane as layer 2 when CC2591 is mounted onto layer 1.

Table 1. TERMINAL FUNCTIONS

TERMINAL		TYPE	DESCRIPTION
NO.	NAME		
—	GND	Ground	The exposed die attach pad must be connected to a solid ground plane. See CC2591EM reference design for recommended layout.
1	AVDD_PA1	Power	2.0 V – 3.6 V Power. PCB trace to this pin serves as inductive load to PA . See CC2591EM reference design for recommended layout.
2	RF_N	RF	RF interface towards CC24xx or CC25xx device.
3	RXTX	Analog/Control	RXTX switching voltage when connected to CC24xx devices. See Table 3 and Table 4 for details.
4	RF_P	RF	RF interface towards CC24xx or CC25xx device
5	PAEN	Digital Input	Digital control pin. See Table 3 and Table 4 for details.
6	EN	Digital Input	Digital control pin. See Table 3 and Table 4 for details.
7	HGM	Digital Input	Digital control pin. HGM=1 → Device in High Gain Mode HGM=0 → Device in Low Gain Mode (RX only)
8, 9, 12, 14	GND	Ground	Secondary ground connections. Should be shorted to the die attach pad on the top PCB layer.
10	AVDD_PA2	Power	2.0 V – 3.6 V Power. PCB trace to this pin serves as inductive load to PA. See CC2591EM reference design for recommended layout.
11	ANT	RF	Antenna interface.
13	AVDD_LNA	Power	2 V – 3.6 V Power. PCB trace to this pin serves as inductive load to LNA. See CC2591EM reference design for recommended layout.
15	BIAS	Analog	Biasing input. Resistor between this node and ground sets bias current to PAs.
16	AVDD_BIAS	Power	2 V – 3.6 V Power.

CC2591EM Evaluation Module

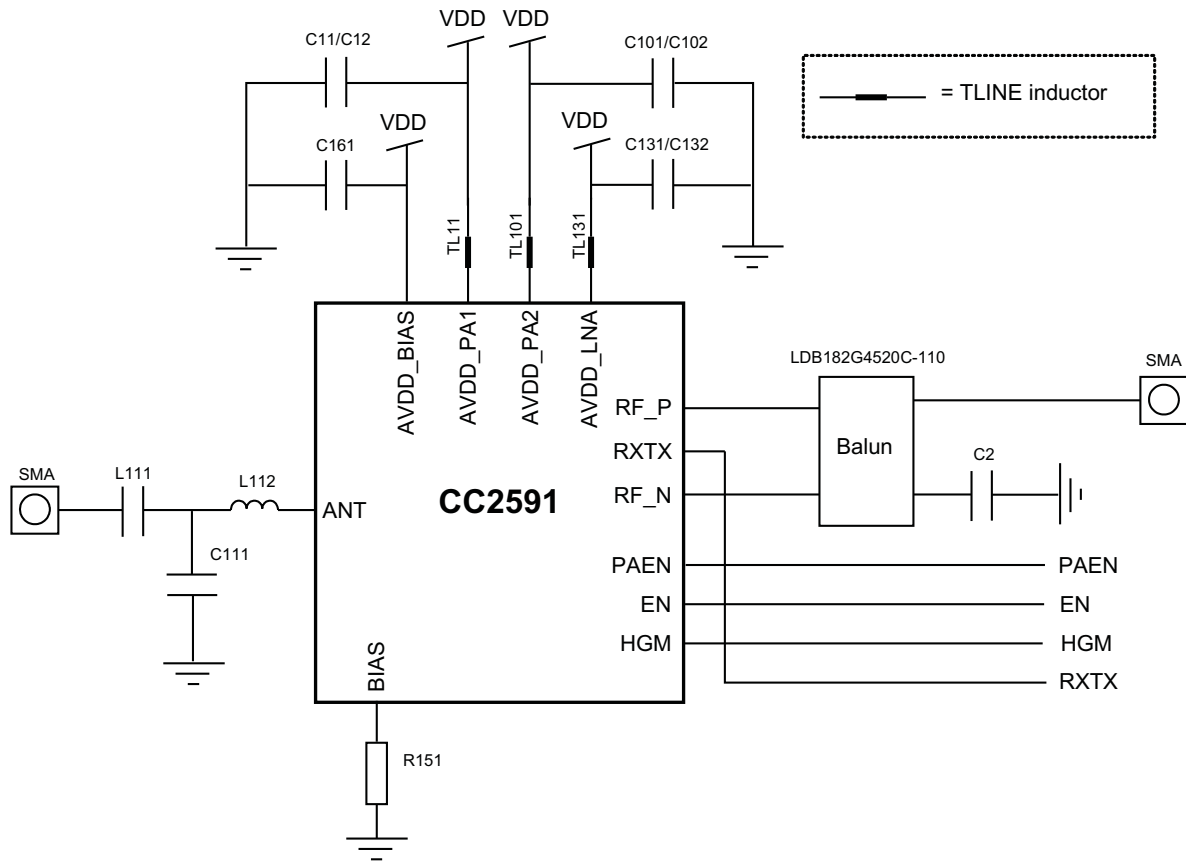


Figure 2. CC2591EM Evaluation Module

Table 2. List of Materials (See CC2591EM Reference Design)

DEVICE	FUNCTION	VALUE
L112	Part of antenna match.	1.5 nH: LQW15AN1N5B00 from Murata
L111	DC block.	1 nF: GRM1555C1H102JA01 from Murata
C111	Part of antenna match.	1 pF: GRM1555C1H1R0BZ01 from Murata
C161	Decoupling capacitor.	1 nF: GRM1555C1H102JA01 from Murata
C11/C12	Decoupling. Will affect PA resonance.	10 pF 1 nF. The smallest cap closest. See CC2591EM reference design for placement. 10 pF: GRM1555C1H100JZ01 from Murata 1 nF: GRM1555C1H102JA01 from Murata
C101/C102	Decoupling. Will affect PA resonance.	18 pF 1 nF. The smallest cap closest. See for CC2591EM reference design placement. 18 pF: GRM1555C1H180JZ01 from Murata 1 nF: GRM1555C1H102JA01 from Murata
C131/C132	Decoupling. Will affect PA resonance.	10 pF 1 nF. The smallest cap closest. See CC2591EM reference design for placement. 10 pF: GRM1555C1H100JZ01 from Murata 1 nF: GRM1555C1H102JA01 from Murata
C2	Decoupling of external balun	1 nF: GRM1555C1H102JA01 from Murata
TL11	Transmission line. Will affect PA resonance.	See CC2591EM reference design.
TL101	Transmission line. Will affect PA resonance.	See CC2591EM reference design.
TL131	Transmission line. Will affect LNA resonance.	See CC2591EM reference design.
R151	Bias resistor	4.3 kΩ: RK73H1ETTP4301F from Koa

TYPICAL CHARACTERISTICS

LNA GAIN AND NOISE FIGURE
vs
FREQUENCY

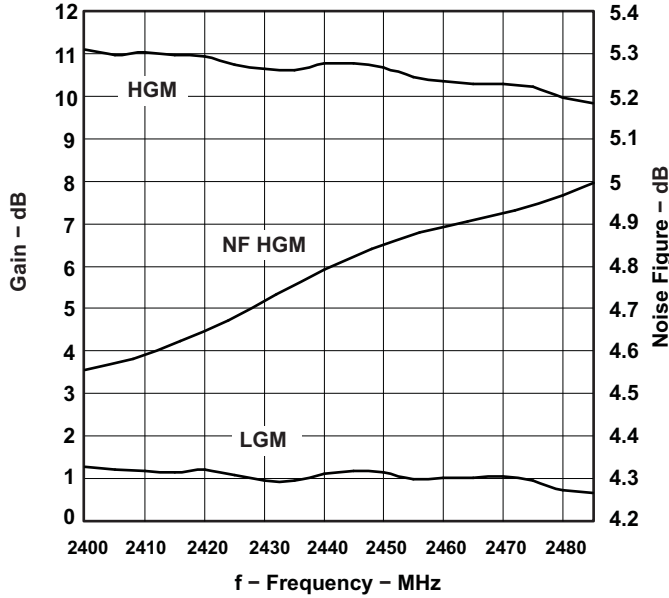


Figure 3.

