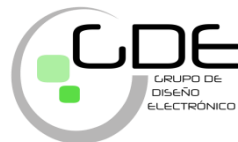


Máster en Ingeniería Electrónica



DESARROLLO DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE DATOS A LARGA DISTANCIA PARA WSN MEDIANTE UN MÓDULO GSM/GPRS

MEMORIA

1/2

CURSO 2010-2011 14-Junio-2011

Realizado por: Diego Antolín Cañada
Dirigido por: Santiago Celma Pueyo

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE DATOS A LARGA DISTANCIA PARA WSN MEDIANTE UN MÓDULO GSM/GPRS.

RESUMEN.

Este trabajo consiste en el desarrollo e implementación de un sistema de adquisición y procesamiento de datos para una red WSN, la cual comunica los datos obtenidos de la red inalámbrica de sensores a un ordenador que recolecta los datos a través de la tecnología GSM/GPRS.

Para ello se ha diseñado tanto el hardware y software del sistema receptor conectado al PC como el que permite al nodo coordinador de la WSN enviar los datos al sistema central de procesamiento.

El dispositivo emisor que transmite los datos de la red debe adaptarse de manera adecuada al nodo sensor desarrollado en el GDE.

El sistema receptor está formado por el hardware necesario para comunicar el módulo GSM/GPRS con un ordenador personal y por la fuente de alimentación del mismo. Además, se ha desarrollado un entorno gráfico en Matlab que realiza la interpretación de los datos y los muestra en pantalla en tiempo real.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN, MOTIVACIONES Y OBJETIVOS.....	4
2.	ESTADO DEL ARTE.	5
3.	DESCRIPCIÓN DE LA RED OBJETIVO DEL PROYECTO.	7
4.	CONSIDERACIONES PREVIAS.	9
4.1.	Short Message Service como Sistema de Comunicación.	9
4.2.	Estimación del Número Máximo de Nodos de Red.....	9
5.	ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL CONSUMO DEL MÓDULO GSM/GPRS.....	11
6.	DISEÑO DEL SISTEMA RECEPTOR GSM/GPRS.....	13
6.1.	Diseño del Hardware.	13
6.2.	Fuente de Alimentación del Receptor.....	15
6.3.	Diseño del Software.	16
7.	DISEÑO DEL SISTEMA EMISOR.	18
7.1.	Diseño del Hardware.	18
7.2.	Diseño del Software.	19
8.	CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS.	21
9.	REFERENCIAS.	23

1. INTRODUCCIÓN, MOTIVACIONES Y OBJETIVOS.

Este trabajo tiene como objetivo la realización de un sistema de comunicación vía GSM/GPRS para la monitorización de redes inalámbricas de sensores (WSN, *Wireless Sensor Networks*) aisladas de núcleos de población, de manera que permita la recopilación de los datos obtenidos por los nodos de la red en un ordenador que se encuentre a gran distancia sin necesidad de una infraestructura previa (acceso a internet, conexión a la red eléctrica de distribución, etc.).

La motivación de este proyecto nace de la experiencia del Grupo de Diseño Electrónico (GDE) en diferentes proyectos con WSN, en particular, con proyectos relacionados con la prevención y detección temprana de incendios forestales. Para la implementación de las redes se ha diseñado un nodo sensor propio (Fig. 15 (a) y Fig. 3), hardware y software (también llamado mote en inglés o mota en español, es el nombre que recibe cada uno de los nodos sensores que forman la WSN). Con la experiencia del GDE en estos proyectos se ha detectado la necesidad de poder transmitir los mensajes de la red a distancias aún mayores de lo que permiten los dispositivos de radio frecuencia empleados para las *Low-Rate Wireless Personal Area Networks* (LR-WPAN), cuyas distancias de transmisión se encuentran típicamente en un rango que va de unos cientos de metros hasta unos pocos kilómetros.

El objetivo de este trabajo es diseñar un sistema que permita comunicar la información de las redes inalámbricas a cualquier ubicación, adaptando sus especificaciones y características, al mote desarrollado por el GDE, dotando a la citada red de una mayor versatilidad manteniendo el consumo del sistema dentro de unos límites.

Para justificar el propósito del proyecto, así como el enfoque del estudio del estado del arte, se utiliza como ejemplo la aplicación de una WSN en la prevención y detección temprana de incendios forestales. El motivo de utilizar esta aplicación como punto de partida es que resulta muy ilustrativo; en general, un bosque se va a encontrar más o menos alejado de un núcleo de población. Este trabajo sigue las futuras líneas de trabajo propuestas en [1].

Los objetivos principales a alcanzar en este proyecto son:

- Analizar los requerimientos energéticos del módulo GSM/GPRS utilizado para la optimización del consumo.
- Desarrollo del hardware y el software necesario para la inclusión del nuevo sistema en el mote diseñado en el GDE.
- Desarrollo del hardware y el software necesario para el sistema GSM/GPRS de recepción conectado a un PC.
- Implementación en Matlab de una aplicación que permita el desentramado de los datos, la representación gráfica de los mismos y el guardado total de los datos permitiendo realizar un histórico de los mismos. Todo ello se realizará a través de un entorno gráfico desarrollado al uso.

2. ESTADO DEL ARTE.

El rápido desarrollo de los sistemas para comunicaciones inalámbricas en las últimas dos décadas ha favorecido la aparición de numerosas aplicaciones anteriormente imposibles. Apareciendo en la literatura diversas soluciones tecnológicas basadas en redes inalámbricas para la detección, monitorización y seguimiento de incendios forestales, como pueden ser sistemas basados en satélites, cámaras de infrarrojos, cámaras de tecnología inalámbrica y redes de sensores. Algunos de estos sistemas se aplican de forma única mientras que otros autores proponen el uso de estos sistemas junto con las estas técnicas de detección clásicas [2], aunque también pueden combinarse con sistemas más actuales como los que utilizan UAVs (*Unmanned Aerial Vehicle*) como los desarrollados en [3, 4]. Por otra parte, hay otros tipos de tecnologías, tales como sistemas GPS (*Global Positioning System*), que puede integrarse mejorando su rendimiento.

Hay un sistema importante para la detección de incendios forestales basado en imágenes de satélite:[5, 6]. Este sistema estudia las imágenes tomadas desde satélites. Sin embargo, las condiciones climáticas suponen un problema importante ya que las nubes y la lluvia absorben una parte del espectro de frecuencias y reducen la resolución espectral de las imágenes obtenidas por los satélites. Por tanto, el rendimiento del sistema varía mucho dependiendo de las condiciones climatológicas. Como contrapartida los satélites pueden monitorizar grandes extensiones de terreno a costa de una baja resolución de las imágenes de los satélites. Todo esto ocasiona que un incendio se detecta cuando ya ha crecido mucho, no es posible conseguir una detección de incendios en tiempo real. Además, estos sistemas resultan altamente costosos. Estas consideraciones se ven reflejadas en [7].

Otros sistemas basados en la observación por satélite de imágenes obtenidas por el *Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)*, como [8, 9]. Este sistema presenta varias ventajas: la operación automática, la calidad de los datos obtenidos, la rentabilidad de uso, y la respuesta rápida, aunque no se consigue el tiempo real.

Hoy en día, las redes inalámbricas de sensores se encuentran muy de moda y son ampliamente utilizadas para monitorizar y detectar incendios, además existe una extensa bibliografía al respecto. En [10] proponen el uso de esos sistemas en edificios con un elevado número de pisos, con una estructura de red por planta. Otra propuesta similar se explica en [11] donde se hace especial énfasis en la reducción del consumo. Por otra parte, en la misma línea de trabajo en [12] se propone un sistema de detección de incendios basado en la medida ambiental multiparámetro. Con esta última filosofía de medida multiparamétrica de las condiciones ambientales se trabaja en [1], donde se propone la utilización de este sistema en el ámbito de los incendios forestales.

Las redes inalámbricas de sensores pueden utilizarse en múltiples aplicaciones. En [13-15] se presentan y citan algunas de ellas, las cuales utilizan sistemas GSM/GPRS(*Global System for Mobile / General packet radio service*), sistemas de telefonía móvil, para construir la red, es decir, el dispositivo transmisor y que proporciona el mecanismo de comunicación para construir la red inalámbrica es el elemento que permite la comunicación vía red de telefonía, en lugar de utilizar dispositivos que cumplen el estándar IEEE 802.15.4 como se propone por ejemplo en [1].

