




**Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza**

SMART WATER METER

MEMORIA


	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

Hoja identificativa

Datos del proyecto	
Nº de volumen	1
Título del proyecto	Smart Water Meter
Título del documento	Memoria


Clientes	
Roberto Casas	Profesor de la Universidad de Zaragoza
Dirección	Laboratorio HOWLab
E-mail	rcasas@unizar.es
Ángel Asensio	Investigador grupo HOWLab
Dirección	Laboratorio HOWLab
E-mail	aasensio@unizar.es

Autor del Proyecto	
Daniel Lastra Encabo	Estudiante de Ingeniería Técnica Industrial, Especialidad Electrónica Industrial, Universidad de Zaragoza
DNI	
Dirección	Zaragoza
Teléfono	XXXXXXXXXX
e-mail	538659@unizar.es
Fecha	Firma

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

ÍNDICE

1.- Introducción	1
1.1.- Objetivo	1
1.2.- Criterios generales	2
1.3.- Estado del arte	3
1.3.1.- Caudalímetro	3
1.3.1.1.- Desplazamiento positivo (PD)	3
1.3.1.2.- Velocidad	4
1.3.1.2.1.- Mecánico	4
1.3.1.2.2.- Ultrasónico	4
1.3.1.2.3.- Electromagnético	5
1.3.2.- Interruptor de flujo	5
2.- Descripción del sistema	6
2.1.- Consideraciones	6
2.2.- Descripción global del sistema	7
2.3.- Modos de funcionamiento	8
2.3.1.- Modo por defecto	8
2.3.2.- Modo bajo consumo	8
2.3.3.- Modo consumo regulable	8
3.- Sensores	9
3.1.- Elección del sensor de caudal	9
3.2.- Elección del interruptor de flujo	10
3.3.- Margen de error	10
4.- Diseño Hardware	13
4.1.- Diseño del circuito	13
4.1.1.- Diagrama de bloques	14
4.1.2.- Esquemático completo	15
4.1.3.- Elección de componentes	16

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

4.1.3.1.- Microcontrolador PIC18F26J11	16
4.1.3.2.- Memoria no volátil	18
4.1.3.3.- Módulo inalámbrico ZigBee ETRX357	18
4.1.3.4.- Otros componentes	19
4.1.3.5.- Alimentación.....	20
4.2.- Diseño de la PCB.....	21
4.2.1.- Cara TOP	22
4.2.2.- Cara BOTTOM	22
4.2.3.- Visualización en 3D	23
4.2.4.- Fotografía del prototipo	23
4.3.- BOM	24
4.4.- Autonomía	26
5.- Firmware	28
5.1.- Arquitectura de ficheros.....	29
5.2.- Estructura de programación	29
5.2.1.- Inicialización y bucle principal	30
5.2.2.- Gestión de interrupciones	32
5.2.3.- Gestión de memoria	33
5.2.3.1.- Librería microSD	33
5.2.3.2.- Librería memoria	35
5.3.- Formato de datos	36
5.3.1.- Datos de sesión.....	36
5.3.2.- Datos de medida.....	37
6.- Pre-serie y pruebas de campo	39
6.1.- Producción	39
6.1.1.1.- Proceso de montaje	40
6.1.1.2.- Proceso de verificación	41
6.2.- Instalación y puesta a punto.....	41
6.3.- Análisis de datos.....	43
6.4.- Estudio de consumo en inodoros.....	43
7.- Conclusión.....	46
7.1.- Desarrollo del proyecto	46
7.2.- Resultados.....	46

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

7.2.1.- Resultados del proyecto	46
7.2.2.- Conclusiones personales.....	47
7.3.- Líneas futuras	48
8.- Bibliografía	48
<i>ÍNDICE FIGURAS.....</i>	<i>49</i>
<i>ÍNDICE TABLAS.....</i>	<i>50</i>




SMART WATER METER

REVISIÓN Nº 0

MEMORIA

FECHA REV 19/02/2015

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

1.- Introducción

Este proyecto se ha realizado dentro del grupo de investigación HOWLab de la Universidad de Zaragoza. HOWLab es un grupo de investigación universitario, cuyo principal objetivo es la investigación y el desarrollo de las tecnologías centradas en las personas y sus entornos.

Un consumo excesivo de agua es un problema que atañe a un gran número de empresas e instalaciones residenciales. Realizar un estudio del mismo puede revelar hábitos de consumo y concienciar a los usuarios. Si se toman las medidas adecuadas, se puede conseguir una gran reducción en el consumo, repercutiendo en una disminución en el importe de la factura y beneficiando al medio ambiente, especialmente en el caso de grandes instalaciones hidráulicas.

Si se desea llevar un seguimiento del consumo de agua, existe una amplia gama de caudalímetros comerciales de diversas tecnologías y especificaciones técnicas. La gran mayoría se centran en la medición de consumos agregados, pues su única finalidad es conocer el gasto mensual para poder aplicar la tarifa al cliente. Sin embargo, para realizar un control exhaustivo, las opciones son escasas y caras.


Llevar a cabo un estudio detallado del consumo, requiere un dispositivo capaz de identificar hábitos de consumo. Para ello, además del consumo total, debe aportar información adicional como un perfil temporal de consumo y el instante de consumo.

El presente documento se centra en el diseño del “Smart Water Meter”, en adelante “sensor de agua inteligente”, un caudalímetro económico y versátil, orientado a la monitorización de hábitos de consumo, capaz de medir y registrar el volumen de agua consumida de manera detallada. A lo largo del presente documento se explican los datos más relevantes del diseño de hardware y firmware.

El sensor de agua inteligente presentado no se ha quedado en un diseño sobre papel, sino que va a ser utilizado en un despliegue real, ya que el sistema desarrollado ha sido utilizado en el proyecto “Banco de pruebas para productos ahorradores de agua” del Programa de Apoyo a Agrupaciones Empresariales Innovadoras (AEIs) del Ministerio de Industria, Energía y Turismo. En esencia, se trata de valorar la mejora en el consumo de agua al sustituir inodoros antiguos por otros modernos, para lo cual un sensor como el desarrollado ha resultado de gran utilidad. Para dar respuesta a las necesidades de este proyecto, ha sido necesario realizar una preserie de 25 dispositivos y su correspondiente puesta a punto.

1.1.- Objetivo

Se pretende diseñar un dispositivo portátil de bajo coste, muy bajo consumo, fácilmente instalable, configurable mediante distintos modos de funcionamiento y que no requiera

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

mantenimiento. Los datos deben ser almacenados en una memoria no volátil con un formato bien definido para su posterior análisis y estudio.

Inicialmente, su función será realizar un estudio sobre el consumo de inodoros para estudiar el uso de la pulsación corta y de la pulsación larga de la cisterna. No obstante, su funcionalidad irá más allá, tal y como se establece en los criterios generales.

Adicionalmente, está prevista su integración en una red inalámbrica ZigBee para poder realizar un seguimiento de los eventos en tiempo real. Actualmente asistimos a la explosión de la idea de IoT (Internet of Things). El Internet de las Cosas es un concepto que se refiere a la interconexión vía red de objetos cotidianos con objeto de extraer información o mejorar la interacción con el entorno. Para ello, estas cosas tienen que estar dotadas de una inteligencia, capacidad de comunicación y su propia fuente de energía. Dotar al sistema de conectividad ZigBee, es un modo eficaz de poder introducir al mismo en este ámbito de la IoT.

1.2.- Criterios generales

El sensor de agua inteligente desarrollado estará más orientado al uso doméstico que al industrial. Por esa razón, su diseño se ha llevado a cabo pensando en unas condiciones de caudal, temperatura y presión típicas en hogares. No obstante, su uso podría ser interesante en otros entornos, siempre que no se sobrepasen las limitaciones técnicas establecidas. El dispositivo se compondrá de una parte electrónica y una parte hidráulica:


La parte hidráulica estará constituida por sensores comerciales, que presentan unas características definidas por el fabricante. El ámbito de aplicación será determinante en la selección de los elementos hidráulicos.

Por su parte, el bloque electrónico se conecta a la parte hidráulica y debe:

- Tomar medidas detalladas del consumo de agua hasta por dos tuberías simultáneamente.
- Incluir varios modos de funcionamiento y ser configurable para adaptarse a las circunstancias.
- Tener un consumo muy bajo que garantice una gran autonomía.
- Ser fácilmente instalable y no requerir mantenimiento.
- Programarse en distintas capas, facilitando la legibilidad del código y una posible reutilización de parte del mismo en futuros diseños.
- Estar preparado para futuras mejoras y/o añadidos como comunicación inalámbrica o la utilización de otros sensores.

Separando la parte hidráulica de la eléctrica se consigue:

- Facilidad de sustitución y mantenimiento.
- Mayor versatilidad, ya que una misma solución electrónica puede aplicarse a distintas situaciones con la mera sustitución del grupo hidráulico

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

1.3.- Estado del arte

Para la realización del proyecto se han utilizado dos tipos de sensores:

- Caudalímetro
- Interruptor de flujo

A continuación, se procede a describir brevemente las distintas alternativas del mercado.

1.3.1.- Caudalímetro

Un caudalímetro es un instrumento de medida de caudal que suele colocarse en línea con la tubería que transporta el fluido. Los hay de muchos tipos, una clasificación general con los más usados podría ser la siguiente:



Figura 1 Tipos de caudalímetro

1.3.1.1.- Desplazamiento positivo (PD)

Es el sensor de caudal de tipo mecánico más usado en hogares y para pequeñas aplicaciones comerciales. Existen muchas variantes (engranajes, pistones, tornillos...), aunque todas se basan en el mismo concepto: el agua desplaza componentes del medidor, los cuales dividen el fluido circulante en pequeñas cantidades fijas que son contadas para medir el caudal volumétrico. Los datos se registran a través de un disco oscilante o un mecanismo de pistón, por lo que no necesitan alimentación. Son los sensores de caudal mecánicos más precisos y soportan altas presiones, pero su instalación y mantenimiento son muy costosos debido a la gran cantidad de partes móviles que poseen.

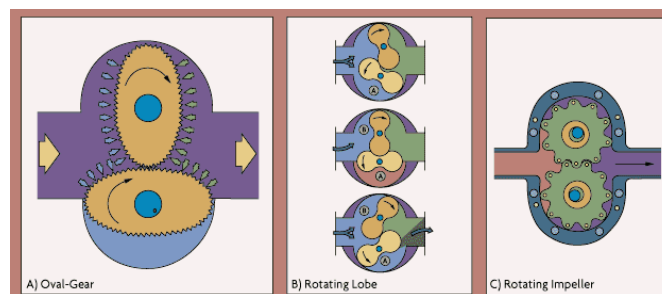



Figura 2 Caudalímetro de desplazamiento positivo PD

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

1.3.1.2.- Velocidad

Sensor que registra la velocidad del flujo utilizando diversos mecanismos y luego traduce los datos recibidos a volumen. Los hay mecánicos y no mecánicos.

1.3.1.2.1.- Mecánico

Existen varios tipos como de chorro único, multi-chorro y turbina. Éste tipo de sensor suele integrar componentes electrónicos de medida, algunos de los últimos modelos incluso un panel LCD. Normalmente usan un interruptor de lectura, un sensor efecto Hall o fotoeléctrico como señal de salida, ideal para procesar los datos con un microcontrolador.

Son baratos, precisos y responden bien ante pulsos de flujo, pero son susceptibles a los cambios de entorno.

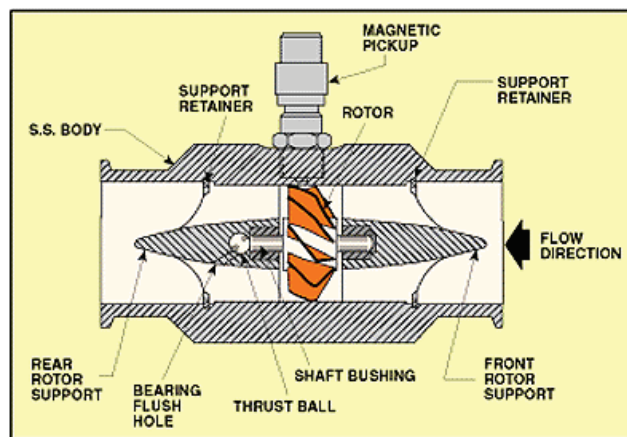


Figura 3 Caudalímetro de velocidad mecánico

1.3.1.2.2.- Ultrasónico

Sensor no mecánico que mide la diferencia del tiempo de transmisión de pulsos ultrasónicos propagándose a favor y en contra del flujo. Esta diferencia de tiempo es una medida de la velocidad media del fluido en el camino del rayo ultrasónico.

Son fáciles de instalar, requieren poco mantenimiento y pueden medir con mucha precisión en ambas direcciones sin verse afectados por las condiciones del entorno. El único inconveniente es su alto precio.

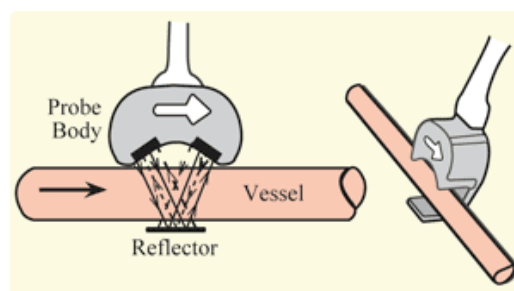


Figura 4 Caudalímetro de velocidad ultrasónico

	SMART WATER METER	REVISIÓN N° 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

1.3.1.2.3.- Electromagnético

Sensor no mecánico que aplica un campo magnético a la tubería, resultando en una diferencia de potencial proporcional a la velocidad de flujo y perpendicular al mismo. Requiere un fluido conductor (por ejemplo, agua que contiene iones) y una tubería de superficie aislante.

Son capaces de medir de manera muy precisa en ambas direcciones, no requieren mantenimiento y su precio es bueno para las prestaciones que tienen. Puede crear interferencias electromagnéticas con dispositivos cercanos.

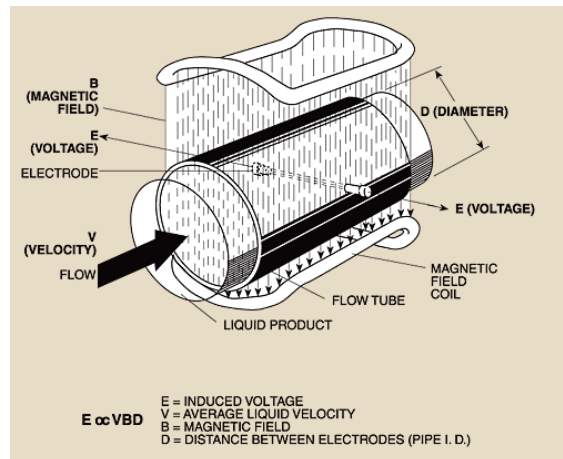



Figura 5 Caudalímetro de velocidad electromagnético

1.3.2.- Interruptor de flujo

Un interruptor de flujo detecta si hay flujo circulante de agua. Hay de varios tipos en función de la tecnología empleada: pistón, lanzadera, dispersión térmica...



Figura 6 Interruptor de flujo tipo lanzadera

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

2.- Descripción del sistema

El sensor de agua inteligente es un dispositivo creado para el estudio de los hábitos de consumo de agua con el objetivo de reducir el gasto de tan valioso recurso. Para evitar restringir lo máximo posible el ámbito de uso y expandir sus posibilidades, se han realizado diversas apreciaciones.

2.1.- Consideraciones

Se ha considerado interesante que el mismo sistema sea capaz de monitorizar dos consumos simultáneamente, teniendo en cuenta que es frecuente encontrarse con consumos de agua fría y caliente. Además, se ha dotado al dispositivo de varios modos de funcionamiento y distintas configuraciones, de forma que siempre se pueda optar a la mejor opción de consumo y a una obtención de datos óptima acorde con las necesidades.