LNA GAIN
vs
TEMPERATURE

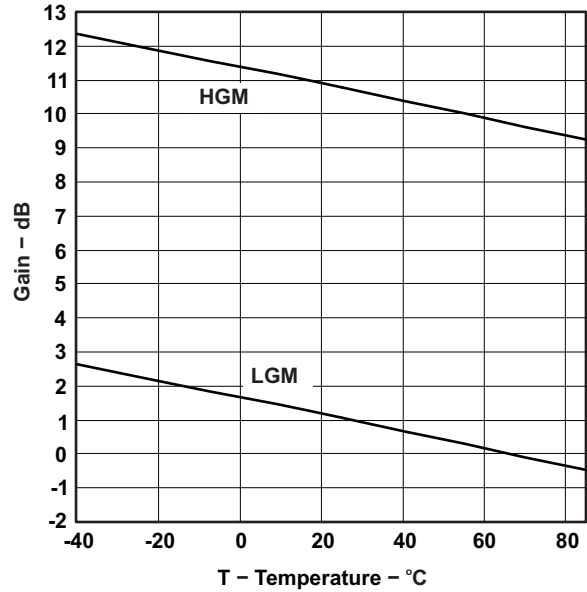


Figure 4.

LNA GAIN
vs
POWER SUPPLY

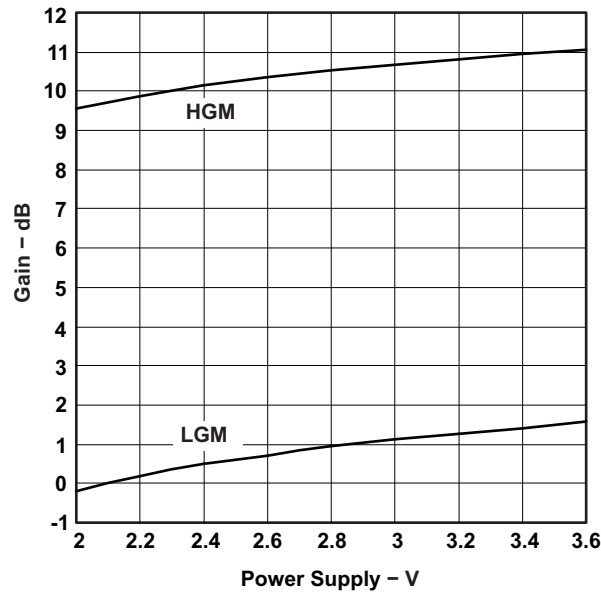


Figure 5.

TYPICAL CHARACTERISTICS (continued)

OUTPUT POWER, PAE AND CURRENT CONSUMPTION VS INPUT POWER

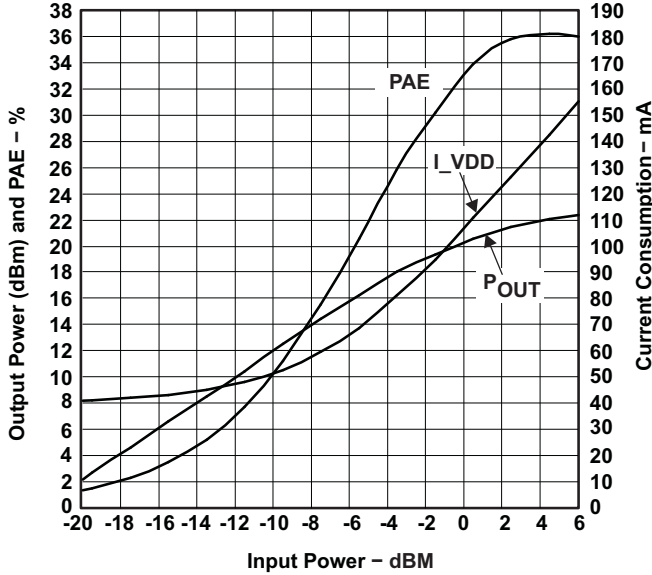


Figure 6.

OUTPUT POWER, PAE AND CURRENT CONSUMPTION VS FREQUENCY

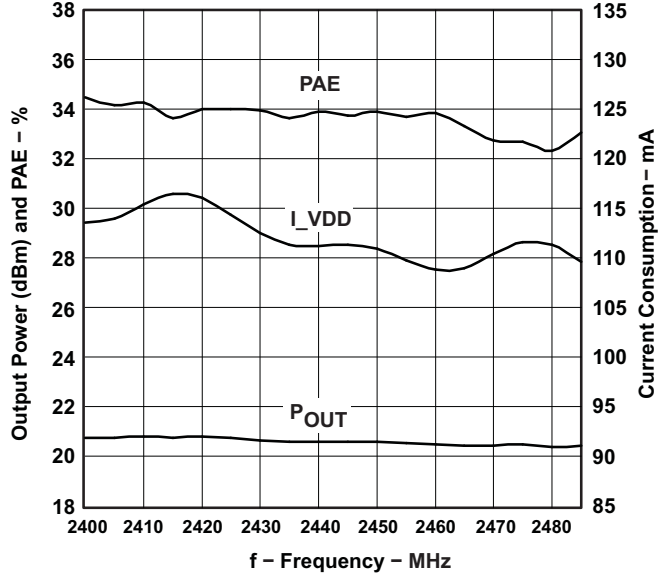


Figure 7.

OUTPUT POWER, PAE AND CURRENT CONSUMPTION VS TEMPERATURE

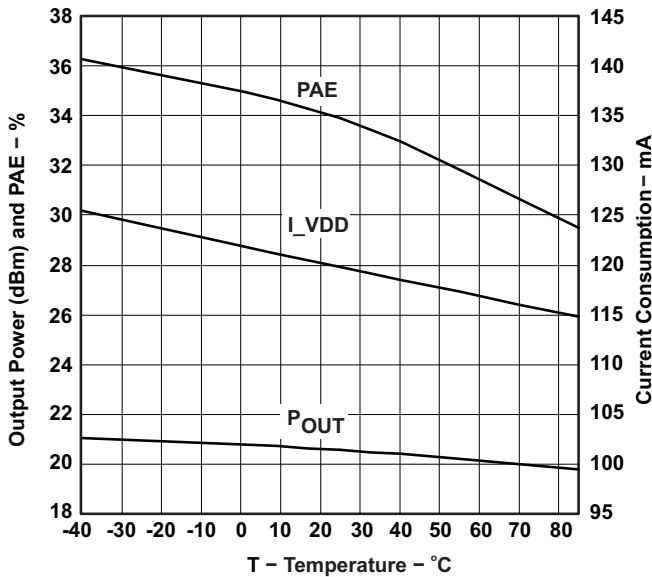


Figure 8.

OUTPUT POWER, PAE AND CURRENT CONSUMPTION VS POWER SUPPLY

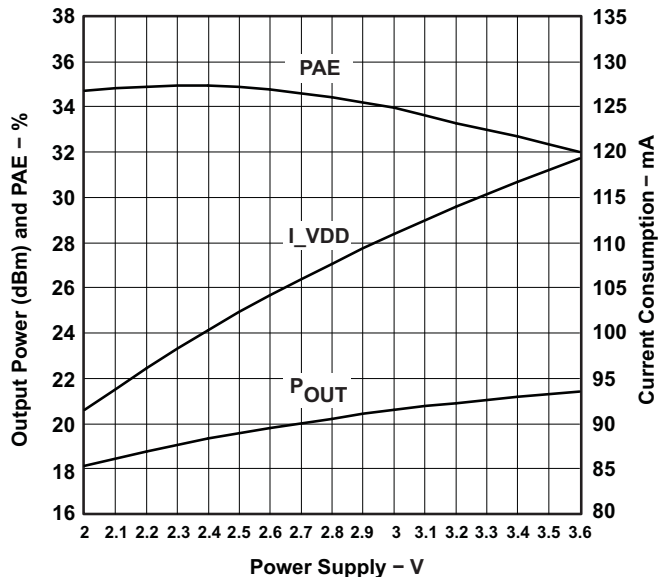


Figure 9.