En una línea de trabajo que también incluye la utilización de la tecnología GSM/GPRS se encuentre [16], aunque en este caso como sistema de apoyo de manera que no es el dispositivo telefónico el que se encarga de enviar la información obtenida por los sensores sino que en este caso los datos se envían al nodo coordinador conectado directamente a un PC con un servidor web que es donde se recogen los datos y se muestran gráficamente al usuario, mientras que el servicio de mensajes de

texto se usa para transmitir únicamente un mensaje de alarma. En este artículo se citan diferentes aplicaciones en las que actualmente se están utilizando las WSN.

Algunos autores proponen la utilización de tecnologías inalámbricas como las *Wireless Local Area Network* (WLAN) como plataforma de comunicaciones de la red, esto se propone en [17] pero este estándar de comunicaciones, que corresponde al IEEE 802.11b está concebido para el intercambio de información con elevadas tasas de datos, como pueden ser internet o las redes de locales de ordenadores. Sin embargo, el consumo en los dispositivos que manejan este estándar superior a los concebidos para las LR-WPAN, limitando considerablemente su vida operativa.

Otros autores proponen como alternativa al uso exclusivo de un único tipo de tecnología de comunicación como pueden ser las LR-WPA, las WLAN, GSM/GPRS o satélite [18], la combinación de varios de estos sistemas para mejorar la infraestructura y permitir una escalabilidad de la red elevada, además de la transmisión de datos a largas distancias.

En el presente trabajo, presentado en [19] se propone la combinación de una WSN con una topología de malla, cuya tecnología inalámbrica está basada en las LR-WPAN asociada al estándar de comunicación IEEE 802.15.4. La información generada por la citada red es recolectada por el nodo coordinador y transmitida a través de un dispositivo de comunicación GSM/GPRS a la estación base, formada por otro de estos elementos conectado directamente a un ordenador personal.

De esta manera, se evita la intervención de satélites [7-9, 18] y la inserción de un módulo GSM en cada nodo [13], abaratando los costes y consiguiendo al mismo tiempo la posibilidad de transmitir la información generada por la WSN a largas distancias y una detección de incendios en tiempo real, dejando a su vez la posibilidad de evolucionar el diseño a un sistema de comunicación que utilice una tecnología por satélite, como se justifica en [13], y a la diseño de una aplicación web a través del mismo sistema GSM/GPRS.

3. DESCRIPCIÓN DE LA RED OBJETIVO DEL PROYECTO.

La red inalámbrica sobre la que se va a realizar la implementación tiene una topología en malla, donde todos los dispositivos de la red son capaces de transmitir los mensajes de sus vecinos de manera que lleguen al nodo de destino dentro de la red, el coordinador, ver Fig. 1. El coordinador va a ser el mote sobre el que se va a insertar el módulo GSM/GPRS. Este será el encargado de recibir los datos de todos los nodos de la red y transmitirlos mediante la UART del microcontrolador al dispositivo de telefonía móvil, para que posteriormente el módulo envíe los datos a través de SMS (*Short Message Service*) al módulo Telit GM862 que se encuentra conectado al PC de control a través de un conversor USB-Serie.

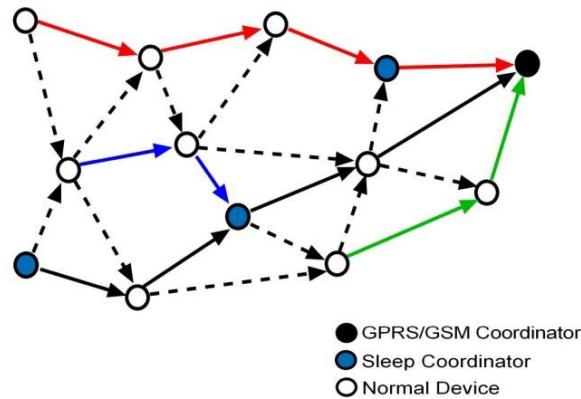


Fig. 1. Esquema de red mallada y comunicación de datos multisalto con el protocolo 802.15.4.

El microcontrolador ATmega1281 es el núcleo central de los nodos sensores, encargado de recoger los datos de los sensores y transmitírselos al transceptor, un XBeePro de Digi. En esta aplicación concreta el microcontrolador se encarga de recibir todos los datos a través de la UART conectada al transceptor, adecuar los datos al formato de la trama final que se va a enviar al SMS (Fig. 2), y posteriormente enviárselos al módulo Telit GM862.

POSITION SMS	TOTAL LENGTH	PARTIAL LENGTH	FRAME DATA1	PARTIAL LENGTH	FRAME DATA2		EOT
--------------	--------------	----------------	-------------	----------------	-------------	--	-----

Fig. 2. Formato de la trama de datos proveniente del módulo Telit GM862.

La WSN dedicada a la prevención de incendios forestales basa el sistema de detección en un método de medida multiparámetro similar a [12], aunque en nuestro caso aplicado a ambientes externos [1]. Para conseguir esto se realizan medidas de temperatura y humedad relativa en el interior del contenedor del nodo mediante un termistor NTC y un sensor resistivo H25K5A de Sencera, respectivamente; la temperatura externa y la presión barométrica se miden a través de un sensor digital Intersema MS5540B que proporciona ambas magnitudes; para la medida de la humedad relativa externa se utiliza un SHT11 de Sensirion. Por último, también se realizan medidas de luz con un fotodiodo Hamamatsu S8265 y la humedad de suelo utilizando una sonda Decagon EC-5, si bien estos dos últimos parámetros no se han utilizado durante las pruebas mostradas en el presente documento.

Además de los citados parámetros, una nueva versión del mote recibida recientemente (Fig. 3) incluye un reloj calendario (*real time clock* o RTC) PCF2123 que permitirá conocer el instante en el que se han efectuado las medidas. Es importante tener en cuenta que pueden existir retardos en la recepción de los SMS, lo que puede llevar a que si los datos de la red se envían en más de un mensaje, como ocurrirá en la mayoría de los casos, es posible que no se reciban en el orden en que

han sido enviados, y por otra parte, también puede darse el caso de que un mensaje que se ha sufrido uno de esos retardos, no llegue cuando le corresponde y llegue en envíos posteriores. Por todo esto se establecen dos mecanismos de comprobación, el primero consiste en enviar la posición en que cada SMS de una misma trama ha sido transmitido y la segunda la comprobación de la hora de envío de los datos. Actualmente la información temporal de la recepción de los datos se estima mediante el instante en el que el programa desarrollado en Matlab recibe las medidas.

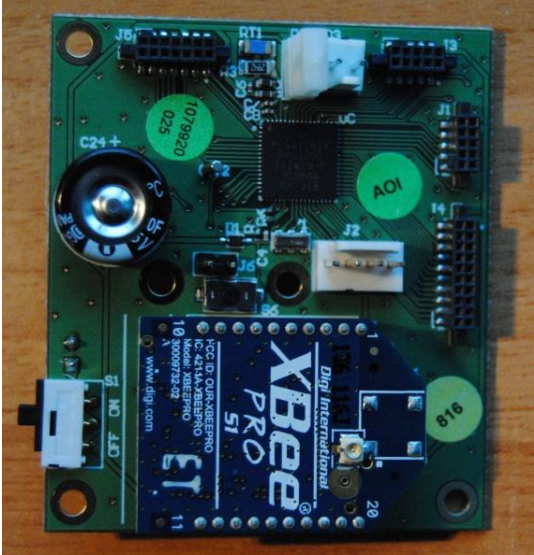


Fig. 3. Fotografía del último diseño de nodo sensor.

El nodo coordinador no sólo se encarga de transmitir los datos referentes a los sensores sino que también debe de reenviar a través del módulo GSM/GPRS la dirección a la que pertenecen las diferentes medidas de manera que al final pueda saberse a que nodo pertenece cada medida, permitiendo así conocer el lugar en que está produciendo el incendio y no se podrían evitar estas catástrofes naturales.

Como simplificación inicial y de manera que se cumplan los objetivos marcados al inicio del presente proyecto, el sistema de comunicación va a ser unidireccional (Fig. 4) dada la complejidad que presenta la posibilidad de poder controlar la WSN a través de los módulos de telefonía, y que excede el objetivo de este trabajo fin de máster. Por tanto, se deja como futura línea de trabajo y una posible mejora en la implementación del sistema.

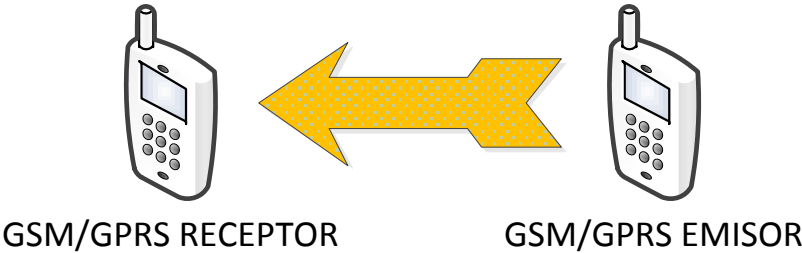


Fig. 4. Diagrama de sistema de gestión.