Durante el proceso de selección de componentes se han tenido muy en cuenta los objetivos de una gran autonomía y un bajo mantenimiento. De este modo, el dispositivo puede funcionar de manera autónoma durante largos periodos y solo requiere intervención humana cuando llega el momento de la extracción de datos.

Adicionalmente, la selección de componentes hidráulicos se ha realizado según las condiciones de caudal, temperatura y presión típicas en el hogar, considerándose los siguientes valores típicos:

- El caudal debe encontrarse entre 1 l/min y 30 l/min.
- La temperatura del agua circulante no debe sobrepasar 80°C.
- La presión máxima del fluido debe ser inferior a 12 o 20 bar (según modo de funcionamiento).

Debido a las especificaciones propias de cada componente, el sensor de agua inteligente posee determinadas limitaciones técnicas, y no se garantiza su correcto funcionamiento si son sobrepasadas.

Como ya se ha comentado previamente, se ha separado la parte hidráulica de la electrónica para facilitar la instalación y el mantenimiento, y dotarlo de mayor versatilidad. Una vez que un fontanero ha realizado la instalación hidráulica, la puesta en marcha del dispositivo es tan fácil como alimentarlo y conectarlo a los conectores dispuestos. La solución será capaz de manejar los elementos hidráulicos (sensores de caudal e interruptores de flujo) que resulten más acordes con el escenario final, según el caudal a medir, precisión, presión de la línea, etc. De esta forma, tanto usuarios noveles como avanzados pueden monitorizar el consumo en distintas circunstancias sin apenas esfuerzo.

El diseño de hardware y de firmware se ha realizado con vistas a futuras modificaciones. Por ejemplo, se contempla la posibilidad de conectar un dispositivo de medida de temperatura o la integración en redes inalámbricas ZigBee.

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

2.2.- Descripción global del sistema

El sistema se compone de:

- Sensor de agua inteligente
- Dos sensores de caudal (SC1 y SC2)
- Dos interruptores de flujo (IF1 y IF2)
- Tarjeta microSD
- Batería

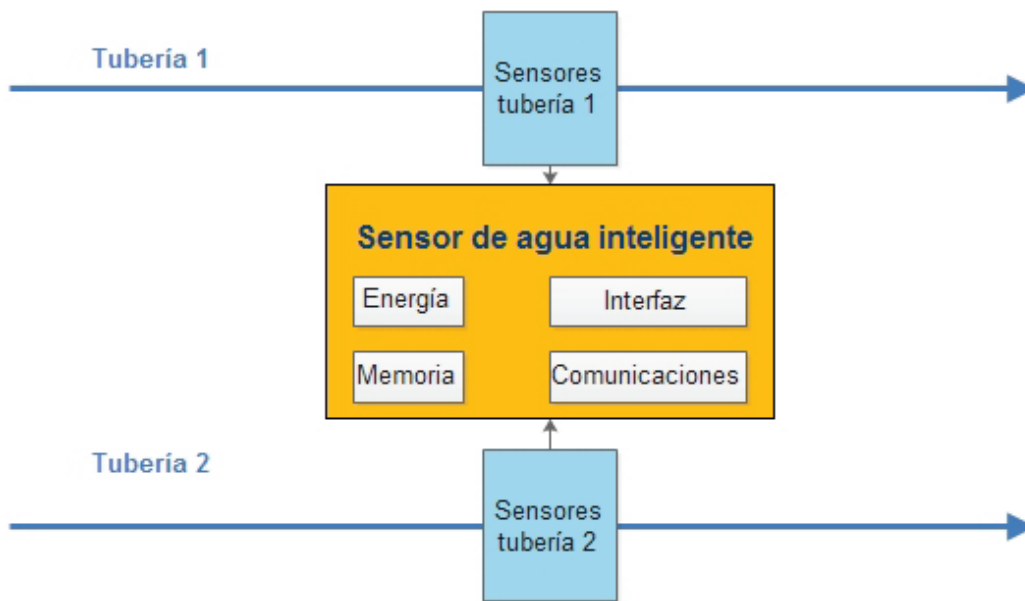



Figura 7 Descripción visual del sistema

El sensor de agua inteligente se encuentra alojado en una pequeña caja comercial mecanizada. Tanto la alimentación como el socket de la tarjeta microSD se encuentran dentro de la caja.

El sistema se alimenta mediante una batería. El almacenamiento de los datos de las mediciones se lleva a cabo en una tarjeta microSD. En el mercado hay una gran variedad de tarjetas microSD, de diversos tamaños y clases, y todas ellas son reconocidas sin problemas.

El dispositivo posee cuatro conectores principales: dos para los sensores de caudal y dos para los interruptores de flujo. Adicionalmente se han previsto dos conectores para entradas analógicas, orientadas a la conexión de sendos sensores de medida de temperatura. Con ellos, se podrá inferir de modo aproximado el rango de temperatura del agua en la tubería.

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

2.3.- Modos de funcionamiento

En función de las circunstancias y el objetivo de los datos que se desean obtener, los requerimientos de precisión y autonomía pueden variar. Debido a esto se han dispuesto tres modos de funcionamiento para dotar de flexibilidad al dispositivo:

2.3.1.- Modo por defecto

Hace uso únicamente de sensores de caudal, los cuales se encuentran permanentemente alimentados. De este modo se consigue una gran precisión, pero la autonomía se ve reducida drásticamente debido al consumo estático de los sensores de caudal.

2.3.2.- Modo bajo consumo


Requiere tanto sensores de caudal como interruptores de flujo, suponiendo una inversión inicial superior para el usuario, ya que necesita hardware extra. Sin embargo, su autonomía es excelente y posee una precisión idéntica al modo por defecto siempre que se supere el caudal mínimo necesario para que el interruptor de flujo detecte circulación.

El método de funcionamiento es el siguiente:

Los sensores de caudal se mantienen apagados mientras los interruptores de flujo no detecten paso de agua. Cuando estos detectan circulación, los sensores de caudal se encienden, toman la medida y se vuelven a apagar a la espera de un nuevo tramo de agua. De este modo, solo hay consumo cuando hay circulación.

2.3.3.- Modo consumo regulable

Este modo de funcionamiento busca obtener una buena autonomía sin requerir más hardware que los sensores de caudal. Para ello, los sensores de caudal se alimentan durante un breve instante (50 ms con la configuración por defecto) con una periodicidad de un segundo para comprobar si hay circulación de agua. En caso de detectarla, se mantiene la alimentación de los sensores de caudal hasta que acabe la medición, para posteriormente volver a comprobar cíclicamente si hay flujo.

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

3.- Sensores

La elección de los sensores se realizó atendiendo a diversos factores, como las características técnicas, consumo y precio.

3.1.- Elección del sensor de caudal

Es el sensor más importante, y por tanto fue el primero en ser elegido en el desarrollo del prototipo. La siguiente tabla contiene una lista de varios modelos de sensor de caudal, junto con sus características más relevantes, habiéndose escogido los modelos más económicos dentro de su clase.

Tipo	Caudal (l/min)	Precisión	Tmax (°C)	Pmax (bar)	Tensión (V)	Corriente (mA)	Precio (€)
PD	2-640	1.5 %	50	10.5	No	No	50 €
Turbina	1-30	3 %	80	20	5-24	<15	5.5 €
Multi-chorro	4-600	2-5 %	40	16	5-24	<20	54 €
Ultrasonido	0.7-57	0.75 %	80	17.2	18-36	<20	614 €
Electromagnético	2.6-185	1 %	90	13.8	12-25	< 40	533 €

Tabla 1 Sensores de caudal


El sensor de caudal efecto Hall (turbina) YF-S201 es la mejor opción por diversas razones:

- Su precio es muy inferior al resto de sensores, es ligero y fácil de instalar.
- El rango de alimentación y consumo de corriente nos permite alimentar el sensor directamente desde un pin del microcontrolador, facilitando el control.
- La salida de datos se realiza mediante una señal pulsante fácilmente procesable.
- Permite medir tuberías de agua fría y caliente (hasta 80°C).
- Su precisión y rango de caudal es idóneo para el uso doméstico.

Sin embargo, su elección supone ciertas implicaciones en el diseño:

Desde el punto de vista de hardware, para controlar su alimentación directamente desde el microcontrolador, este debe ser capaz de proporcionar la tensión y corriente requeridas por el sensor. Además, al dejar de alimentar al sensor de caudal, éste genera un pulso no deseado que hay que filtrar por software.

Desde el punto de vista de software, el microcontrolador debe funcionar a una frecuencia de reloj suficiente como para poder muestrear todos los flancos de los pulsos del sensor de caudal efecto Hall.

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

Hay múltiples modelos de similares características al YF-S201, y cualquiera de ellos es perfectamente funcional con el diseño realizado siempre que funcione a la tensión suministrada y no demande más de 20mA.

3.2.- Elección del interruptor de flujo

La elección del sensor de flujo resultó más sencilla, ya que simplemente se trata de identificar modelos de características acordes con el sensor de caudal elegido, y observar cual resultaba más económico.

Finalmente, el modelo elegido fue el modelo MR-W1-P. Sus terminales se encuentran en circuito abierto mientras no se detecta circulación, y se cortocircuitan si hay flujo. Su rango de caudal es 1-30 l/min y la presión máxima 12 bar, funcionando a una temperatura máxima de 80°C, exactamente igual que el sensor de caudal efecto Hall YF-S201.

3.3.- Margen de error

El margen de error depende de las características técnicas de los sensores y del modo de funcionamiento. El fabricante del caudalímetro especifica en su hoja de características que posee un error máximo del 3%, siempre que se trabaje dentro del rango de caudal establecido (entre 1 l/min y 30 l/min). Así pues, el cálculo del margen de error del sensor de agua inteligente se realiza bajo el supuesto de que se trabaja dentro de dicho rango de caudal.

En los modos por defecto y bajo consumo el error máximo es igual al del sensor de caudal, es decir, de un 3%. Sin embargo, si trabajamos en modo de bajo consumo y el caudal es inferior a 1 l/min, el interruptor de flujo podría no detectar el paso de agua y, en ese caso, no se tomaría ninguna medida. Así pues, se recomienda trabajar en modo bajo consumo siempre que nos aseguremos de que se va a sobrepasar el umbral de detección del paso de agua.

El modo de consumo regulable posee la misma precisión que el resto de modos una vez detectado el tramo de agua. Sin embargo, dadas las características de este modo de funcionamiento, podría no detectarse hasta aproximadamente el 95 % del caudal durante el primer segundo (con un ciclo de trabajo por defecto del 5 %).

En la siguiente gráfica se puede observar el error máximo en función del tiempo y del ciclo de trabajo en modo de consumo regulable:

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

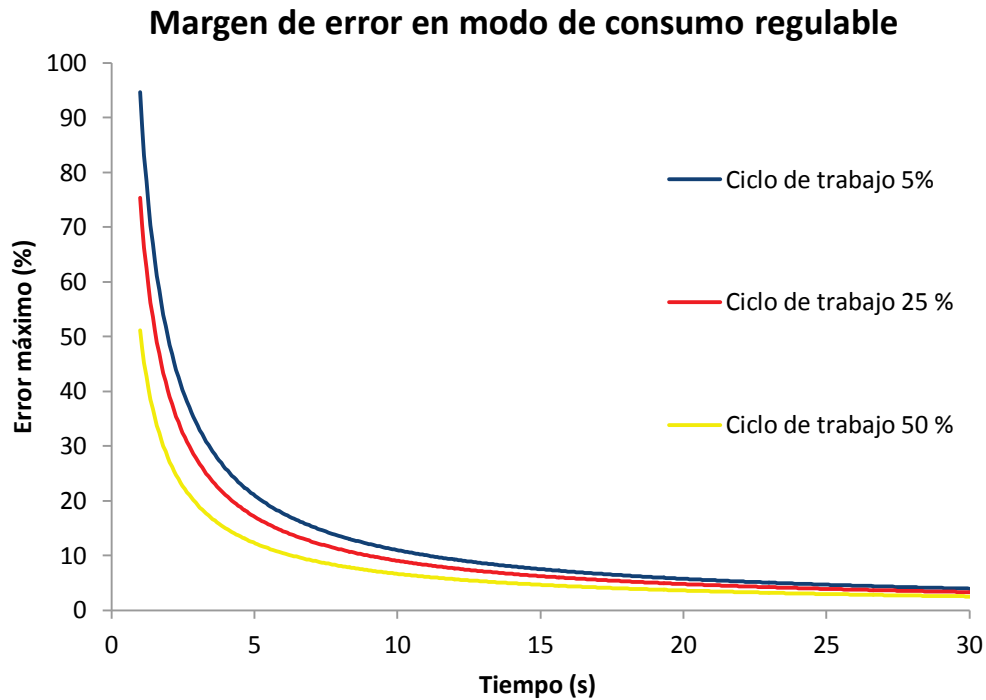


Figura 8 Margen de error en modo de consumo regulable

Como se puede apreciar, el modo de consumo regulable afecta notablemente a la precisión de la medida si el tramo de agua es de baja duración. Subir sustancialmente el ciclo de trabajo no mejora demasiado la precisión y, en general, no compensa el aumento de consumo eléctrico.

Por lo tanto, este modo de trabajo se recomienda en entornos donde se sabe de antemano que los tramos de agua van a ser de larga duración o cuando la precisión no es una prioridad.


Se ha considerado la posibilidad de que con un ciclo de trabajo pequeño (por ejemplo, el establecido por defecto del 5%), pudiera no detectarse el tramo si el caudal es bajo.

Con el sensor de caudal utilizado, el cálculo del volumen de agua consumido se calcula de la siguiente forma:

$$Vol(ml) = \frac{20}{9} * pulsos$$

Dado que el caudal mínimo establecido es de 1 l/min, se produciría un pulso cada 133 ms. Por lo tanto, existe la posibilidad de que no se detecten pulsos durante los 50 ms que dura el ciclo de trabajo por defecto.

Para garantizar la detección de un caudal mínimo de 1 l/min en el modo de consumo regulable, habría que subir el ciclo de trabajo al 13.3%, pero en la mayoría de las instalaciones no es necesario.

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

Finalmente, independientemente del modo de funcionamiento, hay que considerar si el microcontrolador es capaz de registrar todos los pulsos recibidos en el caso de máxima exigencia. Suponiendo la monitorización simultánea de dos líneas cuyo caudal es el máximo admitido por el dispositivo (30 l/min), el número de pulsos generados en un minuto por un solo sensor es:

$$30000ml = \frac{20}{9} * pulsos \Rightarrow pulsos = \frac{30000 * 9}{20} = 13500$$

Por lo tanto, la frecuencia máxima de pulsos generados es de:

$$f_{pulsos_{max}} = 13500 pulsos / min = 225Hz$$

Los microcontroladores PIC con frecuencia de oscilador de 8MHZ, poseen una frecuencia de ejecución de programa de:

$$f_{clock} = \frac{f_{osc}}{4} = \frac{8MHz}{4} = 2MHz$$


Así pues, la relación entre la frecuencia de reloj y la frecuencia máxima de pulsos generados por los sensores es:

$$\frac{f_{clock}}{f_{pulsos_{max}}} = \frac{2MHz}{225Hz} = 8888.\bar{8}$$

Es decir, se podrían ejecutar cerca de 9000 líneas de código en lenguaje ensamblador entre cada pulso procesado, más que suficiente para realizar las operaciones intermedias pertinentes.

Además, al ser la frecuencia de ejecución de programa varios órdenes superior a la frecuencia de la señal pulsante, se reduce mucho el riesgo de que no le dé tiempo a detectar ambos flancos de bajada en el caso de que ambos trenes de pulsos se encuentren prácticamente en fase.

En consecuencia, el microcontrolador no tendrá ningún problema atendiendo a los pulsos y procesando los datos obtenidos.

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

4.- Diseño Hardware

Durante el proceso de diseño del sensor de agua inteligente se ha dedicado especial atención a la creación de la placa de circuito impreso. Su diseño ha sido estudiado minuciosamente para conseguir un prototipo estable, de tamaño reducido y gran autonomía.

A lo largo del proceso de diseño se han realizado varias versiones, una inicial para la validación, un prototipo del diseño y la preserie final, realizando pequeñas modificaciones y ajustes para conseguir el mejor resultado posible.

4.1.- Diseño del circuito

El núcleo del sistema es un microcontrolador PIC de 8 bits, el cual es el responsable de recibir la información de los sensores, procesarla y almacenarla. El sistema se alimenta a través de un LDO de 3.3 V, a excepción de algunos componentes que se alimentan directamente desde el microcontrolador.


Los sensores de caudal, interruptores de flujo y el botón están conectados a pines del microcontrolador asociados a interrupciones. De esta manera, el dispositivo puede esperar dormido hasta que se detecte flujo de agua o la intervención del usuario.

El RTC por hardware requiere un oscilador de cristal de cuarzo externo y funciona sin necesidad de despertar al microcontrolador.

Las comunicaciones serie asíncronas y síncronas corresponden con el módulo opcional inalámbrico ZigBee y la tarjeta microSD (SPI) respectivamente.

Se ha dotado a la placa de dos entradas analógicas por si en un futuro se desea expandir su funcionalidad con, por ejemplo, sensores de temperatura.

Finalmente, la programación del microcontrolador se realiza a través el puerto ICSP dispuesto usando el programador PicKit 3.

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

4.1.1.- Diagrama de bloques

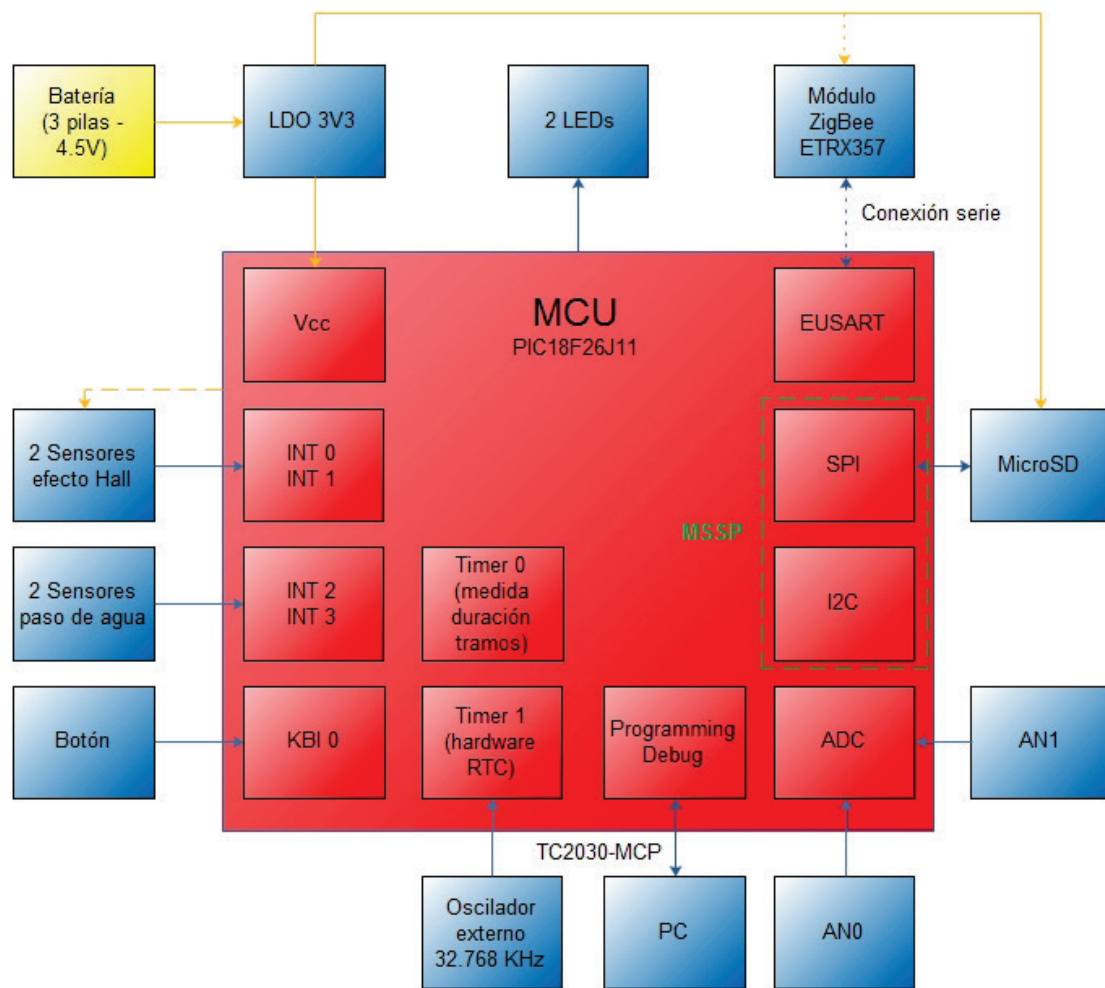



Figura 9 Diagrama de bloques

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

4.1.3.- Elección de componentes

La elección de los componentes se ha realizado buscando la eficiencia energética y teniendo muy en cuenta su disponibilidad y precio. Dado que se desea un dispositivo de reducido tamaño, es necesario que los componentes sean SMD, pero si se eligen demasiado pequeños su soldadura puede complicarse ya que se realiza a mano. Así pues, se ha tratado de encontrar el equilibrio entre tamaño y facilidad de soldadura, por lo que el encapsulado utilizado ha sido 0805 para los componentes pasivos y SOIC para los integrados.

4.1.3.1.- Microcontrolador PIC18F26J11

El microcontrolador es, junto a los sensores, un componente de gran importancia en el diseño de la PCB. El modelo PIC18F26J11 posee las siguientes características:

Rango de tensión	2 - 3.6 V
Rango de temperatura	-40°C - 85°C
Consumo en modo sleep	4 uA (aprox)
Frecuencia de reloj	8 MHz
Memoria de programa	64 KBytes
RAM	3776 Bytes
Pines / pines re-asignables	28 / 19

Tabla 2 Características microcontrolador PIC18F26J11

El rango de tensión y temperatura resulta acorde con los sensores utilizados, y el consumo mientras está dormido es extremadamente bajo.

Posee una gran cantidad de memoria de programa y memoria RAM. Para la captura de datos de dos sensores simultáneamente y la gestión de la memoria no volátil, disponer de suficiente memoria RAM resulta imprescindible.

La cantidad de pines del microcontrolador es ajustada a las necesidades y el hecho de que sean re-mapeables facilita enormemente el ruteado de la PCB.

Entre los periféricos integrados destacan:

- Comunicaciones serie asíncronas EUSART y síncronas MSSP (SPI e I2C).
- Interrupciones por configurables por flanco y re-asignables.
- RTCC por hardware.
- Conversor AD (10 bits).

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

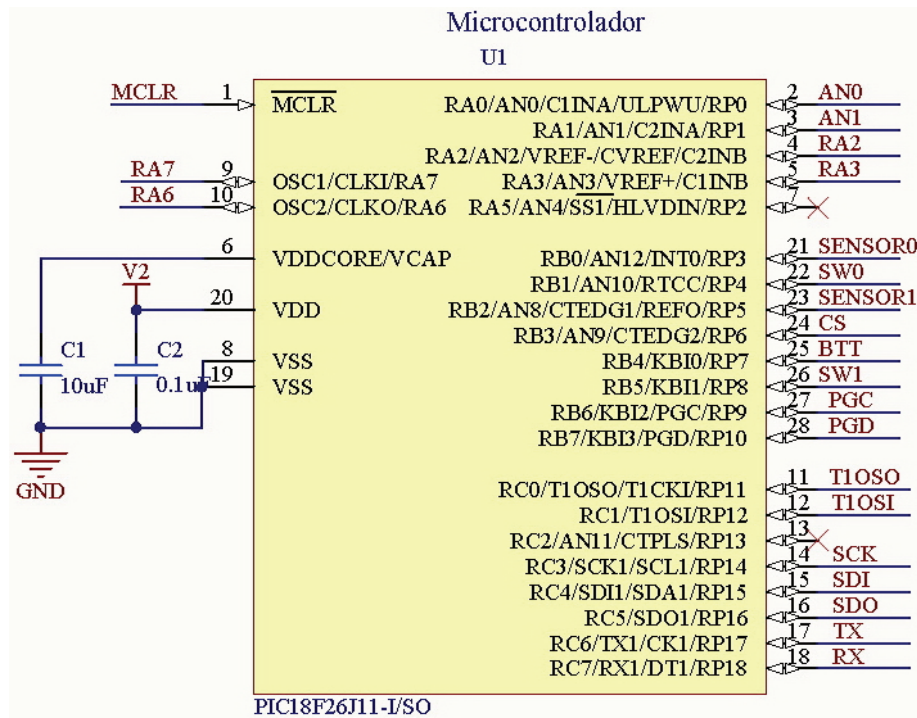


Figura 11 Esquemático microcontrolador

La alimentación del microcontrolador se realiza como recomienda el fabricante. No obstante, se ha dispuesto de un puerto ICSP para la programación del microcontrolador y el depurado del código, desde el cual también se puede alimentar el sistema mediante el programador.

Se utiliza el oscilador interno del microcontrolador, que permite una frecuencia de reloj ajustable por el usuario. Se ha usado la frecuencia por defecto de 8MHz para evitar problemas en la detección de los pulsos y garantizar un funcionamiento óptimo del sistema.

Finalmente, para el funcionamiento del módulo RTCC por hardware se ha conectado un cristal de cuarzo con sus respectivos condensadores.

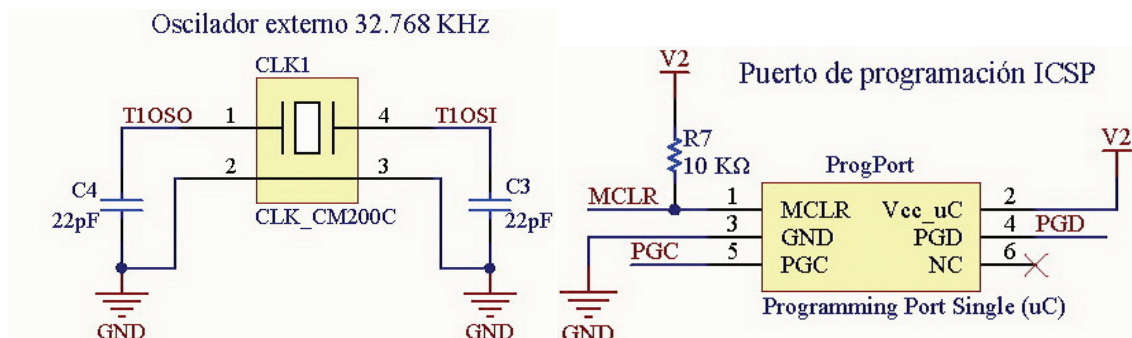


Figura 12 Esquemático cristal externo y puerto ICSP

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

4.1.3.2.- Memoria no volátil

El almacenamiento de los datos obtenidos debe realizarse en una memoria no volátil. En el mercado las dos principales soluciones son memorias EEPROM y memorias SD

Se ha decidido utilizar una tarjeta microSD por sus características:

- Es una memoria estándar muy fácil de conseguir.
- Mejor relación coste/byte.
- Al ser extraíble se puede ser leída con comodidad desde un ordenador, y en caso de dañarse, ser reemplazada.
- Lectura y escritura más rápida que las memorias EEPROM.
- Gran capacidad.

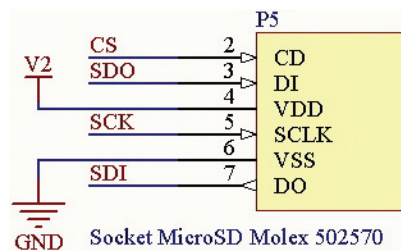


Figura 13 Esquemático socket microSD

4.1.3.3.- Módulo inalámbrico ZigBee ETRX357

En previsión de una más que probable integración dentro de una red inalámbrica, se ha integrado un módulo ZigBee ETRX357 a través del módulo UART del microcontrolador. La elección de este modelo en particular se ha debido a que posee un modo de bajo consumo y a la recomendación de los tutores del proyecto, por la posibilidad de interoperabilidad con otros dispositivos de inteligencia artificial con los que trabaja el grupo HOWLab.

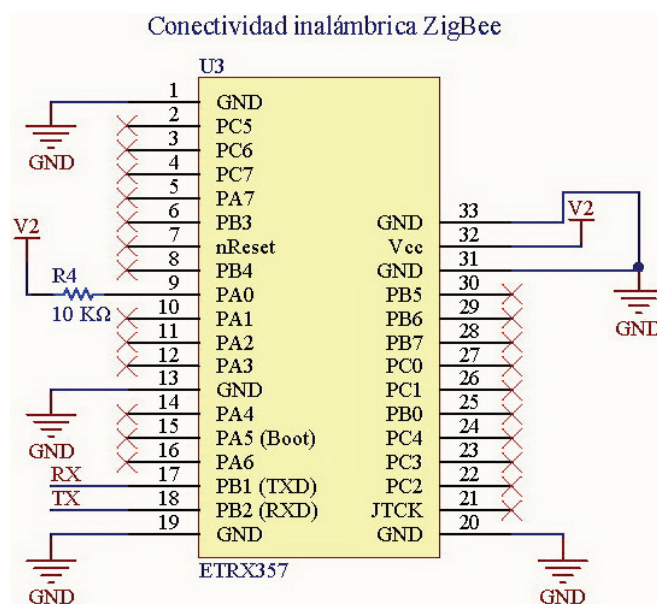


Figura 14 Esquemático módulo ZigBee ETRX357

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

4.1.3.4.- Otros componentes

La interfaz con el usuario consiste en dos diodos LED y un interruptor.

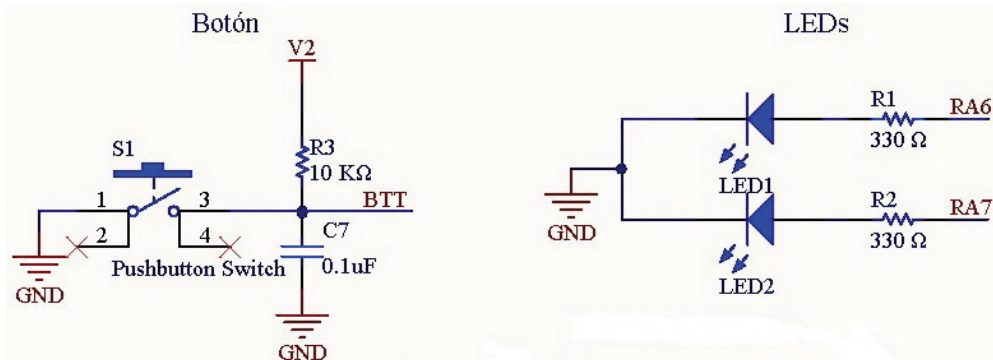


Figura 15 Esquemático interfaz de usuario

Se han dispuesto conectores para los sensores de caudal y los interruptores de flujo:

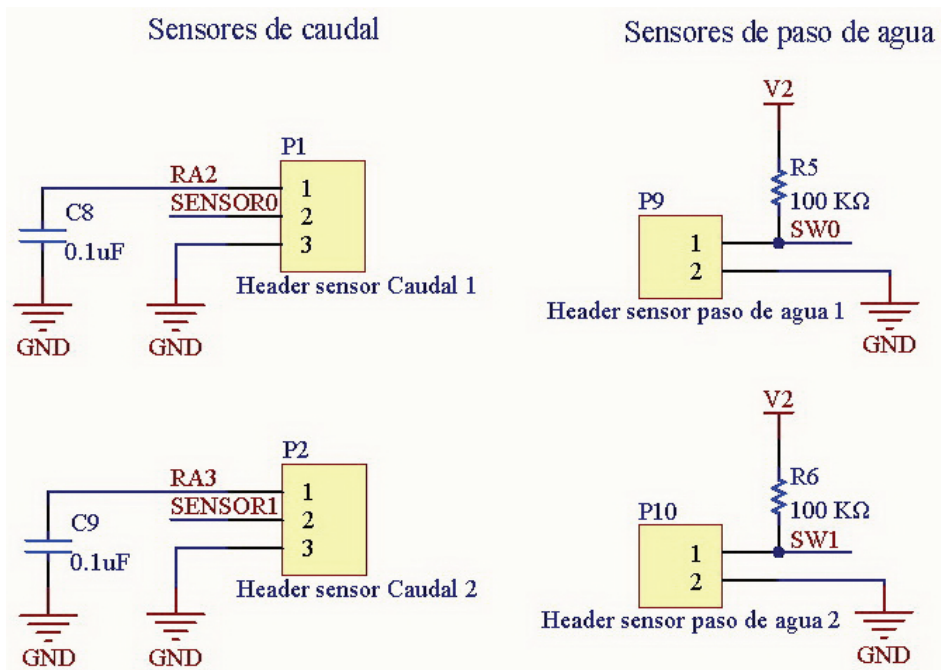


Figura 16 Esquemático conectores sensores de caudal e interruptores de flujo

Finalmente, se han facilitado dos entradas analógicas.

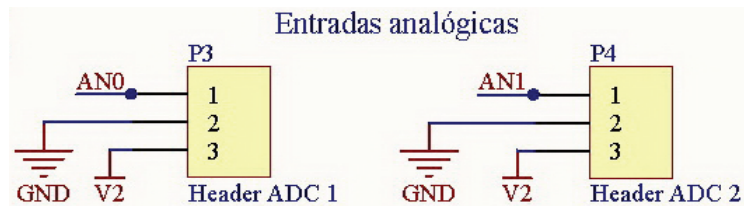


Figura 17 Esquemático conectores analógicos

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

4.1.3.5.- Alimentación

Los requisitos de alimentación de los distintos componentes del sistema son los siguientes:

Componente	Rango tensión	Rango corriente	Corriente max
PIC18F26J11	2 – 3.6 V	5.1 – 5.4 mA (no sleep)	5.4 mA
MicroSD	2.7 – 3.6 V	65 mA (read), 75 mA (write)	75 mA
ZigBee ETRX357	2.1 – 3.6 V	28.5 mA (recepción), 42 mA (emisión)	42 mA
Diodos LED	3.3 V	5 mA cada uno	10 mA
Sensores caudal	5 – 24 V	Hasta 15 mA cada uno	30 mA

Tensión común	3.3 V	Corriente máxima total	162.4 mA
---------------	-------	------------------------	----------

Tabla 3 Alimentación del sistema

A pesar de que el fabricante especifica que la tensión nominal de los sensores de caudal efecto Hall debe ser de 5 V, se ha comprobado experimentalmente en el laboratorio que funcionan perfectamente con una alimentación de 3.3 V. De esta manera, se puede alimentar el conjunto con una tensión común de 3.3 V.

La energía requerida por el sistema puede obtenerse a partir de diferentes configuraciones, siendo las opciones utilizadas:

- Tres pilas alcalinas LR6 (sumando 4.5 V)
- Batería de Lilon 3.7V 4400mAh

El LDO L4931CDT33-TR es el encargado de establecer una tensión estable de 3.3 V y suministrar una corriente de hasta 250 mA, suficiente incluso cuando la demanda es máxima. Todos los componentes del sistema se alimentan directamente del LDO, a excepción de los sensores de caudal y los diodos LED que son alimentados por pines del microcontrolador para tener un control directo de su alimentación.

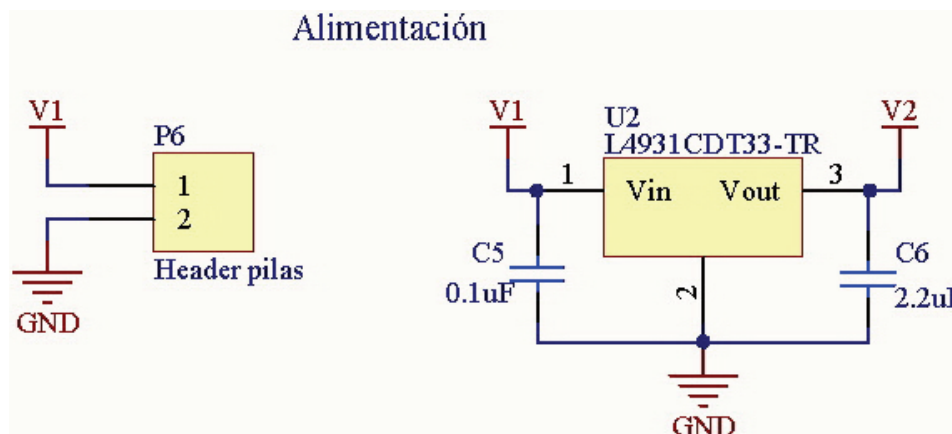



Figura 18 Esquemático alimentación

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

4.2.- Diseño de la PCB

Para el diseño de la PCB se han establecido ciertas reglas respetando los valores normalizados de las clases 3-4. Dichos valores son distintos, aunque similares, en función del fabricante. Un ejemplo:

	DIÁMETRO MÍNIMO DE TALADRO PARA ESPESOR DE 1.6mm	CORONA MINIMA PARA CARAS EXTERNAS	CORONA MINIMA PARA CARAS INTERNAS DE SEÑAL	AISLAMIENTO MINIMO PARA CARAS INTERNAS DE MASA	MARGEN MINIMO DE LA MASCARA CON EL PAD DE COBRE	ANCHURA MINIMA DEL CONDUCTOR	ESPACIO MINIMO ENTRE CONDUCTORES
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Clase 3	0.50	0.22	0.25	0.35	0.15	0.30	0.30
Clase 4	0.30	0.17	0.22	0.30	0.12	0.20	0.20
Clase 5	0.30	0.13	0.19	0.30	0.10	0.15	0.15
Clase 6	0.25	0.10	0.15	0.25	0.10	0.125	0.125

Tabla 4 Clases de PCB

El espesor del aislante es de 1.6 mm y el de las pistas de cobre 35 um, ambos valores normalizados.

La PCB es de doble cara y posee tres orificios para poder fijarse firmemente a la caja mediante tornillos. Todos los componentes son de montaje superficial y se encuentran en la cara TOP, facilitando el proceso de soldadura. Para ubicar los componentes se han realizado las siguientes consideraciones:

- El emplazamiento y la disposición de los componentes se han realizado con cierta lógica, tratando de respetar los diferentes bloques del diseño.
- La separación entre componentes debe ser suficiente para permitir la soldadura manual
- Los conectores se han colocado de manera intuitiva en zonas de fácil acceso.
- La antena se ubica en una esquina de la PCB, asegurando que no tenga masas metálicas en las proximidades.
- El puerto ICSP de programación y el cristal de cuarzo externo deben estar muy pegados a los correspondientes pines del microcontrolador. Los condensadores de desacoplo deben estar lo más cerca posible de los integrados.

A la hora de hacer el ruteado de pistas se ha considerado:

- Realizar pistas cortas, sin giros bruscos ni bucles.
- El grosor de las pistas debe ser mayor en líneas de alimentación y masa.
- Optimizar el diseño para reducir el número de vías.
- Evitar el cambio de cara en líneas críticas como el reloj de la comunicación SPI con la tarjeta microSD.
- Creación de un plano de masa en ambas caras para minimizar el ruido, respetando el espacio de la antena del módulo inalámbrico ZigBee.

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

A continuación se muestran las caras TOP, BOTTOM, así como una imagen 3D y una foto del prototipo utilizado en el desarrollo.

4.2.1.- Cara TOP

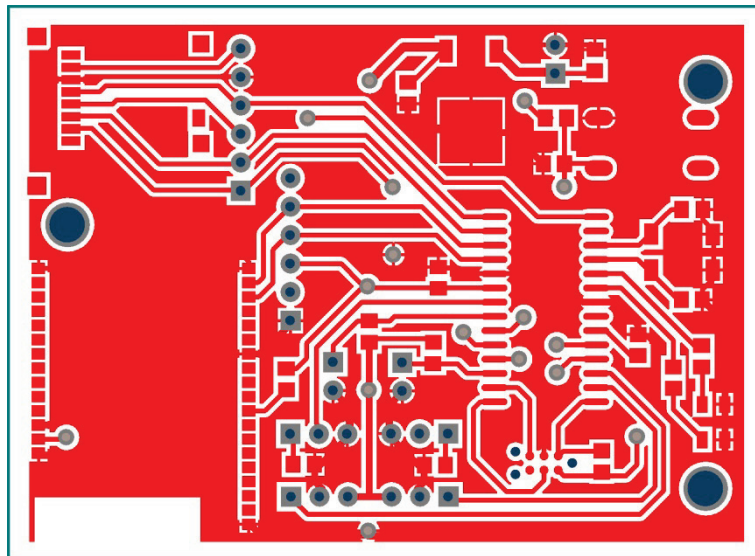


Figura 19 Cara TOP

4.2.2.- Cara BOTTOM

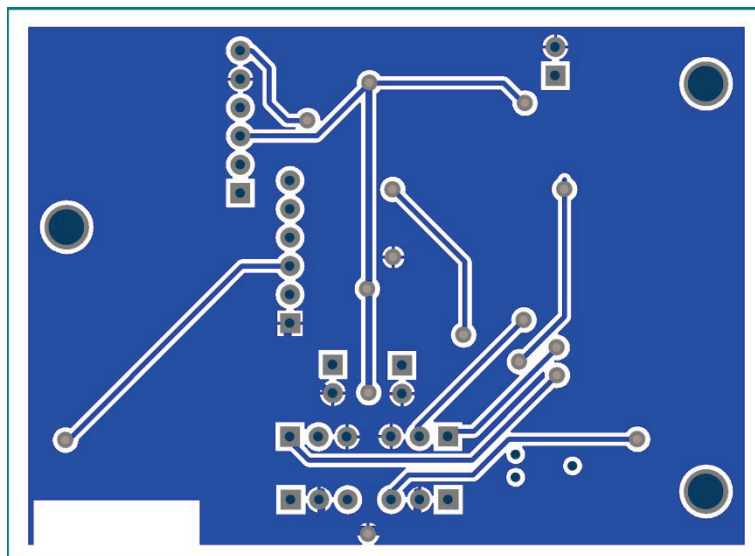


Figura 20 Cara BOTTOM

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

4.2.3.- Visualización en 3D

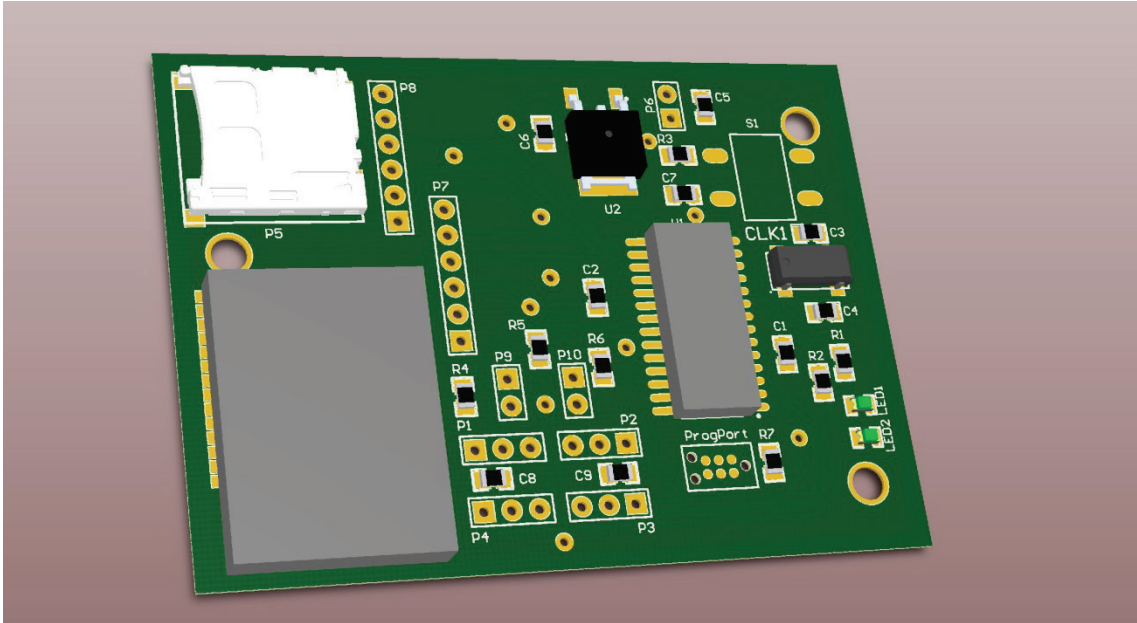


Figura 21 Visualización en 3D

4.2.4.- Fotografía del prototipo

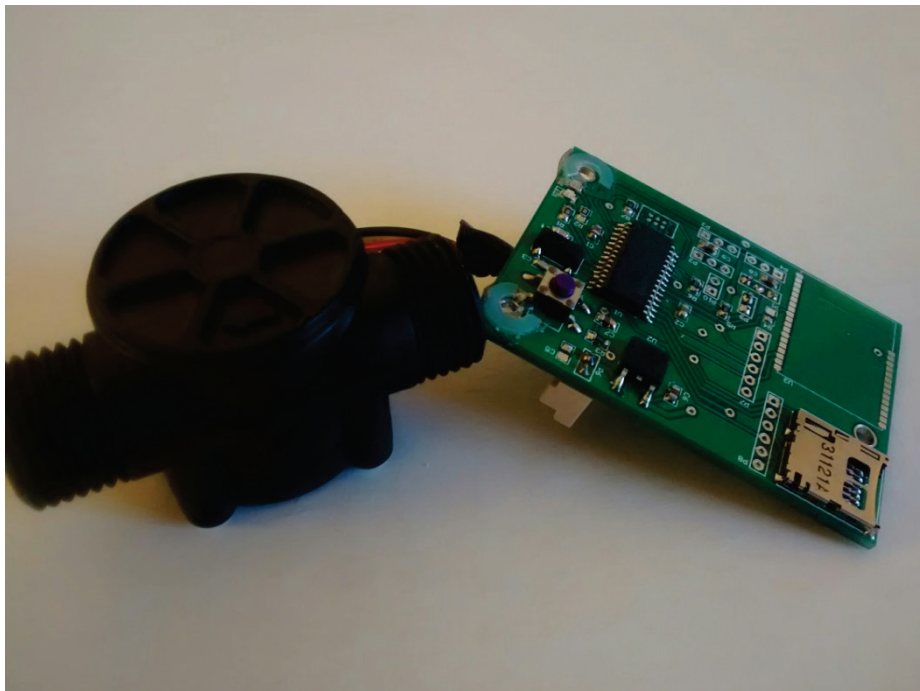



Figura 22 Fotografía del prototipo

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015


4.3.- BOM

Los listados de materiales detallados en este apartado registran el costo de los componentes necesarios para la preparación de un solo dispositivo. En caso de preparar varios sensores de agua inteligentes, al aumentar la demanda de componentes el precio disminuye.

LISTA DE COMPONENTES DE LA PCB					
Ident. General	Ident. Particular	Encapsulado	Cantidad	Referencia	Coste (euros)
C1, C6	2.2uF	0805	2		0,624
C2, C5, C7, C8, C9	0.1uF	0805	5		1,08
C3, C4	22pF	0805	2		0,672
CLK1	CM200C	CM200C	1	695-CM200C-327KF-U_MOUSER	0,424
LED1	Led rojo	0805_Led	1	645-598-8110-107F_MOUSER	0,336
LED2	Led amarillo	0805_Led	1	645-598-8140-107F_MOUSER	0,36
P5	Molex 502570	Molex 502570	1	538-502570-0893_MOUSER	2,07
R1, R2	330	0805	2		0,128
R3, R4, R7	10 K	0805	3		0,192
R5, R6	100 K	0805	2		0,128
S1	Pushbutton Switch	Pushbutton Switch	1	506-1571563-1_MOUSER	0,308
U1	PIC18F26J11-I/SO	SOIC-SO28_N	1	579-PIC18F26J11-I/SO_MOUSER	3,14
U2	L4931CDT33-TR	TO252	1	511-L4931CDT33-TR_MOUSER	1,02
U3	ETRX357	zigbee_etrx3	1	1854234_FARNELL	19,6

Coste total (euros)	30,08
Coste total sin ZigBee (euros)	10,48

Tabla 5 Lista de componentes de la PCB

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

LISTA DE MATERIALES		
Identificación	Cantidad	Coste (euros)
Fabricación PCB	1	1,67
Sensor de caudal efecto Hall YF-S201	2	8,72
Interruptor de flujo SeedStudio MR-W1-P	2	22,82
Pilas alcalinas LR6	3	2,46
Tarjeta microSD 8 GB	1	3,82
Caja	1	2,6
Fichas, conectores, etc	1	2,2


Coste total (euros)	44,29
----------------------------	-------

Tabla 6 Lista de materiales

El coste total del prototipo de sensor de agua inteligente, sin tener en cuenta la mano de obra, ascendería a la cantidad de:

54,77€ - CINCUENTA Y CUATRO EUROS Y SETENTA Y SIETE CÉNTIMOS (sin módulo Zigbee)

74,37€ - SETENTA Y CUATRO EUROS Y TREINTA Y SIETE CÉNTIMOS (con módulo Zigbee)

	SMART WATER METER	REVISIÓN N° 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

4.4.- Autonomía

La autonomía del sensor de agua inteligente depende del número de tuberías a monitorizar, el modo de funcionamiento y las condiciones del estudio. Con objeto de cuantificar de modo sencillo la autonomía del sistema, los siguientes cálculos se han particularizado bajo el supuesto de 50 medidas diarias sobre una única tubería, de 45 segundos de duración cada una.

En el laboratorio se ha medido el consumo en corriente del sistema y se han detectado tres estados diferentes de consumo:

- Consumo con el microcontrolador dormido 0.6 mA (sensor sin alimentar).
- Consumo con el microcontrolador dormido 3.6 mA (sensor alimentado).
- Consumo midiendo o con el sensor alimentado 7.5 mA.

Tomando como base dichos estados de consumo, el cálculo del consumo en los distintos modos de funcionamiento es el siguiente:

Modo por defecto

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{día}} &= I_{\text{sleep}} * t_{\text{sleep}} + n * (I_{\text{mid}} * t_{\text{mid}} + I_{\text{esc}} * t_{\text{esc}}) = \\
 &= I_{\text{sleep}} * [t_{\text{día}} - n * (t_{\text{mid}} + t_{\text{esc}})] + n * (I_{\text{mid}} * t_{\text{mid}} + I_{\text{esc}} * t_{\text{esc}}) = \\
 &= 3.6 * [3600 * 24 - 50 * (45 + 0.001)] + 50 * (7 * 45 + 60 * 0.001)
 \end{aligned}$$

$$Q_{\text{día}} = 318692.82 \text{ mAs} = 88.53 \text{ mAh}$$

Modo bajo consumo


$$\begin{aligned}
 Q_{\text{día}} &= I_{\text{sleep}} * t_{\text{sleep}} + n * (I_{\text{mid}} * t_{\text{mid}} + I_{\text{esc}} * t_{\text{esc}}) = \\
 &= I_{\text{sleep}} * [t_{\text{día}} - n * (t_{\text{mid}} + t_{\text{esc}})] + n * (I_{\text{mid}} * t_{\text{mid}} + I_{\text{esc}} * t_{\text{esc}}) = \\
 &= 0.6 * [3600 * 24 - 50 * (45 + 0.001)] + 50 * (7 * 45 + 60 * 0.001)
 \end{aligned}$$

$$Q_{\text{día}} = 66242.97 \text{ mAs} = 18.4 \text{ mAh}$$

Modo consumo regulable

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{día}} &= I_{\text{sleep}} * t_{\text{sleep}} + n * (I_{\text{mid}} * t_{\text{mid}} + I_{\text{esc}} * t_{\text{esc}}) + n_{\text{check}} * I_{\text{mid}} * t_{\text{check}} = \\
 &= I_{\text{sleep}} * [t_{\text{día}} - n * (t_{\text{mid}} + t_{\text{esc}}) - n_{\text{check}} * t_{\text{check}}] + n * (I_{\text{mid}} * t_{\text{mid}} + I_{\text{esc}} * t_{\text{esc}}) + n_{\text{check}} * I_{\text{mid}} * t_{\text{check}} = \\
 &= I_{\text{sleep}} * [t_{\text{día}} - n * (t_{\text{mid}} + t_{\text{esc}}) - (n_{\text{ckd}} - n) * t_{\text{check}}] + n * (I_{\text{mid}} * t_{\text{mid}} + I_{\text{esc}} * t_{\text{esc}}) + (n_{\text{ckd}} - n) * I_{\text{mid}} * t_{\text{check}} = \\
 &= 0.6 * [3600 * 24 - 50 * (45 + 0.001) - (3600 * 24 - 50) * t_{\text{check}}] + 50 * (7 * 45 + 60 * 0.001) + \\
 &+ (3600 * 24 - 50) * 7 * t_{\text{check}}
 \end{aligned}$$

$$Q_{\text{día}} = 66242.97 + 552640 * t_{\text{check}} \text{ mAs} = 18.4 + 153.51 * t_{\text{check}} \text{ mAh}$$

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

Como se puede apreciar, en este modo de funcionamiento, el consumo depende además del ciclo de trabajo.

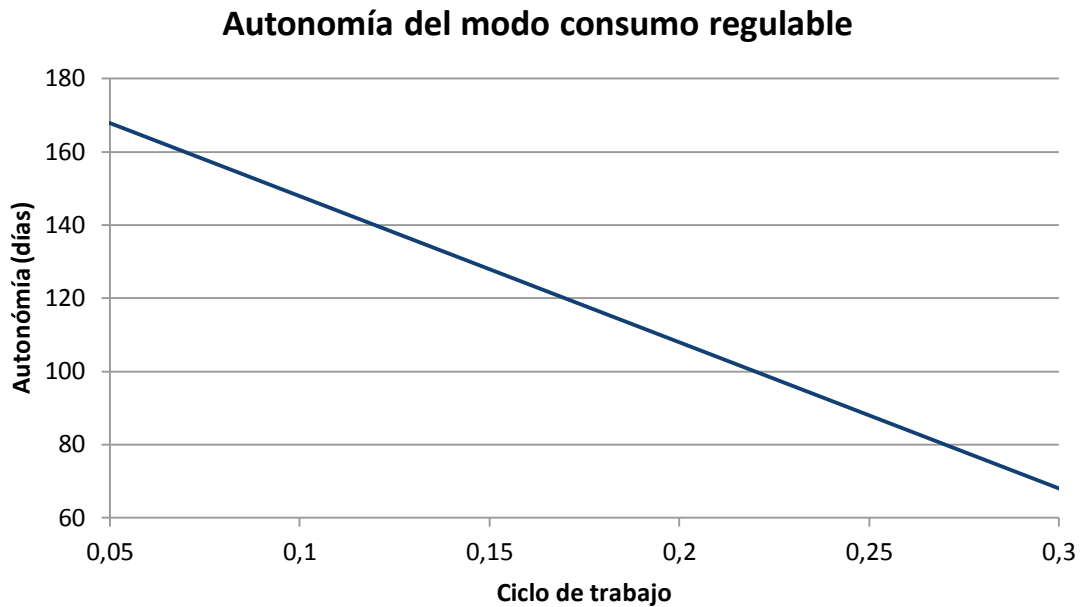


Figura 23 Autonomía del modo consumo regulable


Por ejemplo, para el ciclo de trabajo por defecto del 5%, el consumo diario es:

$$Q_{\text{dia}} = 26.04mAh$$

Una vez calculado el consumo, la autonomía con una batería de 4400 mAh es:

Modo	Autonomía (días)
Por defecto	49
Bajo consumo	239
Consumo regulable (CT 5%)	168

Tabla 7 Autonomía con batería de 4400 mAh

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

5.- Firmware

La programación del firmware se ha realizado usando el IDE MPLABX, herramienta oficial de desarrollo proporcionada por Microchip para microcontroladores PIC. MPLABX es un software todo en uno que ofrece edición de código, compilación y depurado de errores.

El código ha sido escrito completamente en C adaptado a microcontroladores, por ser un lenguaje muy legible, fácilmente portable y el más utilizado en microcontroladores. El lenguaje C posee estructuras de alto nivel, pero a su vez permite un control a bajo nivel.


MPLABX es compatible con los compiladores propios de Microchip así como con otros desarrollados por otras empresas. Entre las diversas alternativas, el compilador CCS C destaca por su alta optimización compilando, disponer de una gran cantidad de librerías y funciones integradas, y al ser ampliamente utilizado en el sector, existe una gran comunidad en internet donde resolver dudas.

La escritura del código se ha realizado de manera ordenada y estructurada, formando una arquitectura de ficheros que da lugar a un código modular, facilitando la actualización y reutilización del mismo. Además, se ha trabajado usando diversas funciones, las cuales hacen uso de variables locales, optimizando así el uso de la memoria RAM y reduciendo el tamaño del firmware.

La tasa de ocupación es del 20% de ROM y del 34% de RAM. Existe un amplio margen de memoria libre, pero está justificado ya que se prevé la posibilidad de utilizar conectividad inalámbrica ZigBee, cuyas librerías requieren una cantidad de memoria mayor.

El código ha sido comentado minuciosamente utilizando la sintaxis de Doxygen. Doxygen es una herramienta que genera documentación del código (en varios formatos como html, LaTeX, rtf,xml...), permitiendo la autodocumentación exhaustiva del proyecto.

El firmware programado es completamente funcional y ha sido probado en profundidad durante largos periodos de tiempo en aproximadamente 25 dispositivos instalados en diversas localizaciones. Se ha conseguido crear un código estable, modular, optimizado y legible.

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

5.1.- Arquitectura de ficheros

Con el objetivo de crear un firmware reutilizable y fácilmente actualizable, se ha realizado una programación modular estructurada en capas.

- Capa 0: es la capa más cercana al hardware. Incluye la librería que interactúa con la tarjeta microSD a bajo nivel y la gestión de todas las interrupciones, incluyendo las vinculadas a los sensores utilizados.
- Capa 1: es la capa intermedia entre la capa inferior y la superior. Incluye la librería que gestiona la memoria no volátil y alberga todas las funciones que son llamadas desde el programa principal.
- Capa 2: es la capa que determina la funcionalidad del dispositivo y la configuración del microcontrolador.

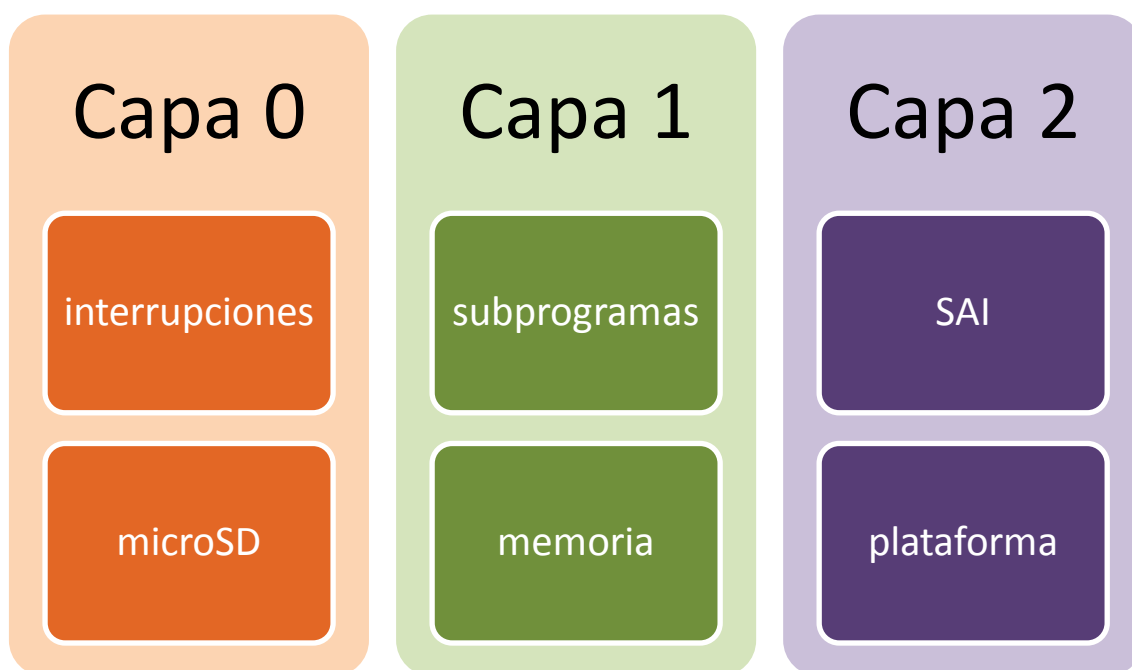



Figura 24 Arquitectura de ficheros

5.2.- Estructura de programación

En este apartado se describe cómo se ha realizado la programación de la funcionalidad del firmware, así como la gestión de las interrupciones y el manejo de la memoria no volátil.

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

5.2.1.- Inicialización y bucle principal

El archivo principal del firmware del sensor de agua inteligente (SAI.c) es el encargado de la inicialización del sistema así como de su funcionalidad. Todo ello se lleva a cabo llamando a funciones desde las librerías y mediante el uso de interrupciones.

Si se desea información detallada de las librerías y funciones utilizadas, esta puede encontrarse en la documentación html generada mediante Doxygen.

El siguiente diagrama de bloques muestra el funcionamiento general del sistema:

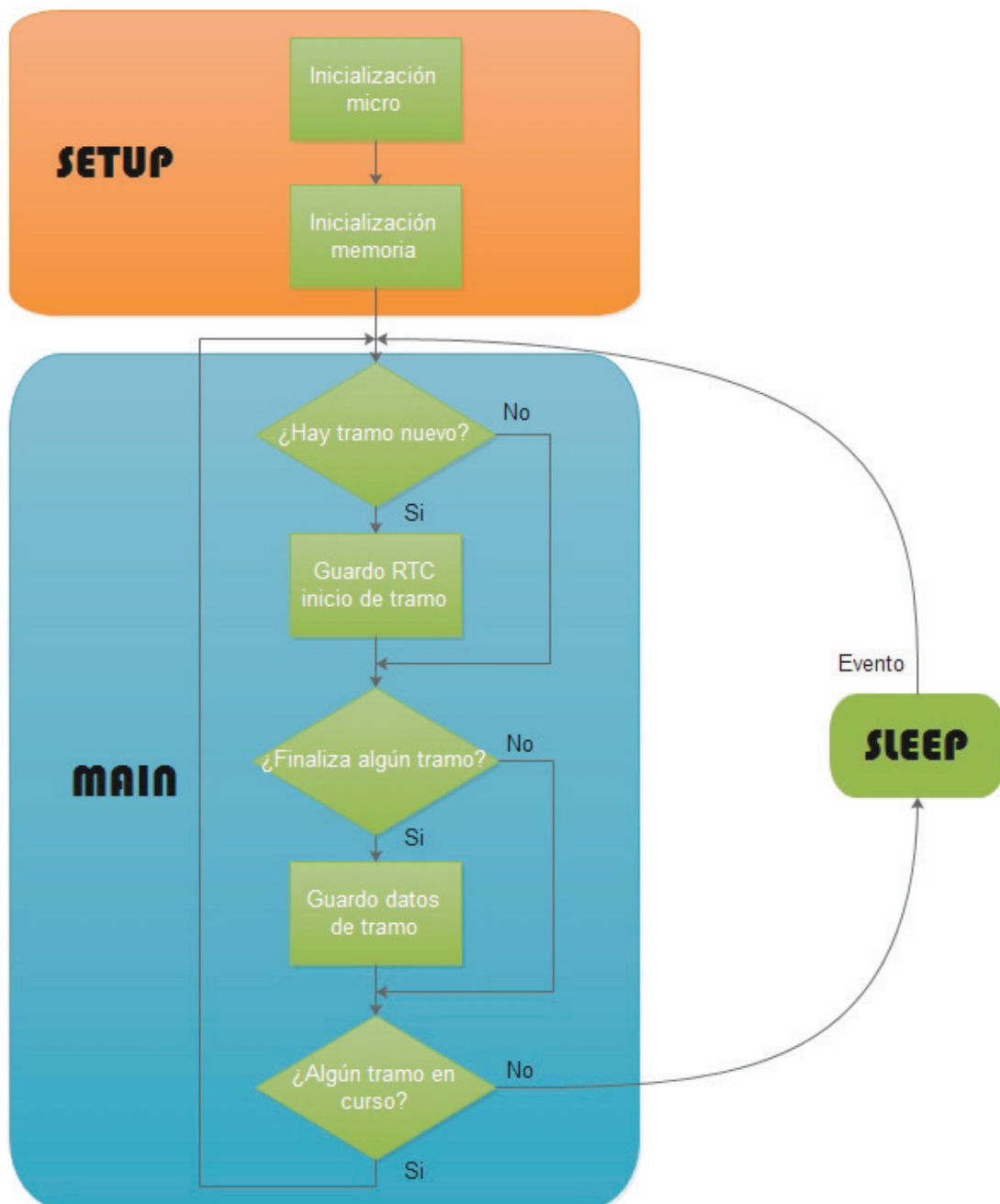



Figura 25 Diagrama de bloques del funcionamiento general del sistema

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

Durante el proceso arranque del sistema (setup) se lleva a cabo la inicialización del microcontrolador y de la memoria. Este proceso solo tiene lugar una vez por cada inicio de sistema.

La configuración inicial del microcontrolador incluye:

- Configuración de entradas/salidas y valores por defecto en los puertos.
- Inicialización de variables.
- Configuración y activación de las interrupciones correspondientes al modo de funcionamiento deseado.

La inicialización de la memoria se compone de los siguientes pasos:

- Inicialización de la tarjeta microSD.
- Recuperación de los datos de la sesión anterior o creación de una nueva en caso de no encontrarse nada que recuperar.


Una vez finalizado el proceso de arranque, el sensor de agua inteligente se encuentra totalmente operativo y se procede a realizar la monitorización del consumo.

Independientemente del modo de funcionamiento, durante la monitorización del consumo el sistema se encuentra dormido mientras no se produzca un evento iniciado por una interrupción. Ante la aparición de un evento, el sistema se despierta y se ejecuta una vez el bucle principal.

El bucle principal basa su funcionamiento en el uso de “flags” generados desde las interrupciones. Gracias a ellos se conoce en todo momento, entre otras cosas, el estado de las mediciones y se actúa en consecuencia:

- Si hay una medición nueva, guarda la hora y fecha de inicio.
- Si ha transcurrido más de un segundo desde el último pulso registrado en una de las líneas, se considera que el tramo ha finalizado y se guarda la información en la tarjeta microSD.
- Si al finalizar el bucle principal no hay ninguna medición en curso se vuelve a dormir el sistema.

Con el objeto de poder trabajar en paralelo con dos sensores, ha sido necesario el uso de dos variables de 512 Bytes de longitud cada una, donde guardar temporalmente los datos de las mediciones hasta su almacenamiento definitivo en la tarjeta microSD. Esta fue una de las principales razones por las que se eligió un microcontrolador con una gran cantidad de memoria RAM disponible. Al margen de las necesidades de memoria, trabajar con dos sensores simultáneamente implica cierta complejidad y requiere programar de manera organizada y tomando ciertas precauciones para evitar la pérdida o corrupción de datos.

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

5.2.2.- Gestión de interrupciones

La necesidad de bajo consumo lleva inequívocamente a la utilización del modo “sleep” combinado con el uso de interrupciones. De esta manera, el microcontrolador solo se encuentra despierto cuando realmente es necesario.

Se ha utilizado el modo “sleep” estándar, el cual apaga el oscilador y la mayoría de los periféricos, manteniendo los datos almacenados en la memoria RAM. Adicionalmente, existe un modo “deep sleep”, en el que además se apaga el regulador de tensión interno del microcontrolador, consiguiendo un consumo aún menor. El problema del modo “deep sleep” es que al caer la tensión por debajo de un determinado nivel se pierden los datos almacenados en la memoria RAM, y se perderían ciertas variables de configuración. Como la autonomía del sistema es superior a la requerida, no se ha considerado necesario hacer uso de este modo de bajo consumo.


La configuración y activación de las interrupciones se realiza principalmente durante el proceso de inicialización del sistema. Todas las funciones asociadas a las interrupciones se encuentran en el archivo “interrupciones.c”.

Además, algunas interrupciones se han configurado como prioritarias o se han desactivado temporalmente en algún punto crítico (como, por ejemplo, durante la escritura de la tarjeta microSD).

La siguiente tabla lista las interrupciones utilizadas junto con una breve descripción de su finalidad:

Interrupción	Finalidad
RTC	Despierta al sistema cada segundo para comprobar si está circulando agua (solo en modo de consumo regulable)
Timer 0	Cuenta el tiempo de las mediciones
INT, INT 1	Cuentan los flancos descendentes de los pulsos generados por los sensores de caudal 1 y 2, respectivamente. Además, son las encargadas de guardar todos los datos de medición con el formato adecuado en la memoria RAM, para su posterior almacenamiento en la tarjeta microSD.
INT 2, INT 3	Detectan los flancos ascendentes generados por los interruptores de flujo 1 y 2 al producirse circulación de agua, respectivamente. Alimentan el sensor de caudal correspondiente para que dé comienzo la nueva medición. (solo en modo bajo consumo)
RB	Se activa al presionar el pulsador, y ha resultado muy útil durante el desarrollo del firmware. En la versión final resetea el sistema.
RDA	Recibe información del módulo inalámbrico ZigBee.

Tabla 8 Interrupciones

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

5.2.3.- Gestión de memoria

Inicialmente se exploraron las funciones pre construidas incluidas en el compilador CCS para la gestión de las memorias de tipo SD. El problema fue que dichas funciones estaban obsoletas y no cumplían los estándares de las tarjetas microSD actuales. Por esta razón se llegó a la conclusión de que la mejor opción era programar unas librerías propias para la gestión de la memoria.

La gestión de la memoria no volátil se lleva a cabo mediante dos librerías:

- Librería “microSD”: gestión de la comunicación con la tarjeta microSD en bajo nivel.
- Librería “memoria”: gestión de la memoria no volátil en alto nivel.

5.2.3.1.- Librería microSD

Es la librería encargada de realizar la interacción directa con la tarjeta microSD a través de la comunicación serie SPI. La programación de la librería se ha realizado teniendo en cuenta las indicaciones incluidas en el documento “SD physical layer simplified specification v4.10”.


En dicho documento se explica detalladamente la estructura de la memoria de la tarjeta, todos los comandos dispuestos para su control y el proceso de inicialización requerido.

Existe una gran cantidad de comandos para el control de la tarjeta mediante comunicación SPI, aunque únicamente se han utilizado los siguientes:

Nº de comando	Comando	Acción
CMD0	GO_IDLE_STATE	Resetea la tarjeta
CMD8	SEND_IF_COND	Envía condiciones de la interfaz
CMD9	SEND_CSD	Lee los datos específicos de tarjeta (registro CSD)
CMD10	SEND_CID	Lee la identificación de tarjeta (registro CID)
CMD16	SET_BLOCKLEN	Establece longitud de bloque (sólo SDSC)
CMD17	READ_BLOCK	Lee un bloque
CMD24	WRITE_BLOCK	Escribe un bloque
CMD55	APPL_CMD	Prefijo de comando de aplicación específica
CMD58	SEND_OCR	Lee registro OCR
ACMD41	ACMD41	Envía capacidad admitida por el host

Tabla 9 Comandos SPI utilizados en la librería microSD

Todos los comandos tienen una longitud de 8 bits y una buena parte de ellos deben enviarse junto a un argumento de 32 bits. Una vez que la tarjeta microSD recibe el comando, lo procesa y envía una respuesta acompañada de datos añadidos si procede.

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

El proceso de inicialización de la tarjeta está perfectamente especificado en la documentación y se ha seguido rigurosamente:

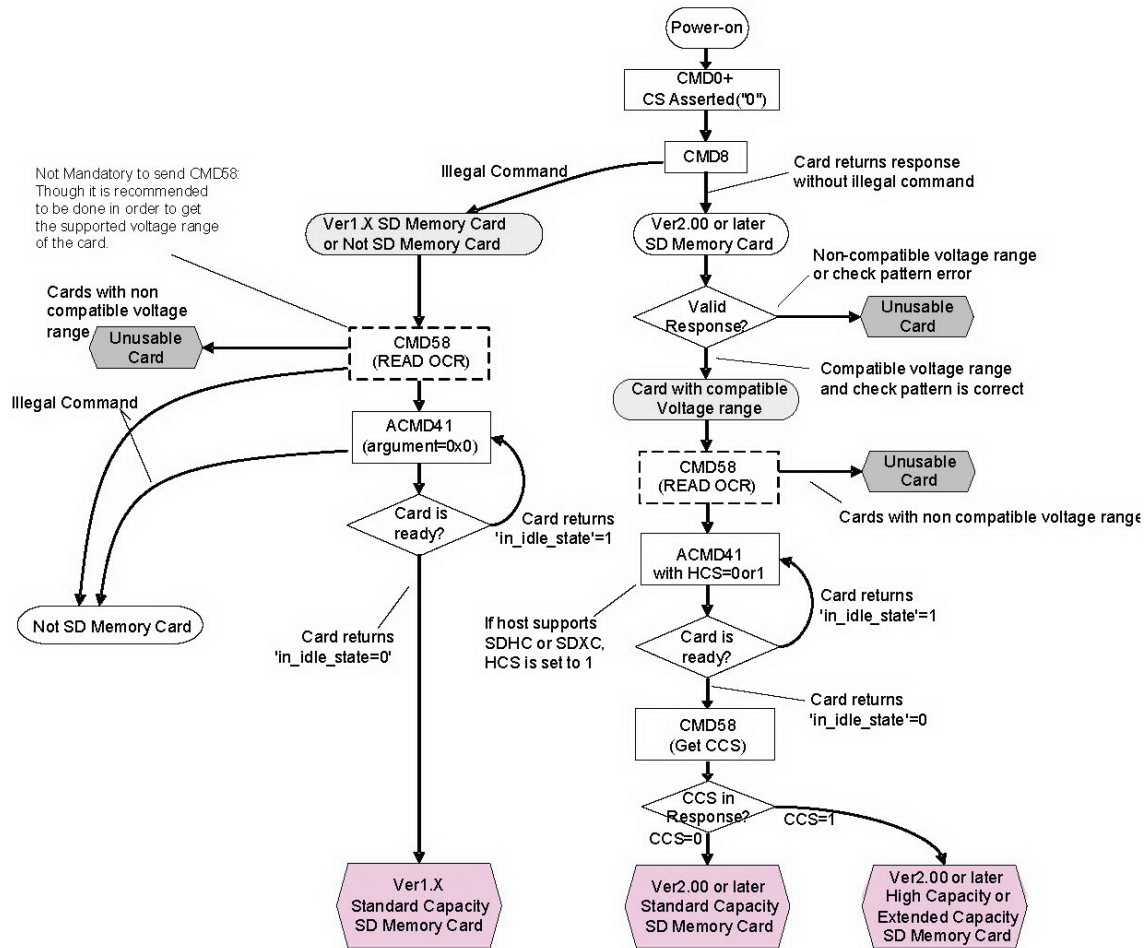



Figura 26 Proceso de inicialización de la tarjeta microSD

Así pues, en la librería microSD se han implementado las funciones más básicas:

- Enviar un comando
- Inicialización y detección del tipo de la tarjeta microSD.
- Recibir información acerca de la identificación y capacidad de la tarjeta.
- Establecer el tamaño de bloque
- Escribir y recibir datos.

Todas estas funciones son utilizadas en la librería de alto nivel “memoria”, pero en ningún caso son llamadas directamente desde el programa principal.

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

5.2.3.2.- Librería memoria

Es la librería encargada de la gestión de la memoria no volátil en alto nivel. Al comienzo de la misma, se debe incluir la librería de gestión de memoria en bajo nivel que se desea utilizar en función del medio de almacenamiento. En este caso, se ha incluido la librería de la tarjeta microSD, pero si se decidiera trabajar con otro tipo de memoria bastaría con incluir la librería correspondiente.


Una vez incluida la librería de gestión de memoria de bajo nivel correspondiente, el usuario que utilice la librería memoria no tiene que preocuparse del medio de almacenamiento, ya que las funciones son genéricas con independencia del mismo. Por esta razón, si durante el desarrollo de un proyecto se decide cambiar el tipo de memoria, bastaría con incluir la librería de bajo nivel correspondiente, sin necesidad de reescribir ni una sola línea de código. Esta metodología de programación es conocida como “abstracción de funciones” y simplifica enormemente el uso de las librerías.

Las funciones de la librería memoria se construyen utilizando las existentes en la librería de gestión de memoria de bajo nivel incluida, y son llamadas desde el programa principal cuando se necesita hacer uso de la memoria. Estas son:

- Inicializar memoria
- Inicializar sesión
- Actualizar sesión
- Escribir datos
- Leer datos
- Añadir datos
- Quitar formato

Además de las típicas acciones de lectura y escritura de datos, se ha dotado al dispositivo de un sistema de sesiones. Este sistema permite reconocer si la memoria ha sido utilizada con anterioridad y, de ser así, recuperar los datos anteriores y continuar por donde se quedó.

Posteriormente, en el subpartado de datos de sesión, se dan más detalles acerca del uso de sesiones.

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

5.3.- Formato de datos

Todos los datos que se desean conservar se almacenan en la tarjeta microSD dispuesta con tal fin. Dadas las características intrínsecas de las tarjetas microSD, la escritura y lectura de datos se puede llevar a cabo únicamente en bloques predefinidos de 512 bytes de capacidad.

Todos los datos almacenados son hexadecimales con la codificación Little Endian (bytes ordenados del menos al más significativo).

Así pues, se han definido dos tipos de página de datos de longitud un bloque de memoria:

- Página de sesión: tabla de contenidos que alberga datos relativos a la tarjeta y actúa como índice de datos.
- Página de datos de medida: incluye los datos detallados de una medida de tramo de agua.

La capacidad de la tarjeta se ha dividido en distintos rangos de memoria, cada uno de ellos destinado a un fin:

Bloques de memoria (HEX)	Página
0x00 – 0xFF	Reservado
0x100	Sesión 1
0x101	Sesión 2
0x200 – final de memoria	Medida


Tabla 10 Formato de datos

5.3.1.- Datos de sesión

Los datos de sesión permiten reconocer si la tarjeta ha sido utilizada en un sensor de agua inteligente con anterioridad, y de ser así, continuar la escritura de datos desde el punto en el que se quedó.

Durante el arranque del sistema, al inicializar la tarjeta microSD se leen las dos páginas de sesión. En caso de existir datos previos se lee la sesión más reciente y, en caso contrario, se crea una nueva sesión.

Cada vez que finaliza un tramo de agua, se guardan los datos de medición y se actualizan los datos de sesión. En previsión de un posible fallo durante el proceso de escritura de datos de sesión (por ejemplo, el incremento de consumo en el proceso de escritura podría dar lugar a fallos en la alimentación) se hace uso de dos páginas de sesión en las que se escribe alternativamente en medidas consecutivas. De esta forma, en caso de corromperse los datos de la sesión actual se mantendrían los datos de la sesión anterior, evitando la pérdida de la información.

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

El formato de las páginas de sesión es el siguiente:

Dato	Tamaño (Bytes)	Posición (Bytes)
Identificación de memoria	4	0 - 3
Capacidad de memoria (KBytes)	4	4 - 7
Nº de datos máximo	4	8 - 11
Número de datos	4	12 - 15
Factor de calibración sensor 1	4	16 - 19
Factor de calibración sensor 2	4	20 - 23

Tabla 11 Formato de página de sesión

La identificación de la memoria es exclusiva de cada microSD nos permite saber si la tarjeta ha sido usada con anterioridad en el sistema.

La obtención de la capacidad y, por ende, el número máximo de datos evita la escritura de datos cuando se ha alcanzado es máximo posible. No obstante, en la vida real es una situación que no se va a dar, ya que incluso con una tarjeta de poca capacidad haría falta una cantidad exagerada de medidas para llenarla.

El número de datos es de suma importancia, ya que ejerce de índice para que el sistema pueda continuar la escritura de datos en donde lo dejó.

5.3.2.- Datos de medida


Los datos obtenidos del caudalímetro se almacenan en páginas de medida. Cada página incluye la medición de un solo tramo de agua con independencia del consumo y tiempo transcurrido.

Los datos incluidos en cada página de medida están organizados de la manera estipulada en la siguiente tabla:

Dato	Tamaño (Bytes)	Posición (Bytes)
Nº de muestra	4	0 - 3
Fecha (día/mes/año)	3	4 - 6
Hora (hora/min/seg)	3	7 - 9
Datos del sensor y paso	1	10
Nº de pasos	1	11
Medidas intermedias (pasos)	2 * nº de pasos	12 - 503
Tiempo de tramo (ds)	4	504 - 507
Medida de tramo (pulsos)	4	508 - 511

Tabla 12 Formato de página de medida

Cada medida de tramo incluye medidas intermedias que se han denominado medida de paso. Dichos pasos se realizan durante cada medición con una periodicidad configurable por el usuario y proporcionan información relevante acerca de la progresión del consumo del tramo.

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

Adicionalmente, las medidas de paso realizan la función de CRC, puesto que la suma de todas ellas debe ser igual a la medida de tramo.

El byte correspondiente a los datos de sensor y paso proporciona información relativa a la frecuencia de paso y al sensor:

- Bits 0 – 5: frecuencia de paso establecida (sólo uno de ellos puede ser un “1”).

Bit	Paso
0	Un segundo
1	Cinco segundos
2	Quince segundos
3	Treinta segundos
4	Un minuto
5	Tres minutos

Tabla 13 Frecuencia de paso

- Bit 6: flag que indica que se ha sobrepasado el número de pasos en la medida (overflow).
- Bit 7: es “0” si la medida pertenece al sensor 1 y es “1” si pertenece al sensor 2.


Debido a la limitación autoimpuesta de una medición por bloque, el número máximo de datos por tramo es de 246 pasos. De esta manera, el tiempo máximo total de tramo queda restringido por el tiempo de paso:

Tiempo de paso	Tiempo máximo de tramo
1''	4 min 6 s
5''	20 min 30 s
15''	1 h 1 min 30 s
30''	2 h 3 min
1'	4 h 6 min
3'	12 h 18 min

Tabla 14 Duración máxima de tramo

Si se sobrepasa el tiempo máximo de tramo, se perderían las medidas de los pasos intermedios posteriores al paso 246 y se establecería el “flag” de overflow. Sin embargo, esto no afectaría a las medidas totales de tramo, que serían correctas.

En función del entorno de uso, los tiempos máximos de tramo son distintos y pueden ser estimables, siendo recomendable establecer un tiempo de paso acorde.

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

6.- Pre-serie y pruebas de campo

En este apartado se describe todo el proceso de producción, instalación y análisis de datos del sensor de agua inteligente. Además, se hace un pequeño análisis de los resultados obtenidos del estudio realizado con los inodoros.

6.1.- Producción

El proceso de producción se ha realizado escalonadamente para asegurarnos de que, en caso de haber algún error, afectara al menor número de unidades posible. Se ha trabajado con tres placas de circuito impreso:


- Una versión inicial basada en una PCB de evaluación de Microchip incluida junto al programador PICKIT3, pero sus funciones eran muy básicas y no hacía uso de la tarjeta microSD.
- La primera PCB de diseño propio era muy similar a la versión final. Se hicieron 5 prototipos de PCB mediante fresado (maquina LPKF del departamento de Tecnología Electrónica de la Universidad). Tras soldar 2 placas, y una vez comprobado que era plenamente funcional, se realizaron pequeños ajustes de cara a la PCB final.
- La placa definitiva incluyó mejoras como un microcontrolador de menor consumo, más memoria RAM y RTC por hardware. Además, se reajustó la posición de los conectores para un mejor acceso.

Todos los apartados de la memoria hacen referencia únicamente a la PCB final.

Con el objetivo de realizar un estudio del uso de las pulsaciones cortas y largas de la cisterna en 25 inodoros, se realizó un pedido para la producción final. En dicho pedido se encargaron bastantes unidades, razón por la cual el precio final por unidad de sensor de agua inteligente resultó menor al indicado en el BOM. Se pidieron:

- 50 unidades de la PCB.
- 30 unidades de cajas comerciales.
- Todos los componentes necesarios para ensamblar todas las PCB, teniendo en cuenta la posibilidad de que algunos estén defectuosos o se rompan en el proceso de producción.
- Todos los sensores necesarios para el estudio.

Una vez recibido todo el material, se produjeron las tres primeras unidades. Una unidad fue testeada en el laboratorio HowLab durante una semana para comprobar su estabilidad. La prueba consistía en aplicar eventualmente soplos de aire en el sensor, verificando que se encendía el led correspondiente en el proceso de medida, para posteriormente comprobar todos los datos extrayendo la memoria microSD. Las otras dos unidades fueron destinadas al desarrollo del firmware.

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

Una vez superado el test del laboratorio, se puso a prueba en un lavabo cercano al laboratorio con buenos resultados, verificándose así el buen funcionamiento del dispositivo. Así pues, se procedió con la producción e instalación de todas las unidades destinadas al estudio por lotes.

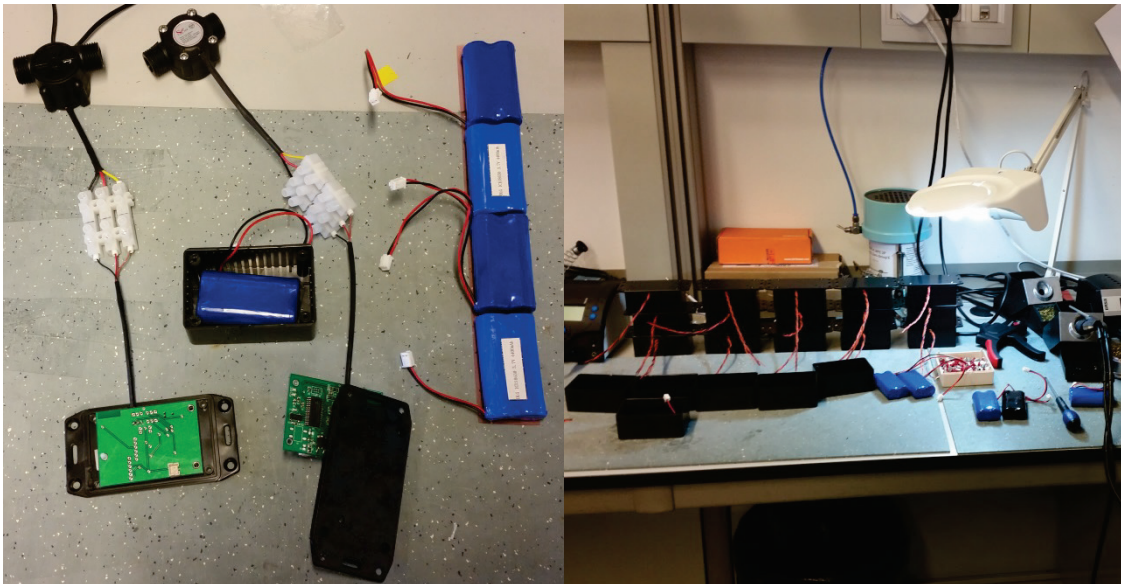



Figura 27 Fotos de la preserie

La producción de las placas de circuito impreso requiere de procesos de montaje y verificación, los cuales se describen a continuación.

6.1.1.1.- Proceso de montaje

El proceso de montaje de las placas de circuito impreso se puede resumir en los siguientes pasos:

- Comprobación de continuidad de las pistas mediante el polímetro (sólo en los prototipos iniciales realizados por la maquina LPKF en la universidad).
- Soldadura manual térmica de estaño de los componentes. Para optimizar el tiempo de soldadura, esta se realiza soldando los componentes paralelamente en varias placas a la vez. Primero se sueldan los componentes más grandes o críticos y se finaliza soldando los pequeños componentes como los pasivos.
- Chequeo visual de que las soldaduras estén bien hechas.
- Mecanizado de la caja.
- Preparación de los conectores para separar la parte hidráulica de la electrónica.

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

6.1.1.2.- Proceso de verificación

El proceso de verificación de las placas se compone de los siguientes pasos:

- Asegurarse de que el microcontrolador es detectado y programado por el programador.
- En modo depuración, comprobación de la detección de la tarjeta microSD. En caso negativo repasar las soldaduras de la comunicación SPI entre el socket de la tarjeta y el microcontrolador.
- Realizar tres soplos (corto, medio y largo) en el sensor y asegurarse de que se ilumina el LED correspondiente al sensor durante cada soplido.
- Extraer la microSD y comprobar que los datos concuerdan: duración (corta, media y larga) y el avance de la hora de inicio.

6.2.- Instalación y puesta a punto

Una vez verificado el correcto funcionamiento, la puesta a punto es muy sencilla:


- Programación del microcontrolador con la configuración del sistema y puesta en hora
- Alimentar el sistema y cerrar la caja dejando todo bien fijado.
- Conectar el bloque electrónico a la instalación hidráulica mediante los conectores correspondientes.

En función del número de líneas en las que se quiera tomar medidas y el modo de funcionamiento, los sensores de caudal e interruptores de flujo utilizados son:

Modos	Líneas		Sensores			
	L1	L2	SC1	SC2	IF1	IF2
Modo por defecto / regulable	SI	NO	SI	NO		
	NO	SI	NO	SI		
	SI	SI	SI	SI		
Modo bajo consumo	SI	NO	SI	NO	SI	NO
	NO	SI	NO	SI	NO	SI
	SI	SI	SI	SI	SI	SI

Tabla 15 Conexión de sensores

Como se puede apreciar, el uso de interruptores de flujo queda reservado para modo de bajo consumo mientras que los sensores de caudal son usados con independencia del modo de funcionamiento.

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

La orientación y orden de los sensores de caudal e interruptores de flujo es relativa al sentido del flujo de agua. La orientación viene indicada en los propios sensores, y el orden es el mostrado en la siguiente figura.

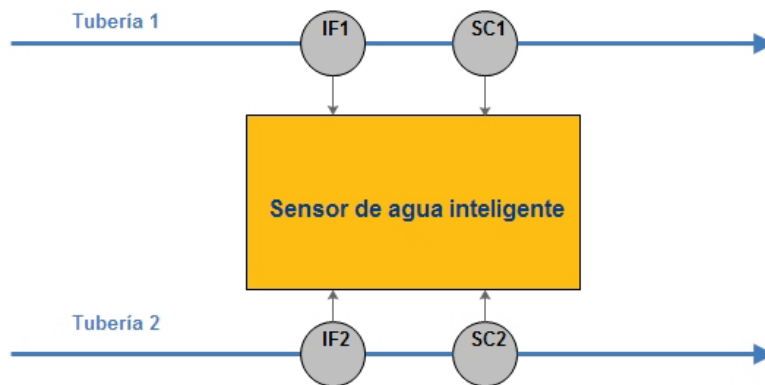



Figura 28 Orden de conexión de sensores

A la hora de hacer el despliegue en los domicilios particulares, tanto al fontanero como a los usuarios se les proporcionaron unas breves instrucciones:

- Al fontanero se le pidió que, una vez finalizada la instalación del dispositivo, tirara cinco veces de la cadena, permitiendo a la cisterna llenarse completamente entre cada uno de los usos. De ésta manera, se consigue saber cuál es el volumen de agua desalojado por una descarga completa de la cisterna. Conociendo esta información, resulta sencillo detectar usos incompletos o dobles, e incluso malfuncionamientos en la cisterna.
- A los usuarios del inodoro se les dijo que hicieran un uso normal del mismo, ignorando el hecho de que se estaba realizando una monitorización del consumo de agua. Adicionalmente, se les pidió que rellenaran un cuestionario que les fue proporcionado, con la finalidad de poder contrastar dicha información con los datos obtenidos mediante la monitorización.

	SMART WATER METER	REVISIÓN N° 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

6.3.- Análisis de datos

La extracción y análisis de datos es sencillo y se lleva a cabo leyendo la tarjeta microSD desde un ordenador. Dado que la tarjeta no tiene un formato reconocible por el sistema operativo, es necesario leer los datos de la tarjeta en “crudo” para poder acceder a su contenido. Puesto que el formato de los datos está muy bien definido, una vez extraídos resulta sencillo realizar el procesado para poder estudiarlos.

Para la extracción de los datos se requieren los siguientes pasos:

- Instalar algún software que permita leer los datos de la tarjeta en “crudo”. Se recomienda el uso del software HxD, por ser gratuito y fácil de utilizar.
- Abrir el disco como disco físico (no lógico).
- Buscar las páginas de sesión (0x100 y 0x101).
- Observar cual es el número de datos en ambas páginas de sesión (bytes 12-15), siendo válido el de mayor valor.
- Hay tantas páginas de datos como número de datos. Exportar a una tabla Excel un número de bloques igual al número de datos empezando por la posición de la primera página de datos (0x200).
- Utilización de fórmulas en la tabla Excel para realizar el procesado de los datos conforme al formato especificado.
- Análisis de los datos obtenidos

6.4.- Estudio de consumo en inodoros

A partir de los datos anteriores, se pueden extraer conclusiones muy interesantes y útiles. Para ilustrar los mismos, se han utilizado los datos obtenidos durante las dos primeras semanas en uno de los sensores. Durante este periodo se ha evaluado únicamente el comportamiento del inodoro antiguo, puesto que actualmente la fase de monitorización sigue activa.

Los resultados mostrados a continuación han sido obtenidos mediante un sensor de agua inteligente funcionando en modo de consumo regulable con la configuración por defecto (ciclo de trabajo del 5% y tiempo de paso de 1 segundo) en el inodoro de un domicilio donde viven tres personas.

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

Las siguientes gráficas muestran la evolución del caudal en el proceso de llenado de la cisterna del inodoro, en los casos de pulsación corta y pulsación larga:

Evolución llenado cisterna pulsación corta

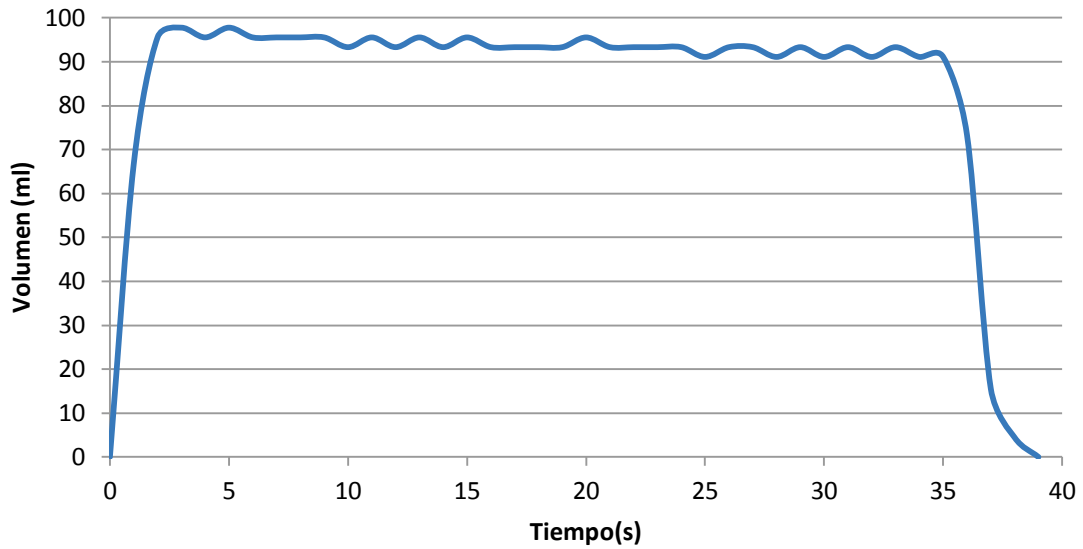


Figura 29 Evolución llenado cisterna pulsación corta

Evolución llenado cisterna pulsación larga

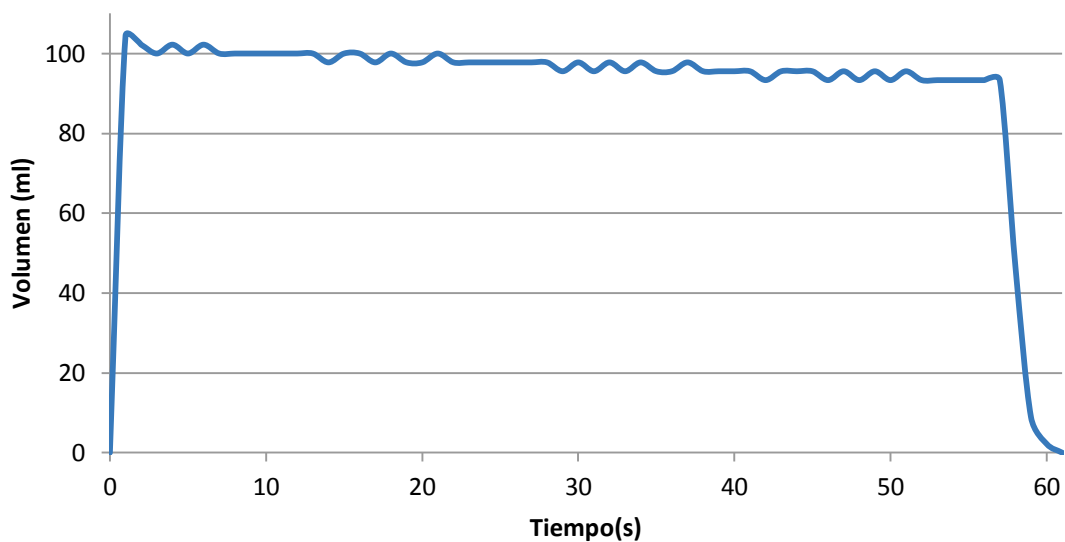



Figura 30 Evolución llenado cisterna pulsación larga

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

Este tipo de gráfica permite obtener de modo sencillo la siguiente información: consumo global, caudal medio de llenado y tiempo de llenado. Por ejemplo, para el inodoro monitorizado:

	Consumo(ml)	Tiempo(s)	Caudal medio(ml/s)
Pulsación corta	3351	37.3	89.84
Pulsación larga	5602	59	94.95

Tabla 16 Información de pulsaciones corta y larga en inodoro

Se puede apreciar claramente que el caudal es prácticamente constante excepto al comienzo y al final del proceso. En ambos casos, el caudal medio de llenado se encuentra en torno a los 90 ml/s, siendo ligeramente superior en el caso de la pulsación larga.

Además, se puede realizar un análisis del consumo global a lo largo de un periodo de tiempo. La siguiente gráfica contrasta el consumo realizado a lo largo de los días 25 de enero y 4 de febrero de 2015:

Monitorización del consumo durante un día

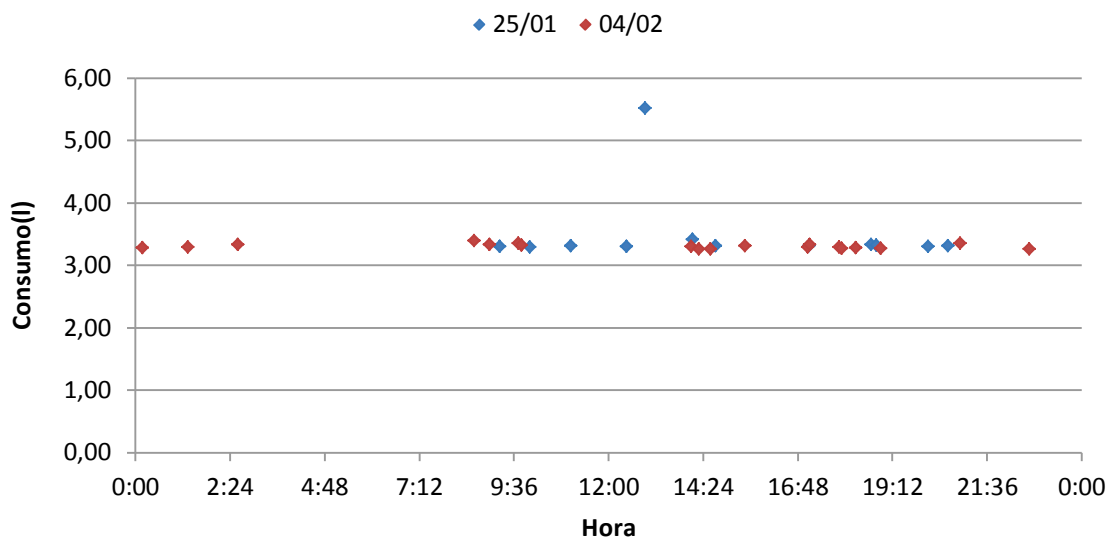


Figura 31 Monitorización del consumo durante un día

Como se puede observar, los hábitos de consumo quedan totalmente identificados. Un análisis detallado de los datos permite:

- Extraer información sobre los hábitos de consumo.
- Cuantificar el ahorro de agua haciendo uso de inodoros con tecnología de ahorro de agua, siendo este el objeto del despliegue de la monitorización.

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

7.- Conclusión

Una vez finalizado el proyecto, resulta interesante realizar un cómputo global del desarrollo del mismo para analizar si los objetivos propuestos han sido logrados.

7.1.- Desarrollo del proyecto

El desarrollo del proyecto ha llevado 15 meses de trabajo y aprendizaje. El siguiente diagrama de Gantt muestra su evolución temporal:

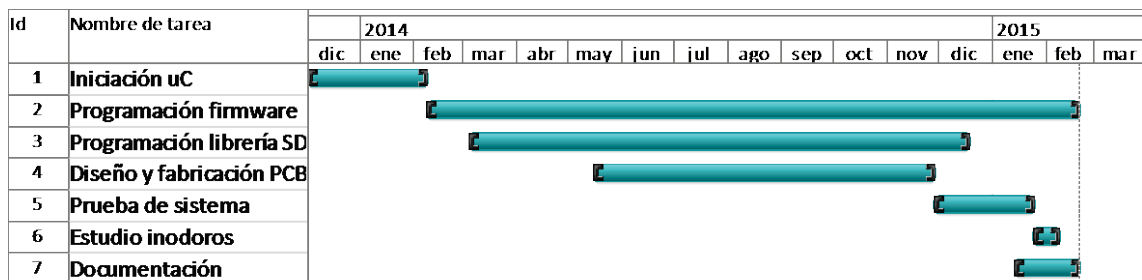


Figura 32 Diagrama de Gantt

7.2.- Resultados

El análisis de los resultados del proyecto se puede enfocar desde el punto de vista de la consecución de objetivos del proyecto y desde un punto de vista más personal, orientado hacia el aprendizaje y la experiencia profesional adquiridos.

7.2.1.- Resultados del proyecto


Todos los objetivos propuestos al comienzo del proyecto han sido completados con éxito.

El principal objetivo del proyecto era la obtención del volumen de agua consumido por una línea con el suficiente detalle como para poder realizar el estudio de los hábitos de uso de los inodoros. El estudio se ha llevado a cabo y el resultado ha sido muy satisfactorio.

Para la realización del proyecto se ha pasado por las etapas típicas de un proyecto electrónico tipo: especificación, diseño de circuito y PCB, desarrollo del firmware, montaje y puesta a punto.

El sensor de agua inteligente es capaz de funcionar durante periodos muy prolongados de tiempo sin necesidad de sustituir la batería ni requerir mantenimiento alguno.

El dispositivo se ha diseñado de tal forma que la parte hidráulica y la electrónica están desacopladas, facilitando la instalación.

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

Su funcionamiento es versátil, dado que posee varios modos de funcionamiento y distintas configuraciones. Además, es capaz de realizar mediciones por dos tuberías simultáneamente.

El firmware se ha desarrollado modularmente, aumentando la legibilidad del código y facilitando su ampliación o reutilización.

Como prueba inequívoca de la consecución de los objetivos, el sistema desarrollado se está utilizando en un proyecto real de monitorización de agua y ya se dispone de resultados previos, los cuales han sido analizados en el presente documento.

Finalmente, se ha pensado en las posibilidades futuras del sistema. Actualmente se está trabajando en la puesta a punto de las comunicaciones ZigBee, para que el sistema desarrollado pueda ser utilizado por parte del grupo HOWLab en futuros proyectos.


7.2.2.- Conclusiones personales

El hecho de haber diseñado un prototipo completamente funcional produce una gran satisfacción. Durante el proceso de desarrollo del proyecto se han adquirido conocimientos y habilidades que pueden ser de gran ayuda en el mundo profesional.

Como resultado del trabajo realizado:

- Me he familiarizado con las características y funcionamiento de los microcontroladores PIC, profundizando en el uso de muchos de sus módulos integrados
- He ampliado enormemente mis conocimientos de programación en C, aprendiendo a programar de manera ordenada y modular, haciendo uso de una arquitectura de ficheros y documentando el código mediante Doxygen.
- He comprendido a fondo el funcionamiento de las tarjetas microSD.
- He mejorado en el diseño de placas de circuito impreso, colocando los componentes y ruteando las pistas de manera inteligente. Además, he desarrollado la capacidad de detección de errores en la placa.
- He aprendido el proceso de soldadura de una PCB, así como su chequeo.
- He comprobado que cosas que “en papel” funcionan perfectamente en el prototipo pueden dar problemas, de ahí la importancia de comprobar detalladamente su funcionamiento.

Finalmente, me gustaría dar las gracias a Ángel Asensio y Roberto Casas por brindarme la oportunidad de desarrollar un proyecto real en el entorno del equipo de investigación HOWLab, así como por su paciencia y valiosos consejos.

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

7.3.- Líneas futuras

Con vistas a un uso más extensivo sería conveniente realizar más pruebas bajo distintas circunstancias, como por ejemplo en ambientes con ruido electromagnético o bajo distintos niveles de humedad y temperatura.

Una buena manera de conseguir un testeo exhaustivo sería proporcionar algunas unidades a profesionales del sector, de manera que puedan aportar ideas para mejorarlo y compararlo con la competencia. En caso de preverse la necesidad de un mayor número de unidades, se deberán considerar aspectos como simplificar el montaje, verificación y puesta a punto.

La placa de circuito impreso alberga un módulo ZigBee inalámbrico que permite el envío de comandos de control desde un ordenador y transmitir los datos inalámbricamente en tiempo real. Esto permitirá la inclusión de este sistema en entornos de inteligencia ambiental, o aplicaciones de Internet de las Cosas. Con objeto de conseguir una interoperabilidad entre los distintos sistemas, será necesaria la adaptación e implementación de un protocolo de comunicaciones común.


Además, se han dispuesto conectores para la conexión de sensores analógicos, como podrían ser, sensores de temperaturas para monitorizar la temperatura del fluido circulante.

Añadidos como grabar los datos en la tarjeta microSD en formato FAT se descartaron en el proceso de desarrollo, pero según las necesidades podría facilitar la lectura de los datos extraídos.

8.- Bibliografía


En este apartado se listan las principales fuentes de consulta para la realización del proyecto:

- Diseño e ingeniería electrónica asistida con Protel DXP (Manuel Torres, Miguel A. Torres)
- Wikipedia <https://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Portada>
- Mouser <http://www.mouser.es/>
- Farnell <http://es.farnell.com/>
- Microchip <http://www.microchip.com/>
- Telegesis <http://www.telegesis.com/>
- Especificación tarjeta microSD https://www.sdcard.org/downloads/pls/simplified_specs/
- Foro de CCS <http://www.ccsinfo.com/forum/>
- Foro Sonsivri <http://www.sonsivri.to/forum/index.php>
- Foro TodoPic <http://www.todopic.com.ar/foros/>
- Electronic Lives Mfg http://elm-chan.org/docs/mmc/mmc_e.html
- Blog de inventos <http://blog.deinventos.com/utilizar-una-sd-como-unidad-de-almacenamiento-masivo-para-pic-primeros-pasos/>
- Picmanía García Cuervo <http://picmania.garcia-cuervo.net/>

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1 Tipos de caudalímetro	3
Figura 2 Caudalímetro de desplazamiento positivo PD	3
Figura 3 Caudalímetro de velocidad mecánico	4
Figura 4 Caudalímetro de velocidad ultrasónico	4
Figura 5 Caudalímetro de velocidad electromagnético	5
Figura 6 Interruptor de flujo tipo lanzadera.....	5
Figura 7 Descripción visual del sistema.....	7
Figura 8 Margen de error en modo de consumo regulable	11
Figura 9 Diagrama de bloques	14
Figura 10 Esquemático completo	15
Figura 11 Esquemático microcontrolador	17
Figura 12 Esquemático cristal externo y puerto ICSP	17
Figura 13 Esquemático socket microSD	18
Figura 14 Esquemático módulo ZigBee ETRX357	18
Figura 15 Esquemático interfaz de usuario	19
Figura 16 Esquemático conectores sensores de caudal e interruptores de flujo.....	19
Figura 17 Esquemático conectores analógicos.....	19
Figura 18 Esquemático alimentación.....	20
Figura 19 Cara TOP.....	22
Figura 20 Cara BOTTOM	22
Figura 21 Visualización en 3D	23
Figura 22 Fotografía del prototipo.....	23
Figura 23 Autonomía del modo consumo regulable.....	27
Figura 24 Arquitectura de ficheros	29
Figura 25 Diagrama de bloques del funcionamiento general del sistema	30
Figura 26 Proceso de inicialización de la tarjeta microSD.....	34
Figura 27 Fotos de la preserie	40
Figura 28 Orden de conexión de sensores	42
Figura 29 Evolución llenado cisterna pulsación corta	44
Figura 30 Evolución llenado cisterna pulsación larga	44
Figura 31 Monitorización del consumo durante un día	45
Figura 32 Diagrama de Gantt.....	46

	SMART WATER METER	REVISIÓN Nº 0
	MEMORIA	FECHA REV 19/02/2015

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1 Sensores de caudal	9
Tabla 2 Características microcontrolador PIC18F26J11	16
Tabla 3 Alimentación del sistema	20
Tabla 4 Clases de PCB.....	21
Tabla 5 Lista de componentes de la PCB.....	24
Tabla 6 Lista de materiales	25
Tabla 7 Autonomía con batería de 4400 mAh.....	27
Tabla 8 Interrupciones	32
Tabla 9 Comandos SPI utilizados en la librería microSD	33
Tabla 10 Formato de datos.....	36
Tabla 11 Formato de página de sesión	37
Tabla 12 Formato de página de medida	37
Tabla 13 Frecuencia de paso	38
Tabla 14 Duración máxima de tramo.....	38
Tabla 15 Conexión de sensores	41
Tabla 16 Información de pulsaciones corta y larga en inodoro	45