Controlling the Output Power from CC2591

The output power of CC2591 is controlled by controlling the input power. The CC2591 PA is designed to work in compression (class AB), and the best efficiency is reached when a strong input signal is applied.

Input Levels on Control Pins

The four digital control pins (PAEN, EN, HGM, RXTX) have built-in level-shifting functionality, meaning that if the CC2591 is operating from a 3.6-V supply voltage, the control pins will still sense 1.6-V - 1.8-V signals as logical '1'.

An example of the above would be that RXTX is connected directly to the RXTX pin on CC24xx, but the global supply voltage is 3.6 V. The RXTX pin on CC24xx will switch between 0 V (RX) and 1.8 V(TX), which is still a high enough voltage to control the mode of CC2591.

The input voltages should however not have logical '1' level that is higher than the supply.

Connecting CC2591 to a CC24xx Device

Table 3. Control Logic for Connecting CC2591 to a CC24xx Device

PAEN = EN	RXTX	HGM	MODE OF OPERATION
0	X	X	Power Down
1	0	0	RX Low Gain Mode
1	0	1	RX High Gain Mode
1	1	X	TX

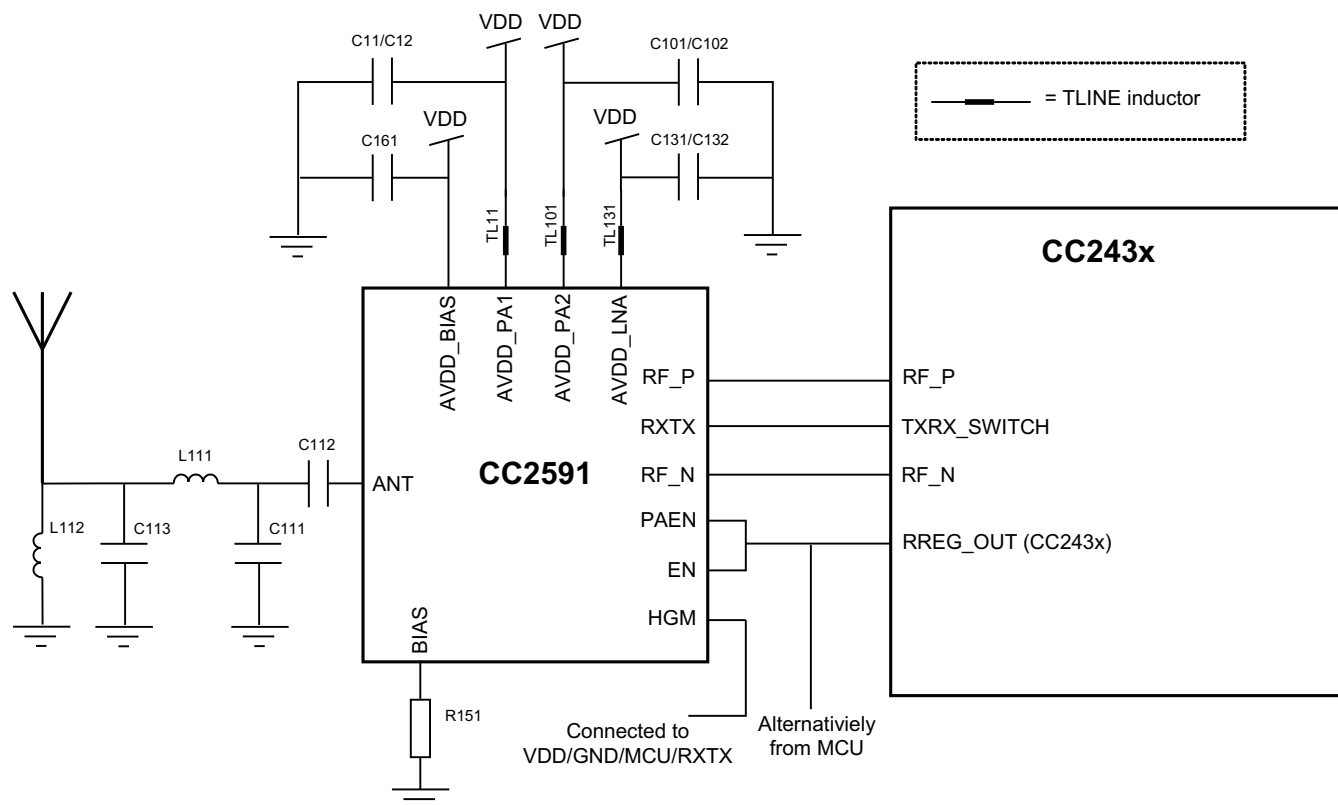


Figure 10. CC2591 + CC24xx Application Circuit

Connecting CC2591 to the CC2500, CC2510, or CC2511 Device

Table 4. Control Logic for Connecting CC2591 to a CC2500/10/11 Devices

PAEN	EN	RXTX	HGM	MODE OF OPERATION
0	0	NC	X	Power Down
0	1	NC	0	RX LGM
0	1	NC	1	RX HGM
1	0	NC	X	TX
1	1	NC	X	Not allowed