4. CONSIDERACIONES PREVIAS.

Existen diversas opciones para transmitir los datos desde una red inalámbrica localizada en una zona alejada de núcleos urbanos a un nodo concentrador, donde procesar toda la información, [16-18]. En este trabajo se ha escogido el empleo de SMS para transmitir los datos, debido a sus reducidos requisitos de infraestructura y comunicaciones. La elección de esta técnica implica, no obstante, una limitación en el máximo número de nodos y sensores que pueden conectarse en red, además de posibles retardos en la recepción de los mensajes, que son inherentes al uso de esta tecnología, y con los cuales hay que convivir.

4.1. Short Message Service como Sistema de Comunicación.

Algunos autores proponen la utilización de servicios Web como sistemas de gestión de datos en la red y únicamente el uso de la tecnología SMS para el envío de alertas [16]. Pero el uso de servicios de internet mediante telefonía móvil requiere más recursos de red que una tecnología SMS, por lo que estas aplicaciones se encuentran habitualmente próximas a poblaciones o dentro de las mismas.

La elección del uso de una tecnología SMS se toma debido a que todos los proveedores de telefonía móvil ofrecen este servicio sin ningún tipo de suscripción especial y utilizan menos recursos de la red que otros tipos de comunicación, incluso que las llamadas estándar. Además, basta sustituir el teléfono móvil por un teléfono por satélite para poder utilizar el mismo servicio en zonas sin infraestructura GSM/GPRS. Todo esto se ve igualmente justificado en [13].

Por otro lado, es necesario considerar que el proceso de envío de SMS se realiza en dos etapas: en la primera de ellas el usuario envía el mensaje al servidor, mientras que en la segunda el servidor envía un mensaje de disponibilidad al receptor, enviando entonces el SMS, lo que puede producir una demora en la recepción. Este hecho no es controlable por el usuario y es necesario implementar un sistema de apoyo, ya sea mediante redundancia, petición de reenvío (puesto que se conocen las horas exactas de recepción) u otros métodos que deberán ser estudiados. Por tanto, en ambientes donde las condiciones de red son críticas deben utilizarse sistemas de apoyo que permitan paliar los efectos en los fallos de la red telefónica, dado que no se pueden controlar ni eliminar. También se pueden utilizar diferentes técnicas combinadas de detección de forma complementaria para asegurar el éxito del sistema, como se presenta en [2, 17].

4.2. Estimación del Número Máximo de Nodos de Red

Teóricamente el número de nodos que pueden formar una WSN puede ser de incluso miles de estos dispositivos, pero la implementación de una red con un elevado número de nodos que transmiten la información recogida por los sensores a un único nodo coordinador conlleva retardos en la recepción de mensajes, un mayor consumo energético de los nodos próximo al coordinador, que si un nodo intermedio deja de transmitir se pierda la información de la red, que si es el nodo coordinador el que se deteriora se pierde la información de toda la red, ... Por ello es más eficiente desplegar diferentes redes de manera que se combinen y complementen, de forma que en determinadas circunstancias puedan interactuar y apoyarse. Por ello, se considera que las dimensiones adecuadas para una WSN de estas características deben encontrarse en torno a 100 o 200 nodos.

El transceptor utilizado en los nodos de la Fig. 15 (a) es un XBee capaz de enviar hasta 100 bytes por transmisión, entre los que se incluyen todos los parámetros necesarios para construir el *frame API* (*Application Programming Interface*), que incluye el conjunto de datos de programación, configuración y uso del XBee y que está constituido por un byte de cabecera, un identificador API que

determina el tipo de instrucción, la dirección del dispositivo, etc. Si suponemos un número máximo de 16 sensores por cada mote y que sus datos en formato digital se representan mediante 2 bytes, se obtiene una longitud total de los datos proveniente de los sensores de 32 bytes por mote. A esto se le debe añadir la información correspondiente al reloj calendario PCF2123, que ocupa 7 bytes.

Con estos datos, la dirección del nodo y algún otro parámetro necesario para el posterior procesamiento de los datos, podemos aproximar que la información enviada de cada mote es de unos 50 bytes.

El microcontrolador ATmega1281, empleado para gestionar los recursos de los nodos sensores de la red utilizada en este trabajo, dispone de 8 KB de memoria RAM. De ellos, el nodo coordinador reserva 6.5KB para la transmisión de los datos que recibe, de manera que en este espacio se puede apilar la información correspondiente a 130 motes, considerando el peor caso, es decir, suponiendo que todos los motes tienen conectados todos los sensores, circunstancia que no se producirá de forma habitual.

Por otra parte, considerando las dos posibilidades de transmisión de SMS que permite el módulo GSM, el envío directo (comando AT+CMGS="Nº Teléfono") o el envío desde los datos almacenados en la memoria (comandos AT+CMGW="Nº Teléfono" para la escritura en memoria y AT+CMSS="Nº Posición del SMS en la Memoria" para el envío), cabe determinar en el segundo caso cual es el número máximo de motes cuyos datos podrían almacenarse en la memoria del módulo.

De forma experimental se ha comprobado que el módulo GM862 puede almacenar hasta 40 SMS y que el número máximo de bytes que se pueden transmitir en cada uno de ellos es de 152 (en teoría 160), lo que supone que en cada mensaje se pueden enviar los datos de tres de los nodos.

El módulo GM862 no interpreta correctamente todos los caracteres Unicode, por lo que se hace necesario codificar los datos de manera que puedan escribirse en la memoria o enviarse sin que esto cause problemas y sin que haya pérdidas de información. Para ello se codifican los bytes de datos en los caracteres que los representarían en formato hexadecimal, por ejemplo el valor 126 en hexadecimal se representa por 0x7E, de manera que los valores enviados al SMS es el código ASCII correspondiente al '7' y a la 'E'. Esto conlleva que por cada byte de información codificado en hexadecimal se transmiten dos bytes. Esta es la manera menos costosa y más sencilla que se ha encontrado para transmitir las medidas ambientales sin pérdidas de información. Por tanto, se concluye que almacenando los SMS en memoria antes de la transmisión se puede enviar información de 60 nodos. De la misma manera, si se utiliza un sistema de envío directo de SMS, para una red formada por 120 motes es necesario el envío de hasta 80 mensajes, si bien el número de los mismos será generalmente inferior, ya que no todos los nodos dispondrán de los mismos sensores y normalmente no todos los nodos tendrán todos los sensores.

Dado que la implementación del software en el microcontrolador resulta más sencilla. En este trabajo se ha escogido el envío directo de los SMS mediante el comando AT+CMGS="Nº Teléfono".

5. ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL CONSUMO DEL MÓDULO GSM/GPRS.

Dado el elevado consumo relativo de los módulos GSM/GPRS es interesante realizar un estudio que permita estimar su consumo durante las transmisiones de los datos para poder determinar si resulta energéticamente más eficiente apagar el módulo entre transmisiones o utilizar el modo de bajo consumo o espera del que dispone el módulo GM862. Para ello se han efectuado una serie de medidas que permiten estimar el consumo en este proceso y que se encuentran detalladas en el anexo adjunto, mostrándose aquí los resultados y medidas más relevantes.

El consumo del módulo GSM/GPRS presenta picos de corriente elevados, de duración muy corta y muy repetitivos (Fig. 5). Además, tanto la amplitud, la duración, como el número de repeticiones de los mismos dependen de la operación que esté realizando el dispositivo. Para realizar una estimación aproximada del consumo en un ciclo de transmisión de un SMS con todos sus bytes completos, se utiliza el consumo promedio en los diferentes estados y operaciones que realiza el módulo desde que se enciende hasta que envía el SMS y se apaga.