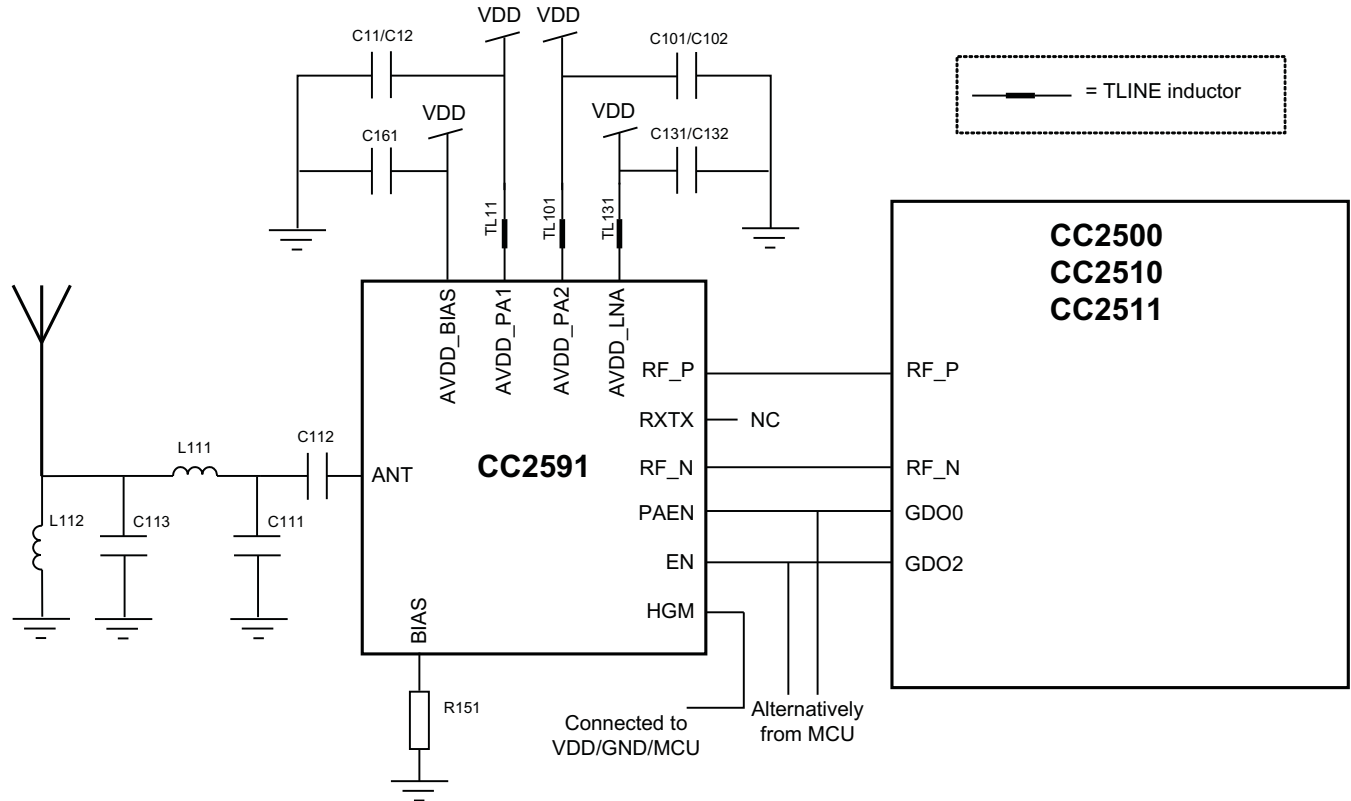


Figure 11. CC2591 + CC2500/10/11 Device Application Circuit

Connecting CC2591 to a CC2520 Device

Control Logic for Connecting CC2591 to a CC2520 Device

PAEN	EN	RXTX	HGM	MODE OF OPERATION
0	0	NC	X	Power Down
0	1	NC	0	RX LGM
0	1	NC	1	RX HGM
1	0	NC	X	TX
1	1	NC	X	Not allowed

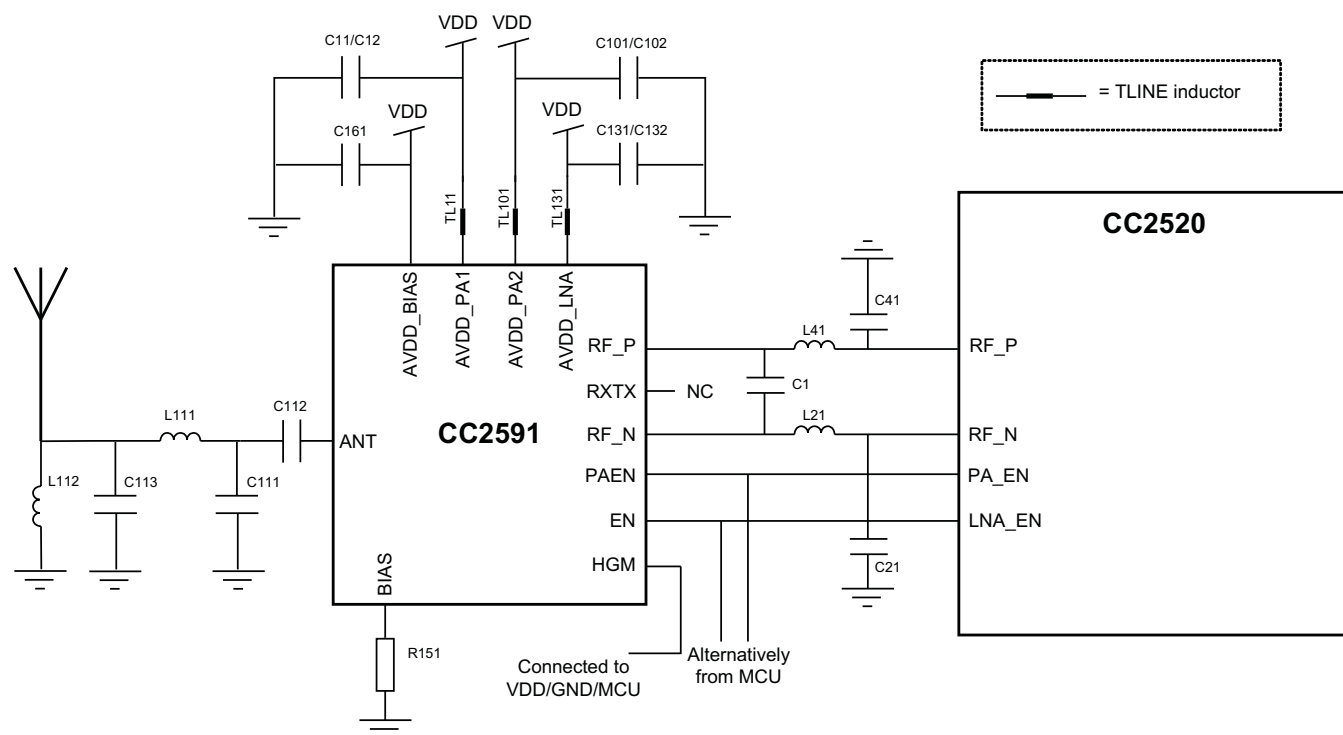


Figure 12. CC2591 + CC2520 Application Circuit

Revision History

Changes from Original (March 2008) to Revision A

Page

- Changed the data sheet From: Product Preview To: Production Data. Multiple changes throughout. 1

PACKAGING INFORMATION

Orderable Device	Status ⁽¹⁾	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan ⁽²⁾	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp ⁽³⁾
CC2591RGVR	ACTIVE	QFN	RGV	16	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR
CC2591RGVRG4	ACTIVE	QFN	RGV	16	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR
CC2591RGVT	ACTIVE	QFN	RGV	16	250	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR
CC2591RGVTG4	ACTIVE	QFN	RGV	16	250	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR

⁽¹⁾ The marketing status values are defined as follows:

ACTIVE: Product device recommended for new designs.

LIFEBUY: TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.

NRND: Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.

PREVIEW: Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.

OBSOLETE: TI has discontinued the production of the device.

⁽²⁾ Eco Plan - The planned eco-friendly classification: Pb-Free (RoHS), Pb-Free (RoHS Exempt), or Green (RoHS & no Sb/Br) - please check <http://www.ti.com/productcontent> for the latest availability information and additional product content details.

TBD: The Pb-Free/Green conversion plan has not been defined.

Pb-Free (RoHS): TI's terms "Lead-Free" or "Pb-Free" mean semiconductor products that are compatible with the current RoHS requirements for all 6 substances, including the requirement that lead not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, TI Pb-Free products are suitable for use in specified lead-free processes.

Pb-Free (RoHS Exempt): This component has a RoHS exemption for either 1) lead-based flip-chip solder bumps used between the die and package, or 2) lead-based die adhesive used between the die and leadframe. The component is otherwise considered Pb-Free (RoHS compatible) as defined above.

Green (RoHS & no Sb/Br): TI defines "Green" to mean Pb-Free (RoHS compatible), and free of Bromine (Br) and Antimony (Sb) based flame retardants (Br or Sb do not exceed 0.1% by weight in homogeneous material)

⁽³⁾ MSL, Peak Temp. -- The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

Important Information and Disclaimer: The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

TAPE AND REEL INFORMATION



QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
CC2591RGVR	QFN	RGV	16	2500	330.0	12.4	4.3	4.3	1.5	8.0	12.0	Q2
CC2591RGVT	QFN	RGV	16	250	330.0	12.4	4.3	4.3	1.5	8.0	12.0	Q2

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS

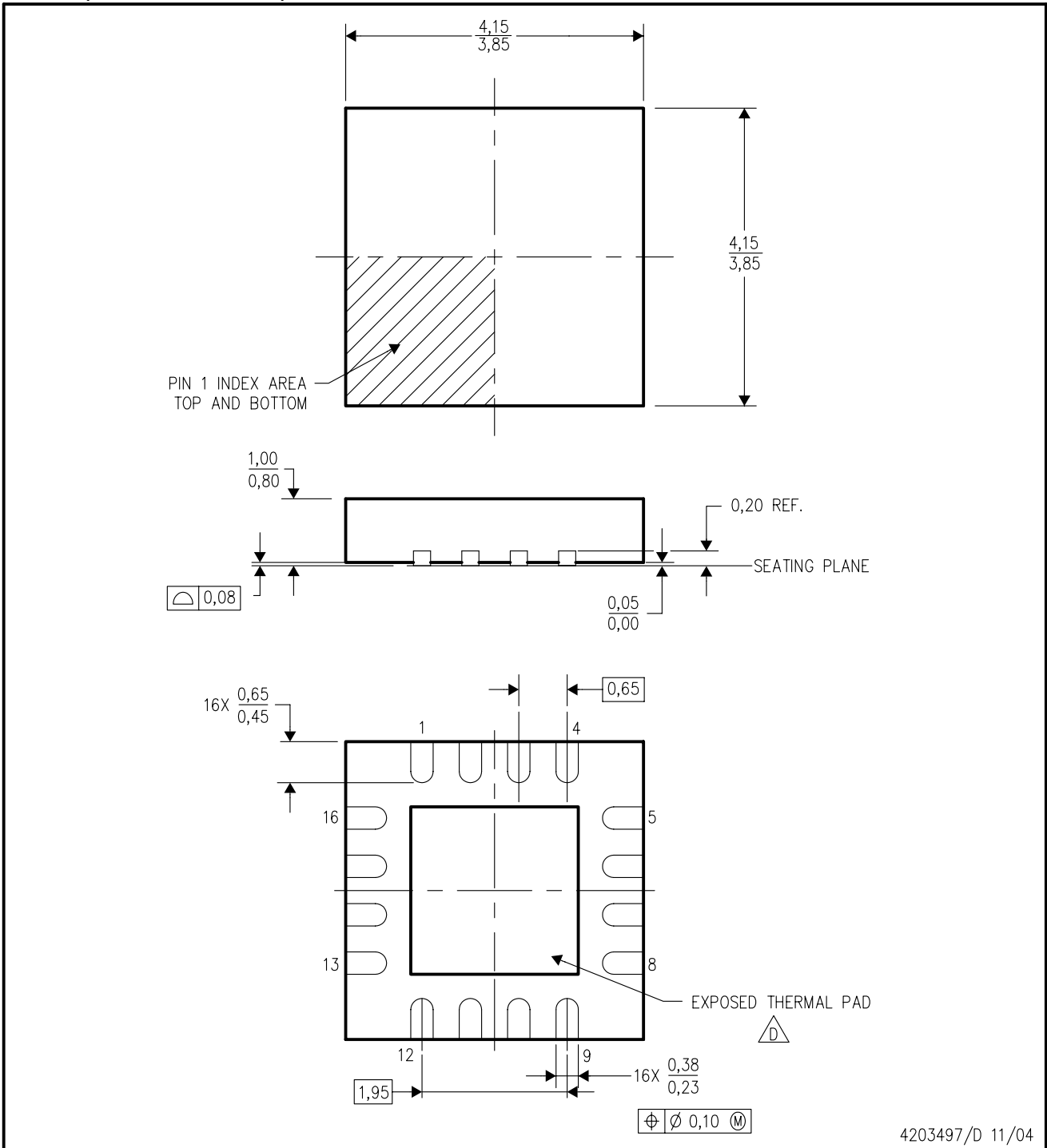



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
CC2591RGVR	QFN	RGV	16	2500	340.5	333.0	20.6
CC2591RGVT	QFN	RGV	16	250	340.5	333.0	20.6

RGV (S-PQFP-N16)

PLASTIC QUAD FLATPACK



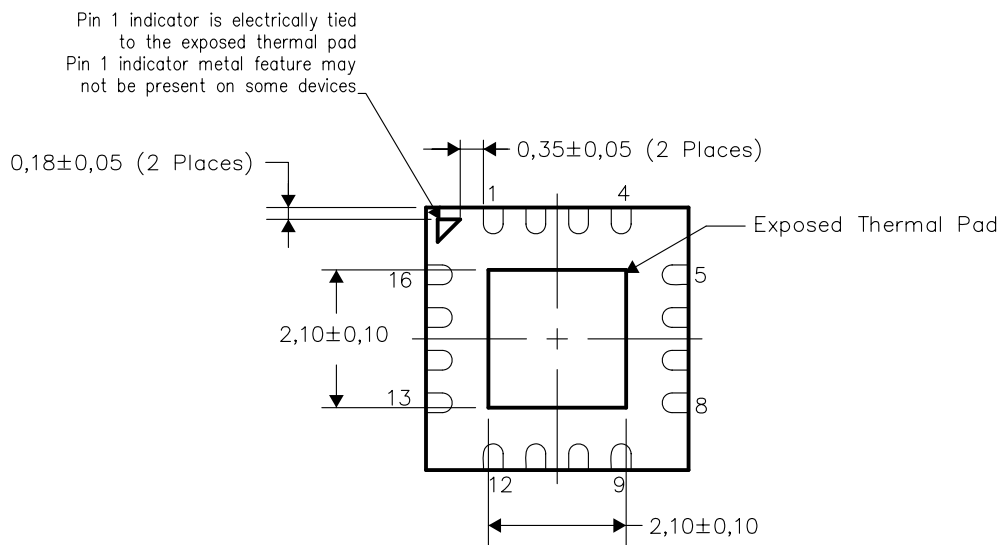
- NOTES:
- A. All linear dimensions are in millimeters. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M-1994.
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. Quad Flatpack, No-leads (QFN) package configuration.
 -  D. The package thermal pad must be soldered to the board for thermal and mechanical performance. See the Product Data Sheet for details regarding the exposed thermal pad dimensions.
 - E. Falls within JEDEC MO-220.

THERMAL INFORMATION

This package incorporates an exposed thermal pad that is designed to be attached directly to an external heatsink. The thermal pad must be soldered directly to the printed circuit board (PCB). After soldering, the PCB can be used as a heatsink. In addition, through the use of thermal vias, the thermal pad can be attached directly to the appropriate copper plane shown in the electrical schematic for the device, or alternatively, can be attached to a special heatsink structure designed into the PCB. This design optimizes the heat transfer from the integrated circuit (IC).

For information on the Quad Flatpack No-Lead (QFN) package and its advantages, refer to Application Report, Quad Flatpack No-Lead Logic Packages, Texas Instruments Literature No. SCBA017. This document is available at www.ti.com.

The exposed thermal pad dimensions for this package are shown in the following illustration.