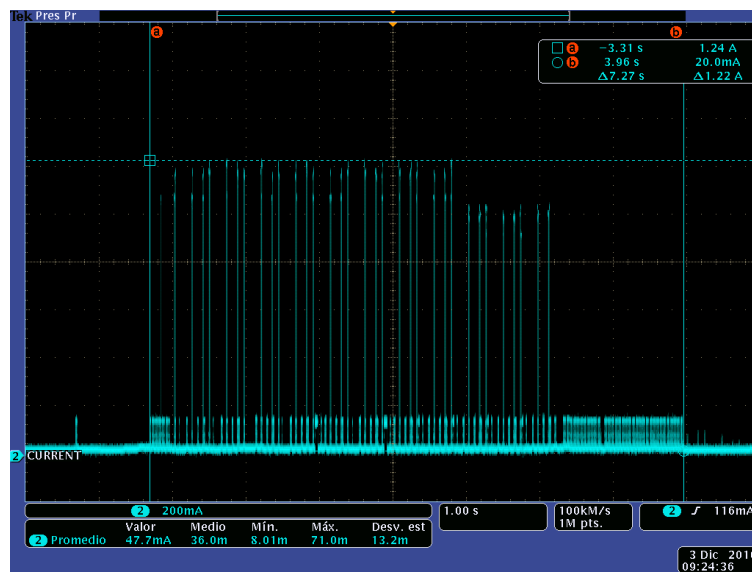


Fig. 5. Consumo instantáneo del módulo GSM en el proceso de envío de un SMS.

El GM862 permite un modo de bajo consumo en el que puede recibir SMS y llamadas, aunque para poder realizar una comunicación serie con el mismo es necesario sacarlo de este estado. Aunque los estados de bajo consumo suelen ser muy relevantes en aplicaciones de WSN, en este caso se ha escogido la opción de apagar el módulo, en lugar de llevarlo a un modo de baja energía, pues el consumo que supone el encendido del GM862 y la conexión a la red de telefonía móvil respecto al consumo de aquel en estado de espera (*stand by*) es mucho menor, siendo esto así porque los tiempos entre los envíos de datos van a ser relativamente elevados. Por otro lado, en el receptor no es necesario un bajo consumo puesto que ese módulo, conectado al PC de recepción de datos, se encontrará conectado a la red eléctrica.

En la Fig. 6 se puede ver la evolución del consumo durante los diferentes estados:

- Estado A: este estado coincide con el sistema apagado, antes de que se inicie el proceso de envío de datos y tras la realización del mismo.
- Estado B: corresponde al proceso de encendido. Para activarse el módulo necesita un pulso en el nivel alto de alimentación con una duración superior a 2 s. El tiempo total que dura el proceso de encendido es de 9 s y su consumo aproximado de 50 mA.

- Estados C: corresponden a estados de espera a reconocimiento de comandos o al envío de diferentes comandos necesarios para la configuración del módulo. Durante estos periodos, nunca superiores a dos segundos, el consumo es de 25 mA aproximadamente, igual que el consumo del dispositivo en estado de reposo.
- Estado D: incluye el envío del comando AT+CPIN (introducción del código PIN de la tarjeta SIM) y la conexión a la red telefónica del dispositivo. Este estado tiene una duración de 24 s durante los cuales el consumo del módulo GSM/GPRS es de 65 mA.
- Estado E: corresponde al envío del SMS, tanto al envío del microcontrolador al módulo como del módulo al sistema receptor. En este caso se muestra la transmisión de un único SMS completo, de modo que si se escribe en el dispositivo un mensaje con una longitud mayor a la máxima permitida, se subdivide automáticamente en el número de mensajes que sea necesario para enviar toda la información y se envían de manera consecutiva, de modo que la duración de la transmisión variará. Su consumo estimado se encuentra en 50 mA durante 7 s para un SMS de 152 bytes, es decir, un único mensaje completo.
- Estado F: correspondiente al apagado del dispositivo tras la puesta en nivel alto durante más de 2 s del pin ON del GSM/GPRS. El incremento del consumo es debido a que el módulo Telit GM862 envía una notificación a la red de telefonía indicando su desconexión de la misma. Su duración es de 4 s y su consumo de 37 mA.

Se puede concluir que para la red implementada enviando un único SMS con un tiempo de envío entre mensajes de 15 minutos y alimentando el sistema mediante unas baterías de 2000 mAh el módulo tendría una autonomía superior a un mes en caso de fallo del sistema de alimentación mediante paneles solares.

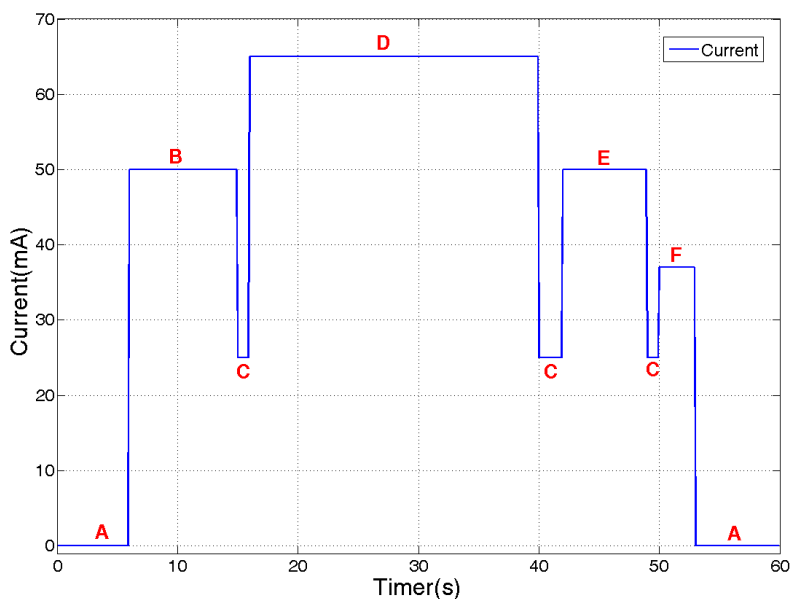


Fig. 6. Estimación del consumo medio.

6. DISEÑO DEL SISTEMA RECEPTOR GSM/GPRS.

El sistema receptor está constituido por un módulo GSM/GPRS Telit GM862, un conversor USB-Serie FTDI FT232, una fuente de alimentación diseñada específicamente para esta aplicación y un ordenador personal que recibirá la información para su procesamiento y presentación. El PC dispone de Matlab, así como de una interfaz gráfica desarrollada mediante el entorno de desarrollo de interfaces gráficas para usuario de Matlab, GUIDE (*Graphics User Interface Design Environment*). Partiendo de este programa desarrollado en Matlab se puede obtener un ejecutable independiente que permita portar la aplicación a cualquier PC sin la necesidad de que tenga instalado Matlab. La Fig. 7 se muestra el diagrama de bloques del sistema receptor.

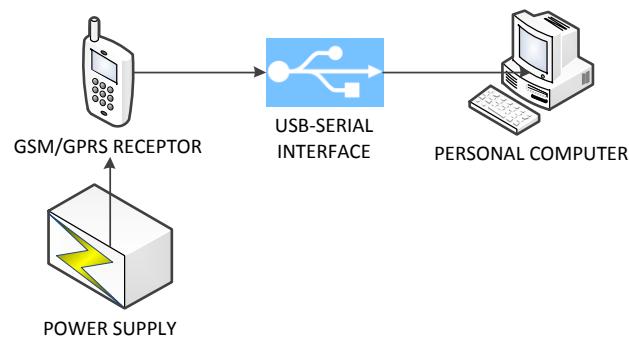


Fig. 7. Diagrama de bloques del sistema receptor.

En una fase inicial del desarrollo se consideró la posibilidad de utilizar no sólo el puerto serie como comunicación mediante sus líneas RxD y TxD, sino también utilizar las líneas de control de este puerto para reducir el consumo, dado que el módulo GM862 posee un modo de trabajo en bajo consumo que se controla a través de los propios pines de control de la UART. Esta configuración fue probada y es un buen sistema para la reducción del consumo si el envío o la recepción de datos se va a realizar en intervalos de tiempo relativamente breves (ver anexos), como se ha visto en el análisis del consumo. El problema reside en que dificulta el control del puerto serie a través de Matlab. Además, si se pretende que el sistema sea *plug & play* es recomendable el uso de una conexión USB, lo que implica la inclusión de un microcontrolador en el diseño al utilizar este método de optimización energética. Por estos motivos y dado que el sistema va a estar permanentemente conectado a la red de distribución, por lo que el consumo de energía no es un problema crítico, se opta por no utilizar el modo de espera del dispositivo de telefonía móvil.

Para resolver el diseño del sistema receptor se va a tratar por un lado la parte correspondiente al módulo GSM y la interfaz de comunicación con el ordenador; por otro, su fuente de alimentación y, por último, la implementación de la aplicación software.

6.1. Diseño del Hardware.

La implementación del hardware del dispositivo receptor se ha realizado siguiendo las especificaciones del fabricante de los dos elementos principales, el conversor USB-Serie y el módulo de telefonía móvil.