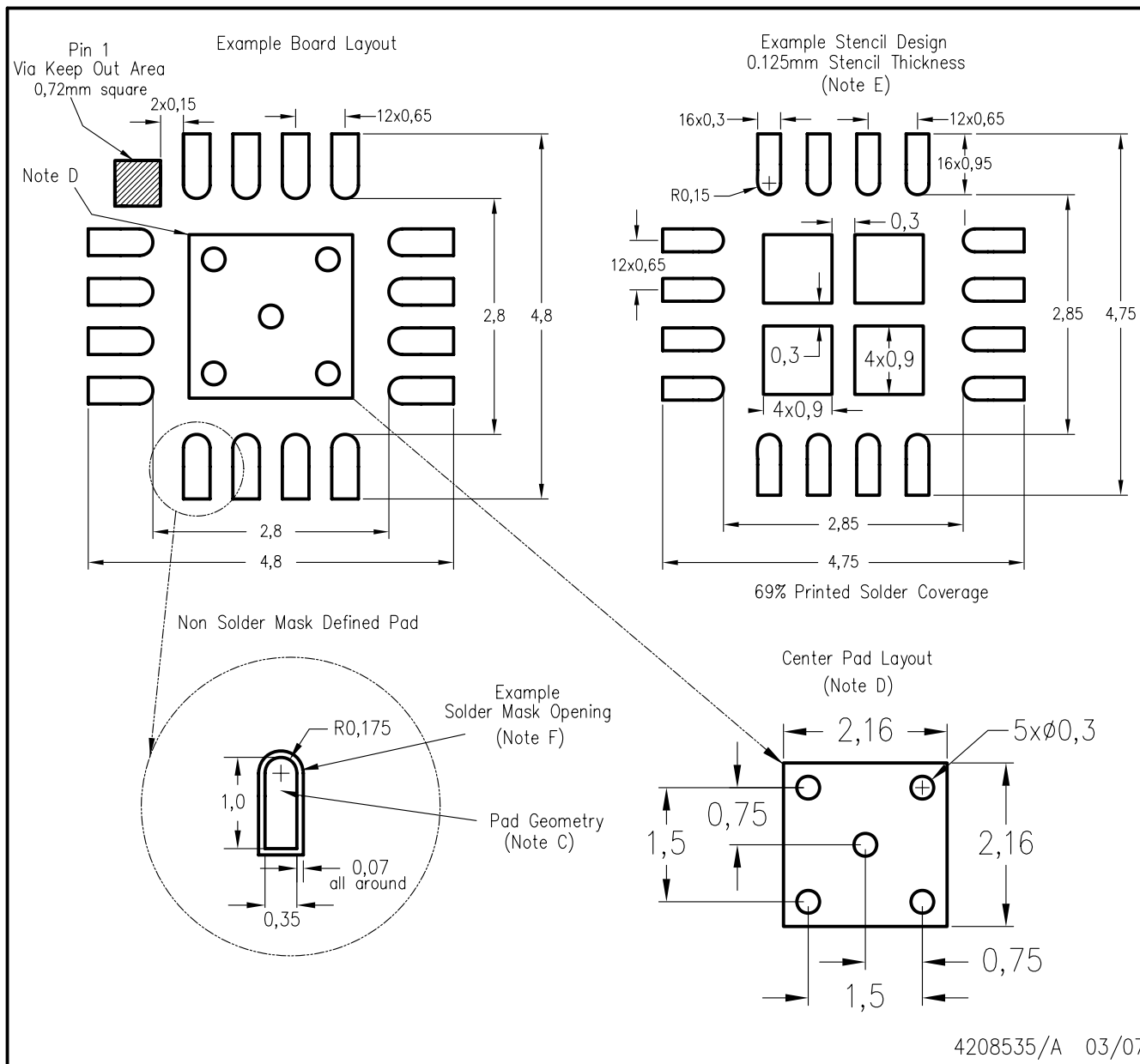


Bottom View

NOTE: All linear dimensions are in millimeters

Exposed Thermal Pad Dimensions

RGV (S-PQFP-N16)



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in millimeters.
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. Publication IPC-7351 is recommended for alternate designs.
 - D. This package is designed to be soldered to a thermal pad on the board. Refer to Application Note, QFN Packages, Texas Instruments Literature No. SCBA017, SLUA271, and also the Product Data Sheets for specific thermal information, via requirements, and recommended board layout. These documents are available at www.ti.com <<http://www.ti.com>>.
 - E. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and also rounding corners will offer better paste release. Customers should contact their board assembly site for stencil design recommendations. Refer to IPC 7525 for stencil design considerations.
 - F. Customers should contact their board fabrication site for solder mask tolerances.

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its hardware products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by government requirements, testing of all parameters of each product is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. Customers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with customer products and applications, customers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of TI information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation. Information of third parties may be subject to additional restrictions.

Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

TI products are not authorized for use in safety-critical applications (such as life support) where a failure of the TI product would reasonably be expected to cause severe personal injury or death, unless officers of the parties have executed an agreement specifically governing such use. Buyers represent that they have all necessary expertise in the safety and regulatory ramifications of their applications, and acknowledge and agree that they are solely responsible for all legal, regulatory and safety-related requirements concerning their products and any use of TI products in such safety-critical applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by TI. Further, Buyers must fully indemnify TI and its representatives against any damages arising out of the use of TI products in such safety-critical applications.

TI products are neither designed nor intended for use in military/aerospace applications or environments unless the TI products are specifically designated by TI as military-grade or "enhanced plastic." Only products designated by TI as military-grade meet military specifications. Buyers acknowledge and agree that any such use of TI products which TI has not designated as military-grade is solely at the Buyer's risk, and that they are solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

TI products are neither designed nor intended for use in automotive applications or environments unless the specific TI products are designated by TI as compliant with ISO/TS 16949 requirements. Buyers acknowledge and agree that, if they use any non-designated products in automotive applications, TI will not be responsible for any failure to meet such requirements.

Following are URLs where you can obtain information on other Texas Instruments products and application solutions:

Products

Amplifiers	amplifier.ti.com
Data Converters	dataconverter.ti.com
DLP® Products	www.dlp.com
DSP	dsp.ti.com
Clocks and Timers	www.ti.com/clocks
Interface	interface.ti.com
Logic	logic.ti.com
Power Mgmt	power.ti.com
Microcontrollers	microcontroller.ti.com
RFID	www.ti-rfid.com
RF/IF and ZigBee® Solutions	www.ti.com/lprf

Applications

Audio	www.ti.com/audio
Automotive	www.ti.com/automotive
Broadband	www.ti.com/broadband
Digital Control	www.ti.com/digitalcontrol
Medical	www.ti.com/medical
Military	www.ti.com/military
Optical Networking	www.ti.com/opticalnetwork
Security	www.ti.com/security
Telephony	www.ti.com/telephony
Video & Imaging	www.ti.com/video
Wireless	www.ti.com/wireless

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2009, Texas Instruments Incorporated

Módulos de RF XStream,™ versión OEM

900 MHz - 2.4 GHz - Módulos de OEM tipo RF de Gran Alcance por MaxStream, Inc.

Rendimiento de Gran Alcance

Alcance para ambientes interiores/zonas urbanas:
hasta 1500' (450 m)

Alcance en Línea de Visión para ambientes exteriores:
hasta 7 millas (11 km)
con antena dipolo 2.1 dB

Alcance en Línea de Visión para ambientes exteriores:
hasta 20 millas (32 km)
con una antena de alta ganancia

Sensibilidad del Receptor:
-110 dBm (@9600 bps)



También están disponibles paquetes de interfase RS-232/485, USB, Ethernet & Telefónica

Trabajo en Red y Seguridad Avanzadas

7 Canales de Saltos de Frecuencia –
cada uno con direcciones disponibles de 65k

Reintentos, reconocimientos y acuse de recibos para un despacho confiable de paquetes de datos

Permite varios modos avanzados de Trabajo en Red

“Satisfacción instantánea ... Los radios trabajaron perfectamente junto con los integrantes externos de la caja.”

- Fred Eady

Circuit Cellar "Radio Roundup"

Describiendo la experiencia de operación externa que el acopió, usando el Kit de Desarrollo MaxStream.

Explicación de Características



Relación de Precio con Rendimiento.

Debido a las innovaciones incluidas en el diseño de los Módulos XStream se obtuvieron beneficios en la calidad final del producto del rango de 2 a 8 veces sobre los módulos de la competencia. Esto ha permitido que los usuarios de las versiones OEM y los integradores puedan cubrir mayores extensiones de campo usando pocos dispositivos.

Adicionalmente, los Módulos XStream son fáciles de usar y, de allí que, el costo del desarrollo de un sistema de datos se reduzca enormemente.



Sensibilidad del Receptor.

Los Módulos de XStream 'escuchan' lo que otros no pueden; por eso es que nuestros Módulos suministran alcances mas grandes y confiabilidad en los enlaces inalámbricos.

Por cada 6 dBm ganados en la potencia de Transmisión o en la Sensibilidad de Recepción, los OEM e Integradores pueden doblar el alcance de un enlace inalámbrico. Los Módulos XStream superan a otros módulos de mas alto costo, debido en gran parte a que, el incremento de alcance obtenido es logrado con una sensibilidad superior del Receptor.



Baja Potencia de Consumo

Para aplicaciones donde la cantidad de Potencia juega un rol importante, están disponibles los modos Pin, Puerto Serie y cíclicos de 'sueño'. Las corrientes Power-Down alcanzan valores debajo de 26 µA.



Aprobados por la FCC (U.S.A.) & IC (Canadá).

Contacte con MaxStream para obtener una lista completa de certificaciones.



Los Sistemas que contienen Módulos XStream heredan las certificaciones MaxStream. Contacte con MaxStream para obtener una lista completa de aprobaciones de agencias de Gobierno.

Muestra de Aplicaciones

Monitorización de sistemas remotos



Colección de datos de un sensor en sistemas incorporados



Automatización de Casas (DOMOTICA) Control de Edificios inteligentes (INMOTICA)



SCADA (Control, Supervisión & Adquisición de Datos)



Manejo de flota & Seguimiento de bienes y valores



¡Llámenos Hoy mismo!

- Las Consultas de RF son gratis
- Se dan Descuentos por Volumen
- Se proporciona el precio del Kit de Desarrollo
- Se habla Español



MaxStream®

(866) 765-9885 para llamadas gratis dentro de U.S. & Canadá

(801) 765-9885 para llamadas desde cualquier parte del mundo

www.maxstream.net

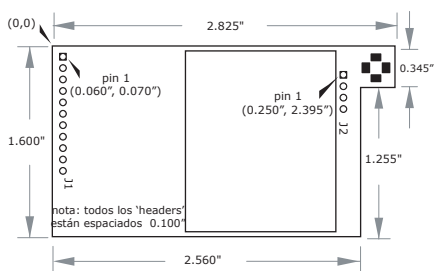
Módulos de RF XStream™, versión OEM 900 MHz & 2.4 GHz

Especificaciones		9XStream™ (900 MHz)	24XStream™ (2.4 GHz)		
Rendimiento	Alcance en ambientes interiores/zonas urbanas (con una antena dipolo de 2.1 dB)	hasta 1500' (450 m)	hasta 600' (180 m)		
	Alcance de RF en Línea de Visión para ambientes exteriores (con una antena dipolo de 2.1 dB)	hasata 7 millas (11 km)	hasta 3 millas (5 km)		
	Alcance de RF en Línea de Visión para ambientes exteriores (con una antena dipolo de alta ganancia)	hasta 20 millas (32 km)	hasta 10 millas (16 km)		
	Potencia de Salida en Transmisión	100 mW (20 dBm)	50 mW (17 dBm)		
	Régimen de datos de la Interfase (software seleccionable)	10 - 57600 bps (incluyendo regimenes no estándares de baudios)	10 - 57600 bps (incluyendo regimenes no estándares de baudios)		
	Velocidad del Proceso y Transferencia de Datos	9,600 bps	19,200 bps	9,600 bps	19,200 bps
	Régimen RF de datos	10,000 bps	20,000 bps	10,000 bps	20,000 bps
	Sensibilidad del Receptor	-110 dBm	-107 dBm	-105 dBm	-102 dBm
Requerimientos de Potencia	Voltaje de la Fuente de Poder	5V (± 0.25V) regulado			
	Corriente de Recepción	50 mA	80 mA		
	Corriente de Transmisión	140 mA	150 mA		
	Corriente Power-Down	< 26 µA	< 26 µA		
Información General	Tamaño	1.600" x 2.825" x 0.350" (4.06 cm x 7.18 cm x 0.89 cm)			
	Peso	0.8 oz. (24 g)			
	Temperatura de Operación	0 - 70 C° (comercial) or -40 to 85° C (industrial)			
	Opciones de Antena	RPSMA, MMCX, o cable de antena			
Trabajo en Red y Seguridad	Frecuencia de Operación	ISM 902 - 928 MHz	ISM 2.4000 - 2.4835 GHz		
	Topologías permitidas en la Red	Igual a Igual (no hay dependencia Amo/Esclavo), Punto a Punto, Punto a Multipunto, Bajadas múltiples	Igual a Igual (no hay dependencia Amo/Esclavo), Punto a Punto, Punto a Multipunto, Bajadas múltiples		
	Número de Canales (software seleccionable)	7 secuencias de salto	7 secuencias de salto		
	Capas de Filtración de la Red	Canal, VID, Dirección de Destino	Canal, VID, Dirección de Destino		
Aprobaciones de la Agencia	FCC Parte 15.247	OUR9XSTREAM	OUR-24XSTREAM		
	Industrial de Canada (IC)	4214A-9XSTREAM	4214A 12008		
	Europa	n/a	ETSI		

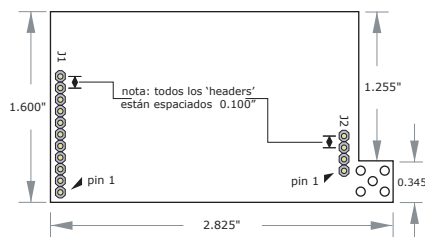
Las especificaciones están sujetas a cambios sin previo aviso

Dibujos Mecánicos

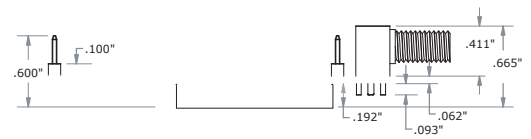
VISTA SUPERIOR



VISTA INFERIOR



VISTA LATERAL (con Conector RPSMA)



MaxStream®

355 South, 520 West, ste. 180
Lindon, UT 84042

© 2005 MaxStream, Inc.

Para lograr lo mejor en Soluciones Inalámbricas de Datos y Soporte Técnico, sírvase contactar con MaxStream, Inc Se habla Español

teléfono: (866) 765-9885 (Para llamados gratis dentro de U.S.A. & Canadá)
(801) 765-9885 (Para llamadas desde cualquier parte del mundo)

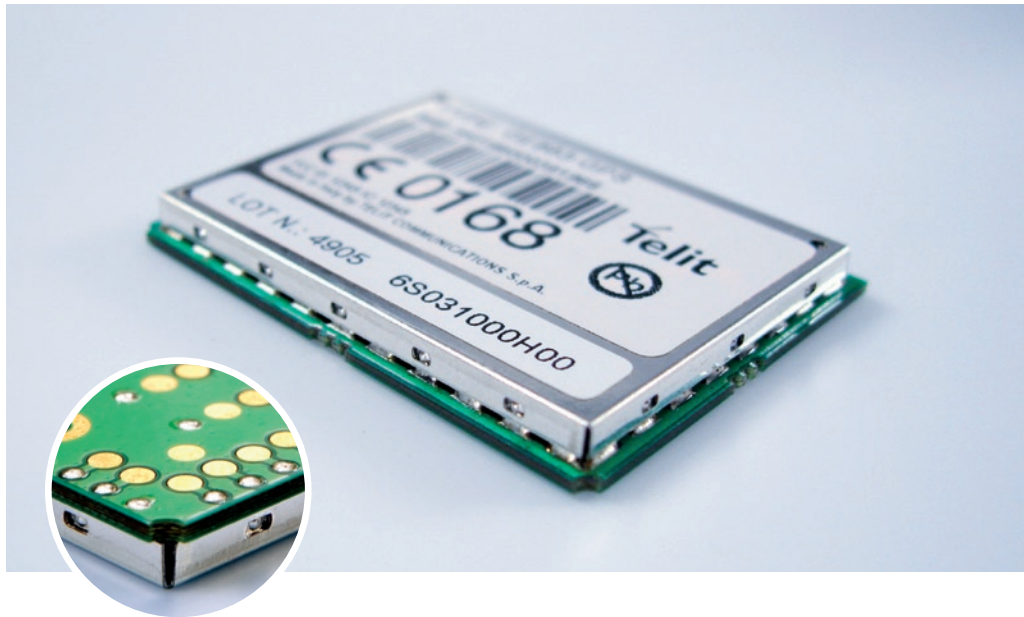
fax: (801) 765-9895

web: www.maxstream.net (Tenemos un canal para CHAT en vivo así como muchos otros recursos para brindarle el mejor servicio)

GSM | GPRS

GE863-GPS

Embedded



- Telit Unified AT Command Set
- SiRF® Powered
- 20 Channel GPS Receiver
- BGA Package
- Quad Band GPRS
- GPRS Class 10
- RoHS Compliant
- PYTHON® Script Interpreter
- High Sensitivity
- Embedded FTP and SMTP Client
- Extended Temperature Range
- Extended RF Sensitivity
- Embedded TCP/IP Stack



The new GE863-GPS is the smallest GSM/GPRS module in the market integrating full 20-channel GPS functionality. It combines the high performance from Telit's proven GSM/GPRS core technology with the latest SiRFstarIII™ high sensitivity single-chip GPS receiver.