El diseño indicado por el fabricante de la conexión del conversor USB-Serie puede verse en [20]. Las recomendaciones presentadas en este documento se han adaptado a las necesidades de nuestro sistema, incluyendo un divisor resistivo en la conexión entre el TxD del USB y el TxD del módulo GSM para adaptar el nivel lógico a la entrada del dispositivo GSM que es de 2.8 V. Puede resultar extraña la conexión TxD a TxD, puesto que lo habitual es conectar TxD con RxD, pero el fabricante del GM862

cambia la nomenclatura en las hojas de características de su dispositivo [21]. También se han añadido dos diodos LED para tener una indicación visual de la comunicación en ambas direcciones del módulo GSM y el ordenador. El circuito resultante se muestra en la Fig. 8.

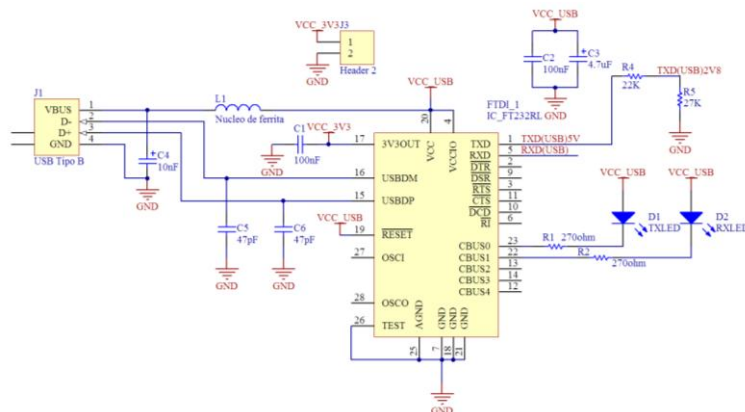


Fig. 8. Esquema de conexión del USB con el módulo GSM.

Por otro lado, se tiene el elemento principal del sistema de comunicación, el módulo GSM. Las conexiones realizadas con este dispositivo son las mínimas necesarias para satisfacer sus requisitos de funcionamiento y para cumplir las necesidades de la aplicación.

Para encender el dispositivo es necesario un pulso de dos segundos de duración, de la misma manera ocurre para apagarlo y también con la señal de *reset*, por lo que se han colocado sendos pulsadores. El fabricante del GM862 no recomienda el uso del *reset* salvo en circunstancias de pérdida de control del sistema, puesto que cuando se utiliza el dispositivo no envía una señal de desenganche a la red de telefonía. Otro requisito importante es la colocación de un diodo en polarización inversa en la entrada de la alimentación para evitar inversiones de polaridad en la misma. Tanto esto, como el resto de requerimientos, vienen indicados en las hojas de características del módulo [21]. El esquema del circuito del módulo y su conexión con el USB se puede observar en la Fig. 9.

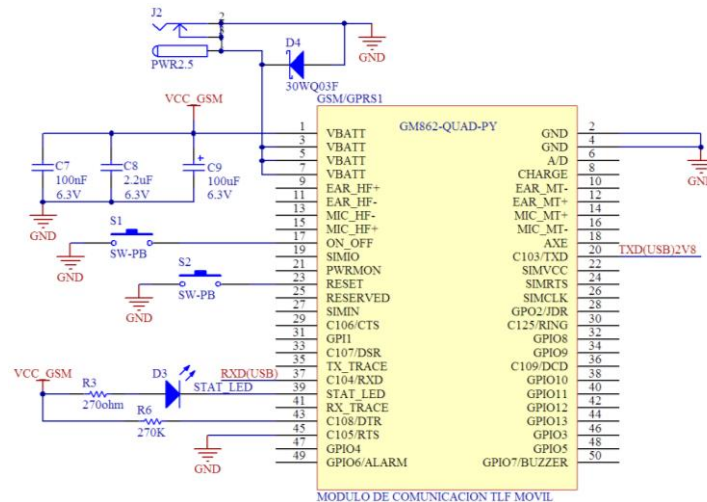


Fig. 9. Esquema de conexión del módulo GSM con el USB.

El sistema completo, obtenido de la conexión de los módulos presentados en las Fig. 8 y Fig. 9 se puede ver en la Fig. 10.

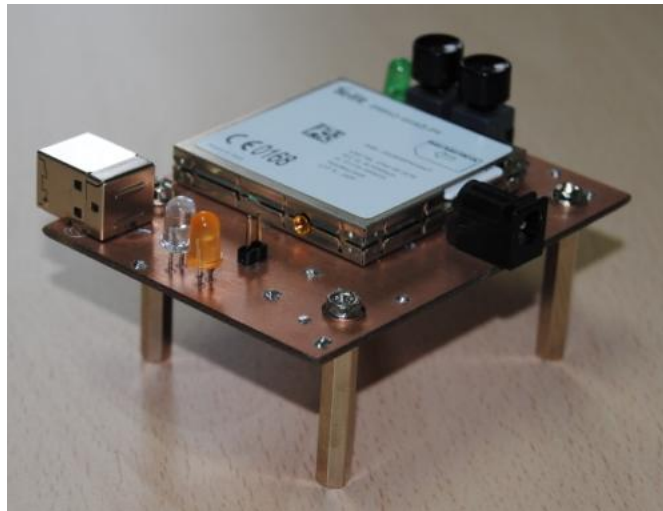


Fig. 10. Fotografía del dispositivo receptor.

6.2. Fuente de Alimentación del Receptor.

Para el diseño de la fuente de alimentación se han tenido en cuenta las recomendaciones del fabricante del módulo GM862 atendiendo a los requerimientos del dispositivo, cuya tensión de alimentación debe encontrarse en el rango 3.4 V-4.2 V. La tensión de ahí escogida es de 3.8 V, valor nominal indicado por el fabricante. Respecto al requerimiento de corriente, la fuente debe ser capaz de suministrar picos de hasta 2 A.

En esta aplicación concreta, en la que no hay interfaz de audio, la existencia de ruido no es preocupante, siempre y cuando el funcionamiento del sistema sea el adecuado. Además, es necesario evitar la inversión de polaridad de la alimentación por lo que el fabricante recomienda la inserción de un diodo con este propósito. Esta información y otra relevante para diferentes diseños de fuentes de alimentación dependiendo del sistema del sistema de suministro de energía (conectado a red o a través de baterías) se encuentra en [21].

El sistema de recepción se encuentra conectado a la red eléctrica de distribución por lo que es necesario transformar sus 220 V-230 V RMS de alterna, en 3.8 V de continua. La adaptación de tensión se ha realizado mediante una fuente de alimentación RAC10-05SB de Recom Power Inc., cuya hoja de características [22] indica que puede trabajar con un rango de tensiones de entrada de entre 90 V-264 V AC, obteniendo una tensión de salida de 5 V DC y 2 A de corriente máxima. De esta manera, se consigue simplificar el diseño para la obtención de los 3.8 V y además se evita que la tensión de trabajo sea considerada como peligrosa por la directiva de seguridad eléctrica y la norma UNE-EN60950.

A partir de la tensión de 5 V por medio del regulador conmutado de tensión ajustable LM2596S-ADJ se obtienen los 3.8 V siguiendo, únicamente las especificaciones de sus hojas de características, [23].

En la Fig. 11 se muestra el esquema de la fuente de alimentación y en la Fig. 12 la imagen de primer prototipo de la fuente.

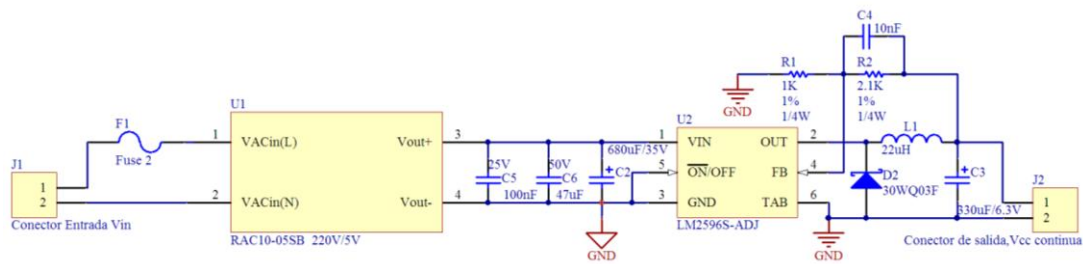


Fig. 11. Esquema de la fuente de alimentación.

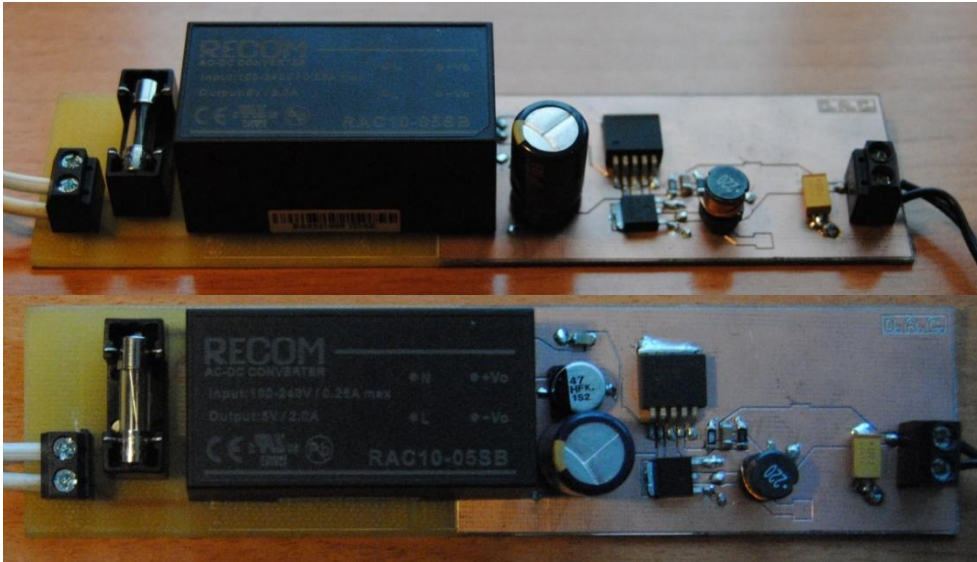


Fig. 12. Fotografías del primer prototipo de la fuente de alimentación.

En futuras evoluciones de la implementación, se procederá a reducir el tamaño para que pueda introducirse en un contenedor junto con el módulo GSM/GPRS.

6.3. Diseño del Software.

El diseño del software que gestiona la WSN plantea la necesidad de disponer de un entorno gráfico que recoja los datos de los diferentes sensores y que permita configurar distintos parámetros de la red y opciones de guardado de datos. Además, se requiere que la aplicación resulte de fácil manejo para el usuario.

Las consideraciones a tener en cuenta son las siguientes: La aplicación debe ser capaz de interpretar los datos enviados a través de red identificando a qué nodo pertenecen; cabe destacar que el módulo GSM introduce muchos bytes de información que no resultan relevantes y que no son ni parámetros ni datos de la red, sino que son parte de la estructura de comunicación de mensajes que tiene el dispositivo y el programa debe ser capaz de discriminar qué datos son válidos y cuáles no. Por otra parte, debe considerarse que el sistema va a recibir datos en intervalos de tiempo determinados, por lo que el programa desarrollado en Matlab debe comprobar si se ha recibido la información en el instante correspondiente, ya que se conoce previamente de manera aproximada, ya que el ciclo de sueño de la red inalámbrica es fijo y puede ser introducido en la aplicación informática por el usuario.

Para el tratamiento de datos, se ha adaptado el código desarrollado por otros miembros del GDE para proyectos anteriores en los que el sistema receptor está formado directamente por uno de los motes que trabaja como coordinador o por un transceptor XBee directamente conectado a un ordenador personal a través de un conversor USB-Serie. Por ello, no es necesario desarrollar de

nuevo el software que obtenga los valores reales de la información recogida por los sensores a partir del formato en que estos la proporcionan, aunque sí es necesario adaptar el código para extraer los datos de la trama del GM862 por la manera en la que este los transfiere al PC en su comunicación serie. En la Fig. 13 se muestra el aspecto gráfico de la aplicación.

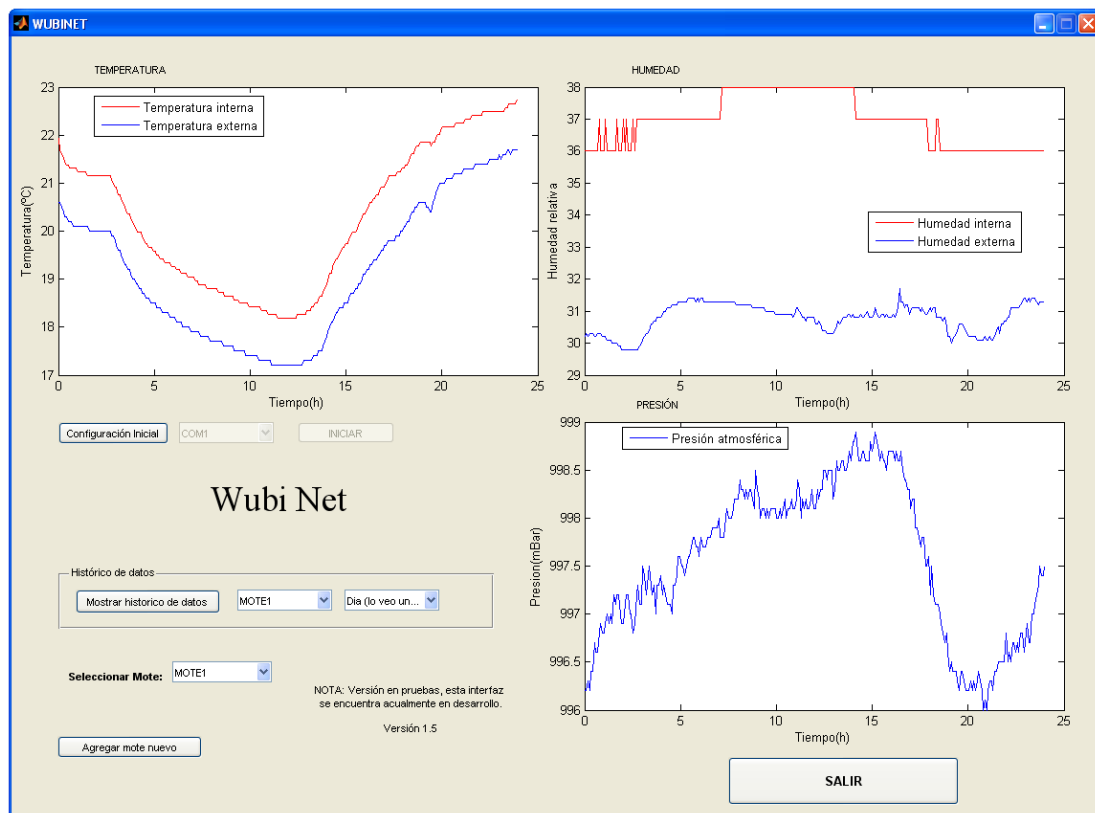


Fig. 13. Imagen del entorno gráfico de recepción en el PC.

7. DISEÑO DEL SISTEMA EMISOR.

El sistema emisor está constituido por dos grandes bloques, el de alimentación y el de comunicaciones. El primero, el de alimentación, está formado por una batería de polímero de litio, que se encarga de alimentar al módulo GM862 de forma directa; y por un sistema construido por una fuente de alimentación con una topología SEPIC, TPS61131 de Texas Instruments, que se encarga de alimentar al mote proporcionando una tensión regulada del valor adecuado. El segundo bloque lo forman el nodo sensor cuyo rol en la red inalámbrica es el de coordinador y por tanto se encarga de recibir los mensajes que envían los demás dispositivos que conforman la red. En próximos diseños y desarrollos se pretende que este nodo también sea capaz de llevar a cabo medidas ambientales, si bien en el diseño actual resulta excesivamente complejo a nivel de hardware debido a que el diseño del mote no está pensado inicialmente para soportar esta aplicación. Finalmente, el módulo de telefonía móvil que debe comunicarse con el microcontrolador del mote a través de la UART. En la Fig. 14 se muestra el diagrama de bloques del sistema aquí descrito.

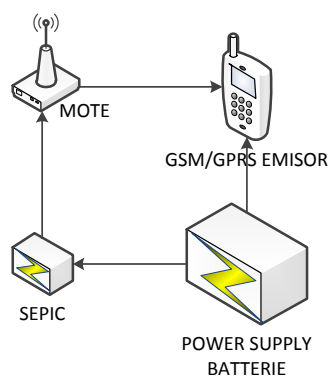


Fig. 14. Diagrama de bloques del sistema emisor.

7.1. Diseño del Hardware.

El diseño del hardware receptor se ha implementado específicamente para el mote desarrollado por el GDE, siendo requisito indispensable que el sistema emisor se ajuste y adapte perfectamente a dicho dispositivo. En la Fig. 15 (a) se muestra el nodo sensor al cual debe adaptarse el diseño desarrollado en este trabajo.

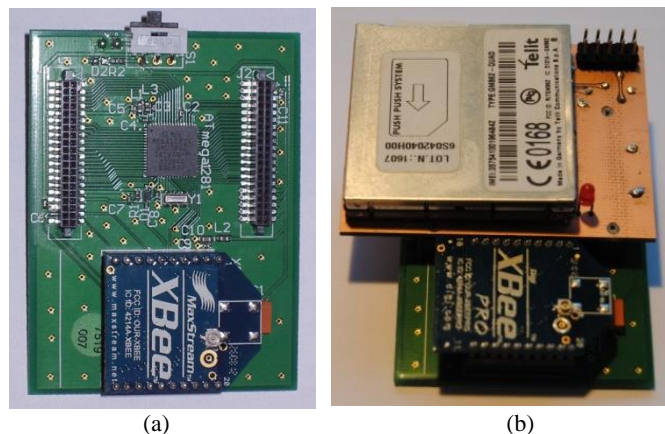


Fig. 15. (a) Nodo sensor con el transceptor en la parte inferior. (b) Nodo coordinador con el módulo GSM.

Considerando las necesidades de alimentación que tiene el nodo coordinador al que se va a acoplar el GSM, no es suficiente la utilización de un sistema de baterías para que su periodo de operación se

encuentre entre uno y dos años, por lo que resulta indispensable el uso de un sistema de carga de baterías mediante células solares. Este sistema de alimentación se deja para futuros proyectos pues excede el propósito del presente trabajo. Por tanto, la alimentación se obtiene de las baterías de polímero de litio que proporcionan una tensión de 3.7 V, como se puede ver en el diagrama de bloques de la Fig. 14, mientras que el mote se alimentará a través de la etapa SEPIC. De esta manera se consigue un sistema de alimentación único.

El dispositivo emisor se encuentra conectado al mote coordinador de la red formando un único bloque, como se puede ver en la Fig. 15 (b). La conexión se ha realizado de acuerdo a las especificaciones del fabricante, siendo el microcontrolador el encargado de iniciar el encendido del módulo GSM/GPRS. También se ha implementado la posibilidad del realizar un *reset* del módulo para casos en los que no responda el sistema, si bien como se comentó previamente, se desaconseja la realización de *reset* puesto que el GM862 no envía la señal de desconexión a la red telefónica.

A diferencia de la línea de recepción de la UART del módulo GSM, que necesita una adaptación del nivel lógico, la línea de emisión (recepción para el microcontrolador) no requiere ningún tipo de adaptación puesto que este es capaz de interpretar de forma adecuada la señal de 2.8 V.

En la Fig. 16 se muestra la cara *top* (a) y la cara *bottom* (b) correspondientes a la PCB (*Print Board Circuit*) sobre la que se monta el módulo GM862 para su conexión al nodo sensor.

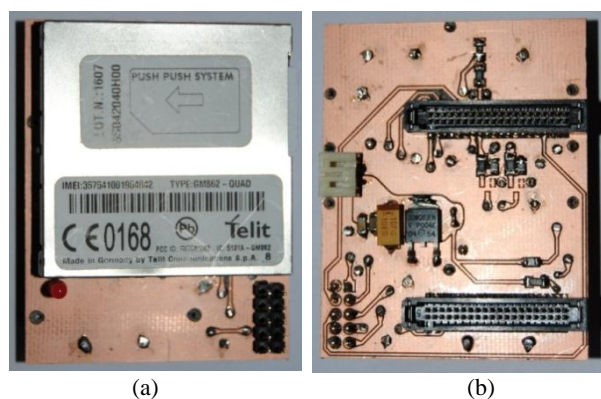


Fig. 16. Placa de circuito impreso del módulo GM862 para la conexión al mote, cara *top* (a) y cara *bottom* (b).

7.2. Diseño del Software.

El software desarrollado para esta aplicación debe integrarse en el ya existente en el WSN diseñada por el GDE, de manera que puedan funcionar tanto la programación específica implementada para este trabajo como la ya existente desarrollada para la recepción por un nodo coordinador conectado a un PC o un transceptor XBee conectado directamente al PC a través de un convertor USB-Serie.

Para poder gestionar la comunicación entre el microcontrolador y el módulo GSM/GPRS es necesario implementar una máquina de estados finitos (MEF) que controle el paso por los diferentes estados, desde que se envía el pulso de 2 s para el encendido del dispositivo de telefonía móvil hasta que se envía el mismo pulso para el apagado. La MEF se implementa porque existe la necesidad de un mecanismo que supervise la correcta transmisión de los comandos AT, de manera que hasta que el GM862 no envíe una confirmación de que el comando se ha procesado correctamente la MEF no evoluciona al estado siguiente. La MEF implementada puede verse en la Fig. 17.

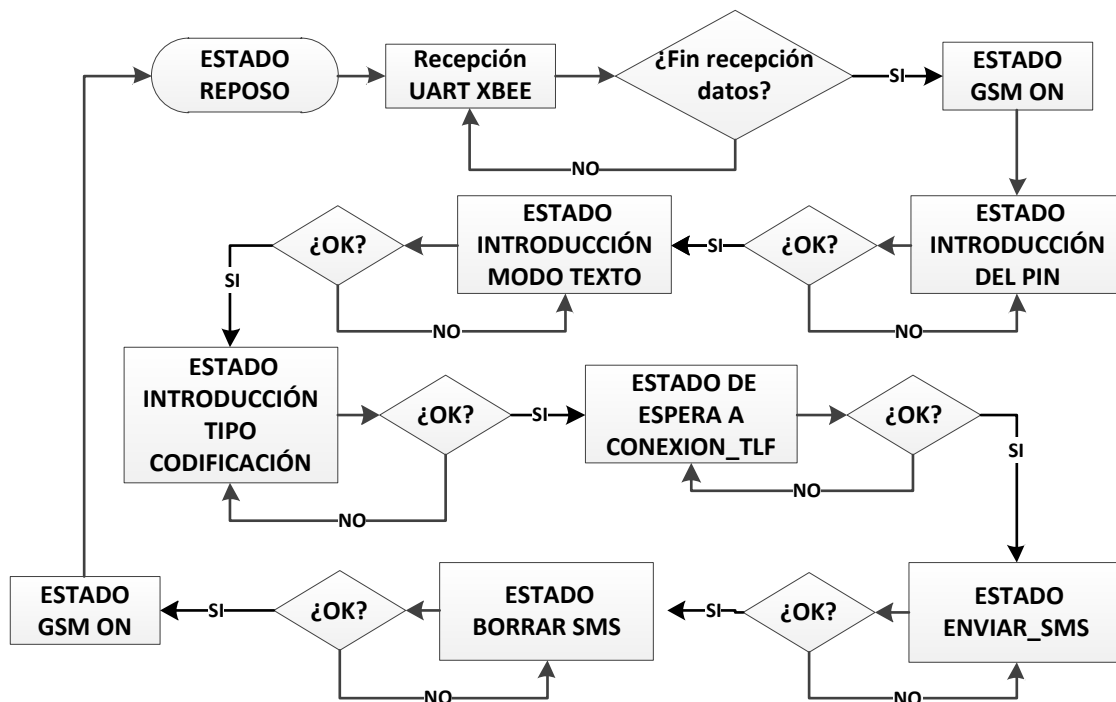


Fig. 17. MEF que controla en envío correcto de datos.

En paralelo con este mecanismo de control existe un temporizador que hace las veces de *timeout*, de manera que si se envía un comando y el dispositivo GSM/GPRS no responde en un determinado tiempo el sistema vuelve al punto inicial del estado, repitiéndose el envío del comando. Este tiempo debe ser lo suficientemente elevado para evitar la pérdida de una posible respuesta de confirmación de procesado del comando correcto, puesto que en ese caso en el siguiente envío de comando el sistema podría responder de manera no deseada y perderse el control. Tras las diferentes pruebas realizadas durante el desarrollo se estima que dicho tiempo debe encontrarse entre 1 y 2 s.

Tras las diferentes pruebas realizadas se ha comprobado de manera experimental que el tiempo que tarda el sistema en recorrer la máquina de estados completamente está en torno a 45 s, lo que ocasiona que en aplicaciones en las que el ciclo de sueño de la red sea bajo es indispensable la utilización del método de bajo consumo del módulo de telefonía móvil, al resultar más eficiente que el procedimiento de encendido y apagado del módulo.

El microcontrolador controla y supervisa la evolución de los estados de la MEF, y se encarga de recibir los datos de la red inalámbrica, procesarlos de manera que únicamente se almacenen en memoria los datos que relevantes para el envío, optimizando así la transmisión de mensajes cortos.

Dado que el módulo GSM/GPRS no es capaz de procesar ni reenviar todos los caracteres ASCII, para el envío de datos por SMS ha sido necesario su codificación de manera que pudieran ser escritos y enviados en un mensaje de texto. Para ello se ha implementado una función que partiendo de un valor de 8 bits devuelve los dos caracteres hexadecimales correspondientes al primer y segundo nivel del byte. El motivo de realizarlo de esta manera es que los caracteres ASCII que es capaz de interpretar el GM862 es muy limitado y no consecutivo, por ello se escoge esta solución, a pesar de ser necesarios el doble de bytes para enviar la información pertinente.

8. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS.

En este trabajo se ha presentado el desarrollo de un sistema completo de gestión de datos provenientes de una red inalámbrica de sensores mediante el empleo de un módulo GSM/GPRS para la transmisión de las medidas de los sensores por SMS a un dispositivo receptor, consistente en un PC que gestiona, procesa y representa el conjunto de datos.

La realización de una WSN con tecnología IEEE 802.15.4 aislada de núcleos de población comunicándola mediante un único módulo GSM/GPRS con la central de control, presenta una alternativa a las propuestas de otros autores [14-16, 24] que utilizan un módulo GSM/GPRS por cada nodo sensor. La alternativa aquí propuesta emplea un protocolo de comunicaciones local, de bajo consumo, que facilita su operación mediante baterías de tamaño y prestaciones reducidas, reduciendo a tan sólo a uno el nodo sensor con módulo GSM (el nodo coordinador), reduciendo a su vez el coste de la instalación, y limitando la necesidad de sistemas de carga de batería (células solares, por ejemplo) únicamente a ese mote.

El sistema se ha probado con una pequeña red inalámbrica distribuida por el Área de Electrónica en la Facultad de Ciencias, la red estaba formada por cinco nodos sensores y un coordinador con un GM862. La red ha funcionado correctamente, sin que existan diferencias respecto a la WSN testeada en trabajos anteriores en la que el nodo coordinador estaba directamente conectado al PC, salvando las que implica el uso del módulo GM862. El sistema permite que se escale una vez implantada la red, es decir, se pueden agregar nuevos nodos a una WSN que ya se encuentra operando en un área determinada. De manera, que permite ser instalada y aumentada de manera progresiva, y a su vez realizar la inversión económica distribuida en el tiempo.

La utilización de la tecnología SMS para la transmisión de los datos permite un acercamiento sencillo al uso del módulo GM862. En el futuro, se utilizarán las bases sentadas en la realización del presente trabajo para desarrollar un sistema que permita la gestión de los datos a través de internet para redes que se encuentre dentro de núcleos de población o muy próximas a los mismos. De este modo, desde cualquier parte del mundo, con el nivel de requerimientos de red suficientes, puede ser posible consultar los datos a través de un PC o un teléfono móvil con conexión a Internet.

El último paso en la evolución de este sistema de gestión de datos sería realizar la comunicación mediante una tecnología de comunicación por satélite, de manera que no resultase tan costoso como la utilización de satélites militares o satélites de observación de la NASA en aplicaciones como la prevención de incendios forestales [6, 25], consiguiendo el aislamiento total de cualquier núcleo de población con un coste menor.

Por otra parte, se diseñará un sistema de electrónica de potencia que permitirá la carga de las baterías que alimentan al nodo coordinador mediante placas solares.

También se propone la inclusión de un pequeño microcontrolador que gestione el modo de bajo consumo en el dispositivo receptor de manera que resulte sencillo su control, sin la necesidad de tener que aumentar la complejidad en el desarrollo del programa que se encuentra en el PC de tratamiento de datos.

Por último se adaptará el presente trabajo aquí realizado al último diseño del nodo sensor recibido recientemente, el cual se puede observar en la Fig. 3. Implementando ya en este caso la posibilidad de utilizar el modo de bajo consumo del módulo GM862 para reducir los requerimientos energéticos

del sistema, dado que experimentalmente se ha comprobado que el tiempo que tarda el dispositivo en recorrer toda la MEF descrita en Fig. 17 es de 45 s y para tiempos de transmisión cortos apagar el módulo de telefonía puede resultar una solución poco adecuada.

Este trabajo se ha presentado en el Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación (SAAEI 2011) y se encuentra pendiente de aceptación en el IEEE Sensors Conference.

9. REFERENCIAS.

1. A.Bayo, D.A., N.Medrano, B.Calvo, S.Celma, *Development of a Wireless Sensor Network System for Early Forest Fire Detection*, in *RFID Systech*. 2010: Ciudad Real.
2. Junguo, Z., et al. *Forest fire detection system based on wireless sensor network*. in *Industrial Electronics and Applications, 2009. ICIEA 2009. 4th IEEE Conference on*. 2009.
3. Merino, L., et al. *Cooperative Fire Detection using Unmanned Aerial Vehicles*. in *Robotics and Automation, 2005. ICRA 2005. Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on*. 2005.
4. Merino, L., et al., *Vision-based multi-UAV position estimation*. *Robotics & Automation Magazine, IEEE*, 2006. **13**(3): p. 53-62.
5. <http://modis.gsfc.nasa.gov>. *MODIS Web Page*. [acceso 30 Mayo 2011].
6. Qiuwen, Z. and W. Cheng. *Application of MODIS remotely sensed datasets to automatic detection of forest fire point*. in *Information and Automation, 2008. ICIA 2008. International Conference on*. 2008.
7. Laneve, G., M.M. Castronuovo, and E.G. Cadau, *Continuous Monitoring of Forest Fires in the Mediterranean Area Using MSG*. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 2006. **44**(10): p. 2761-2768.
8. Li, Z.N., S.; Cihlar, J., *Satellite-based detection of Canadian boreal forest fires: development and application of the algorithm*. *J. Int. J. Remote Sens.*, 2000. **21**: p. 3057–3069.
9. Zhanqing, L., et al., *Automatic detection of fire smoke using artificial neural networks and threshold approaches applied to AVHRR imagery*. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 2001. **39**(9): p. 1859-1870.
10. Lei Zhang, a.G.W. *Design and Implementation of Automatic Fire Alarm System based on Wireless Sensor Network*. in *International Symposium on Information Processing (ISIP'09)*. 2009. Huangshan, P.R. China.
11. Hu, H., et al. *Design a Low Power Wireless Fire Detector Based on CC430*. in *Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA), 2010 International Conference on*. 2010.
12. Liu, S., D. Tu, and Y. Zhang. *Multiparameter fire detection based on wireless sensor network*. in *Intelligent Computing and Intelligent Systems, 2009. ICIS 2009. IEEE International Conference on*. 2009.
13. Flammini, A., et al., *Environmental Telemonitoring: A Flexible GSM-DECT-Based Solution*. *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on*, 2007. **56**(5): p. 1688-1693.
14. Freiburger, T.V., S.S. Sarvestani, and E. Atekwana. *Hydrological Monitoring with Hybrid Sensor Networks*. in *Sensor Technologies and Applications, 2007. SensorComm 2007. International Conference on*. 2007.
15. Haipeng, W., et al. *Data acquisition in distribution system with the GSM network*. in *Power System Technology, 2002. Proceedings. PowerCon 2002. International Conference on*. 2002.
16. Jaehun Joo, J.Y., Choong-Ki Lee, *Protecting cultural heritage tourism sites with the ubiquitous sensor network*. *Sustainable Tourism*, 2009. **17**: p. 10.
17. J. Lloret, M.G., D. Bri and S. Sendra, *A Wireless Sensor Network Deployment for Rural and Forest Fire Detection and Verification Sensors*, 2009. **9**.
18. Liolis, K., et al. *An automated fire detection and alerting application based on satellite and wireless communications*. in *Advanced satellite multimedia systems conference (asma) and the 11th signal processing for space communications workshop (spsc), 2010 5th*. 2010.
19. D. Antolín, A.B., M. Medrano, B. Calvo, S. Celma. *Sistema de gestión de datos mediante módulo GSM/GPRS para una WSN aislada de núcleos de población*. in *SAAEI*. 2011. Badajoz, España.
20. FTDI Chip., *FT232R USB UART I.C*.
21. TELIT, *Telit GM862-QUAD PY Hardware User Guide*.
22. Recom Power Inc., *Features Regulated Converters RAC10-B*
23. National Semiconductor, *LM2596 SIMPLE SWITCHER® Power Converter*

24. Yongqiang, Z. and W. Ning. *Intelligence Supervisory System of Greenhouse on GPRS*. in *Communication Technology, 2006. ICCT '06. International Conference on*. 2006.
25. Kawano, K., J. Kudoh, and S. Makino. *Forest fire detection in Far East region of Russia by using NOAA AVHRR images*. in *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1999. IGARSS '99 Proceedings. IEEE 1999 International*. 1999.