The Ball-Grid-Array (BGA) package allows the end application to have a very low profile and small overall dimensions, making it possible for the design of extremely compact location-based-services solutions. Since connectors are eliminated, the solution cost is significantly reduced as compared to conventional mounting.

With its ultra low profile design, the Telit GE863-GPS is the ideal platform for mobile size-sensitive and high-volume applications in areas such as telematics, fleet management, tracking, security, and vehicle navigation. The new GPS receiver features low power consumption with position resolution accuracy of less than 2.5m, SBAS (WAAS and EGNOS) as well as high sensitivity for indoor fixes. These features combined with the available Python™ application development environment translate into a very cost effective and feature rich platform quite capable of becoming the total solution for the complete customer application.

Additional features including jamming detection, integrated TCP/IP protocol stack, and Easy Scan® offer unmatched benefits to the application developer without adding cost.

All Telit modules, support Over-the-Air firmware update by means Premium FOTA Management. By embedding RedBend's vCurrent® agent, a proven and battle-tested technology powering hundreds of millions of cellular handsets world-wide Telit is able to update its products by transmitting only a delta file, which represents the difference between one firmware version and another.

As part of Telit's corporate policy of environmental protection, all products comply to the RoHS (Restriction of Hazardous Substances) directive of the European Union (EU Directive 2002/95/EG).

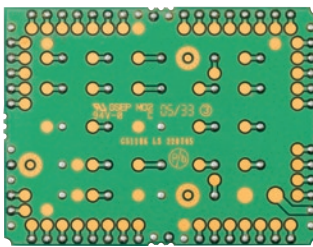
Product features

- Quad-band EGSM 850 / 900 / 1800 / 1900 MHz
- Output power
 - Class 4 (2W) @ 850 / 900 MHz
 - Class 1 (1W) @ 1800 / 1900 MHz
- Control via AT commands according to GSM 07.05, 07.07 and Telit enhancements
- Supply voltage range: 3.22-4.5 V DC (3.8 V DC recommended)
- Power consumption (typical values)
 - Power off: < 26 uA
 - Idle (registered, power saving): 2.6 mA
 - Dedicated mode: 200 mA
 - GPRS cl.10: 370 mA
- Serial port multiplexer GSM 7.10
- SIM access profile
- Sensitivity:
 - 107 dBm (typ.) @ 850 / 900 MHz
 - 106 dBm (typ.) @ 1800 / 1900 MHz
- Dimensions: 41.4 x 31.4 x 3.6 mm
- Weight: 9 grams
- Extended temperature range
 - 40°C to +85°C (operational)
 - 40°C to +85°C (storage temperature)
- RoHS compliant
- TCP/IP stack access via AT commands

Making machines talk.®

GE863-GPS

Embedded



actual size

GPS receiver

- GPS power consumption: operating current: 75 mA, (including 20 mA for the antenna LNA)
- High sensitivity for indoor reception, up to -159 dBm (with active antenna)
- Accuracy < 2.5 m
- Extremely fast TTFF's at low signal levels
- Hot start < 3 s
- Warm start < 35 s
- Cold start < 35 s
- 200,000+ effective correlators
- Supports 20-channel GPS, L1 1575.42 MHz
- GPS NMEA 0183 output format
- Date WGS-84
- Dedicated GPS AT commands
- SBAS (WAAS and EGNOS) support
- Low power consumption

Interfaces

- 18 I/O ports maximum
- Analog audio (balanced and unbalanced)
- 1 A/D plus 1 D/A converters
- Buzzer output
- ITU-T V.24 serial link through CMOS UART:
 - Baud rate from 300 to 115,200 bps
 - Autobauding from 2,400 to 57,600 bps

Audio

- Telephony, emergency call
- Half rate, full rate, enhanced full rate and adaptive multi rate voice codecs (HR, FR, EFR, AMR)
- Superior echo cancellation & noise reduction
- Handset & hands-free operations
- DTMF

Approvals

- Fully type approved conforming with R&TTE
- CE, GCF, FCC, PTCRB, IC, Anatel

SMS

- Point-to-point mobile originated and mobile terminated SMS
- Concatenated SMS supported
- SMS cell broadcast
- Text and PDU mode

Circuit switched data transmission

- Asynchronous transparent circuit switched data [CSD] up to 14.4 kbps
- Asynchronous non-transparent CSD up to 9.6 kbps
- V.110

GPRS data

- GPRS class 10
- Mobile station class B
- Coding scheme 1 to 4
- PBCCH support

Fax

- Group 3, class 1

GSM supplementary

- Call forwarding
- Call barring
- Call waiting & call hold
- Advice of charge
- Calling line identification presentation (CLIP)
- Calling line identification restriction (CLIR)
- Unstructured supplementary services mobile originated data (USSD)
- Closed user group

Additional features

- SIM phonebook
- Fixed dialing number (FDN)
- Real-time clock
- Alarm management
- Battery management
- Network LED support
- IRA character set
- Jamming detection & report
- Embedded TCP/IP stack, including TCP, IP, UDP, SMTP and FTP protocols
- TFMS (Telit Firmware Management Services) Over-the-Air update

Python* application resources

- Python* script interpreter (module takes the application code directly in the Python* language)
- Memory: 1.9 MB of NV memory for the user scripts and 1.2 MB RAM for the Python* engine usage
- Over-the-air application SW update
- IIC Bus and SPI Bus controlled in Python*



Telit's EASY features

- EASY SCAN® automatic scan over GSM frequencies (with or without SIM card)

Order-No.

Please contact your Telit representative for order codes and all further information

Copyright © 2009, Telit Communications S.p.A. Subject to changes in technology, design and availability

* Copyright © 1991-1995 by Stichting Mathematisch Centrum, Amsterdam, The Netherlands, All Rights Reserved.

Copyright © 1995-2001 Corporation for National Research Initiatives; All Rights Reserved. Copyright © 2001-2009 Python Software Foundation; All Rights Reserved. All Rights Reserved are retained in Python.



Telit Communications S.p.A.
Via Stazione di Prosecco, 5/B
I-34010 Sgonico (Trieste), Italy
Tel +39 040 4192 200
Fax +39 040 4192 289
E-Mail: EMEA@telit.com

Telit Wireless Solutions Inc.
3131 RDU Center Drive, Suite 135
Morrisville, NC 27560, USA
Tel +1 888 846 9773 or +1 919 439 7977
Fax +1 888 846 9774 or +1 919 840 0337
E-Mail: NORTHAMERICA@telit.com

Telit Wireless Solutions Inc.
Rua Cunha Gago, 700 - cj 81, Pinheiros
São Paulo - SP, 05421001, Brazil
Tel +55 11 2679 4654
Fax +55 11 2679 4654
E-Mail: LATINAMERICA@telit.com

Telit Wireless Solutions Co., Ltd.
9th Fl., Daewoo Securities Bld.
34-3 Yeouido-dong, Yeongdeungpo-gu
Seoul 150-716, KOREA
Tel +82 2 368 4600
Fax +82 2 368 4606
E-Mail: APAC@telit.com

www.telit.com

Distributed by:

