



Universidad
Zaragoza

Proyecto Fin de Carrera

Sistema para pre-señalización de pasos de
peatones con balizas solares

Autor

Jorge Millán Sanz

Director

Antonio Bono Nuez

Escuela de ingeniería y arquitectura

Diciembre 2012

SISTEMA PARA PRE-SEÑALIZACIÓN DE PASOS DE PEATONES CON BALIZAS SOLARES

Autor: Jorge Millán Sanz

Director: Antonio Bono Nuez

INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL - Especialidad: Electrónica

Convocatoria: Diciembre 2012



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

0. ÍNDICE

0 ÍNDICE	
01 ENUNCIADO	3
02 INTRODUCCION	4
03 ANTECEDENTES	5
04 POSIBLES SOLUCIONES TÉCNICAS	8
05 DESARROLLO DEL SISTEMA	17
5.1 Descripción general	17
5.2 Controlador	19
5.2.1 Regulador y control	19
5.2.1.1 Conversor DC/DC	20
5.2.1.2 Interruptor electrónico	21
5.2.1.3 Microcontrolador	22
5.2.1.4 Consumo del bloque regulador y control	26
5.2.2 Sensor de presencia	27
5.2.2.1 Consumo del módulo de radio	28
5.2.3 LEDs de la señal	29
5.2.4 Radio	30
5.2.4.1 Consumo del módulo de radio	31
5.2.4.2 Configuración del módulo de radio	31
5.2.5 Batería	35
5.2.6 Panel solar	35
5.3 Baliza	36
5.3.1 Regulador y control	37
5.3.1.1 Microcontrolador	38
5.3.1.2 Consumo del bloque regulador y control	39
5.3.2 LEDs de la baliza	40
5.3.3 Radio	41
5.3.3.1 Configuración del módulo de radio	42
5.3.4 Batería	46
5.3.5 Panel solar	48
06 SOFTWARE	50
6.1 Programa del controlador	51
6.2 Programa de la baliza	56
07 PRESUPUESTO	60
08 CONCLUSIONES	63
09-BIBLIOGRAFÍA	66
10 Anexos	
10.1 Software	67
10.1.1 Software del controlador	67
10.1.1.1 MCUinit.c	67
10.1.1.2 Main.c	77
10.1.2 Software de la baliza	80
10.1.2.1 MCUinit.c	81
10.1.2.2 Main.c	87
10.2 Hojas de datos	90

1. ENUNCIADO

El sistema para pre-señalización de pasos de peatones con balizas solares es un conjunto de dispositivos que pretenden ayudar a los conductores a percibir desde mayor distancia o con más claridad la presencia de un peatón cruzando la calzada. Además, el sistema proporciona dos ventajas importantes:

- En primer lugar, todos los componentes se han diseñado para funcionar con alimentación a través de paneles solares, por lo que la instalación de estos dispositivos no supone un gasto permanente de energía eléctrica, pudiéndose usar igualmente donde no haya conexión a la red, es decir, como sistema aislado. Además la instalación de las balizas es más sencilla debido a la ausencia de cableado, ya que el control se comunica con las balizas por radiofrecuencia.
- En segundo lugar, la pre-señalización no se pone en funcionamiento hasta la detección de paso de un peatón, tomando de esta manera un papel activo en el aviso a los conductores de la presencia de una persona en la calzada.

Otro dato importante es que se ha introducido el uso de súper-condensadores (también conocidos como ultra capacidades) en las balizas, como componentes de almacenamiento de energía, en lugar de baterías debido a una serie de ventajas que se mencionarán a lo largo del proyecto.

En cuanto al desarrollo del proyecto fin de carrera por parte del autor, éste presenta los desafíos siguientes:

- Aprendizaje de un lenguaje de programación para los microcontroladores (lenguaje C).
- Uso del puerto SPI (serial peripheral interface) del micro controlador.
- Uso de un módulo transceptor de radio tanto para enviar como para recibir datos.
- Uso de súper condensadores como fuente de energía y almacenamiento de ella por medio de paneles solares.

2. INTRODUCCIÓN

En el año 2001 nació Ecotrafic, una empresa zaragozana que, desde sus comienzos, se dedicó a la fabricación y comercialización de señalización luminosa para tráfico, siempre con LEDs, con el convencimiento de que esta tecnología reportaba grandes beneficios en este campo de aplicación debido a sus particulares características de bajo consumo y alto brillo. El posible inconveniente del estrecho ángulo de emisión de luz no resultaba relevante para las funciones que se precisaban.

Tras el transcurso de unos pocos años Ecotrafic se convierte en una de las empresas fabricantes de semáforos de LEDs más importante de España.

Con la evolución de la tecnología en la fabricación de diodos emisores de luz y su control, Ecotrafic también introduce en su catálogo de productos las pantallas de mensajes variables. Más recientemente amplía su mercado al campo de la iluminación con bombillas, tubos y otros tipos de lámparas de LEDs para interior, así como farolas y focos para exteriores.

Como parte de su “carácter”, Ecotrafic siempre ha puesto empeño en el desarrollo de nuevos productos que atiendan a las necesidades y requerimientos de sus clientes y en la mejora de los actuales.

Al haber formado parte del equipo de trabajo de Ecotrafic, el autor conoce los productos presentes en el mercado y las posibles mejoras que se pueden implementar. De ahí surge la idea de este proyecto, una baliza autónoma que se enciende de acuerdo a las órdenes que recibe de forma inalámbrica de una pequeña unidad de control. Ésta incorpora una entrada para una señal externa de indicación de encendido (en este caso un sensor de presencia que cierra un contacto libre de tensión), y la posibilidad de alimentarse por energía solar a través de una batería recargable, o de una pequeña fuente de alimentación común de 12Vdc. En el caso de recibir la energía de un panel solar y una batería recargable, la propia unidad de control puede iniciar e interrumpir la carga de la batería monitorizando su tensión para conocer su estado. Cuenta también con dos salidas que accionan unos pequeños focos de forma intermitente, además de la capacidad de comunicaciones a través de un módulo transceptor de radio frecuencia en la banda ISM de 433MHz.

Por su parte, la baliza dispone de un módulo transceptor de radio frecuencia en la misma banda, tres LEDs de alto brillo que se encienden simultáneamente, panel solar y, como novedad, súper condensadores en sustitución de la batería.

3. ANTECEDENTES

El balizamiento de la calzada para advertir de posibles peligros u obstáculos a los conductores es muy común. Se pueden encontrar balizas reflectantes y luminosas en túneles, medianas, isletas, rotondas y pasos de peatones, entre otros lugares.

Las balizas hechas con materiales reflectantes fueron las primeras en utilizarse en tráfico, sobre todo debido al bajo costo de fabricación, y por lo tanto de comercialización, e instalación. Las alternativas eran lámparas de incandescencia de baja tensión que debían alimentarse con baterías o cablearse y requerían un mantenimiento frecuente (cambio de lámpara y/o baterías) lo que impedía su uso en estas aplicaciones excepto en balizamientos portátiles o situaciones semejantes.

El añadir luz propia a la marca de la calzada en lugar de solamente reflejar la emitida por los faros del vehículo es una gran ventaja, ya que se pueden ver desde distancias mayores y aún cuando el vehículo no lleve luces, como puede ser el caso de bicicletas o algunos tipos de auto-remolques, o si las luces del vehículo no la alumbran directamente. Por este motivo, la introducción de los LEDs como fuente de luz intensa de bajo consumo supuso un gran avance para este tipo de productos, y aún más cuando a los LEDs se les añade posteriormente pequeños paneles solares que permiten una autonomía total durante toda la vida de la batería (tres años o más) y una muy fácil instalación sin cableado.

Actualmente existe una alternativa más, con una tecnología puntera, que son las balizas de inducción, en la que es necesario hacer una instalación de cableado en el asfalto pero los elementos luminosos no tienen conexión física con él, sino que se realiza una transferencia de energía y comunicaciones a través del campo magnético que la corriente crea al atravesar el hilo de cobre. Esta tecnología permite dotar de “inteligencia” a las balizas que pueden regular la intensidad de la luz emitida, hacer intermitencias y efectos de cascada, encender únicamente parte de los LEDs y controlar por separado las dos caras (dos hileras de LEDs).

En resumen, existen en el mercado cuatro grandes grupos de balizas para señalización del tráfico. A continuación se enumeran los grupos y las ventajas e inconvenientes de cada uno:

- Los capta faros, también conocidos como ojos de gato, que se componen únicamente de un material catadióptrico que refleja la luz recibida.

Sus ventajas son la fácil instalación (simplemente se fijan al suelo adheridas, atornilladas o parcialmente empotradas) y su bajo precio (debido a la fácil fabricación y los materiales de bajo coste con los que están hechas).

Los inconvenientes son que no disponen de luz propia, y una distancia de visualización media.



Ilustración 1

- Las balizas cableadas. Disponen de una electrónica incorporada que se alimenta y controla a través del cable.

Las ventajas son que pueden controlarse individualmente para hacer efectos de cascada o intermitencias y que la toma de energía, procedente de la red o de una fuente de alimentación conectada a la red eléctrica, les permiten emitir una mayor intensidad de luz (incluyendo más LEDs o LEDs de mayor luminosidad).

Los inconvenientes son la dificultad de la instalación, que requiere la abertura de una roza en el asfalto para introducir el cable con el consecuente coste y que, en general, el precio suele ser mayor debido a la inclusión de elementos adicionales (fuente de alimentación y/o controlador, cable). A esto hay que añadir que la avería de un punto de luz requiere, prácticamente, una reinstalación casi completa y muy laboriosa.

- Las balizas solares. Como su propio nombre indica, recibe la energía a través de un panel solar, lo que facilita la instalación (sin cables). Son más económicas que las balizas cableadas. Los inconvenientes de este producto son que la vida de la baliza se reduce a la vida de la batería en la que almacena la carga y que el encendido de cada baliza es independiente y no sincronizado. Además la necesidad de ahorrar energía, normalmente requiere un menor brillo de los LEDs.



Ilustración 2

- Las balizas de inducción magnética. Las ventajas de este tipo de balizas son una gran intensidad de luz (cada punto incorpora 8 LEDs), un control total de cada baliza en términos de encendido y apagado, brillo, e incluso permite el encendido independiente de las dos mitades de los LEDs de cada cara. Además la avería de un punto de luz no requiere una dificultosa reinstalación ya que al no tener contacto físico con el cable las balizas se pueden sustituir individualmente sin afectar al resto de los elementos. Por último, la gran ventaja es la muy buena durabilidad y calidad. El gran inconveniente de este sistema es, por supuesto, el precio, la obra civil necesaria para su puesta en marcha (igual que en el caso de las balizas cableadas) y un procedimiento de instalación algo más complejo que requiere una breve formación previa.



Ilustración 3

4. POSIBLES SOLUCIONES TÉCNICAS

Las posibles soluciones técnicas pasarán por el desarrollo de un sistema que implemente las ventajas de los diferentes tipos de balizas mencionados anteriormente y trate de evitar los inconvenientes en la medida de lo posible.

En concreto, se planea desarrollar un sistema con iluminación propia (no reflectante) que tenga las siguientes ventajas:

- Bajo coste, tanto de materiales como de instalación.
- Facilidad de instalación.
- Capacidad de control individual de los puntos de luz.
- Sincronización.
- Alta visibilidad.
- Alta durabilidad.

Para reducir los gastos y facilitar la instalación se debe evitar el uso de balizas cableadas, esto requerirá que la energía se obtenga por otro medio. Los diferentes sistemas de obtención de energía sin cables presentes en el mercado son:

- Sistemas piezoeléctricos, que recuperan la energía generada por la deformación de un material de este tipo.
- Paneles solares, que transforman la energía lumínica del Sol en eléctrica.
- Sistemas de conversión de energía cinética, que convierten vibraciones en energía eléctrica.
- Sistemas termoeléctricos, que recuperan la energía eléctrica generada por gradientes térmicos sobre determinados metales.
- Sistemas de conversión de energía electromagnética, que convierten ondas electromagnéticas en energía eléctrica.

De todas estas posibles soluciones, en este caso, la única tecnología que es capaz de proveer la energía necesaria para el producto planteado son los paneles solares.

Para ser capaces de tener un control individual de los puntos de luz y sincronizarlos entre sí, ya que no se utilizan cables, se debe emplear una tecnología inalámbrica. Hay muchas opciones para dotar a las balizas de comunicación sin hilos, algunas de ellas son:

- WIFI
- Bluetooth
- Bandas ISM

- Infrarrojos

La tecnología WiFi se ha descartado debido a un consumo de energía más elevado que las otras alternativas (alrededor del doble que las bandas ISM). El Bluetooth tiene un alcance limitado a unos 10 metros, lo cual no es suficiente para la aplicación. Los infrarrojos requieren una línea de visión directa entre el emisor y el receptor y se ven afectados fuertemente por las inclemencias del tiempo (niebla, lluvia o calor excesivo). Las bandas ISM de radiofrecuencia tienen un alcance de unos 100 metros en campo abierto y existen módulos con consumos que bajan hasta aproximadamente 10mA en recepción y entre 12mA y 20mA en transmisión (dependiendo de la amplificación de la potencia elegida), con lo que se presenta como la mejor opción para el proyecto. Las bandas de 315MHz, 433MHz, 866MHz y 915MHz son las bandas ISM de radio de menos de 1GHz.

En este caso se ha elegido un módulo de Hope RF, el RFM12B a 433MHz, por ser el módulo de mayor alcance y menor consumo encontrado.

Obtener una alta visibilidad con un bajo consumo de energía es un problema que únicamente se puede solucionar llegando a un compromiso entre ambas características. Sin duda la tecnología LED es la que mejor encaja en estos parámetros, pero aún así habrá que decidir qué tipo y cantidad de LEDs se van a utilizar. La corriente típica de polarización de un LED simple (no multichip) es de unos 20mA, aunque hay LEDs de menos corriente éstos sólo se pueden utilizar para indicadores debido al bajo brillo. Para la baliza planteada se han elegido LEDs de 4000mcd, un valor respetable, que consumen 20mA con una tensión de polarización de entre 1,8 y 2V, un valor típico para LEDs de color ámbar o rojo. El color elegido es el ámbar ya que es el color de advertencia normalizado en aplicaciones de tráfico. El número de LEDs que se van a incluir en la baliza será de tres para no elevar el consumo demasiado, también es el número de LEDs que incluyen otras balizas solares para aplicaciones de tipo similar.

Otra decisión que se tendrá que hacer es el circuito de excitación/polarización de los LEDs cuyo objetivo es limitar la corriente que los atraviesa para no reducir la vida útil de éstos. Hay varias y diversas soluciones técnicas posibles, todas con sus pros y sus contras, que se pasan a indicar a continuación.

- Usar una resistencia en serie. Este es el método más sencillo para limitar la corriente que atraviesa el LED conociendo la tensión de alimentación. Las ventajas son la facilidad y el bajo coste, los inconvenientes son que no se puede controlar el encendido / apagado del LED y la corriente depende de la regulación de la alimentación y la variación de V_f con la temperatura.

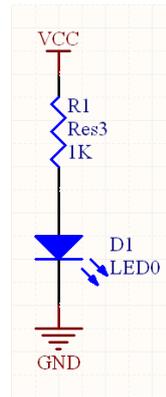


Ilustración 4

- Añadir a la configuración anterior un transistor en el lado bajo. De esta manera se consigue el control on/off, aunque todavía están presentes el resto de los inconvenientes.

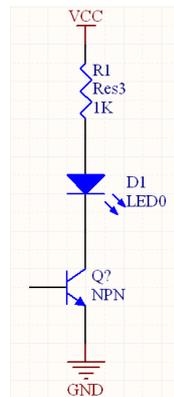


Ilustración 5

- Una manera sencilla de limitar la corriente con una regulación bastante buena es añadir un regulador de tensión en su configuración de generador de corriente constante. Así se consigue evitar este último inconveniente aunque añadimos un componente más al costo total de la configuración y hay que tener en cuenta la caída de tensión adicional ($V_{dropout}$).

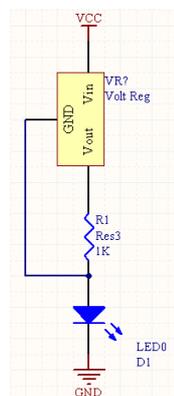


Ilustración 6

- Usar una bobina en serie con el LED, un diodo en paralelo para la descarga de la bobina y un transistor en el lado bajo. Esta configuración, que recuerda a la de un convertidor elevador, tiene las ventajas de no depender de las posibles fluctuaciones de la fuente de alimentación y de trabajar con un transistor en el lado bajo que facilita el control. Por otra parte la configuración es más costosa, económicamente hablando, los cálculos son más complejos y se deben repetir para diferentes corrientes medias por el LED (en el caso de que se requiera hacer dimming).

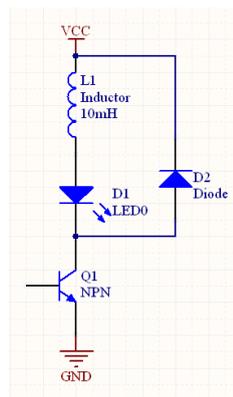


Ilustración 7

- Con el fin de adaptar la configuración anterior para tener una realimentación y un control con lazo cerrado, se puede incluir una resistencia shunt en serie con el LED para medir la corriente que lo atraviesa. De esta manera la corriente se puede ajustar a la necesaria y está regulada en todo momento. El inconveniente es que se necesita una medida diferencial del voltaje en la resistencia, aparte de lo mencionado antes en cuanto al coste de los componentes, etc.

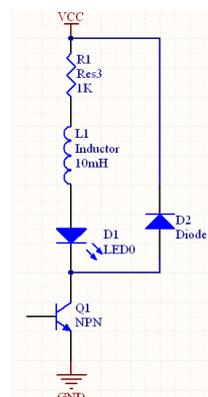


Ilustración 8

- Finalmente, para solucionar el inconveniente de la medida diferencial de la tensión en la resistencia, se pueden intercambiar las posiciones del transistor y la

carga, usando un transistor P y colocando la resistencia a masa, de esta manera la tensión medida ya esta referenciada y trabajar con un transistor P en el lado alto es tan sencillo como trabajar con uno N en el lado bajo. Los únicos inconvenientes de esta configuración son entonces el coste, el espacio y la complejidad de la programación del lazo cerrado.

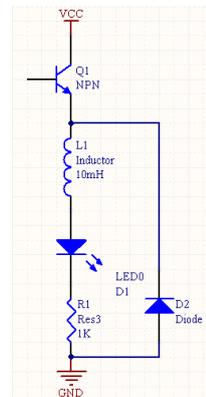


Ilustración 9

Otro tipo de solución es añadir un circuito integrado que controle la corriente por el LED, hay muchos drivers de LEDs en el mercado, desde drivers para una sola rama, hasta drivers para decenas de series de LEDs, pasando por integrados específicos para control de pantallas RGB, entre otros. Se tuvieron en cuenta los siguientes dispositivos:

- AS1109. Driver de LEDs de Austria Microsystems. Capacidad de control de 8 ramas de LEDs, interfaz serie y diagnóstico de fallos por sobre temperatura, LED fundido (open load) o cortocircuitado.
- MAX6977. Driver de MAXIM, de ocho canales, también con interfaz serie y diagnóstico de fallos.
- TLC59108. Driver de Texas Instruments de ocho canales, interfaz I²C, y diagnóstico de fallos por sobre temperatura y LED fundido.
- TLE4241. Driver de Infineon Technologies. Un solo canal, con pin de selección de corriente alta/baja, entrada PWM y pin de indicación de fallo por LED fundido o sobre temperatura.

Después de considerar las ventajas que proporcionaban los drivers se decidió descartarlos para eliminar su consumo y coste y sustituir la función de detección de fallo con la medida de la V_f a través del conversor A/D del microcontrolador.

Además, como uno de los propósitos del proyecto es conservar un costo lo más reducido posible, se escogerá la segunda configuración (ver ilustración 5) de las presentadas anteriormente, sencilla, fácil de controlar y de bajo coste.

Para conseguir una alta durabilidad a nivel electrónico, es imprescindible hablar de la batería. En una baliza solar los ciclos de carga y descarga de la batería son a razón de uno por día. Al final del año tenemos unos 360 ciclos de carga-descarga. Las pequeñas y baratas baterías suelen tener una vida de, aproximadamente, 1000 ciclos de carga-descarga, después se deterioran y la capacidad de la batería baja drásticamente. Además las temperaturas elevadas perjudican a las baterías disminuyendo su vida útil y las muy bajas dificultan su carga.

Se pretende solucionar este problema implementando otro tipo de almacenamiento de energía, los súper-condensadores o ultra capacidades. Estos componentes, se fabrican en tamaños de entre 5 y 150 faradios en formato THD (y capacidades mucho mayores en otros formatos). Estas altas capacidades se consiguen debido al proceso de fabricación y los materiales utilizados. Las altas capacidades se logran aumentando el área de las placas que forman los súper-condensadores, luego se doblan o pliegan para dar forma al producto final, sin embargo el tamaño viene condicionado en gran parte por el dieléctrico utilizado. Los dieléctricos usados normalmente (papel, plástico o capas cerámicas) tienen limitaciones en cuanto al grosor mínimo. En los súper-condensadores, las placas son de un material poroso basado en el carbono que aumenta la superficie útil considerablemente y permite una distancia entre placas mucho menor (ver ilustración 10). De esta manera se consigue más superficie separada menos distancia con lo que se logran mayores capacidades.

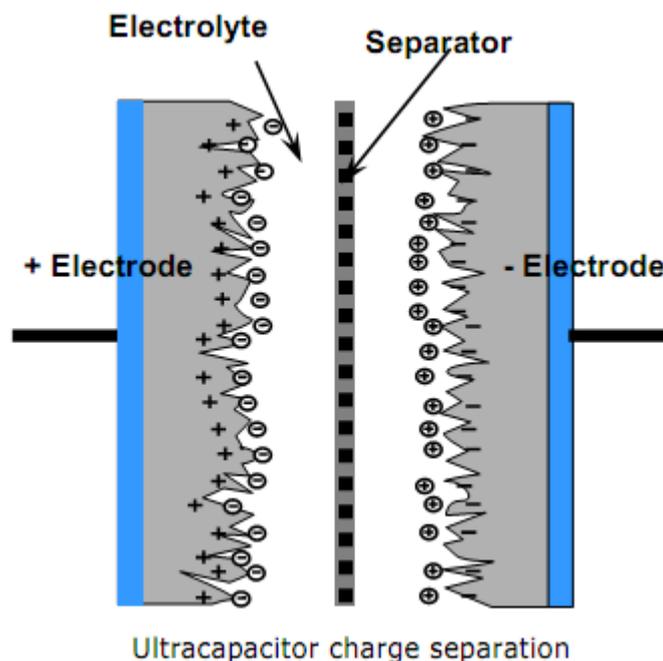


Ilustración 10

Los súper-condensadores tienen una vida de unos 500.000 ciclos de carga y descarga, 500 veces más que una batería común, y una temperatura de trabajo de entre -40°C y 65°C, con lo que se cargará igual de bien bajo temperaturas muy frías, cosa que no es posible con las baterías.

La contrapartida de utilizar este tipo de componente es que la energía almacenada es menor, por lo que habrá que reducir los consumos todo lo posible, y que la tensión varía mucho al consumir la energía, de modo que se tendrá que incluir un circuito para que permanezca estable para alimentar al resto de la electrónica y, en especial, a los LEDs, a fin de que su brillo no dependa de ello.

Para lograr una tensión estable a la salida de los súper-condensadores se incluye un convertor dc/dc elevador, configuración tipo boost. Los requisitos que se buscan son, alta eficiencia, baja tensión de arranque, baja tensión de funcionamiento, posibilidad de apagado y medición de tensión en la batería. Las posibles soluciones barajadas se encuentran a continuación.

- MAX668. Convertor dc/dc de MAXIM. El switch no está integrado, el consumo es de 220µA y la tensión de arranque de 1,8V. Se descartó por la elevada tensión de arranque desde un principio.
- L6920. Convertor de ST. Tiene el switch integrado, muy bajo consumo y alta eficiencia en la conversión, la tensión de arranque garantizada es de 1V y tiene pines tanto de apagado como de indicación de batería baja.
- LTC3429. El fabricante el Linear Technologies. El switch está integrado, es de bajo consumo y alta eficiencia. La tensión de arranque es de 0,85V y dispone de pin de supervisión de la batería.
- MAX1675. También de MAXIM, con el switch integrado, bajo consumo y alta eficiencia. Tensión de arranque garantizada a los 1,1V. Tiene pin de supervisión de batería.

A continuación se muestra una tabla comparativa con datos extraídos de las hojas de datos correspondientes a los tres últimos integrados.

	L6920	LTC3429	MAX1675
Eficiencia con 1.2V de Vin y 60mA Iout (gráficas)	85%	81%	89%
Tensión de arranque mínima (garantizada)	1V	0.85V	1.1V
Tensión de funcionamiento mínima	0.6V	0.5V	0.7V
Pin de apagado	Si	Si	Si
Pin de supervisión de batería	Si	No	Si

Tabla 1

La opción elegida es el max1675 por su alta eficiencia y valores de tensión de arranque y funcionamiento muy similares al L6920 y tiene tanto pin de apagado como de supervisión de batería.

Para controlar todos los periféricos y el funcionamiento del sistema será necesario utilizar microcontroladores tanto en la baliza como en la PCB de control. Existe una gran variedad de fabricantes de microcontroladores. Se eligió a Freescale por el conocimiento y familiarización con el modo de funcionamiento de estos dispositivos, de esta manera no era necesario un tiempo de adaptación adicional. Además Freescale proporciona herramientas de desarrollo avanzadas, fáciles de utilizar y gratuitas con una limitación de 64K de código y datos para programación en C y sin restricciones para programación en ensamblador. Se programará en lenguaje C pero los 64K de código son más que suficientes para esta aplicación.

En la selección del microcontrolador para la baliza, la principal característica que se busca es el bajo consumo. Sin embargo, también hay que considerar otras características. Por una parte se utilizarán microcontroladores de ocho bits ya que son dispositivos económicos y con potencia suficiente. Para el manejo del transceptor elegido es necesario un puerto SPI de 16 bits, lo cual limitará la búsqueda considerablemente. También hay que considerar la tensión de funcionamiento del dispositivo y los encapsulados disponibles, para la aplicación no son necesarias muchas salidas y es preferible contar con encapsulados de pequeño tamaño.

El requisito del puerto SPI de 16 bits limita la búsqueda a cinco familias: 9S08PT, 9S08JM, 9S08JS, 9S08JE, 9S08MM. De estas familias la 9S08MM y la 9S08JE disponen de encapsulados de, como mínimo, 64 pines y 12x12mm, lo que supone que se infrutiliza el microcontrolador, son demasiado grandes.

De las tres familias restantes se realiza una comparativa de los consumos que se puede observar en la siguiente tabla:

Familia	9S08PT	9S08JM	9S08JS
Run, todos los módulos encendidos (1MHz frecuencia de bus)	1,5-2,1mA	0,8mA	0,83mA
Wait, todos los módulos encendidos	1,2mA	-	
Stop3	3µA	0,9µA	1,31µA

Tabla 2

Excepto la familia 9S08PT que tiene consumos algo más elevados, las otras dos familias tienen unos consumos más o menos similares, aunque la familia 9S08JM algo menor que la 9S08JS, especialmente en modo stop por lo que se utilizará un microcontrolador de la familia 9S08JM para controlar el funcionamiento de la baliza.

Para la selección del microcontrolador de la PCB de control el consumo no es tan importante aunque también se deberá tener en cuenta. De nuevo es preciso utilizar un dispositivo que disponga de un puerto SPI de 16 bits para poder comunicar con el transceptor.

Las opciones son las mismas que en el caso de la baliza, con el aliciente adicional de que el uso del mismo dispositivo en ambos sistemas facilita la programación y podría reducir costos en la compra de componentes debido a cantidades. Además, como ya se ha mostrado en la tabla 2, el consumo de los microcontroladores de la familia 9S08JM es el más reducido.

En conclusión, se seleccionará la familia S08JM, por disponer de puerto SPI con opción de funcionar en interface de 16bits y tener un consumo más reducido. Los micros de 8 y 16k de flash son el MC9S08JM8CLCE y el MC9S08JM16CLCE en encapsulado LQFP (pitch 0.8) 32 pines.

5. DESARROLLO DEL SISTEMA

En este apartado se pretende dar una visión global del sistema, el objeto de éste y el modo de funcionamiento. Posteriormente se irá profundizando en los diferentes bloques entrando más en detalle en cada una de sus partes.

5.1. Descripción general

Este sistema está orientado a pasos de peatones no semaforizados. Lo que se pretende es advertir a los conductores de un posible peligro debido a un viandante en la calzada, lo cual no es necesario en cruces con semáforos tanto para los vehículos como para los peatones. Más bien, el objeto de este sistema son pasos en los que por la localización o por la poca densidad de tráfico peatonal no es posible o necesaria una instalación permanente de un semáforo con su correspondiente regulador de tráfico y conexión a la red del centro de control urbano. Posibles ubicaciones hacia las que está orientado este sistema serían pasos de peatones en el extrarradio o barrios de la periferia de núcleos urbanos, pasos de peatones en lugares a los que no llega la red eléctrica, cruces en travesías, etc. Es decir, no es el propósito de este sistema, ni está diseñado para ello como se verá más adelante, el funcionar las 24 horas del día de manera ininterrumpida, sino detectar la presencia ocasional de peatones en la calzada y advertir de ello a los posibles conductores.

Para describir el comportamiento general del sistema se comenzará por presentar el diagrama de bloques del hardware.

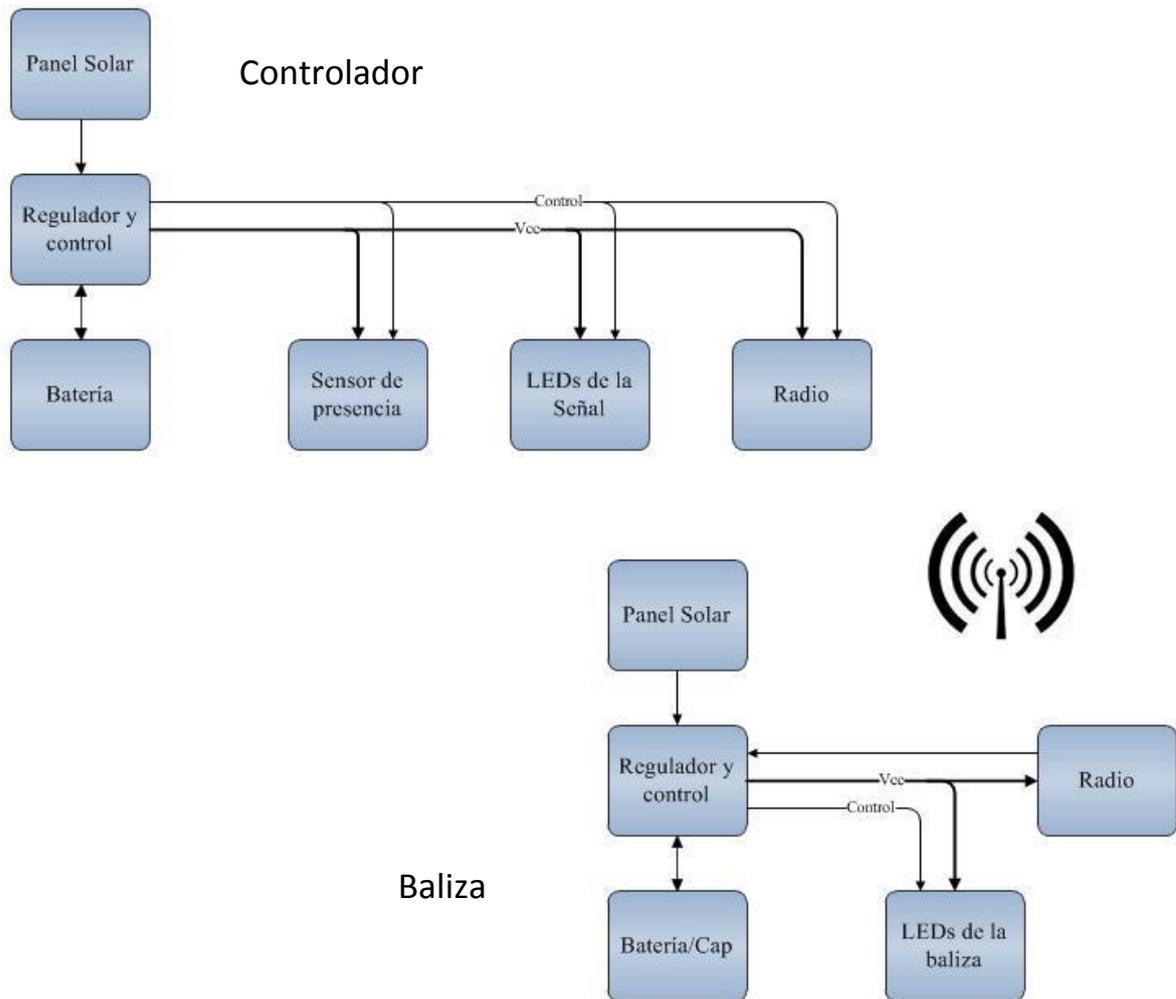


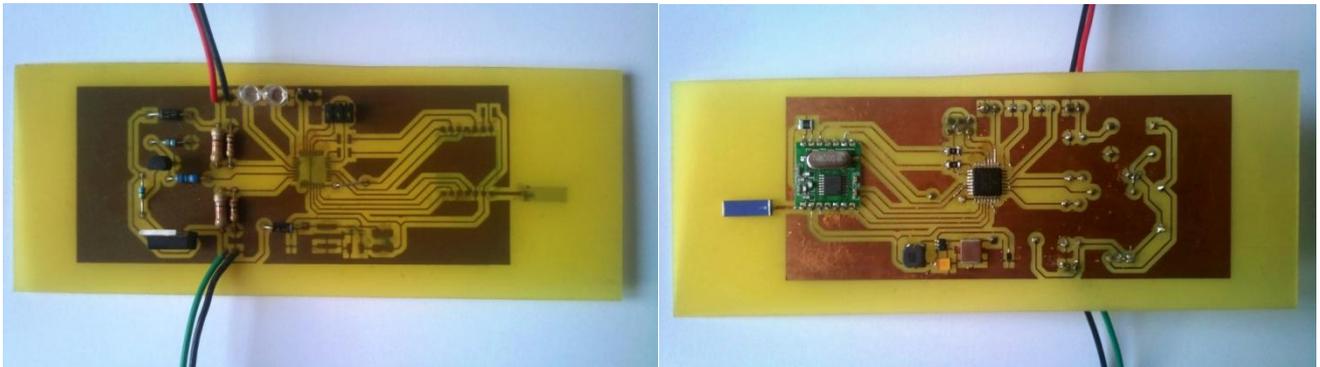
Ilustración 11

El funcionamiento del sistema será el siguiente:

Al aproximarse un peatón al cruce el sensor de presencia del controlador lo detecta y cierra el contacto de indicación. El controlador envía por radio la orden de encendido a las balizas y activa los focos en la señal para que se enciendan de manera intermitente y alternativamente. Las balizas, por su parte, reciben la orden por radio y, de forma sincronizada, también hacen un encendido intermitente.

De esta manera se pretende que el conductor de un vehículo en la cercanía del paso de peatones, pueda ser avisado de que un peatón está cruzando la calzada y que pueda visualizar el aviso desde una distancia mayor, especialmente en condiciones de menor visibilidad, como pueden ser por la noche o con niebla.

5.2. Controlador



El controlador, por lo general, estará instalado en el interior de una señal vertical de tráfico que indique la presencia de un paso de peatones y llevará integrado un módulo de radiofrecuencia para las comunicaciones con la baliza. En el interior habrá una batería para dar soporte al sistema integrado en el poste. La señal incorporará dos pequeños focos de LEDs, un sensor de presencia para advertir al sistema de control de peatones a punto de cruzar y un panel solar para permitir la carga de la batería.

La carga de la batería de la señal se puede controlar a través de un interruptor electrónico, a fin de evitar elevar demasiado su tensión o una descarga profunda. La batería estará sobredimensionada para evitar que los problemas de la carga y descarga de las baterías ya mencionados afecten al buen funcionamiento del sistema.

Esta parte del sistema está alimentada a una tensión de 12Vdc que es un valor estándar en baterías y también permite la alimentación con otro tipo de fuentes, si fuera necesario, como fuentes de alimentación ac/dc. Los focos que se incorporan a la señal funcionan con una alimentación de 12Vdc. Éste valor también es un estándar en las tensiones de salida de los paneles solares de pequeño tamaño. El controlador incorpora un conversor dc/dc reductor con salida 3,3V para alimentar la electrónica interna (microcontrolador, radio, etc.), así como el detector de presencia.

El controlador se compone de seis bloques, tal como ya se ha visto en la Ilustración 11. Los bloques son: el panel solar, la PCB de regulación y control, la batería, el sensor de presencia, los LEDs de la señal y la radio.

5.2.1. Regulador y control

En este bloque están incluidas las entradas y salidas que controlan el funcionamiento de los elementos implementados sobre la señal de tráfico. Las salidas son, las dos de

activación de los focos de LEDs y la de activación del interruptor electrónico de carga de la batería que da paso a la corriente proveniente del panel solar. Las entradas son las necesarias para recibir la señal de presencia desde el sensor y dos más para medir las tensiones en la batería y en el panel solar y así poder determinar, por un lado, el nivel de carga de la batería y, por el otro, saber si es de día o de noche y si la tensión del panel es suficiente para comenzar una carga de la batería. Dentro de la PCB se encuentra el microcontrolador que es el “cerebro” del sistema, un MC9S08JM16 de Freescale de bajo consumo, un convertor dc/dc step down o reductor MAX1837 para adaptar los 12Vdc de la batería a 3,3Vdc, voltaje que entra dentro del rango de tensiones de funcionamiento del microcontrolador, el interruptor electrónico y del módulo de radio, que también está integrado en la placa. El micro se comunica con el módulo de radio para su configuración y envío y recepción de datos a través del puerto SPI.

5.2.1.1. Conversor DC/DC

MAX1837. La referencia completa de este convertidor dc/dc es MAX1837ETT33T que es la referencia comercial para el encapsulado SOT23 en su versión de salida fija a 3,3V. En la hoja de datos se indican los cálculos a realizar para la obtención de los componentes externos necesarios.

Cálculo de la inductancia mínima (L_{min}):

$$L_{min} = (V_{in(max)} - V_{out}) \frac{t_{on(min)}}{I_{lim}}$$

Siendo:

$t_{on(min)}=0,1\mu s$ valor dado por el fabricante

$V_{in(max)}\approx 13V$ tensión máxima de la batería

$V_{out}=3,3V$ valor fijo

$I_{lim}=625mA$ valor dado por el fabricante

Por lo que la $L_{min} = 1,552\mu H$

$$I_{peak} = I_{lim} + (V_{in} - V_{out}) \frac{300ns}{L}$$

La corriente de saturación de la bobina debe ser mayor que la corriente de pico, que en este caso es de $I_{peak} = 0,867A$

El fabricante indica que valores de seis veces la L_{min} son aceptables aunque para la mayoría de las aplicaciones valores de entre $10\mu H$ y $100\mu H$ funcionan mejor con la frecuencia de conmutación del integrado. $L_{min} \times 6 \approx 10\mu H$. Se ha elegido una bobina de $12\mu H$.

El condensador de salida que se ha elegido es el recomendado por el fabricante, un condensador electrolítico de $100\mu F$. El condensador de filtro de la entrada es un condensador de propósito general de $47\mu F$.

La corriente máxima que esta configuración puede proveer es aproximadamente la mitad de la corriente de pico, es decir unos $430mA$, más que suficiente para las necesidades del circuito.

El conversor dc/dc es un MAX1837 y en funcionamiento tiene un consumo máximo de $25\mu A$ lo cual es despreciable frente a los consumos de los demás componentes.

5.2.1.2. Interruptor electrónico

Este circuito cierra el interruptor de carga de la batería a la orden del microcontrolador. La corriente de carga es de aproximadamente $1,5A$ por lo que el transistor asociado debe soportar esta corriente. Se ha elegido un transistor MOSFET canal P. La tecnología MOSFET se ha escogido por tener capacidad de manejar corrientes más elevadas, la elección de un transistor PMOS se debe a que era necesario que tanto la batería como el panel estuvieran conectados a la masa del circuito para alimentarlo por parte de la batería, y para medir su tensión a través de los conversores A/D del micro por parte de ambas. Esto implica que se debe abrir el circuito de conexión del panel con la batería por el lado positivo ($12V$) y el uso de un transistor NMOS habría requerido de una tensión de excitación mayor a $12V$, que no hay en el circuito y se tendría que haber incluido a través de componentes adicionales, de no ser así la tensión caída en el transistor habría sido elevada ($2V-3V$) con el consecuente aumento de la potencia disipada. Con un transistor PMOS, aunque la conducción es algo peor que en un NMOS, no es necesaria la circuitería adicional y las corrientes manejadas tampoco son excesivas.

El PMOS lleva una resistencia de pull up de $100K\Omega$, para no perder la referencia cuando está apagado, y se conmuta con un transistor bipolar que pone su base a masa. La base del bipolar esta puesta a masa con una resistencia de $100K\Omega$, también para no perder la referencia, y la resistencia de base es de 680Ω que con los $3,3V$ produce una corriente

de base de 5mA, suficientes para saturarlo ($I_b > I_c / \beta$) ya que la corriente de colector es mínima ($12V / 100K\Omega$ más la carga de la capacidad de puerta del PMOS).

5.2.1.3. Microcontrolador

El microcontrolador MC9S08JM16 de Freescale es el cerebro del controlador del sistema. La compañía lo presenta como una de las opciones con mejor relación coste prestaciones y para iniciarse en el uso de comunicaciones serie USB con microcontroladores. Además tiene también una buena cantidad de periféricos, un consumo contenido y tres modos de bajo consumo (un wait y dos stop).

Los bloques principales son:

Una CPU HCS08 capaz de funcionar hasta a 48MHz y con una frecuencia de bus de hasta 24MHz, con sistema de emulación en circuito (ICE), hasta 32 fuentes de interrupción o reset y sistema para depurar en segundo plano.

Memoria flash de hasta 16KB integrada con opciones de seguridad y protección. Hasta 1KB de RAM integrada y 256bytes de RAM dedicada al USB.

Aparte del reloj interno acepta como fuentes un cristal de cuarzo externo, un resonador o una señal de reloj externa. Dispone de un generador de reloj multi propósito, con funciones PLL y FLL y una referencia interna ajustable.

El watchdog puede funcionar con el reloj del bus o con un reloj interno independiente de 1KHz.

Puede detectar un voltaje insuficiente en la fuente y configurar una interrupción o un reset como respuesta.

El bloque USB soporta velocidades de transmisión de hasta 12Mbps y dispone de un regulador de tensión de 3.3V dedicado.

Comparador analógico frente a una referencia interna. Puede operar en modo stop3.

Dos módulos SCI (comunicación serie)

Bus I²C con velocidades de transmisión de hasta 100Kbps, dirección programable cuando actúa como esclavo, transferencia de datos byte a byte controlada por interrupciones y 10 bits de direccionamiento.

Conversor analógico-digital (ADC) de 12 bits con función de comparación automática y sensor de temperatura interno. Hasta 8 canales.

Este bloque es usado en la PCB de control para medir las tensiones atenuadas del panel solar y la batería.

Se ha configurado para utilizar el reloj externo de 2MHz y tiempo de muestreo corto, con lo que el tiempo de conversión será de 15uS. Se puede hacer funcionar de forma continua o una sola conversión y provocar el disparo de la conversión desde una fuente de hardware o software. En este caso la fuente de disparo de la conversión es de software y se busca una sola conversión. La interrupción de conversión completa es utilizada para iniciar la conversión del segundo canal también por software.

El canal de la primera conversión es seleccionable. Para la aplicación se selecciona el canal 4 al que está conectada la red de atenuación de la batería.

El SPI es uno de los periféricos clave en el proyecto ya que se puede seleccionar entre un funcionamiento de 8bits o 16bits. El módulo de radio soporta únicamente comunicaciones de 16bits por SPI por lo que obviamente se configura para funcionar en ese modo.

Se ha elegido una frecuencia de funcionamiento de 250KHz ya que se recomienda que no se supere la cuarta parte de la frecuencia de bus ($f_{bus}/4$), en este caso $1\text{MHz}/4$.

El módulo SPI del microcontrolador actuará como master en las comunicaciones entre éste y el módulo de radio.

La configuración del pin de selección de esclavo (SS) se ha establecido en automático ya que sólo disponemos de un esclavo, que es el módulo de radio.

Se usarán dos patillas diferentes del micro para la transmisión y recepción (MOSI, MISO) y la configuración del reloj y el orden de los bits transmitidos se establecerán de la siguiente manera para coincidir con los requerimientos del módulo de radio:

La polaridad del reloj es activo en el estado alto.

La fase del reloj es activo en el primer flanco.

Se envía el bit más significativo primero (MSB first).

En las figuras a continuación se puede observar una comparación entre la señal del SPI sacada de la hoja de datos del módulo de radio y a continuación la configuración elegida del microcontrolador. Al compararse ambas se aprecia la correcta elección de los parámetros.

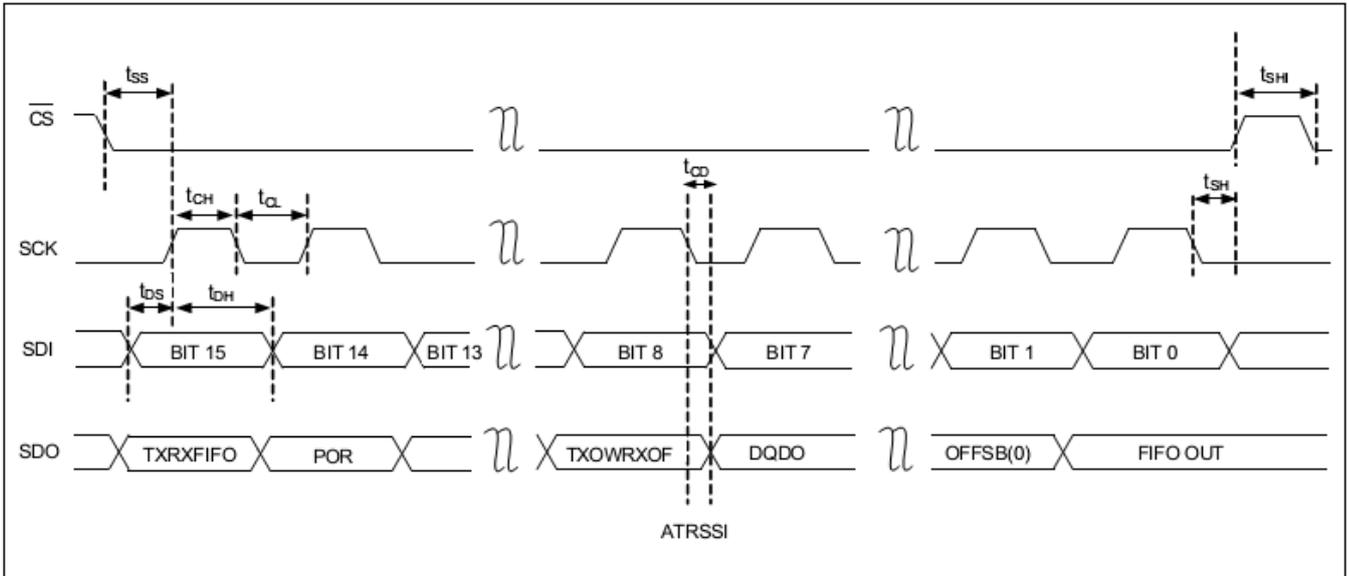


Ilustración 12

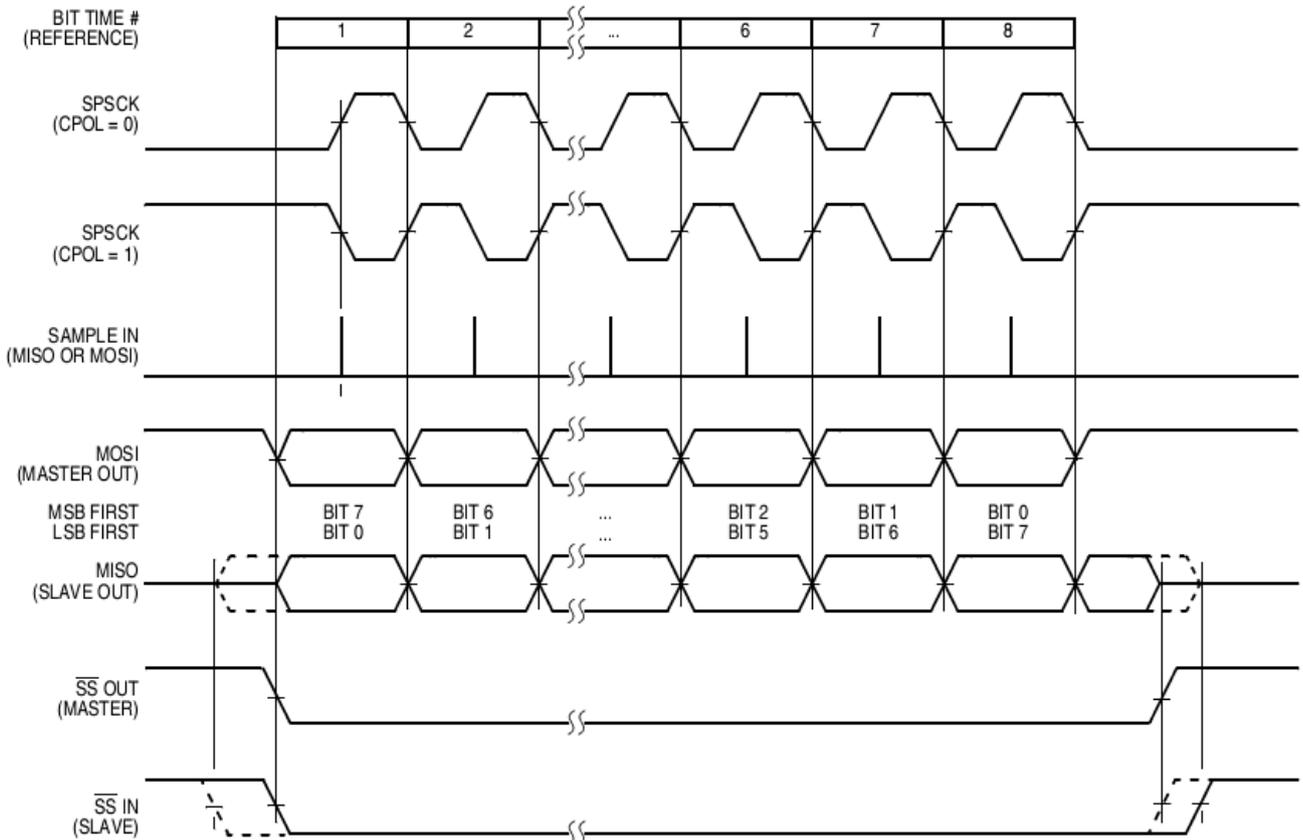


Figure 15-14. SPI Clock Formats (CPHA = 0)

Ilustración 13

Uno de los timers se utiliza en la PCB de control para la temporización de la secuencia alternativa de encendido de los focos que irán alojados en la señal.

Los timers permiten elegir la fuente de reloj que usarán para el cálculo del tiempo entre tres opciones, el reloj del bus, el reloj fijo interno y un reloj externo. El reloj externo

requiere de una señal de reloj en la patilla del micro que también se usa para el IRQ por lo que esta opción no se utilizará. El intervalo de encendido es de un segundo, alternando un foco encendido al mismo tiempo. Para ello se ha elegido el reloj del bus aunque el reloj del sistema también se podría haber utilizado.

La posibilidad de utilizar estos timers para generar señales PWM hace que esté disponible una opción para alinear la posible señal al centro o al flanco con el reloj.

El módulo para uso de teclado por interrupciones (KBI) se ha usado para detectar la señal que proporciona el sensor PIR y provocar la interrupción que saque al microcontrolador del modo de bajo consumo.

Se pueden configurar hasta 7 patillas diferentes como entradas de KBI, aunque la elección entre flanco o flanco y nivel como fuente de interrupción es común para todas las entradas. La configuración que si es independiente es si el flanco y/o nivel que dispare la interrupción será de bajada o de subida.

El sensor de presencia indica con un valor alto que hay movimiento dentro del área de detección, además el nivel permanecerá en alto hasta que el peatón salga del área de detección por lo que se configura el periférico para que dispare la interrupción al detectar un flanco de subida, así evitamos no poder salir de la interrupción mientras haya movimiento en el área de detección, cosa que pasaría si eligiéramos la detección por flanco y nivel.

El contador de tiempo real (RTC) es de gran utilidad ya que funciona incluso cuando el microcontrolador está en modo stop y entre las fuentes de reloj dispone de un oscilador de bajo consumo. Ambas características son ideales para sacar al micro del modo de bajo consumo de forma periódica permitiendo ahorrar energía al máximo, como por ejemplo cuando el controlador debe recoger los datos de las tensiones del panel solar y la batería.

Las otras fuentes de reloj de este periférico son el reloj externo y el interno con dos sets de prescalers diferentes.

El MC9S08JM16 dispone de hasta 37 patillas de propósito general configurables como entradas y salidas. Se puede seleccionar la conexión de resistencias internas de pullup cuanto se configuran como entradas y el control de slew rate y de intensidad cuando se configuran como salidas.

Se han utilizado varias de estas patillas como salidas para activar los focos de la señal, la carga de la batería desde el panel solar y para fijar niveles en algunas entradas del módulo de radio con el fin de activar funciones en éste.

5.2.1.4. Consumo del bloque regulador y control

Los componentes principales a la hora de hacer un cálculo de la corriente consumida por el bloque regulador y control serán el microcontrolador, el convertor dc/dc y las redes de resistencias.

El microcontrolador es un MC9S08JM16. A continuación se presenta una tabla con los consumos en los diferentes modos de funcionamiento, sacada de su hoja de datos.

Num	C	Parameter	Symbol	V _{DD} (V)	Typical ¹	Max ²	Unit
1	C	Run supply current ³ measured at (Core clock = 2 MHz, f _{BUS} = 1 MHz, BLPE mode)		5	1.1	1.6	mA
				3	0.8	1.6	
2	P	Run supply current ³ measured at (Core clock = 8 MHz, f _{BUS} = 4 MHz, FBE mode)	R _{IDD}	5	4.0	7	mA
				3	3.8	7	
3	C	Run supply current ³ measured at (Core clock = 48 MHz, f _{BUS} = 24 MHz, PEE mode)		5	22	30	mA
				3	21	30	
4	P	Stop2 mode supply current -40 °C 25 °C 85 °C	S2 _{IDD}	5	0.80	3 3 20	μA
				3	0.80	3 3 20	
5	P	Stop3 mode supply current -40 °C 25 °C 85 °C	S3 _{IDD}	5	0.90	3 3 20	μA
				3	0.90	3 3 20	
6	P	Adder to stop2 or stop3 for RTC enabled ⁴ , 25°C	ΔI _{BRTC}	5	300		nA
				3	300		
7	P	Adder to stop3 for LVD enabled (LVDE = LVDSE = 1)	ΔI _{BLVD}	5	110		μA
				3	90		
8	P	Adder to stop3 for oscillator enabled ⁵ (ERCLKEN = 1 and EREFSTEN = 1)	ΔI _{BOSC}	5	5		μA
				3	5		
9	T	USB module enable current ⁶	ΔI _{USB_{EE}}	5	1.5		mA
10	T	USB suspend current ⁷	I _{SUSP}	5	270	500	μA

Ilustración 14

La frecuencia de trabajo del reloj elegida son 2MHz, cuando esté en modo Run. Por lo que el consumo en este modo será de alrededor de 0,8mA más 0,5mA del convertor A/D.

Las redes de resistencias par la atenuación de señales de entrada al convertor A/D están calculadas para atenuar la señal por 10 y la resistencia total de la red es de 100K, de

modo que en el momento de máximo consumo (cuando haya 12V o 13V en la batería o el panel), éste será de $12V/100000\Omega = 120\mu A$. Hay dos redes de este tipo. A esto hay que sumar una red de resistencias para activar el encendido del interruptor electrónico de carga de la batería y dos para activar el encendido de los focos. Son idénticas y el cálculo es $3,3/680\Omega \approx 5mA$. Sin embargo, hay que tener en cuenta que únicamente una de las redes de encendido de los focos estará activa al mismo tiempo y que la carga de la batería se ha supuesto durante 4 horas diarias y no de forma continua mientras sea de día.

Sumando los consumos se obtiene:

$$\begin{aligned}
 &1,3mA \times 48h = 62,4mA \text{ (uC)} \\
 &5mA \times 48h = 240mA \text{ (encendido de focos)} \\
 &5mA \times 8h = 40mA \text{ (carga de baterías)} \\
 &120\mu A \times 2 \times 48h = 11,5mA \text{ (redes de atenuación)} \\
 &\text{Total: } 62,4+240+40+11,5=353,9mAh
 \end{aligned}$$

5.2.2. Sensor de presencia

Para esta aplicación, cualquier sensor de presencia que sea capaz de dar un contacto libre de tensión al detectar a un peatón, es válido. Por lo general, los sensores PIR (sensor pasivo de infrarrojos) son los más económicos aunque en condiciones de alta temperatura son menos sensibles. También existe la posibilidad de los sensores de tipo radar que no se ven afectados por las altas temperaturas pero son más caros. En este caso se ha elegido un sensor PIR con el fin de reducir los costes del sistema, además de la facilidad de uso y el rango de distancia a la que puede detectar presencia. El sensor elegido es el Parallax 555-28027 por su rango de tensiones de alimentación de entre 3V y 6V, que permite su alimentación a la misma tensión que el microcontrolador y el módulo de radio, y un consumo reducido de 12mA. Además es posible elegir entre dos modos de funcionamiento, normal o sensibilidad reducida, dependiendo del tamaño del área de detección deseado.

Este sensor PIR de Parallax puede detectar el movimiento de una persona a una distancia de hasta 9 metros o 4,5 metros si funciona en modo de sensibilidad reducida.

El cambio de sensibilidad reducida a normal se realiza por medio de un jumper en la PCB del sensor.

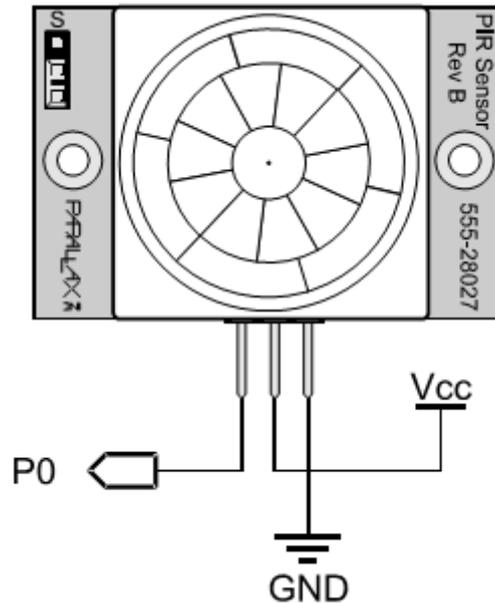


Ilustración 15

Al realizar la detección cambia el estado de una patilla de salida de estado bajo a alto, indicando así que hay movimiento dentro del rango de distancia seleccionado. Esta patilla puede atacar directamente a una carga o a una entrada de un microcontrolador. En el caso actual se ha utilizado el segundo método activando una interrupción en el micro que desencadena una serie de acciones al detectar la presencia de un peatón. El sensor también dispone de un LED que se activa al realizarse una detección.

La tensión de alimentación del sensor puede ir entre 3V y 6V lo cual lo hace ideal para el proyecto ya que la PCB de control funciona a 3,3V.

La hoja de datos nos advierte de que el sensor precisa de un periodo de 40 segundos para inicializarse y adaptarse al entorno inicial.

5.2.2.1. Consumo del sensor de presencia

El sensor de presencia va a tener un impacto directo en el cálculo del consumo, aunque su consumo sea poco elevado, porque estará en funcionamiento de forma permanente.

El sensor PIR Parallax 555 28027 tiene un consumo en corriente de 12mA a 3V, que es la tensión aproximada a la que va a funcionar (3,3V).

El sensor de presencia consumiría en dos días $0,012A \times 48h = 0,576Ah$, de acuerdo con las condiciones indicadas anteriormente.

5.2.3. LEDs de la señal

Se ha diseñado una PCB de LEDs para la señal con un tamaño reducido (70mm de diámetro) pero con 20 LEDs, con la intención de integrar dos de estos pequeños focos en la señal de tráfico y reforzar la advertencia de la señal. El consumo de cada una de estas placas es de 80mA (cuatro series de cinco LEDs, alimentadas a 12Vdc y con un consumo de 20mA cada serie).

Se ha utilizado una resistencia para limitar la corriente por cada serie de 5 LEDs. La Vf de cada LED es de entre 1,8V y 2V y la tensión de alimentación de 12V, con lo que la resistencia tendrá una tensión de entre 2V y 3V de caída. El objeto es limitar la corriente para que esté en torno a un valor de 20mA para todas las ramas. Se ha elegido un valor de 120Ω que da un valor de 20mA para una tensión intermedia de 2,5V.

Para la conmutación on / off de los focos se ha elegido un transistor NMOS, ya que está en el lado bajo (fuente a masa). Todos los transistores llevan una resistencia de 100KΩ a masa si son NPN o NMOS y a alimentación si son PNP o PMOS. Las resistencias de base de los bipolares son de 680Ω para producir corrientes de 5mA, suficientes para saturarlos ($I_b > I_c / \beta$).

Los focos insertados en la señal llevarán LEDs de color ámbar, que en tráfico es el color escogido para indicar advertencia o peligro. Son LEDs de 5mm de diámetro, 4000mCd. La tensión de polarización de estos diodos emisores de luz es de entre 1,8V y 2V. Dispondremos de una tensión de alimentación de 12Vdc. El modo elegido para limitar la corriente a través de los LEDs es mediante la inclusión de una resistencia en serie por ser el más económico. Los cálculos son muy sencillos:

$2V \times LED, 12Vdc, 2V \times 5 LED = 10V$ se pondrán series de 5 LEDs

$I_{LED} = 20mA$ para no elevar demasiado el consumo se pondrán 4 series.

$4 \times 20mA = 80mA$, cada foco consumirá 80mA.

En cada señal se incluirán dos focos lo que implica un consumo de 160mA.

Para una mayor reducción del consumo, ya que se trata de una aplicación alimentada con baterías, se propone un funcionamiento intermitente alternativo de modo que únicamente un foco esté funcionando al mismo tiempo, de forma que el consumo se reduzca a la mitad, 80mA.

Es previsible que este sea el consumo más elevado de los componentes del controlador, de modo que si hacemos los cálculos para que estén funcionando de forma continua durante el periodo de autonomía deseado, aunque es muy improbable que esto ocurra, podremos prácticamente asegurar el periodo de autonomía.

$0,08A \times 48h = 3,840Ah$ consumirían los focos de la señal de forma continua durante dos días. Lo que significa que la batería tendrá que tener una capacidad mayor.

5.2.4. Radio

Se ha elegido un módulo de radio transceptor con el fin de no solamente enviar la señal de activación a las balizas, sino también tener la posibilidad de recibir información del estado de funcionamiento de las balizas (LEDs fundidos, nivel de carga o de radio). El módulo elegido es el RFM12B de Hope RF por su bajo consumo, configuración y comunicación por puerto SPI y prestaciones como la capacidad para suministrar una señal del reloj al micro y señal de batería baja.

El módulo de radio RFM12B es un transceiver FSK (modulación por desplazamiento de frecuencia) que funciona en las bandas ISM (de las siglas en inglés de industrial, científica y médica) por debajo de 1GHz. Hope RF comercializa estos módulos para trabajar a una frecuencia fija de 315MHz, 433MHz, 868MHz o 915MHz. En realidad la frecuencia de transmisión se puede cambiar por software en uno de los registros del módulo, pero la red de adaptación de la antena está optimizada para la frecuencia indicada en el momento de la compra.

No todas las bandas de frecuencias están permitidas en todas las regiones del planeta. En la región 1, en la que España está incluida, se permite el uso de los 315MHz, 433MHz y 868MHz.

Se ha elegido el uso de la banda de 433MHz porque, de acuerdo con la hoja de características, es la que mejores prestaciones de distancia/consumo ofrece.

Este módulo ofrece una gran cantidad de opciones de configuración y prestaciones a un coste bastante reducido.

El módulo está construido alrededor del transceiver RF12B que también comercializa Hope RF y que permite unos ratios de transmisión de hasta 115,5Kbps usando el demodulador digital o hasta 256Kbps si se utiliza un filtro RC externo.

Las comunicaciones con el microcontrolador se realizan a través del puerto SPI de 16bits.

El módulo incluye un cristal de cuarzo o un oscilador cerámico de 10MHz y puede proporcionar una salida de reloj al micro para evitar el costo y espacio de un cristal adicional.

El consumo en standby baja hasta los $0,3\mu\text{A}$.

También dispone de una función de reconocimiento de un patrón en los bytes recibidos. Incorpora un amplificador de potencia y un detector de calidad de datos que operan junto con el control automático de frecuencia para determinar cuándo los datos recibidos son válidos.

Un bloque muy importante es el wake-up timer que con muy bajo consumo permite sacar al módulo RFM12B del modo standby tras el intervalo de tiempo especificado, permitiendo un ahorro de energía significativo.

5.2.4.1. Consumo del módulo de radio

El módulo de radio no está activo de forma continuada sino que envía mensajes cortos (de una duración de unos 3ms) durante 250ms cada vez que se detecta la presencia de un peatón. En el caso de que se produjera un redisparo y no hubiera terminado el tiempo de encendido tras detección de 20s, se produciría una nueva transmisión. Por otro lado no se producirá un redisparo hasta que el peatón haya salido del área de detección que, dependiendo de la sensibilidad seleccionada en el PIR, está entre 4,5m y 9m de radio. Suponiendo que la velocidad media de un peatón es de alrededor de 5Km/h ($1,4\text{m/s}$), no se podrá producir una nueva detección hasta que hayan pasado entre 3,2s y 6,4s. Con lo que, como máximo, la radio funcionaría durante 0,25s cada 3,2s por 48h. El consumo en transmisión de este módulo es de 21mA.

$$48\text{h} \times 60\text{min} \times 60 = 172800\text{s.}$$

$$172800 / 3,2 = 54000 \text{ transmisiones}$$

$$54000 \times 0,25\text{s} = 13500\text{s}$$

$$13500/3600=3,75\text{h}$$

$$3,75\text{h} \times 21\text{mA} = 78,75\text{mAh}$$

5.2.4.2. Configuración del módulo de radio

La configuración y el control del módulo de radio se realizan a través del puerto SPI utilizando diferentes los comandos definidos en su hoja de datos. Todos los comandos tienen una estructura similar, los bits más significativos indican el comando del que se trata, los bits menos significativos se sobrescriben dependiendo de la configuración deseada.

El comando de configuración (80xxh) permite configurar la banda de frecuencia de transmisión, aunque, conviene usar la misma que indica el módulo debido a la red de adaptación de la antena preparada específicamente para funcionar con esa frecuencia. También permite configurar la carga de los condensadores del cristal, prefijados en el módulo. Por último, por medio de este comando se habilita el uso de la pila FIFO en la recepción o del registro de transmisión.

En el caso de este proyecto los condensadores de carga del cristal son de 12,5pF, la banda de frecuencia la de 433MHz y el registro de transmisión se habilitan en el caso del controlador.

El comando de control de energía (82xxh) permite seleccionar los módulos internos que se activarán o no, con el correspondiente ahorro o consumo de energía. Por medio de este comando se habilita la cadena de recepción, el sintetizador y el circuito de banda base del receptor. No es necesario tener habilitados los tres módulos para poder recibir datos, pero hacerlo reduce el tiempo de espera al cambiar de recepción a transmisión y viceversa. Con este comando también se puede habilitar la transmisión, la detección de batería baja y el temporizador de wake-up, además de encender el oscilador y deshabilitar la salida del reloj.

En el caso del controlador se encenderá el oscilador para dar la señal de reloj externa al micro y sólo cuando se vaya a efectuar una transmisión se habilitará el módulo encargado de ello.

Con el comando de configuración de frecuencia (Axxxh) se establece la frecuencia central de transmisión dentro de la banda seleccionada. En el caso de los 433MHz los doce bits permiten pasos de 2,5KHz desde los 430,24MHz hasta los 439,7575MHz. Se ha elegido una frecuencia central de 434,15MHz.

El comando de velocidad de transmisión (C6xxh) permite ajustar el baudrate en la transmisión y recepción por medio de 7bits más un bit que hace las funciones de prescales y divide la velocidad de transmisión por 8. La velocidad de transmisión máxima usando el decodificador digital integrado es de 115Kbps. Se debe tener en cuenta también que un aumento en la velocidad de transmisión suele venir acompañada de una reducción en el rango de alcance de la señal de radio. Por otra parte la velocidad de transmisión determina el tiempo que se tardará en enviar la trama de bytes establecida.

Con la intención de llevar al límite al sistema se ha establecido una velocidad de transmisión de aproximadamente 115Kbps sabiendo así que una reducción mejorará la calidad de transmisión y el alcance de la señal de radio.

Comando de configuración de la FIFO y del modo de reset (CAxxh). Con este comando se puede establecer la cantidad de bits recibidos que generará una señal que servirá como interrupción externa al microcontrolador.

Otra función muy interesante que controla este comando es la posibilidad de empezar a llenar la pila de recepción siempre que haya datos en el aire o únicamente tras haber recibido un patrón de sincronismo, que se puede establecer en uno o dos bytes (uno de ellos configurable).

Por último, en este mismo comando se ajusta la sensibilidad para que se produzca un reset del módulo de radio por posibles picos de tensión en la alimentación. Se ha establecido la sensibilidad en su valor alto como se ve en la ilustración 14.

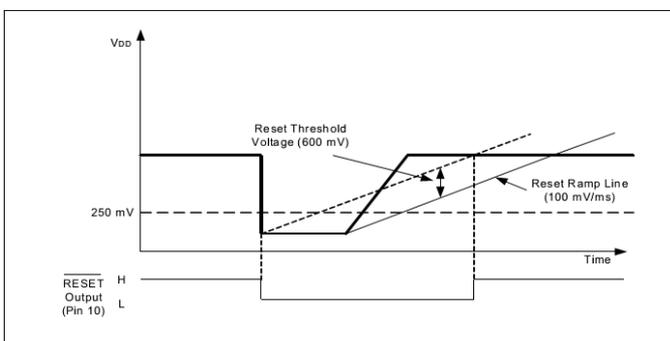


Ilustración 17

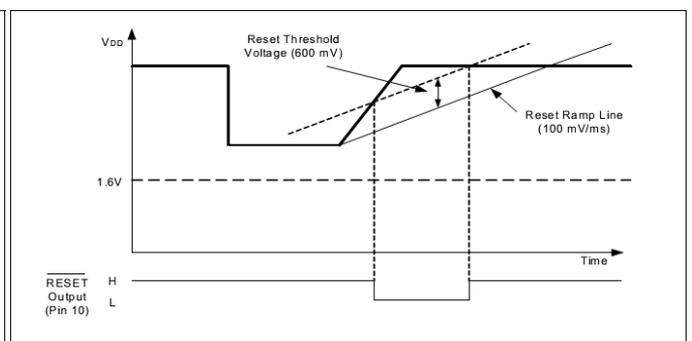


Ilustración 16

Comando del control automático de la frecuencia (AFC) (C4xxh). Este comando se utiliza para limitar la desviación en frecuencia entre el emisor y el receptor para mejorar la comunicación entre los módulos. De acuerdo con las instrucciones de la hoja de datos del fabricante la configuración por defecto del AFC es apropiada para la aplicación.

Con el comando de control de la configuración de la transmisión (98xxh) se fijan los valores de desviación en frecuencia para la modulación de los bits sobre la onda transmitida. También se ajusta la potencia de salida de la señal relativa a la ganancia de la antena y la red de adaptación.

Al fijar el valor de la desviación se debe recordar que está relacionado con el ancho de banda base de la recepción.

Para alcanzar un máximo rango de transmisión/recepción la potencia de salida relativa se establece en 0dB.

Comando de control del PLL (CCxxh). Este comando controla las funciones para fijar ajustar la frecuencia del reloj por medio de un sistema de fijación de fase en lazo cerrado. El fabricante recomienda usar el valor por defecto (CC77h).

Con el comando de escritura en el registro de transmisión (B8xxh) se carga un byte en el registro de transmisión que se transmite tan pronto esté activado el módulo de transmisión en el comando de control de energía.

En la ilustración siguiente se representa una secuencia de transmisión de mensajes con las señales implicadas.

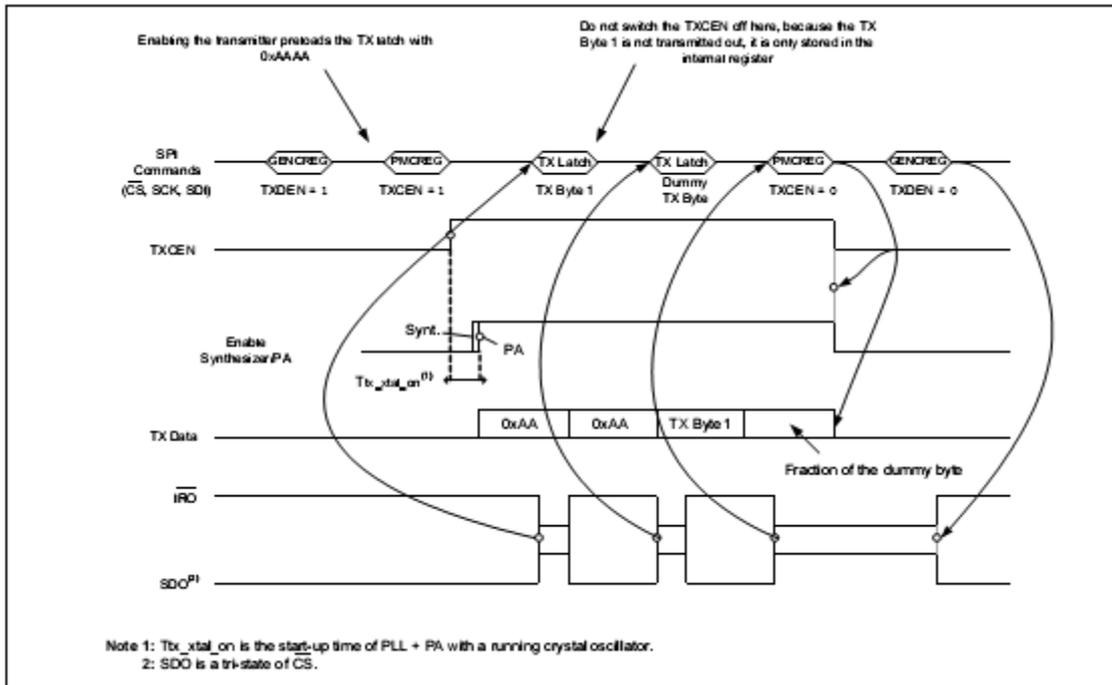


Ilustración 18

Como su nombre indica el comando de detección de batería baja y del divisor del reloj para el microcontrolador (C0xxh) se usa para fijar una tensión por debajo de la que se genera una interrupción para indicar que la batería se está agotando y para establecer la frecuencia de salida del reloj para el microcontrolador, siempre que estos módulos estén habilitados por medio del comando de control de energía. La tensión mínima para generar la interrupción es de 2,2V y las frecuencias de salida pueden ir desde 1MHz hasta 10MHz con seis valores intermedios.

No se usará la función de detección de batería baja ya que no es útil para ninguno de los dos dispositivos su valor mínimo. El reloj se establece a una frecuencia de 2MHz y se usará como referencia externa para el microcontrolador.

El comando de lectura de estado permite conocer el estado del módulo de radio y proporciona información en cuanto a interrupciones y otros datos útiles como si la señal recibida está sobre el umbral de potencia establecido, la calidad de la señal y si la FIFO está vacía. El bit más significativo indica si el registro de transmisión está listo para recibir otro byte o si la FIFO ha alcanzado el nivel preestablecido de recepción de bits.

Un último comando, el de software reset (FE00h), permite hacer un reset al módulo de radio por software volviendo todos los registros a sus valores por defecto.

Como se puede comprobar las posibilidades de configuración y modos de funcionamiento son muy amplios, lo cual puede ser muy bueno permitiendo adaptar el dispositivo a cada aplicación particular. Sin embargo, sin una buena documentación que lo respalde, que permita realizar una configuración apropiada para cada caso, puede convertir esa buena propiedad en una dificultad añadida, aumentando el tiempo necesario para aprender su utilización y funcionamiento correctos.

5.2.5. Batería

La batería debe tener una tensión nominal de 12Vdc, de manera que concuerde con los valores del panel solar elegidos. El tamaño estará limitado por el ancho del hueco interior de la señal de tráfico. En cuanto a la tecnología de la batería, las de plomo-ácido suelen ser las más económicas, aunque para aplicaciones solares las más recomendables son las de gel ya que sufren menos debido a las descargas profundas (descargas por debajo del 20% de la capacidad de la batería).

Se pretende que la señal pueda tener una autonomía de dos días (en ausencia de sol) es decir, que la batería sea capaz de alimentar todo el sistema de forma ininterrumpida durante dos días sin recargarse.

Para calcular la capacidad necesaria de la batería se suma el consumo individual de todos los componentes del controlador.

$$3,840\text{Ah (focos)} + 0,576\text{Ah (sensor)} + 0,354\text{Ah (regulador y control)} + 0,079\text{Ah (radio)} = 4,849\text{Ah}$$

El cálculo está sobredimensionado ya que como se ha mencionado antes no se espera, ni es el objeto del producto, que el sistema este funcionando de forma ininterrumpida. En cualquier caso, y para evitar descargas profundas (por debajo del 20% de la capacidad de carga) de la batería que puedan afectar a su vida útil, se propone utilizar una batería de 12V, 5A.

5.2.6. Panel solar

El panel solar debe tener un voltaje nominal de salida de 12Vdc y una capacidad de generar corriente de más de 1A. Las dimensiones deben ser lo más reducidas posibles ya que se van a colocar en un entorno urbano y se espera que provoquen el menor

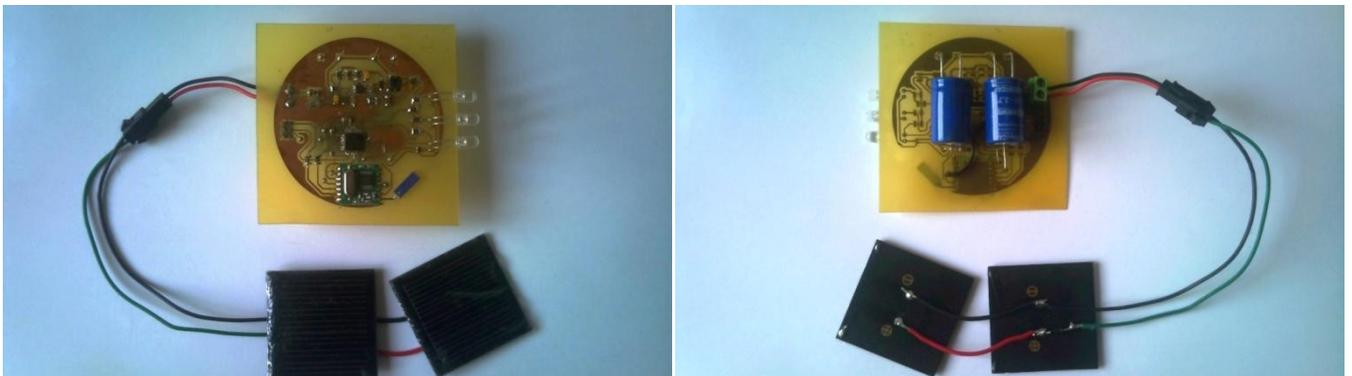
impacto visual. En el caso de alimentación del controlador con una fuente ac/dc el panel solar no es necesario.

Para conocer la forma de elegir el dimensionado de los paneles solares se ha consultado con una empresa colaboradora de Ecotrafic en materia de energía solar, Adem Energy. Los cálculos para elegir el panel solar se hacen de manera que en cuatro horas, el panel sea capaz de cargar la batería asociada por completo, suponiendo que estas serán las peores condiciones en las que se encontrará o que en casi cualquier situación se dispone al menos de esas cuatro horas de carga. Por lo que el panel debe ser capaz de dar una corriente de $5A/4h=1,250A$ a 12V.

$$12V \times 1,25A = 15W$$

Los paneles solares, por lo general, dan una tensión más elevada de la nominal (lo cual es lógico si se usan para cargar baterías ya que la tensión de carga debe ser más elevada que la de la propia batería) lo que significa que un panel de 15W o 16W no dará 1,25A por lo que hay que sobredimensionarlo. Elegiremos un panel de 12V 20W.

5.3. Baliza



Como se ha visto en la ilustración 12 las balizas tienen cinco bloques, el panel solar, la parte de control, los súper-condensadores en sustitución de la batería, los LEDs de la baliza y el módulo de radio. Todos los bloques excepto el panel solar están integrados en la misma PCB.

La carga de los súper-condensadores de la baliza es libre, es decir, no existe interruptor electrónico para abrir o cortar la carga de éstos ya que no sufren de problemas de descarga profunda, ni desgaste por motivo de cargas diarias. Un diodo impide que el voltaje del panel exceda el de los súper-condensadores y que durante la noche la

tensión más elevada de éstos dañe el panel solar induciendo corrientes inversas a través de las celdas.

En la baliza la tensión de alimentación viene condicionada por la tensión máxima que permiten los super-condensadores, en este caso 2,7Vdc. Por lo tanto, se ha optado por utilizar un convertor dc/dc elevador para estabilizar la tensión de alimentación de la electrónica.

5.3.1. Regulador y control

El componente encargado del control de la baliza es un microcontrolador MC9S08JM16 de Freescale. En este caso todos los componentes del sistema, excepto el panel solar, están integrados en una misma placa de circuito impreso por lo que no existen entradas o salidas, sino periféricos y componentes que se activan o envían y reciben información. Desde el micro se pueden controlar los LEDs de la baliza, el módulo de radio, y el convertor dc/dc que adapta la tensión de salida de los súper-condensadores a un nivel estable de 2,7V.

La referencia completa del convertor dc/dc es MAX1675EUA que es la referencia comercial para el encapsulado 8 μ MAX. La salida puede ser fija a 3,3V o ajustarse con una red de resistencias. En la hoja de datos se indican los cálculos a realizar para la obtención de los componentes externos necesarios.

Ajuste de la tensión de salida deseada, 2,7V.

$$R1 = R3 \left[\left(\frac{V_{out}}{V_{ref}} \right) - 1 \right]$$

Donde:

$V_{out} = 2,7V$ fijada por el usuario

$V_{ref} = 1,3V$ dada por el fabricante

$R3 < 260K\Omega$ indicado por el fabricante

Tomando $R3 = 240K\Omega$ obtenemos $R1 = 260K\Omega$

Como el fabricante no garantiza el arranque del convertor a tensiones menores de 1,1V se pretende usar el indicador de batería baja del MAX1675 para indicar que la tensión de los súper-condensadores está por debajo de ese valor. Los cálculos que siguen a continuación son para ajustar dicha tensión umbral (V_{trip}) a 1,1V.

$$R2 = R4 \frac{V_{ref} - V_{trip}}{V_{out} - V_{ref}}$$

Donde:

$V_{ref}=1,3V$ especificado por el fabricante

$V_{trip}=1,1V$ establecido por el usuario

$V_{out}=2,7V$ establecido por el usuario

$R4 < 260K\Omega$ indicado por el fabricante

Tomando $R4=240K\Omega$ obtenemos una $R2=34K\Omega$

Selección de la bobina. El fabricante recomienda una bobina de $22\mu H$, que funcionará bien en la mayoría de las aplicaciones. La corriente de saturación debe ser mayor que la corriente de pico del convertidor que en este caso se especifica de $500mA$. Se elige una bobina de $22\mu H$ y $1,1A$.

El fabricante recomienda un condensador de filtro de salida de $47\mu F$ y $10V$, montaje SMD de Tántalo e indica que en aplicaciones con una subida de voltaje de $2V$ a $5V$ tendría un rizado de salida de $80mV$, lo cual es aceptable para esta aplicación. Se han incluido otros condensadores de filtrado a la entrada y a la salida del regulador de acuerdo con las indicaciones del fabricante.

Para arrancar a tensiones menores a $1,1V$ el fabricante recomienda incluir un diodo Schottky. Éste se ha incluido para mejorar el funcionamiento a partir de tensiones menores ya que se espera operar desde los $0,7V$ como indica la hoja de datos.

5.3.1.1. Microcontrolador

El microcontrolador MC9S08JM16 de Freescale es el cerebro de la baliza igual que en el controlador del sistema. Todos los periféricos y características del micro se han indicado en el apartado 5.2.1.3. En este apartado se expondrán únicamente las configuraciones y periféricos utilizados para el funcionamiento de la baliza, para una descripción más detallada del dispositivo ver el apartado mencionado.

El SPI es uno de los periféricos clave en el proyecto ya que se puede seleccionar entre un funcionamiento de $8bits$ o $16bits$. El módulo de radio soporta únicamente comunicaciones de $16bits$ por SPI por lo que se configura para funcionar en ese modo. Se ha elegido una frecuencia de funcionamiento de $250KHz$ ($f_{bus}/4$).

El módulo SPI del microcontrolador actuará como master.

La configuración del pin de selección de esclavo (SS) se ha establecido en automático.

Se usarán dos patillas diferentes del micro para la transmisión y recepción (MOSI, MISO) y la configuración del reloj y el orden de los bits transmitidos se establecerán de la siguiente manera:

La polaridad del reloj es activo en el estado alto.

La fase del reloj es activo en el primer flanco.

Se envía el bit más significativo primero (MSB first).

El contador de tiempo real (RTC) es de gran utilidad ya que funciona incluso cuando el microcontrolador está en modo stop y entre las fuentes de reloj dispone de un oscilador de bajo consumo. Ambas características son ideales para sacar al micro del modo de bajo consumo de forma periódica permitiendo ahorrar energía al máximo, como por ejemplo cuando la baliza tiene que encenderse de forma intermitente a intervalos regulares.

Las otras fuentes de reloj de este periférico son el reloj externo y el interno con dos sets de prescalers diferentes.

El MC9S08JM16 dispone de hasta 37 patillas de propósito general configurables como entradas y salidas

Se han utilizado varias de estas patillas como salidas para activar los LEDs de la baliza y para fijar niveles en algunas entradas del módulo de radio con el fin de activar funciones en éste.

5.3.1.2. Consumo del bloque regulador y control

Los componentes involucrados en este cálculo son el microcontrolador y el conversor dc/dc. A continuación se indican los consumos de las diferentes partes:

El micro es un MC9S08JM16, al igual que en el controlador, en la ilustración 14 presenta una tabla con los consumos en los diferentes modos de funcionamiento, sacada de su hoja de datos.

La frecuencia de trabajo del reloj elegida es de 2MHz cuando esté en modo Run. Por lo que el consumo en este modo será de alrededor de 0,8mA. Pasar a modo STOP bajaría el consumo hasta 0,9µA. Para reducir el consumo el procesador permanecerá en modo STOP hasta recibir una señal (interrupción) por parte del módulo de radio indicando que hay datos para retirar del buffer de recepción.

Para cálculos de consumo tomaremos el valor en modo Run, el exceso de consumo por el tiempo reducido de trabajo en este modo se podrá usar como margen de seguridad adicional.

El conversor dc/dc es un MAX1675 y la corriente máxima que consume es $35\mu\text{A}$ aunque el consumo típico es de $16\mu\text{A}$. Su consumo es tan bajo que prácticamente se puede despreciar.

Redes de resistencias. La red de atenuación para la medida del voltaje en el panel solar no computa en el cálculo del consumo ya que la corriente la toma del propio panel y no de los súper-condensadores. Las redes de resistencias para la configuración del integrado consumen alrededor de:

$$6,5\mu\text{A} = \left(\frac{0,3}{34\text{k}\Omega + 240\text{K}\Omega} \right) + \left(\frac{2,7}{240\text{K}\Omega + 260\text{K}\Omega} \right)$$

Donde $0,3\text{V}$ es la V_f del diodo schottky y $2,7\text{V}$ la V_{out} del conversor.

5.3.2. LEDs de la baliza

Como ya se ha mencionado antes, existe la necesidad de llegar a un compromiso entre consumo y luminosidad (en este caso número de LEDs). Se ha decidido utilizar tres LEDs de 4000mCd que consumen 20mA con una tensión de polarización de entre $1,8\text{V}$ y 2V con el fin de no elevar demasiado el gasto de energía, teniendo en cuenta que muchas balizas solares optan por esta configuración.

LEDs de la baliza. Para la correcta polarización de los LEDs de la baliza se ha incluido una resistencia de 39Ω . El cálculo es el siguiente. La V_f de los diodos luminosos es de entre $1,8\text{V}$ y 2V (color ámbar) y la V_{cc} del circuito $2,7\text{V}$, por la ley de Ohm:

$$R = 2,7 - 2 / 0,02 = 35\Omega$$

$$R = 2,7 - 1,8 / 0,02 = 45\Omega$$

Se ha escogido un valor intermedio de la serie E24, 39Ω .

Para el encendido se utiliza un transistor bipolar NPN a masa con una resistencia de base de 560Ω . El cálculo es para tener una corriente de base de unos 5mA .

$$R = 2,7 / 0,005 = 540\Omega$$

El valor comercial de la serie E24 más cercano es el de 560Ω , que da una corriente de base de unos 5mA , suficiente para saturar el bipolar.

La baliza cuenta con tres LEDs de color ámbar para indicar precaución. Están colocados en paralelo por lo que la suma del consumo total es de 60mA. Se encienden al mismo tiempo y de forma intermitente durante periodos de 20s tras la detección. Se calcula el consumo de un periodo para diferentes tiempos de encendido durante la intermitencia.

Ton 50%: 30mA cada periodo

Ton 40%: 24mA cada periodo

Ton 30%: 18mA cada periodo

Ton 20%: 12mA cada periodo

Como en este caso el ahorro de energía es la condición más importante se tomará el menor consumo como punto de partida.

Suponiendo que el sistema tiene una activación cada minuto y medio, se calcula el consumo total de los LEDs para un modo de funcionamiento de 24h y un modo de funcionamiento únicamente durante la noche (eligiendo el peor caso de la noche del solsticio de invierno que dura unas 16h).

Cada hora tiene $60/1,5 = 40$ periodos de minuto y medio, y los LEDs se encenderán durante 20 segundos cada periodo, esto es 800 segundos.

Para el caso de funcionamiento 24h en total la baliza estaría encendida durante 19200 segundos, que son 5,33 horas, consumiendo 12mA.

Para el caso de funcionamiento 16h en total la baliza estaría encendida durante 12800 segundos, que son 3,55 horas, consumiendo 12mA.

5.3.3. Radio

En la baliza se utilizará el mismo módulo de radio que en el controlador. En el apartado 5.2.4 se puede encontrar su descripción y las características principales. La configuración del módulo variará para ajustarse a la función principal de receptor en el caso de la baliza.

La radio de la baliza opera en recepción en un modo de funcionamiento llamado “low duty cycle” por el fabricante. Trabajando de esta manera el módulo de radio permanece en un modo de bajo consumo o sleep la mayor parte del tiempo. Dependiendo de los parámetros de configuración se despierta brevemente para comprobar si hay una señal de radio válida, activar el mecanismo de recepción y una señal para despertar al microcontrolador en caso necesario, si no es así vuelve al modo de bajo consumo.

Se ha configurado el módulo de radio para que este despierte 6ms cada 250ms, un 2,4% del tiempo, para comprobar si hay un mensaje de detección enviado por la PCB de

control. Siguiendo con el supuesto anterior de una activación cada 1,5 minutos estaría en recepción 960 veces al día durante 6ms son 5,76s. El consumo típico en recepción de este módulo es de 10mA, que requeriría durante unos 6s al día.

5.3.3.1. Configuración del módulo de radio

Igual que en el caso del controlador la configuración y el control del módulo de radio de la baliza se realizan a través del puerto SPI utilizando los diferentes comandos definidos en su hoja de datos. Todos los comandos tienen una estructura similar, los bits más significativos indican el comando del que se trata, los bits menos significativos se sobrescriben dependiendo de la configuración deseada.

En este apartado sólo se mencionaran los comandos usados para la configuración y control del módulo de radio en la baliza. Una descripción más completa se puede ver en el apartado 5.2.4.2.

El comando de configuración (80xxh) permite configurar la banda de frecuencia de transmisión. También permite configurar la carga de los condensadores del cristal. Por último por medio de este comando se habilita el uso de la pila FIFO en la recepción o del registro de transmisión.

En el caso de este proyecto los condensadores de carga del cristal son de 12,5pF, la banda de frecuencia la de 433MHz y para el caso de la baliza se habilitará la pila de recepción.

El comando de control de energía (82xxh) permite seleccionar los módulos internos que se activarán o no. Por medio de este comando se habilita la cadena de recepción, el sintetizador y el circuito de banda base del receptor. Con este comando también se puede habilitar la transmisión, la detección de batería baja y el temporizador de wake-up, además de encender el oscilador y deshabilitar la salida de reloj.

En la baliza se habilitará el temporizador de wake-up que se usará junto con la configuración de otro registro para despertar periódicamente, durante un breve periodo de tiempo, al módulo a fin de comprobar si hay datos enviándose y se encenderá el oscilador para proporcionar la señal de reloj externa al microcontrolador.

Los comandos de configuración de frecuencia (Axxxh), de velocidad de transmisión (C6xxh), de control automático de la frecuencia (AFC) (C4xxh), de control del PLL (CCxxh) se establecen de la misma forma que en el controlador (ver apartado 5.2.4.2).

El comando de control del receptor (9xxxh) selecciona la función del pin 11 para usarlo como salida del indicador de dato válido o como entrada negada de interrupción externa. En el caso de seleccionar el indicador de dato válido se puede configurar la velocidad de respuesta como lenta, media, rápida o mantenerlo siempre encendido. Como en este caso se deja la función de decisión de si el dato es válido o no al propio módulo el valor de estos bits es indiferente. Este mismo comando también configura el ancho de banda base, la ganancia del amplificador de bajo ruido (LNA) y el umbral del detector digital de intensidad de señal.

El ancho de banda base determina las frecuencias máxima y mínima que son aceptadas por el receptor. Un valor muy bajo podría causar que el desplazamiento en frecuencia para modular los unos y ceros quede fuera de la frecuencia aceptada por el receptor y un valor demasiado alto recibirá más ruido o señales muy lejos de la frecuencia central determinada en el comando de configuración de frecuencia, por lo que para determinar un valor hay que llegar a un compromiso, teniendo en cuenta la desviación permitida en la señal del transmisor.

El amplificador de bajo ruido (LNA) puede ayudar a mejorar la recepción en lugares con interferencias.

El parámetro del umbral de detección de la intensidad de la señal determina a partir de qué valor se considerará una señal con potencia suficiente para ser recibida. Como se desea lograr el mayor alcance posible se establece en -103dBm.

El comando de filtrado de datos (C2xxh) fija el clock recovery en manual o automático y si se fija en modo rápido o lento. También se debe definir si se usará un filtro analógico o digital en la recepción (lo que limita la velocidad de transmisión de datos máxima) y un umbral de calidad de la señal (DQD) con valores entre 7 y 4 siendo el cuatro el más restrictivo. El clock recovery trata de recuperar la frecuencia de los datos modulados sobre la onda y si se hace rápido (se determina con entre 6 y 8 bits de datos, normalmente un byte de preámbulo) o lento (entre 12 y 16 bits de preámbulo recomendados). En el caso a estudio se utiliza el modo automático rápido del clock recovery, el filtro digital y se mantiene el umbral de calidad de señal en 4.

Comando de configuración de la FIFO y del modo de reset (CAxxh). Con este comando se puede establecer la cantidad de bits recibidos que generará una señal que servirá como interrupción externa al microcontrolador, en este caso, cuando se reciba un byte de datos se desea que el módulo active esa salida para solicitar una interrupción al microcontrolador y lea el dato recibido.

Otra función muy interesante que controla este comando es la posibilidad de empezar a llenar la pila de recepción siempre que haya datos en el aire o únicamente tras haber recibido un patrón de sincronismo, que se puede establecer en uno o dos bytes (uno de ellos configurable). De esta manera, mientras no se reciba el patrón el módulo

entenderá que aunque haya señales de radio en su misma frecuencia no irán dirigidas a él, lo cual evitará despertar al micro de su estado de bajo consumo innecesariamente. Además el byte de sincronismo configurable permite dar diferentes “direcciones” a diferentes balizas dando órdenes específicas a cada una para un encendido alternativo u otros efectos. Se pretende evitar el despertar al micro innecesariamente por lo que se utilizará un patrón de sincronismo de dos bytes.

Por último, en este mismo comando se ajusta la sensibilidad para que se produzca un reset del módulo de radio por posibles picos de tensión en la alimentación. Se ha establecido la sensibilidad en su valor alto.

El comando de configuración del patrón de sincronismo (CExxh) permite establecer el segundo byte del patrón al valor deseado. Se ha conservado el patrón por defecto para el presente proyecto.

Comando de lectura de la FIFO (B000h). El envío de este comando descarga al mismo tiempo un byte que se haya recibido en el módulo de radio, siempre que la FIFO esté habilitada en el comando de configuración.

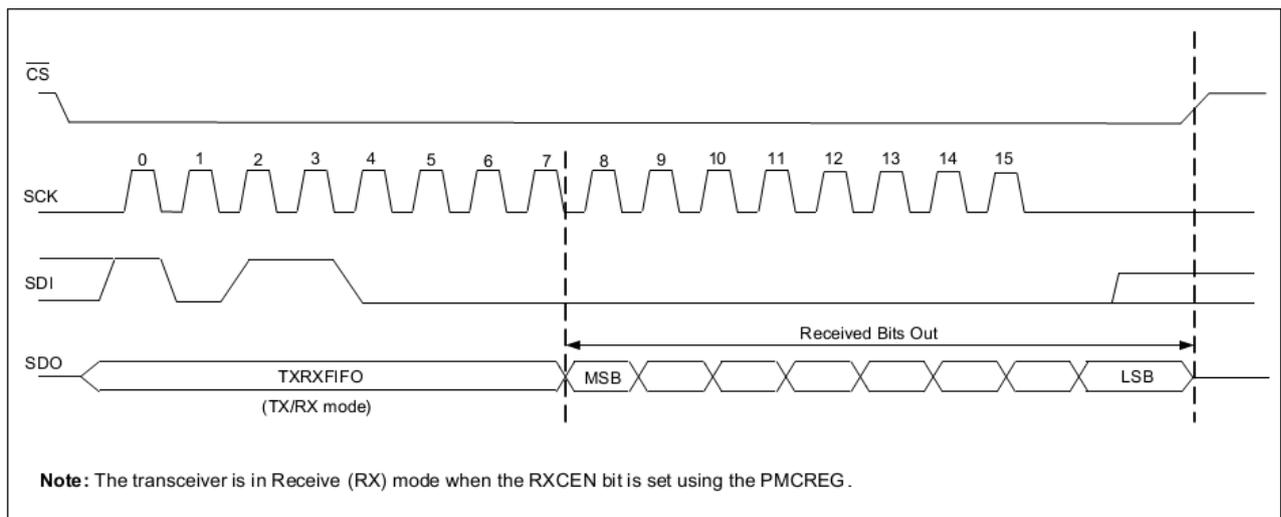


Ilustración 19

El comando del temporizador de wake-up (Exxxh) establece, por medio de dos parámetros de ocho y cinco bits respectivamente, un periodo tras el cual se genera una interrupción para despertar al microcontrolador asociado, de esta manera el micro puede activar los módulos necesarios para una transmisión o recepción de forma periódica y volver tanto el mismo como el módulo de radio a un estado de bajo consumo hasta el fin del próximo periodo. Para que el temporizador funcione de manera continua el fabricante indica que se debe deshabilitar y volver a habilitar el

módulo del temporizador de wake-up, a través del comando de control de energía, al final de cada ciclo. Se ha establecido un ciclo de 250ms.

El comando low duty-cycle (C8xxh) permite un modo de funcionamiento del módulo en modo receptor muy interesante a la hora de ahorrar energía. Al habilitar este modo de funcionamiento, por medio de dos parámetros, se establece un porcentaje de tiempo (relativo al periodo del temporizador de wake-up) en el que el módulo se activa, se pone a la escucha y vuelve al modo de bajo consumo hasta el próximo periodo, sin necesidad de la intervención del microcontrolador, permitiendo que éste permanezca en modo de bajo consumo hasta que haya un dato para sacar de la FIFO del receptor, mejorando mucho el consumo del sistema, lo cual es crítico en la baliza.

Este es el modo de funcionamiento que se va a utilizar para la baliza, con un porcentaje de encendido del 2,4% del tiempo.

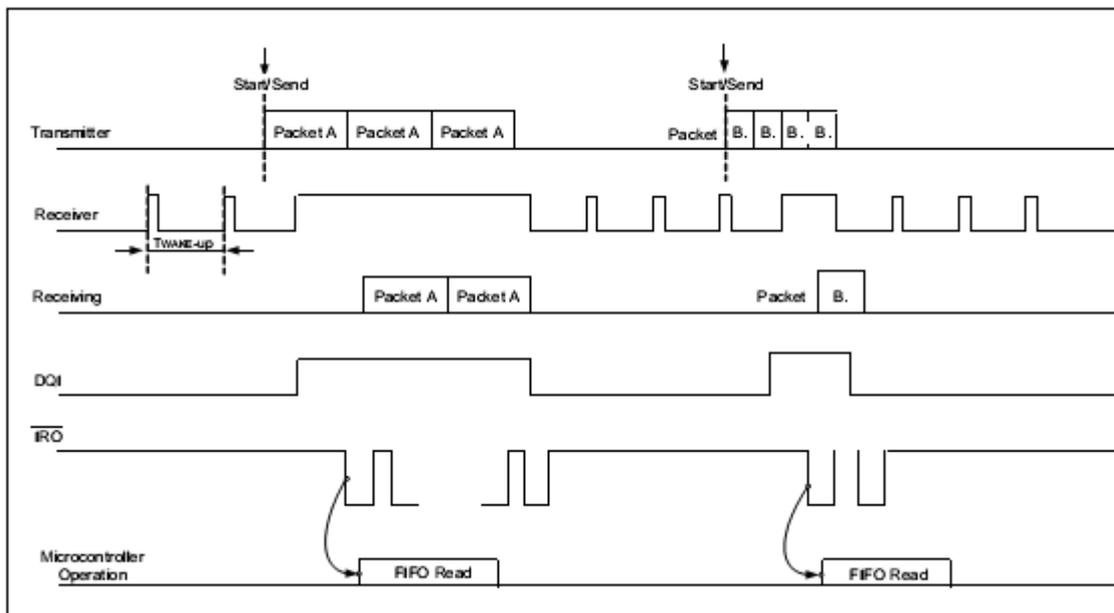


Ilustración 20

Como su nombre indica, el comando de detección de batería baja y del divisor del reloj para el microcontrolador (C0xxh) se usan para fijar una tensión por debajo de la que se genera una interrupción para indicar que la batería se está agotando y para establecer la frecuencia de salida del reloj para el microcontrolador.

El reloj se establece a una frecuencia de 2MHz y se usará como referencia externa para el microcontrolador.

El comando de lectura de estado permite conocer el estado del módulo de radio y proporciona información en cuanto a interrupciones y otros datos útiles como si la señal recibida está sobre el umbral de potencia establecido, la calidad de la señal y si la FIFO

está vacía. El bit más significativo indica si el registro de transmisión está listo para recibir otro byte o si la FIFO ha alcanzado el nivel preestablecido de recepción de bits. Este bit se utilizará para saber si se ha de recuperar un dato de la FIFO en la baliza. Se puede observar en la siguiente ilustración.

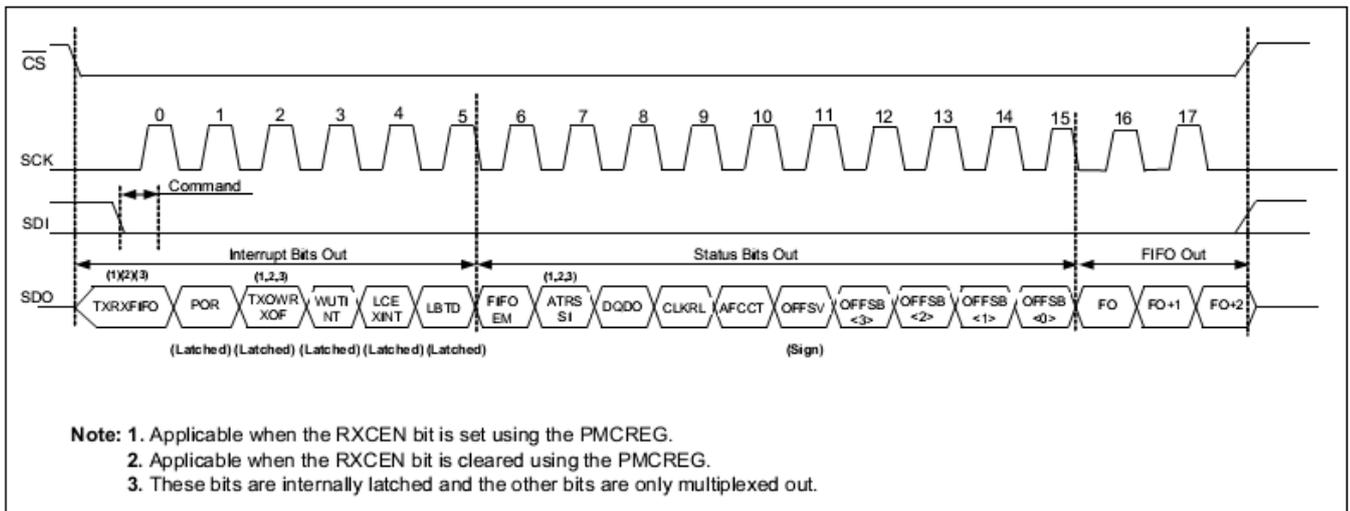


Ilustración 21

5.3.4. Batería

En este caso sería más apropiado llamarlo bloque de almacenamiento de energía, ya que en lugar de una batería propiamente dicha se han introducido súper-condensadores, de forma experimental, con el fin de intentar aprovechar las cualidades de carga en condiciones de bajas temperaturas y su mayor durabilidad. La variedad de súper-condensadores no es muy amplia si la comparamos con otros componentes electrónicos, ya que se trata de unos componentes bastante nuevos, sobre todo debido a la complejidad de su fabricación en tamaños reducidos. Los valores que se pueden encontrar en el mercado van desde los 0,22F hasta los 150F, en encapsulados THD, existen mayores capacidades en otros tipos de encapsulados y dirigidos a otro tipo de aplicaciones como la automoción (BMW incorpora dos series de ultra capacidades para proporcionar energía a un motor eléctrico que actúa en el arranque del vehículo y así ahorrar combustible en el momento de empezar a mover el coche). Se ha optado por la inclusión de dos súper-condensadores de 25F y 2,7V y un convertor dc/dc elevador, MAX1675 configurado para dar a su salida 2,7Vdc. De esta manera se aprovecha la zona del condensador donde se almacena más energía, como se ve en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Si se hubiera elegido un súper-condensador de mayor voltaje o una tensión de trabajo menor a la nominal de la ultra capacidad se estaría desaprovechando la zona de máximo almacenamiento de energía.



Ilustración 22

El objetivo es que la baliza tenga una autonomía de un día.

La capacidad de un condensador se define como la carga que puede almacenar a una diferencia de potencial.

$$C = \frac{Q}{V}$$

La corriente es la variación de la carga en el tiempo.

$$i = \frac{dQ}{dt}$$

De las dos ecuaciones anteriores se puede obtener una relación entre la corriente la capacidad y el voltaje.

$$i = C \frac{dV}{dt}$$

Aproximando la derivada por incrementos:

$$i = C \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

Los súper-condensadores tienen una tensión máxima de 2,7V y el conversor elevador una tensión mínima de funcionamiento de 0,7V. Teniendo en cuenta que el objetivo es un funcionamiento durante 24h o 16h, se puede calcular la capacidad necesaria sabiendo el consumo de corriente. Los consumos calculados hasta ahora son consumos “instantáneos”, habrá que calcular el consumo medio equivalente.

Para el modo de funcionamiento 24h.

$$\text{LEDs: } 5,33\text{h} \times 12\text{mA} / 24\text{h} = 2,67\text{mA}$$

$$\text{Microcontrolador: } 24\text{h} \times 0,8\text{mA} / 24\text{h} = 0,8\text{mA}$$

$$\text{Conversor dc/dc: } 24\text{h} \times 16\mu\text{A} / 24\text{h} = 16\mu\text{A}$$

$$\text{Redes de resistencias: } 24\text{h} \times 6,5\mu\text{A} / 24\text{h} = 6,5\mu\text{A}$$

$$\text{Radio en Rx: } 6\text{s} \times 10\text{mA} / 86400 = 0,35\mu\text{A}$$

$$\text{Total: } 3,49\text{mA}$$

$$C = 3,5\text{mA} \times 86400\text{s} / (2,7\text{V} - 0,7\text{V}) = 151,2\text{F}$$

Ya que la baliza está preparada para incorporar dos súper-condensadores se podrían instalar dos de 100F, con esa capacidad la corriente media para un día sería de 4,63mA un 24,4% más de la calculada bajo las condiciones mencionadas.

Para el modo de funcionamiento 16h. (Algunos componentes tienen que estar funcionando 24 horas igualmente por lo que el cálculo para ellos no cambia).

$$\text{LEDs: } 3,55\text{h} \times 12\text{mA} / 24\text{h} = 1,775\text{mA}$$

$$\text{Microcontrolador: } 24\text{h} \times 0,8\text{mA} / 24\text{h} = 0,8\text{mA}$$

$$\text{Conversor dc/dc: } 24\text{h} \times 16\mu\text{A} / 24\text{h} = 16\mu\text{A}$$

$$\text{Redes de resistencias: } 24\text{h} \times 6,5\mu\text{A} / 24\text{h} = 6,5\mu\text{A}$$

$$\text{Radio en Rx: } 6\text{s} \times 10\text{mA} / 86400 = 0,7\mu\text{A}$$

$$\text{Total: } 2,6\text{mA}$$

$$C = 2,6\text{mA} \times 86400\text{s} / (2,7\text{V} - 0,7\text{V}) = 112,32\text{F}$$

Se podrían instalar un súper-condensador de 100F y otro 25F, con esa capacidad la corriente media para un día sería de 2,89mA un 10% más de la calculada bajo las condiciones mencionadas.

5.3.5. Panel solar

Un pequeño panel solar de 45x45mm es el encargado de proporcionar la energía para la baliza. La tensión de salida del panel es de 3,5Vdc y la capacidad de corriente es de 50mA. Un diodo impide la circulación de corriente desde los súper-condensadores hacia

el panel solar, en este caso un diodo Schottky, para que, junto con el de la PCB, la tensión máxima de carga del panel no sobrepase la tensión máxima de los súper-condensadores de 2,7V.

Como ya se ha indicado con anterioridad, la tensión del panel es de 3,5V y tiene una capacidad de corriente de 50mA en el punto de máxima eficiencia.

Como el condensador tiene la misma capacidad de corriente de carga que de descarga no hay problema en cargarlo en el mínimo tiempo posible.

La baliza podría estar completamente cargada en:

$$\Delta t = \frac{(V_{max} - V_{min})C}{I}$$

$$\Delta t = (2,7V - 0,7V) \times 200F / 50mA = 8000s = 2,22h$$

$$\Delta t = (2,7V - 0,7V) \times 125F / 50mA = 5000s = 1,38h$$

Aproximadamente 2 horas y 15 minutos si son 200F o 1 hora y 20 minutos si son 125F.

Tras finalizar la configuración se puede generar automáticamente el código de inicialización del microcontrolador y escribir el código principal y de las interrupciones.

6.1. Programa del controlador

El software del controlador debe realizar tres tareas básicas.

Despertar periódicamente al microcontrolador para medir tensiones de las redes de atenuación del panel solar y la batería, comparar sus valores y decidir si se ha de iniciar la carga o no dependiendo del resultado de la comparación.

Despertar al microcontrolador cuando se produce una detección para poner en marcha el procedimiento de transmisión por radio y la secuencia de encendido de los focos de la señal.

Los procedimientos de transmisión y encendido de los focos en sí mismos.

La línea principal del programa se encarga de la inicialización del módulo de radio y del microcontrolador, tras esto entra directamente en modo de espera. Cuando una interrupción lo saca de la espera se comprueba si se ha debido a una detección de un peatón. Si es así se comienza la transmisión que repite el mensaje en un bucle de 250ms y al terminar se activa la secuencia de encendido de los focos de la señal. Por último, tanto si se había salido de la espera por motivo de una detección como por otro motivo se comprueba si la tensión del panel solar es mayor que la de la batería y se cierra o abre el interruptor de carga en consecuencia. Después el micro vuelve a quedar en stand-by como se puede ver en la siguiente ilustración.

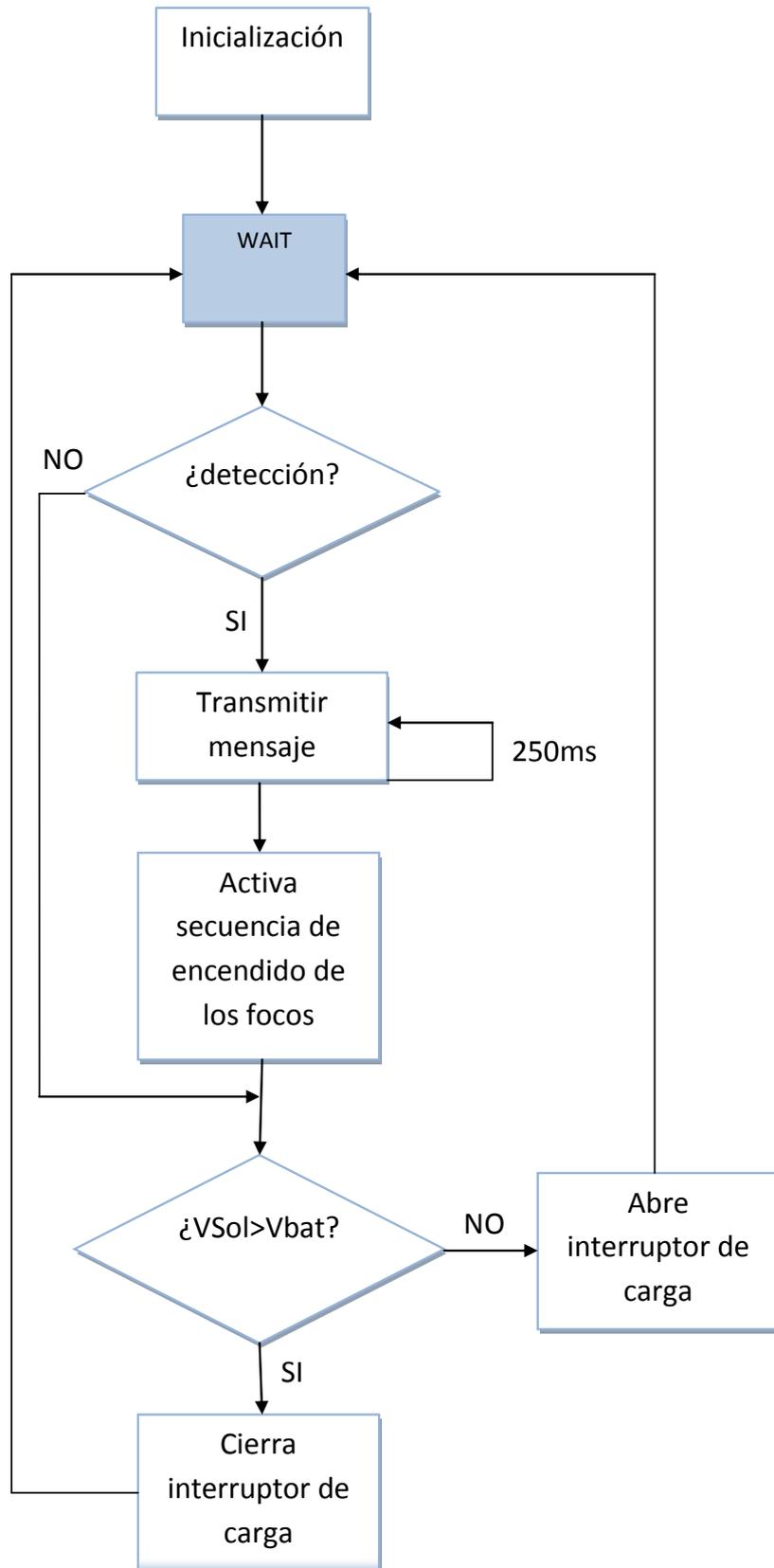


Ilustración 24

La interrupción RTC se encarga de sacar al microcontrolador del estado de espera cada minuto para lanzar una conversión para medir el voltaje de la batería. Cuando se produce una detección también cambia la condición del bucle de detección = 1 a detección = 0 transcurridos los 250ms.

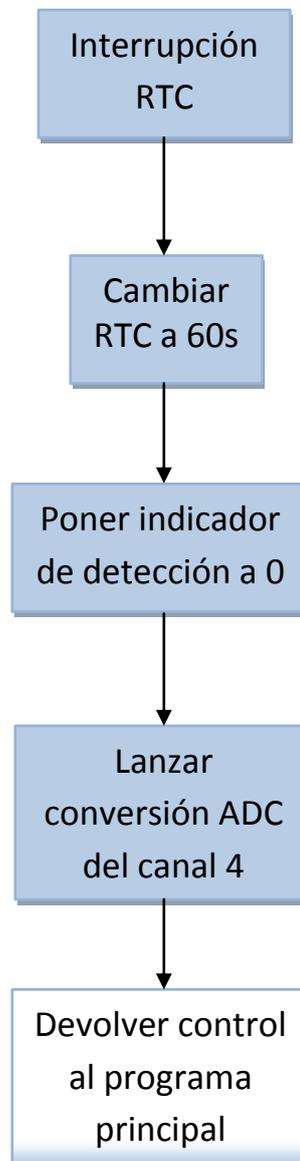


Ilustración 25

La interrupción ADC se dispara tras completar una conversión. En primer lugar comprueba si la conversión completada es la iniciada por el RTC, el canal 4, correspondiente a la medida del valor de tensión de la batería, o si es la conversión del canal 8, que se lanza tras la finalización de la medida del canal 4, correspondiente al valor de la tensión en el panel solar. Se contempla la posibilidad de que se complete la

conversión de otro canal, en cuyo caso se devuelve el control directamente al programa principal.

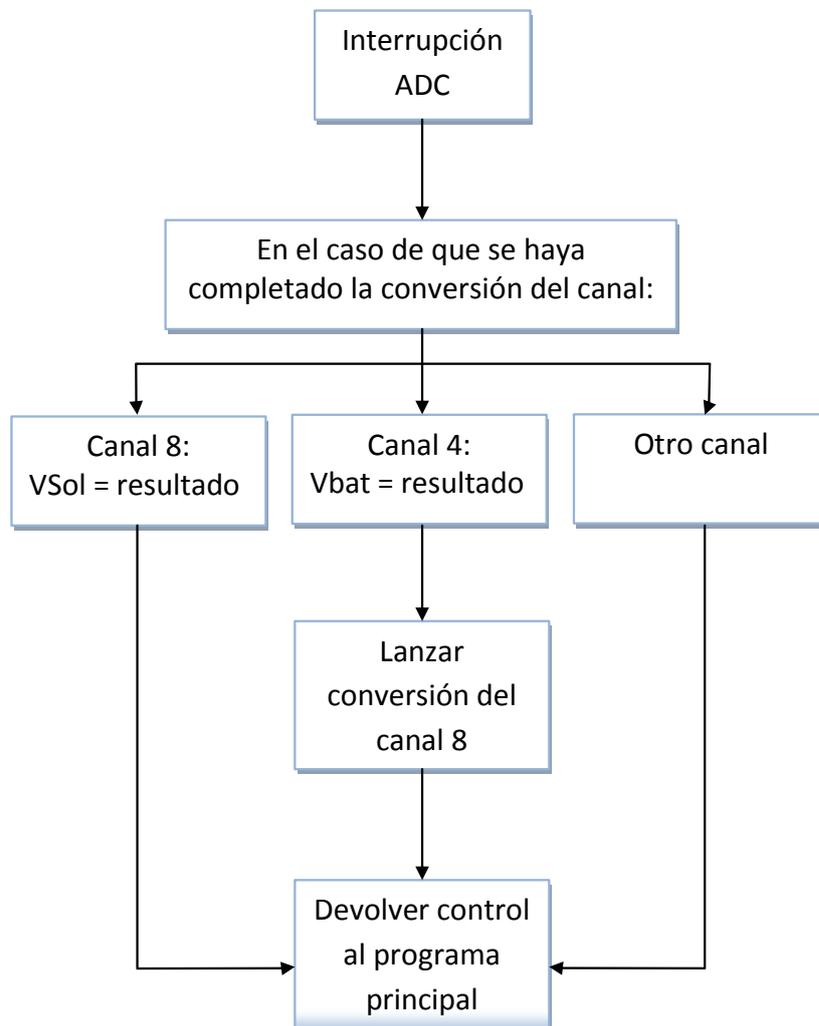


Ilustración 26

La interrupción KBI actúa cuando el sensor de presencia realiza una detección de un peatón. En ese momento, se guarda en una variable el mensaje a enviar, el indicador de detección se activa para que en el programa principal se entre en el bucle de envío de mensaje y se devuelve el control.

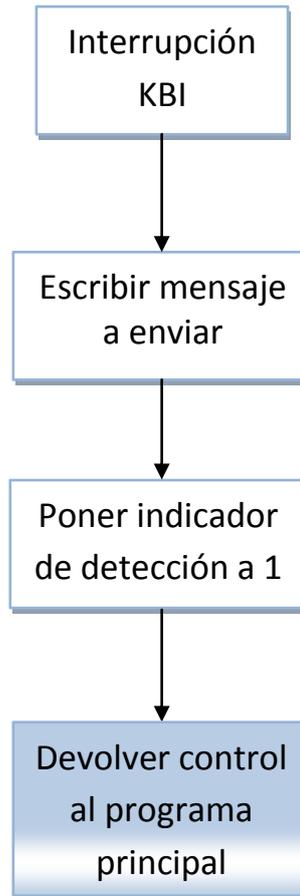


Ilustración 27

La interrupción del timer 2 se activa tras haber enviado el mensaje repetidamente durante 250ms en el programa principal, y desde entonces se ejecuta cada segundo comprobando en primer lugar si ya ha pasado el tiempo definido de duración del ciclo (20s) y, si no se ha cumplido, encendiendo alternativamente los focos de la señal.

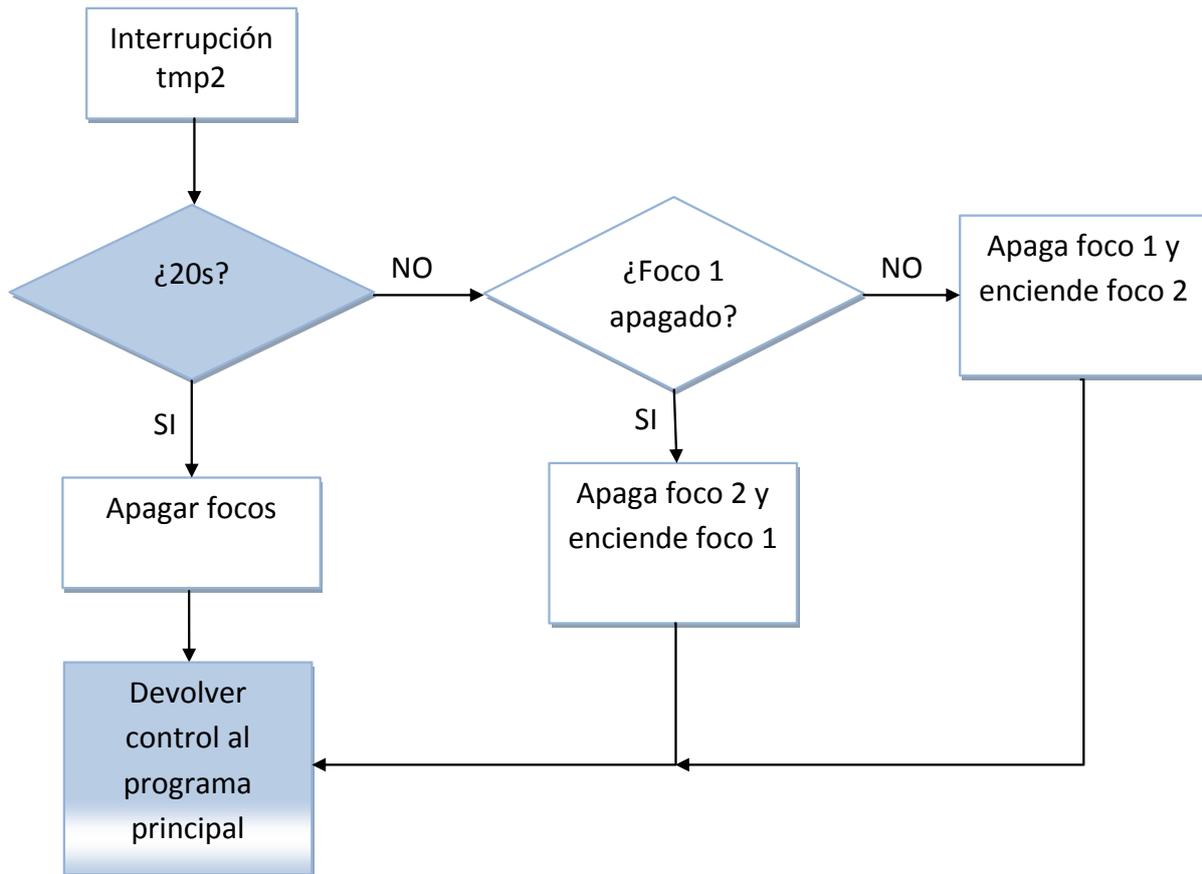


Ilustración 28

6.2. Programa de la baliza

El software de la baliza es muy simple y se ha minimizado al máximo para reducir el consumo. Las tareas a realizar son despertar al microcontrolador cuando se recibe un dato, descargarlo y activar la secuencia de encendido de los LEDs.

La función principal realiza la inicialización del micro y del módulo de radio.

Tan pronto como termina pone al microcontrolador en modo stop en el que permanece hasta que se produce una interrupción, consumiendo una mínima cantidad de energía (0.9µA).

Cuando una interrupción despierta al dispositivo comprueba si la variable que guarda los bytes recibidos indica que se ha recibido la información de que hay una detección. Si ese es el caso pone un contador al valor 40 y borra el byte. Este contador mantendrá la intermitencia de los LEDs funcionando durante 20 segundos.

Si el byte no contiene información de detección el microcontrolador vuelve al modo de bajo consumo a la espera de otra interrupción.

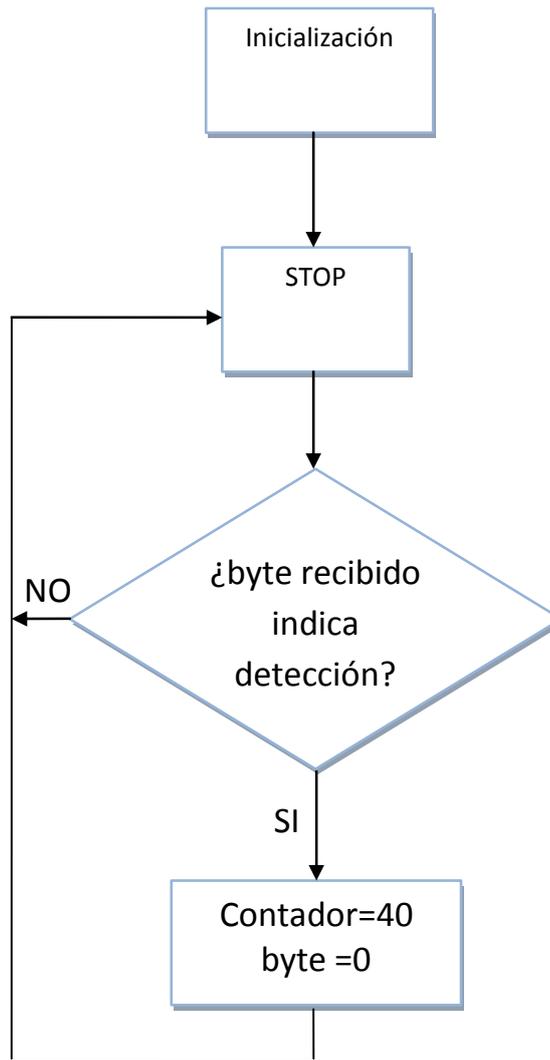


Ilustración 29

La interrupción IRQ se produce cuando el módulo de radio ha producido una interrupción interna como cuando recibe y almacena en su FIFO un byte. En este proceso se encarga de leer el estado del módulo y comprobar si su interrupción ha sido producida por la mencionada recepción. Si es así, saca el byte de la FIFO del módulo y activa la interrupción del RTC. Si no es así, devuelve el control a la función principal.

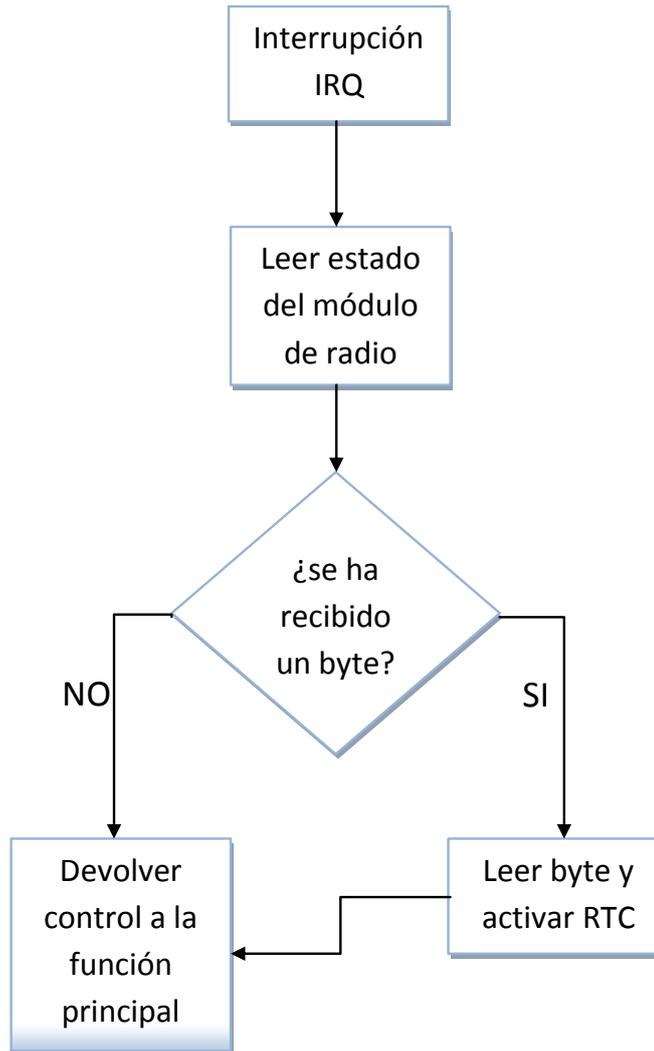


Ilustración 30

La interrupción RTC es utilizada para controlar el tiempo de encendido y apagado de los LEDs cuando están en intermitencia, de esta manera el microcontrolador se despierta para encender o apagar los LEDs y el resto del tiempo permanece en modo de bajo consumo. El hecho de tener el RTC activo únicamente añade 300nA al consumo del micro en modo stop.

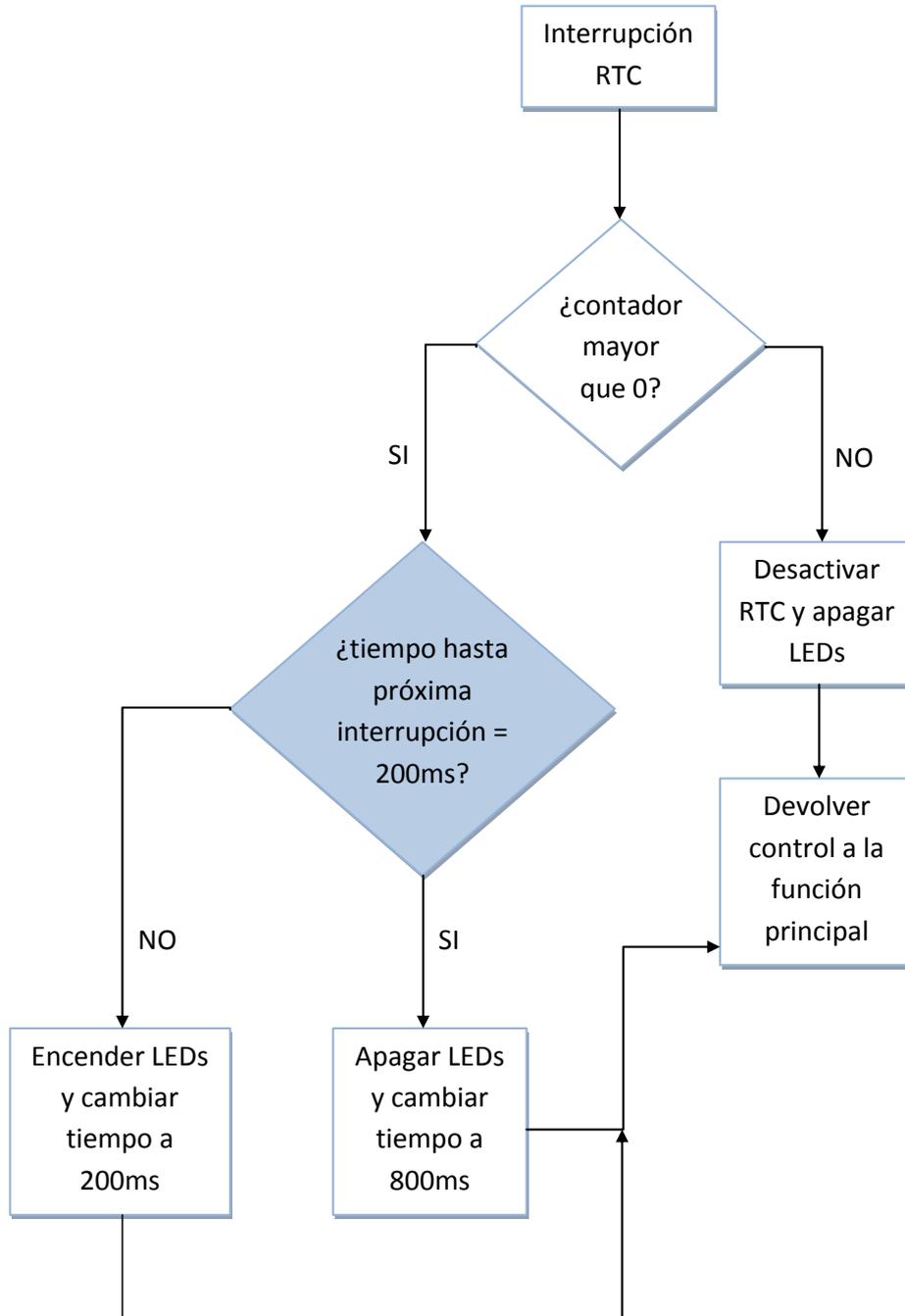


Ilustración 31

7. PRESUPUESTO

El presupuesto que se presenta a continuación se descompone en: precio de los componentes electrónicos más los materiales y coste de fabricación.

El precio de los componentes electrónicos y los materiales se ha calculado para un controlador, dos focos y tres balizas, los precios de producción serán más bajos debido al volumen de compra de componentes, no obstante se presentan estos precios y la diferencia se puede considerar un margen de seguridad.

– Controlador

Componente	Cantidad	Precio	Subtotal
Condensador 100 μ F	1	0,85 €	0,85 €
Condensador 47 μ F	1	1,89 €	1,89 €
Diodo rectificador	2	0,03 €	0,06 €
D Schottky	1	0,10 €	0,10 €
Antena	1	7,51 €	7,51 €
Bobina	1	0,31 €	0,31 €
Conectores	5	0,06 €	0,30 €
Conector 3X2	1	0,09 €	0,09 €
MOSFET-P	1	0,61 €	0,61 €
NPN	1	0,02 €	0,02 €
Resistencias	10	0,03 €	0,30 €
RFM12B	1	9,56 €	9,56 €
MAX1837	1	2,18 €	2,18 €
MC9S08JM16	1	2,82 €	2,82 €
TOTAL			26,60 €

Tabla 3

A este valor hay que añadir los materiales para la instalación solar y el sensor de presencia:

Componente	Cantidad	Precio	Subtotal
Panel solar	1	150 €	150 €
Sensor de presencia	1	25 €	25 €
Bateria 12V 5A	1	15 €	15 €
TOTAL			190,00 €

Tabla 4

En total el precio de la instalación en la señal es de 216,60 €, aunque es importante mencionar que el controlador y los focos podrían funcionar con una fuente de 12V 0,5A en el caso de que hubiera conexión a la red, y que en el caso de utilizar la instalación

solar el coste se reparte entre todos los componentes de la instalación, es decir, sólo es necesario un panel solar y una batería por cada grupo de hasta 30 balizas.

– Focos

Componente	Cantidad	Precio	Subtotal
LEDs 5mm	20	0,26 €	5,20 €
Conector	1	0,06 €	0,06 €
PNP	1	0,02 €	0,02 €
NPN	1	0,02 €	0,02 €
MOSFET-N	1	0,05 €	0,05 €
Resistencias	9	0,07 €	0,63 €
TOTAL			5,98 €

Tabla 5

Este valor es el de un solo foco, por lo tanto el precio de los componentes para fabricar dos focos para la señal es de 11,96€.

– Baliza

Componente	Cantidad	Precio	Subtotal
Súper-condensador	2	7,43 €	14,86 €
Condensador 100nF	3	0,03 €	0,09 €
Condensador 0,22F	1	1,80 €	1,80 €
Condensador 47µF	2	0,85 €	1,70 €
D Schottky	1	0,06 €	0,06 €
D Zener	1	0,03 €	0,03 €
D Schottky	1	0,11 €	0,11 €
Antena	1	7,51 €	7,51 €
Bobina	1	0,31 €	0,31 €
LEDs 5mm	3	0,26 €	0,78 €
Conector	1	0,06 €	0,06 €
Conector 3X2	1	0,08 €	0,08 €
NPN	1	0,02 €	0,02 €
Resistencias	15	0,04 €	0,60 €
MAX1675	1	4,73 €	4,73 €
RFM12B	1	9,56 €	9,56 €
MC9S08QE8	1	2,71 €	2,71 €
Panel solar 3,5V	1	1,50 €	1,50 €
TOTAL			46,51 €

Tabla 6

El precio, por tanto, de los componentes de la baliza para tres unidades es de 139,53 €. Conviene destacar que el precio de producción será bastante más bajo, como ya se ha

dicho en un principio, sin embargo a modo de ejemplo se indica el precio de los componentes más caros de la baliza para un consumo de 100 unidades.

Componente	Cantidad	Precio x 1	Precio x 100	Diferencia
Super-cap	2	7,43 €	4,29 €	6,28 €
Antena	1	7,51 €	4,66 €	2,85 €
MAX1675	1	4,73 €	2,28 €	2,45 €
RFM12B	1	9,56 €	6,00 €	3,56 €
MC9S08QE8	1	2,71 €	1,36 €	1,35 €
TOTAL		32,94 €	18,59 €	16,49 €

Tabla 7

Como se puede observar, el precio de algunos componentes baja hasta la mitad, teniendo en cuenta únicamente el ahorro de estos componentes, el precio por unidad de la baliza se reduciría hasta los 30 €. Y este ahorro es para una cantidad de 100 unidades, la cual no es exagerada, teniendo en cuenta sólo los componentes más caros, podría ser incluso mayor si se incluyeran en el nuevo cálculo todos los componentes y se consideraran cantidades más grandes.

El coste de fabricación de las placas de circuito impreso varía según las cantidades, tamaños, tipos de PCB y acabados, en este caso la PCB es clase 3 (anchos de pista mínimos de 0,3mm, espacio mínimo entre pistas 0,3mm, espesor de pads mayor de 0,22mm y diámetro de taladros mayor de 0,5mm). Siempre se requieren unos gastos fijos para generar documentación, hacer fotolitos, etc, que sólo se pagan la primera vez, siempre que no se cambie el diseño. Estos gastos suelen ser de entre 100€ y 200€. A esto habría que sumar el coste de fabricación por placa que oscilaría entre 1€ y 1,5€ dependiendo de la cantidad de PCBs a producir.

8. CONCLUSIONES

Tras el trabajo de desarrollo, fabricación de prototipos y documentación se ha llegado a las siguientes conclusiones.

Los planos, fotolitos y componentes utilizados se han diseñado, impreso y seleccionado para un prototipado “artesanal”, es decir, el tamaño de las pistas es más grueso del que podría ser para que se pudiera imprimir e insolar el fotolito y revelar y atacar la placa sin problemas de pistas cortadas o demasiado cercanas. Los componentes se han elegido para que pudieran ser soldados a mano. Por lo tanto, en un diseño final orientado a la producción industrial se podrían hacer los cambios necesarios para reducir el tamaño, si fuera necesario, y facilitar la fabricación en maquinaria de tipo pick-and-place y hornos de soldadura, reduciendo así el precio de los componentes.

En cuanto a los súper-condensadores, antes de empezar a acometer el proyecto y hacer los cálculos pertinentes se pensaba que una menor capacidad sería suficiente para cubrir las necesidades energéticas de la baliza. Aún así, aunque la necesidad de capacidades mayores significa un mayor tamaño, el volumen final es aceptable y el producto es viable, aunque conviene revisar el pequeño panel solar que incorporan las balizas para comprobar si también encajaría en el diseño uno capaz de dar más corriente y de mayor tamaño, y así asegurar una buena carga incluso en días nublados.

Durante la selección de los súper-condensadores se ha observado que no hay muchas empresas que fabriquen este tipo de componentes con capacidades elevadas. De hecho, en las tres páginas web de distribuidores de componentes consultadas (Farnell, Mouser y RS Amidata) sólo se han encontrado tres fabricantes:

- Nichicon, una empresa japonesa que tiene una variedad más interesante de valores de capacidades. Fabrica condensadores de Tántalo, electrolíticos y súper-capacidades.
- Maxwell Technologies, es la empresa líder en tecnología de súper-condensadores y tiene sus oficinas centrales en California, EEUU. Fabrica desde “pequeñas” ultra capacidades hasta auténticas baterías a base de estos componentes, algunas incluso utilizadas en automoción.
- Illinois capacitor, otra empresa americana, esta vez originaria de Chicago que empezó fabricando condensadores para aparatos con tecnología de radio y que en 2007 introdujo los súper-condensadores en su gama de productos.

Este hecho ha provocado situaciones que han afectado a las decisiones de compra de los productos empleados en los prototipos. Los productos de Maxwell están considerados mercancía peligrosa por las agencias de transporte, por lo que al precio del producto hay que añadir 78 € por paquete que contenga esa mercancía. Esto podría afectar a la decisión de selección del componente concreto a utilizar en el diseño de producción.

Se eligió el módulo de radio RFM12B porque era un transceptor y tenía un consumo bastante bajo, además es altamente configurable. Esta última característica se ha convertido en un problema ya que la gran cantidad de parámetros a configurar hacen que la curva de aprendizaje sea más lenta y dificultosa. Una elección por otro componente más sencillo de utilizar habría supuesto un ahorro de tiempo, aunque también habría supuesto una pérdida de prestaciones como la salida de reloj para el microcontrolador o la selección del canal de radio.

El producto tiene mucho potencial de mejora ya que es altamente configurable. Se proponen algunas mejoras que no entran dentro del alcance de este proyecto pero que se sugieren como diferentes líneas de evolución del producto.

- Implementar comunicación bidireccional. Esta opción permitiría conocer datos del estado de las balizas o interrogarlas para efectuar operaciones especiales como comprobación de carga o LEDs fundidos.
- El controlador lleva un micro con opción de comunicación por USB 2.0 integrada que se podría aprovechar para la recopilación de información de uso, datos y estado de funcionamiento de la instalación.
- Otra línea de trabajo sería el diseño de un terminal tipo “sniffer” que permita recoger los datos mencionados antes sin necesidad de cables, por radio.
- Con el fin de abrir el producto a otro tipo de instalaciones se podrían implementar diferentes modos de funcionamiento, aparte de la intermitencia, para hacer efectos de cascada u ondas para aplicaciones en curvas o rotondas, por ejemplo.

Por último, los desafíos que se presentaban al inicio del proyecto se han ido superando poco a poco a lo largo de éste, aprendiendo en materia de programación, comunicaciones (tanto dentro como fuera de la PCB), uso de paneles solares y almacenamiento de energía en súper-condensadores. El mayor desafío ha resultado ser

la configuración y puesta en funcionamiento del módulo de radio, lo que en un principio no se consideró que sería complicado, debido a la escasa e incompleta documentación por parte del fabricante y la poca información hallada en la red para el modo de funcionamiento deseado. Finalmente, en conjunto, la realización del proyecto ha resultado ser una experiencia interesante, muchas veces divertida, en ocasiones frustrante y definitivamente enriquecedora.

9. BIBLIOGRAFÍA

Guía de producto de MAXWELL (Maxwell Technologies® BOOSTCAP® Ultracapacitors)

Beyond Bits N°1, primavera 2006 (publicación especializada de Freescale™)

http://en.wikipedia.org/wiki/Energy_harvesting

www.hoperf.com

www.maxwell.com

es.farnell.com

es.mouser.com

es.rs-online.com

<http://jeelabs.net/projects/cafe/wiki/RF12>

<http://blog.strobotics.com.au/2008/01/08/rfm12-tutorial-part1/>

10. Anexos

10.1. Anexo 1: Software

10.1.1. Software del controlador

10.1.1.1. MCUinit.c

```

/* MODULE MCUinit */

#include <MC9S08JM16.h>          /* I/O map for MC9S08JM16CLC */
#include "MCUinit.h"

/* User declarations and definitions */
extern unsigned char dato1, deteccion, timer, Vbat, VSol;
extern Enviar_2bytes_por_SPI (char dato1, char dato2), Esperar_rfm12b_listo (void);

/* Code, declarations and definitions here will be preserved during code generation */
/* End of user declarations and definitions */

/*
** =====
** Method   : MCU_init (component MC9S08JM16_32)
**
** Description :
**   Device initialization code for selected peripherals.
** =====
*/
void MCU_init(void)
{
  /* ### MC9S08JM16_32 "Cpu" init code ... */
  /* PE initialization code after reset */

  /* Common initialization of the write once registers */
  /* SOPT1: COPT=0,STOPE=1 */
  SOPT1 = 51;
  /* SOPT2: COPCLKS=0,COPW=0,SPI1FE=0,SPI2FE=1,ACIC=0 */
  SOPT2 = 2;
  /* SPMSC1: LVWF=0,LVWACK=0,LVWIE=0,LVDRE=1,LVDSE=1,LVDE=1,BGBE=0 */

```

```

SPMSC1 = 28;
/* SPMSC2: LVDV=0,LVWV=0,PPDF=0,PPDACK=0,PPDC=0 */
SPMSC2 = 0;
/* System clock initialization */
if (*(unsigned char*far)65455 != 255) { /* Test if the device trim value is stored on the
specified address */
    MCGTRM = *(unsigned char*far)65455; /* Initialize MCGTRM register from a non
volatile memory */
    MCGSC = *(unsigned char*far)65454; /* Initialize MCGSC register from a non volatile
memory */
}
/* MCGC2: BDIV=0,RANGE=1,HGO=0,LP=0,EREFS=0,ERCLKEN=1,EREFSTEN=0 */
MCGC2 = 34;          /* Set MCGC2 register */
/* MCGC1: CLKS=2,RDIV=6,IREFS=0,IRCLKEN=1,IREFSTEN=1 */
MCGC1 = 179;        /* Set MCGC1 register */
/* MCGC3: LOLIE=0,PLLS=0,CME=0,VDIV=1 */
MCGC3 = 1;          /* Set MCGC3 register */
while(MCGSC_IREFST) { /* Wait until external reference is selected */
}
while((MCGSC & 12) != 8) { /* Wait until external clock is selected as a bus clock
reference */
}
/* MCGC2: BDIV=0,RANGE=1,HGO=0,LP=1,EREFS=0,ERCLKEN=1,EREFSTEN=0 */
MCGC2 = 42;          /* Set MCGC2 register */

/* Common initialization of the CPU registers */
/* PTGPE: PTGPE3=1 */
PTGPE |= (unsigned char)8;
/* PTBSE: PTBSE5=1,PTBSE4=1 */
PTBSE |= (unsigned char)48;
/* PTCSE: PTCSE1=1,PTCSE0=1 */
PTCSE |= (unsigned char)3;
/* PTDSE: PTDSE2=1,PTDSE1=1,PTDSE0=1 */
PTDSE |= (unsigned char)7;
/*
                                                                    PTESE:
PTESE7=1,PTESE6=1,PTESE5=1,PTESE4=1,PTESE3=1,PTESE2=1,PTESE1=1,PTESE0=1 */
PTESE = 255;
/* PTFSE: PTFSE5=1,PTFSE4=1 */
PTFSE |= (unsigned char)48;
/* PTGSE: PTGSE5=1,PTGSE4=1,PTGSE3=1,PTGSE2=1 */

```

```

PTGSE |= (unsigned char)60;
/* PTBDS: PTBDS5=1,PTBDS4=0,PTBDS3=0,PTBDS2=0,PTBDS1=0,PTBDS0=0 */
PTBDS = 32;
/* PTCDS: PTCDS5=0,PTCDS4=0,PTCDS3=0,PTCDS2=0,PTCDS1=0,PTCDS0=0 */
PTCDS = 0;
/* PTDDS: PTDDS7=0,PTDDS2=1,PTDDS1=1,PTDDS0=0 */
PTDDS = 6;
/*
                                                                    PTEDS:
PTEDS7=0,PTEDS6=0,PTEDS5=0,PTEDS4=0,PTEDS3=0,PTEDS2=0,PTEDS1=0,PTEDS0=0 */
PTEDS = 0;
/* PTFDS: PTFDS6=0,PTFDS5=0,PTFDS4=0,PTFDS1=0,PTFDS0=0 */
PTFDS = 0;
/* PTGDS: PTGDS5=0,PTGDS4=0,PTGDS3=0,PTGDS2=0,PTGDS1=0,PTGDS0=0 */
PTGDS = 0;
/* ### Init_SPI init code */
/* SPI1C1: SPIE=0,SPE=0,SPTIE=0,MSTR=0,CPOL=0,CPHA=0,SSOE=0,LSBFE=0 */
SPI1C1 = 0;          /* All interrupt flags in SPIxS register are reset when the SPI1
module is disabled. */
/* SPI1C2: SPMIE=0,SPIMODE=1,MODFEN=1,BIDIROE=0,SPISWAI=0,SPC0=0 */
SPI1C2 = 80;
/* SPI1BR: SPPR2=0,SPPR1=0,SPPR0=0,SPR2=0,SPR1=0,SPR0=1 */
SPI1BR = 1;
/*
                                                                    SPI1M:
Bit15=0,Bit14=0,Bit13=0,Bit12=0,Bit11=0,Bit10=0,Bit9=0,Bit8=0,Bit7=0,Bit6=0,Bit5=0,Bit
4=0,Bit3=0,Bit2=0,Bit1=0,Bit0=0 */
SPI1M = 0U;
/* SPI1C1: SPIE=0,SPE=1,SPTIE=0,MSTR=1,CPOL=0,CPHA=0,SSOE=1,LSBFE=0 */
SPI1C1 = 82;
/* ### Init_GPIO init code */
/* PTED: PTED1=1,PTED0=1 */
PTED |= (unsigned char)3;
/* PTEPE: PTEPE1=1,PTEPE0=1 */
PTEPE |= (unsigned char)3;
/* PTEDD: PTEDD1=0,PTEDD0=1 */
PTEDD = (PTEDD & (unsigned char)~2) | (unsigned char)1;
/* ### Init_GPIO init code */
/* PTDD: PTDD2=0,PTDD1=0 */
PTDD &= (unsigned char)~6;
/* PTDPE: PTDPE2=0,PTDPE1=0 */
PTDPE &= (unsigned char)~6;

```

```

/* PTDDD: PTDDD2=1,PTDDD1=1 */
PTDDD |= (unsigned char)6;
/* ### Init_IRQ init code */
/* ** Initialize pin IRQ_TPMCLK ** */
/* IRQSC: IRQIE=0 */
IRQSC &= (unsigned char)~2; /* Disable IRQ Interrupt */
/* IRQSC: IRQPE=1,IRQMOD=1 */
IRQSC |= (unsigned char)17;
/* IRQSC: IRQACK=1 */
IRQSC |= (unsigned char)4;
/* ### Init_RTC init code */
/* RTCMOD: RTCMOD=119 */
RTCMOD = 119; /* Set modulo register */
/* RTCSC: RTIF=1,RTCLKS=0,RTIE=1,RTCPS=14 */
RTCSC = 158; /* Configure RTC */
/* ### Init_ADC init code */
/* APCTL1: ADPC5=0,ADPC4=1,ADPC3=0,ADPC2=0,ADPC1=0,ADPC0=0 */
APCTL1 = 16;
/* APCTL2: ADPC9=0,ADPC8=1 */
APCTL2 = 1;
/*
ADCCFG:
ADLPC=1,ADIV1=0,ADIV0=0,ADLSMP=0,MODE1=0,MODE0=0,ADICLK1=1,ADICLK0=0 */
ADCCFG = 130;
/*
ADCCV:
ADCV11=0,ADCV10=0,ADCV9=0,ADCV8=0,ADCV7=0,ADCV6=0,ADCV5=0,ADCV4=0,ADCV
3=0,ADCV2=0,ADCV1=0,ADCV0=0 */
ADCCV = 0U;
/* ADCSC2: ADACT=0,ADTRG=0,ACFE=0,ACFGT=0 */
ADCSC2 = 0;
/*
ADCSC1:
COCO=0,AIEN=0,ADCO=0,ADCH4=0,ADCH3=0,ADCH2=1,ADCH1=0,ADCH0=0 */
ADCSC1 = 4;
/* ### Init_GPIO init code */
/* PTBD: PTBD5=0 */
PTBD &= (unsigned char)~32;
/* PTBPE: PTBPE5=0 */
PTBPE &= (unsigned char)~32;
/* PTBDD: PTBDD5=1 */
PTBDD |= (unsigned char)32;
/* ### Init_TPM init code */

```

```

/* TPM1SC: TOF=0,TOIE=0,CPWMS=0,CLKSB=0,CLKSA=0,PS2=0,PS1=0,PS0=0 */
TPM1SC = 0;          /* Stop and reset counter */
TPM1MOD = 243U;      /* Period value setting */
(void)(TPM1SC == 0); /* Overflow int. flag clearing (first part) */
/* TPM1SC: TOF=0,TOIE=0,CPWMS=0,CLKSB=1,CLKSA=0,PS2=1,PS1=0,PS0=1 */
TPM1SC = 21;        /* Int. flag clearing (2nd part) and timer control register
setting */
/* ### Init_KBI init code */
/* KBISC: KBIE=0 */
KBISC &= (unsigned char)~2;
/*
KBEDG7=1,KBEDG6=0,KBEDG5=0,KBEDG4=0,KBEDG2=0,KBEDG1=0,KBEDG0=0 */
KBIES = 128;
/* KBISC: KBMOD=0 */
KBISC &= (unsigned char)~1;
/* KBIPE: KBIPE7=1,KBIPE6=0,KBIPE5=0,KBIPE4=0,KBIPE2=0,KBIPE1=0,KBIPE0=0 */
KBIPE = 128;
/* KBISC: KBACK=1 */
KBISC |= (unsigned char)4;
/* KBISC: KBIE=1 */
KBISC |= (unsigned char)2;
/* ### Init_TPM init code */
/* TPM2SC: TOF=0,TOIE=0,CPWMS=0,CLKSB=0,CLKSA=0,PS2=0,PS1=0,PS0=0 */
TPM2SC = 0;          /* Stop and reset counter */
TPM2MOD = 62499U;    /* Period value setting */
(void)(TPM2SC == 0); /* Overflow int. flag clearing (first part) */
/* TPM2SC: TOF=0,TOIE=0,CPWMS=0,CLKSB=0,CLKSA=1,PS2=1,PS1=0,PS0=0 */
TPM2SC = 12;        /* Int. flag clearing (2nd part) and timer control register
setting */
/* ### */
asm CLI;             /* Enable interrupts */
} /*MCU_init*/

```

KBIES:

```

/*
** =====
** Interrupt handler : isrVrtc
**
** Description :
** User interrupt service routine.

```

```

** Parameters : None
** Returns   : Nothing
** =====
*/
__interrupt void isrVrtc(void)
{
/* Write your interrupt code here ... */
RTCSC_RTIF=1; //borrar flag de interrupción
RTCSC=158;
RTCMOD=119;
ADCSC1=68; //lanzar conversión adc en canal4: voltaje batería
deteccion=0;
}
/* end of isrVrtc */

/*
** =====
** Interrupt handler : isrVadc
**
** Description :
**   User interrupt service routine.
** Parameters : None
** Returns   : Nothing
** =====
*/
__interrupt void isrVadc(void)
{
/* Write your interrupt code here ... */

switch (ADCSC1_ADCH){
case 4:Vbat=ADCRL;ADCSC1_ADCH=8;break;
case 8:VSol=ADCRL;break;
default: ADCRL;

}

}
/* end of isrVadc */

```

```

/*
** =====
**  Interrupt handler : isrVkeyboard
**
**  Description :
**    User interrupt service routine.
**  Parameters : None
**  Returns   : Nothing
** =====
*/
__interrupt void isrVkeyboard(void)
{
  /* Write your interrupt code here ... */

  dato1=128; //el MSB a 1 indica que se deben encender las balizas
  timer=20;
  dato1=dato1+timer; //20 = 20 segundos de encendido
  deteccion=1;
  KBISC_KBACK=1; //borrar flag

}
/* end of isrVkeyboard */

/*
** =====
**  Interrupt handler : isrVtpm2ovf
**
**  Description :
**    User interrupt service routine.
**  Parameters : None
**  Returns   : Nothing
** =====
*/
__interrupt void isrVtpm2ovf(void)
{
  /* Write your interrupt code here ... */
  TPM2SC;
  TPM2SC_TOF=0;
}

```

```

if (timer>0){          //Secuencia de intermitencia
  if (PTDD_PTDD1==0){
    PTDD_PTDD2=0;
    PTDD_PTDD1=1;
  } else {
    PTDD_PTDD2=1;
    PTDD_PTDD1=0;
  } timer--;
} else {
  TPM2SC_TOIE=0;
  PTDD_PTDD2=0;
  PTDD_PTDD1=0;
}
}

```

```

}
/* end of isrVtpm2ovf */

```

```

/*
** =====
**  Interrupt handler : isrVtpm1ovf
**
**  Description :
**    User interrupt service routine.
**  Parameters : None
**  Returns   : Nothing
** =====
*/
__interrupt void isrVtpm1ovf(void)
{
  /* Write your interrupt code here ... */
  TPM1SC;      //borra el flag de la interrupción
  TPM1SC_TOF=0;
  TPM1SC_TOIE=0; //desactiva la interrupción

}
/* end of isrVtpm1ovf */

```

```

/*
** =====
**  Interrupt handler : isrVspi1
**
**  Description :
**    User interrupt service routine.
**  Parameters : None
**  Returns   : Nothing
** =====
*/
__interrupt void isrVspi1(void)
{
  /* Write your interrupt code here ... */

}
/* end of isrVspi1 */

```

```

/*
** =====
**  Interrupt handler : isrVirq
**
**  Description :
**    User interrupt service routine.
**  Parameters : None
**  Returns   : Nothing
** =====
*/
__interrupt void isrVirq(void)
{
  /* Write your interrupt code here ... */

}
/* end of isrVirq */

```

```

/* Initialization of the CPU registers in FLASH */

```

```
/* NVPROT: FPS7=1,FPS6=1,FPS5=1,FPS4=1,FPS3=1,FPS2=1,FPS1=1,FPDIS=1 */
const unsigned char NVPROT_INIT @0x0000FFBD = 255;
```

```
/* NVOPT: KEYEN=0,FNORED=1,SEC01=1,SEC00=0 */
const unsigned char NVOPT_INIT @0x0000FFBF = 126;
```

```
extern near void _Startup(void);
```

```
/* Interrupt vector table */
```

```
#ifndef UNASSIGNED_ISR
```

```
#define UNASSIGNED_ISR ((void(*near const)(void)) 0xFFFF) /* unassigned interrupt
service routine */
```

```
#endif
```

```
void (* near const _vect[])(void) @0xFFC4 = { /* Interrupt vector table */
```

isrVrtc,	/* Int.no. 29 Vrtc (at FFC4)	Used */
UNASSIGNED_ISR,	/* Int.no. 28 Viic (at FFC6)	Unassigned */
UNASSIGNED_ISR,	/* Int.no. 27 Vacmp (at FFC8)	Unassigned */
isrVadc,	/* Int.no. 26 Vadc (at FFCA)	Used */
isrVkeyboard,	/* Int.no. 25 Vkeyboard (at FFCC)	Used */
UNASSIGNED_ISR,	/* Int.no. 24 Vsci2tx (at FFCE)	Unassigned */
UNASSIGNED_ISR,	/* Int.no. 23 Vsci2rx (at FFD0)	Unassigned */
UNASSIGNED_ISR,	/* Int.no. 22 Vsci2err (at FFD2)	Unassigned */
UNASSIGNED_ISR,	/* Int.no. 21 Vsci1tx (at FFD4)	Unassigned */
UNASSIGNED_ISR,	/* Int.no. 20 Vsci1rx (at FFD6)	Unassigned */
UNASSIGNED_ISR,	/* Int.no. 19 Vsci1err (at FFD8)	Unassigned */
isrVtpm2ovf,	/* Int.no. 18 Vtpm2ovf (at FFDA)	Used */
UNASSIGNED_ISR,	/* Int.no. 17 Vtpm2ch1 (at FFDC)	Unassigned */
UNASSIGNED_ISR,	/* Int.no. 16 Vtpm2ch0 (at FFDE)	Unassigned */
isrVtpm1ovf,	/* Int.no. 15 Vtpm1ovf (at FFE0)	Used */
UNASSIGNED_ISR,	/* Int.no. 14 VReserved14 (at FFE2)	Unassigned */
UNASSIGNED_ISR,	/* Int.no. 13 VReserved13 (at FFE4)	Unassigned */
UNASSIGNED_ISR,	/* Int.no. 12 VReserved12 (at FFE6)	Unassigned */
UNASSIGNED_ISR,	/* Int.no. 11 VReserved11 (at FFE8)	Unassigned */
UNASSIGNED_ISR,	/* Int.no. 10 Vtpm1ch1 (at FFEA)	Unassigned */
UNASSIGNED_ISR,	/* Int.no. 9 Vtpm1ch0 (at FFEC)	Unassigned */
UNASSIGNED_ISR,	/* Int.no. 8 VReserved8 (at FFEE)	Unassigned */
UNASSIGNED_ISR,	/* Int.no. 7 Vusb (at FFF0)	Unassigned */

```

UNASSIGNED_ISR,      /* Int.no. 6 Vspi2 (at FFF2)      Unassigned */
isrVspi1,            /* Int.no. 5 Vspi1 (at FFF4)      Used */
UNASSIGNED_ISR,      /* Int.no. 4 Vlol (at FFF6)      Unassigned */
UNASSIGNED_ISR,      /* Int.no. 3 Vlvd (at FFF8)      Unassigned */
isrVirq,            /* Int.no. 2 Virq (at FFFA)      Used */
UNASSIGNED_ISR,      /* Int.no. 1 Vswi (at FFFC)      Unassigned */
_Startup            /* Int.no. 0 Vreset (at FFFE)    Reset vector */
};

```

```
/* END MCUinit */
```

```

/*
** #####
**
** This file was created by Processor Expert 3.07 [04.34]
** for the Freescale HCS08 series of microcontrollers.
**
** #####
*/

```

10.1.1.2. Main.c

```

#include <hidef.h> /* for EnableInterrupts macro */
#include "derivative.h" /* include peripheral declarations */

#ifdef __cplusplus
extern "C"
#endif

/* DEFINICIÓN DE CONSTANTES Y VARIABLES */

unsigned char dato1=0, timer=0, Vbat, VSol, deteccion=0;

/* DEFINICIÓN DE FUNCIONES */

```

```

// función para transmitir dos bytes por SPI sin interrupciones
void Enviar_2bytes_por_SPI (char dato1, char dato2){
    while (!SPI1S_SPTEF);
    SPI1DH=dato1;
    SPI1DL=dato2;
}

// función para detectar rfm12b listo para transmitir otro byte
void Esperar_rfm12b_listo (void){
    while(!IRQSC_IRQF);
    IRQSC_IRQACK=1;
}

void MCU_init(void); /* Device initialization function declaration */

/* FUNCION PRINCIPAL */

void main(void) {

    MCU_init(); /* call Device Initialization */
    /* include your code here */

    // Comprobar_bateria_panel
    ADCSC1=4; //canal4 voltaje batería
    while(!ADCSC1_COCO);
    Vbat=ADCRL;
    ADCSC1=8; //canal8 voltaje panel solar
    while(!ADCSC1_COCO);
    VSol=ADCRL;
    if (VSol>(Vbat+8)) PTBD_PTBD5=1;
    else PTBD_PTBD5=0;

    //Test de los focos
    PTDD_PTDD1=1;
    PTDD_PTDD2=1;
    //delay de 500ms (no bajar a menos de 150ms, es el t mínimo para startup del rfm12b)
    TPM1MOD=243; //
    TPM1SC_TOIE=1; //activar interrupción y establecer prescaler del TPM
    _Wait;
}

```

```
TPM1SC_TOIE=0; //desactivo la interrupción del TPM
PTDD_PTDD1=0;
PTDD_PTDD2=0;
```

```
// inicializar_rfm12b
Enviar_2bytes_por_SPI (0x80,0x98);
Enviar_2bytes_por_SPI (0x82,0x08);
Enviar_2bytes_por_SPI (0xA6,0x7C);
Enviar_2bytes_por_SPI (0xC6,0x02);
Enviar_2bytes_por_SPI (0x94,0xA0);
Enviar_2bytes_por_SPI (0xC2,0xEC);
Enviar_2bytes_por_SPI (0xCA,0x80);
Enviar_2bytes_por_SPI (0xC4,0xF7);
Enviar_2bytes_por_SPI (0x98,0x50);
Enviar_2bytes_por_SPI (0xCC,0x77);
Enviar_2bytes_por_SPI (0xE0,0x00);
Enviar_2bytes_por_SPI (0xC8,0x00);
Enviar_2bytes_por_SPI (0xC0,0x60);
```

RTCSC_RTIF=1;//borrar posible flag levantado del RTC para no generar una interrupción al activarla

```
RTCSC_RTIE=1;//activar la interrupción del RTC
```

```
for(;;) {
```

```
_Wait;
```

```
if (deteccion==1){
```

```
    RTCMOD=125; //modulo a 250ms
```

```
    RTCSC=153; //activa la interrupción
```

```
    while (deteccion==1) { //se ha efectuado detección
```

```
        (void)Enviar_2bytes_por_SPI (0xB8,0xAA);
```

```
        (void)Enviar_2bytes_por_SPI (0xB8,0xAA);
```

```
        (void)Enviar_2bytes_por_SPI (0x82,0x38);
```

```

(void)Enviar_2bytes_por_SPI (0x00,0x00);//para borrar interrupciones en el rfm12b
(void)Esperar_rfm12b_listo ();
(void)Enviar_2bytes_por_SPI (0xB8,0xAA);//preamble
(void)Esperar_rfm12b_listo ();
(void)Enviar_2bytes_por_SPI (0xB8,0xAA);//preamble
(void)Esperar_rfm12b_listo ();
(void)Enviar_2bytes_por_SPI (0xB8,0x2D);//1a parte de la dirección del dispositivo de
destino, siempre 2D
(void)Esperar_rfm12b_listo ();
(void)Enviar_2bytes_por_SPI (0xB8,0xD4);//2a parte de la dirección de destino,
modificable por soft
(void)Esperar_rfm12b_listo ();
(void)Enviar_2bytes_por_SPI (0xB8,dato1);
(void)Esperar_rfm12b_listo ();
(void)Enviar_2bytes_por_SPI (0xB8,0x55);//preamble (no se puede eliminar)
(void)Esperar_rfm12b_listo ();
(void)Enviar_2bytes_por_SPI (0xB8,0x55);//preamble (no se puede eliminar)
(void)Esperar_rfm12b_listo ();
(void)Enviar_2bytes_por_SPI (0x82,0x08);//apaga la radio después de transmitir

}

TPM2SC_TOIE=1; //activa interrupción del temporizador de encendido
//de los focos
}

if (VSol>(Vbat+8)) PTBD_PTBD5=1;
else PTBD_PTBD5=0;

/* __RESET_WATCHDOG(); by default, COP is disabled with device init. When enabling,
also reset the watchdog. */
}/* loop forever */
/* please make sure that you never leave main */
}

```

10.1.2. Software de la baliza

10.1.2.1. MCUinit.c

```

/* MODULE MCUinit */

#include <MC9S08JM16.h>          /* I/O map for MC9S08JM16CLC */
#include "MCUinit.h"

/* User declarations and definitions */
/* Code, declarations and definitions here will be preserved during code generation */
unsigned char datorecibidoH;
extern unsigned char dato1, timer;
extern Enviar_2bytes_por_SPI (char dato1, char dato2);
/* End of user declarations and definitions */

/*
** =====
** Method   : MCU_init (component MC9S08JM16_32)
**
** Description :
**   Device initialization code for selected peripherals.
** =====
*/
void MCU_init(void)
{
  /* ### MC9S08JM16_32 "Cpu" init code ... */
  /* PE initialization code after reset */

  /* Common initialization of the write once registers */
  /* SOPT1: COPT=0,STOPE=1 */
  SOPT1 = 51;
  /* SOPT2: COPCLKS=0,COPW=0,SPI1FE=1,SPI2FE=1,ACIC=0 */
  SOPT2 = 6;
  /* SPMSC1: LVWF=0,LVWACK=0,LVWIE=0,LVDRE=1,LVDSE=1,LVDE=0,BGBE=0 */
  SPMSC1 = 24;
  /* SPMSC2: LVDV=0,LVWV=0,PPDF=0,PPDACK=0,PPDC=0 */
  SPMSC2 = 0;
  /* System clock initialization */
  /* MCGC2: BDIV=0,RANGE=1,HGO=0,LP=0,EREFS=0,ERCLKEN=1,EREFSTEN=0 */

```

```

MCGC2 = 34;          /* Set MCGC2 register */
/* MCGC1: CLKS=2,RDIV=6,IREFS=0,IRCLKEN=0,IREFSTEN=1 */
MCGC1 = 177;        /* Set MCGC1 register */
/* MCGC3: LOLIE=0,PLLS=0,CME=0,VDIV=1 */
MCGC3 = 1;          /* Set MCGC3 register */
while(MCGSC_IREFST) { /* Wait until external reference is selected */
}
while((MCGSC & 12) != 8) { /* Wait until external clock is selected as a bus clock
reference */
}
/* MCGC2: BDIV=0,RANGE=1,HGO=0,LP=1,EREFS=0,ERCLKEN=1,EREFSTEN=0 */
MCGC2 = 42;          /* Set MCGC2 register */

/* Common initialization of the CPU registers */
/* PTBSE: PTBSE5=1,PTBSE4=1 */
PTBSE |= (unsigned char)48;
/* PTCSE: PTCSE1=1,PTCSE0=1 */
PTCSE |= (unsigned char)3;
/* PTDSE: PTDSE2=1,PTDSE1=1,PTDSE0=1 */
PTDSE |= (unsigned char)7;
/*
                                                                    PTESE:
PTESE7=1,PTESE6=1,PTESE5=1,PTESE4=1,PTESE3=1,PTESE2=1,PTESE1=1,PTESE0=1 */
PTESE = 255;
/* PTFSE: PTFSE5=1,PTFSE4=1 */
PTFSE |= (unsigned char)48;
/* PTGSE: PTGSE5=1,PTGSE4=1,PTGSE3=1,PTGSE2=1 */
PTGSE |= (unsigned char)60;
/* PTBDS: PTBDS5=0,PTBDS4=0,PTBDS3=0,PTBDS2=0,PTBDS1=0,PTBDS0=0 */
PTBDS = 0;
/* PTCDS: PTCDS5=0,PTCDS4=0,PTCDS3=0,PTCDS2=0,PTCDS1=0,PTCDS0=0 */
PTCDS = 0;
/* PTDDS: PTDDS7=0,PTDDS2=0,PTDDS1=0,PTDDS0=0 */
PTDDS = 0;
/*
                                                                    PTEDS:
PTEDS7=0,PTEDS6=0,PTEDS5=0,PTEDS4=0,PTEDS3=0,PTEDS2=1,PTEDS1=0,PTEDS0=0 */
PTEDS = 4;
/* PTFDS: PTFDS6=0,PTFDS5=0,PTFDS4=0,PTFDS1=0,PTFDS0=0 */
PTFDS = 0;
/* PTGDS: PTGDS5=0,PTGDS4=0,PTGDS3=0,PTGDS2=0,PTGDS1=0,PTGDS0=0 */
PTGDS = 0;

```

```

/* ### Init_GPIO init code */
/* PTED: PTED2=0,PTED0=1 */
PTED = (PTED & (unsigned char)~4) | (unsigned char)1;
/* PTEDD: PTEDD2=1,PTEDD0=1 */
PTEDD |= (unsigned char)5;
/* ### Init_SPI init code */
/* SPI1C1: SPIE=0,SPE=0,SPTIE=0,MSTR=0,CPOL=0,CPHA=0,SSOE=0,LSBFE=0 */
SPI1C1 = 0;          /* All interrupt flags in SPIxS register are reset when the SPI1
module is disabled. */
/* SPI1C2: SPMIE=0,SPIMODE=1,MODFEN=1,BIDIROE=0,SPISWAI=0,SPC0=0 */
SPI1C2 = 80;
/* SPI1BR: SPPR2=0,SPPR1=0,SPPR0=0,SPR2=0,SPR1=0,SPR0=1 */
SPI1BR = 1;
/*
                                                                    SPI1M:
Bit15=0,Bit14=0,Bit13=0,Bit12=0,Bit11=0,Bit10=0,Bit9=0,Bit8=0,Bit7=0,Bit6=0,Bit5=0,Bit
4=0,Bit3=0,Bit2=0,Bit1=0,Bit0=0 */
SPI1M = 0U;
/* SPI1C1: SPIE=0,SPE=1,SPTIE=0,MSTR=1,CPOL=0,CPHA=0,SSOE=1,LSBFE=0 */
SPI1C1 = 82;
/* ### Init_IRQ init code */
/* ** Initialize pin IRQ_TPMCLK ** */
/* IRQSC: IRQIE=0 */
IRQSC &= (unsigned char)~2;      /* Disable IRQ Interrupt */
/* IRQSC: IRQPE=1,IRQMOD=1 */
IRQSC |= (unsigned char)17;
/* IRQSC: IRQACK=1 */
IRQSC |= (unsigned char)4;
/* IRQSC: IRQIE=1 */
IRQSC |= (unsigned char)2;      /* Enable IRQ Interrupt */
/* ### Init_RTC init code */
/* RTCMOD: RTCMOD=74 */
RTCMOD = 74;          /* Set modulo register */
/* RTCSC: RTIF=1,RTCLKS=0,RTIE=0,RTCPS=10 */
RTCSC = 138;         /* Configure RTC */
/* ### */
asm CLI;             /* Enable interrupts */
} /*MCU_init*/

/*

```

```

** =====
**  Interrupt handler : isrVrtc
**
**  Description :
**    User interrupt service routine.
**  Parameters : None
**  Returns   : Nothing
** =====
*/
__interrupt void isrVrtc(void)
{
  /* Write your interrupt code here ... */
  RTCSC_RTIF=1;

  if (timer>0){
    if (RTCMOD==49){
      PTED_PTED2=0;
      RTCMOD=199;
    }
    else {
      PTED_PTED2=1;
      RTCMOD=49;
    }
    timer--;
  } else {
    RTCSC_RTIE=0;
    PTED_PTED2=0;
  }
}
/* end of isrVrtc */

/*
** =====
**  Interrupt handler : isrVspi1
**
**  Description :

```

```

**      User interrupt service routine.
**      Parameters : None
**      Returns   : Nothing
** =====
*/
__interrupt void isrVspi1(void)
{
    /* Write your interrupt code here ... */

}
/* end of isrVspi1 */

```

```

/*
** =====
**      Interrupt handler : isrVirq
**
**      Description :
**      User interrupt service routine.
**      Parameters : None
**      Returns   : Nothing
** =====
*/
__interrupt void isrVirq(void)
{
    /* Write your interrupt code here ... */

```

```

    (void) Enviar_2bytes_por_SPI(0x00,0x00); //estatus read para borrar posible
    interrupción de wake up
    while (!SPI1S_SPTEF);
    dato1=SPI1DL;
    datorecibidoH=SPI1DH;
    if (datorecibidoH>=128){ //MSB del status read indica que se ha alcanzado la cantidad
    de bits

        //indicada en el FIFO and reset mode command
    (void) Enviar_2bytes_por_SPI(0xB0,0x00); //sacar datos de la fifo del rfm12b
    while (!SPI1S_SPTEF);
    dato1=SPI1DL;
    datorecibidoH=SPI1DH;

```

```

    RTCMOD=62; //tiempo hasta el primer encendido
    RTCSC_RTIE=1; //habilitar interrupción RTC
} else {
    (void) Enviar_2bytes_por_SPI(0x82,0x08);
    (void) Enviar_2bytes_por_SPI(0x82,0x0A);
}

    IRQSC_IRQACK=1;
}
/* end of isrVirq */

/* Initialization of the CPU registers in FLASH */

/* NVPROT: FPS7=1,FPS6=1,FPS5=1,FPS4=1,FPS3=1,FPS2=1,FPS1=1,FPDIS=1 */
const unsigned char NVPROT_INIT @0x0000FFBD = 255;

/* NVOPT: KEYEN=0,FNORED=1,SEC01=1,SEC00=0 */
const unsigned char NVOPT_INIT @0x0000FFBF = 126;

extern near void _Startup(void);

/* Interrupt vector table */
#ifndef UNASSIGNED_ISR
#define UNASSIGNED_ISR ((void(*near const)(void)) 0xFFFF) /* unassigned interrupt
service routine */
#endif

void (* near const _vect[])(void) @0xFFC4 = { /* Interrupt vector table */
    isrVrtc, /* Int.no. 29 Vrtc (at FFC4) Used */
    UNASSIGNED_ISR, /* Int.no. 28 Viic (at FFC6) Unassigned */
    UNASSIGNED_ISR, /* Int.no. 27 Vacmp (at FFC8) Unassigned */
    UNASSIGNED_ISR, /* Int.no. 26 Vadc (at FFCA) Unassigned */
    UNASSIGNED_ISR, /* Int.no. 25 Vkeyboard (at FFCC) Unassigned */
    UNASSIGNED_ISR, /* Int.no. 24 Vsci2tx (at FFCE) Unassigned */
    UNASSIGNED_ISR, /* Int.no. 23 Vsci2rx (at FFD0) Unassigned */
    UNASSIGNED_ISR, /* Int.no. 22 Vsci2err (at FFD2) Unassigned */

```

```

UNASSIGNED_ISR,      /* Int.no. 21 Vsci1tx (at FFD4)      Unassigned */
UNASSIGNED_ISR,      /* Int.no. 20 Vsci1rx (at FFD6)      Unassigned */
UNASSIGNED_ISR,      /* Int.no. 19 Vsci1err (at FFD8)     Unassigned */
UNASSIGNED_ISR,      /* Int.no. 18 Vtpm2ovf (at FFDA)     Unassigned */
UNASSIGNED_ISR,      /* Int.no. 17 Vtpm2ch1 (at FFDC)     Unassigned */
UNASSIGNED_ISR,      /* Int.no. 16 Vtpm2ch0 (at FFDE)     Unassigned */
UNASSIGNED_ISR,      /* Int.no. 15 Vtpm1ovf (at FFE0)     Unassigned */
UNASSIGNED_ISR,      /* Int.no. 14 VReserved14 (at FFE2)  Unassigned */
UNASSIGNED_ISR,      /* Int.no. 13 VReserved13 (at FFE4)  Unassigned */
UNASSIGNED_ISR,      /* Int.no. 12 VReserved12 (at FFE6)  Unassigned */
UNASSIGNED_ISR,      /* Int.no. 11 VReserved11 (at FFE8)  Unassigned */
UNASSIGNED_ISR,      /* Int.no. 10 Vtpm1ch1 (at FFEA)     Unassigned */
UNASSIGNED_ISR,      /* Int.no. 9 Vtpm1ch0 (at FFEC)      Unassigned */
UNASSIGNED_ISR,      /* Int.no. 8 VReserved8 (at FFEE)    Unassigned */
UNASSIGNED_ISR,      /* Int.no. 7 Vusb (at FFF0)          Unassigned */
UNASSIGNED_ISR,      /* Int.no. 6 Vspi2 (at FFF2)         Unassigned */
isrVspi1,             /* Int.no. 5 Vspi1 (at FFF4)         Used */
UNASSIGNED_ISR,      /* Int.no. 4 Vlol (at FFF6)          Unassigned */
UNASSIGNED_ISR,      /* Int.no. 3 Vlvd (at FFF8)          Unassigned */
isrVirq,             /* Int.no. 2 Virq (at FFFA)          Used */
UNASSIGNED_ISR,      /* Int.no. 1 Vswi (at FFFC)          Unassigned */
_Startup              /* Int.no. 0 Vreset (at FFFE)        Reset vector */
};

```

10.1.2.2. Main.c

```

#include <hidef.h> /* for EnableInterrupts macro */
#include "derivative.h" /* include peripheral declarations */

#ifdef __cplusplus
extern "C"
#endif
void MCU_init(void); /* Device initialization function declaration */

unsigned char dato1=0, timer=0;

// Función para transmitir dos bytes por SPI
void Enviar_2bytes_por_SPI (char a, char b){

```

```

while (!SPI1S_SPTEF);
SPI1DH=a;
SPI1DL=b;
}

// función para detectar rfm12b listo para transmitir otro byte
void Esperar_rfm12b_listo (void){
while(!IRQSC_IRQF);
IRQSC_IRQACK=1;
}

void main(void) {
MCU_init(); /* call Device Initialization */

/* include your code here */

//Test de los LEDs
PTED_PTED2=1;
//delay de 300ms (no bajar a menos de 150ms, es el t mínimo para startup del rfm12b)
RTCMOD=74; //fijar el tiempo hasta siguiente desbordamiento
RTCSC=154; //activar interrupción
_Stop;
RTCSC=138; //desactivo la interrupción del RTC
PTED_PTED2=0;

//inicializar rfm12b
Enviar_2bytes_por_SPI (0xCA,0x82); //Fifo and reset mode
Enviar_2bytes_por_SPI (0x80,0x58); //Configuration settings
Enviar_2bytes_por_SPI (0xC4,0xF7); //AFC command
Enviar_2bytes_por_SPI (0xA6,0x7C); //Freq. setting
Enviar_2bytes_por_SPI (0xC6,0x02); //Data rate
Enviar_2bytes_por_SPI (0x82,0x0A); //Power management
Enviar_2bytes_por_SPI (0x94,0xA0); //Receiver control
Enviar_2bytes_por_SPI (0x98,0x50); //TX control
Enviar_2bytes_por_SPI (0xC2,0xEC); //Data filter
Enviar_2bytes_por_SPI (0xCC,0x77); //PLL
Enviar_2bytes_por_SPI (0xC0,0x60); //Low battery detect and uC clock
Enviar_2bytes_por_SPI (0xE1,0x7D); //Wake up timer
Enviar_2bytes_por_SPI (0xC8,0x03); //Low duty-cycle

```

```
Enviar_2bytes_por_SPI (0x00,0x00); //Status read (borra posibles flags de interrupciones)
```

```
//habilitar llenado de la pila RX
```

```
//Enviar_2bytes_por_SPI (0xCA,0x82); //Fifo and reset mode (activar FIFO fill)
```

```
for(;;) {
```

```
    /* __RESET_WATCHDOG(); by default, COP is disabled with device init. When enabling, also reset the watchdog. */
```

```
    _Stop;
```

```
    if (dato1>128) {
```

```
        timer=40;
```

```
        dato1=0;
```

```
    }
```

```
    } /* loop forever */
```

```
    /* please make sure that you never leave main */
```

```
}
```

10.2. Hojas de datos

10.2.1. Microcontrolador MC9S08JM16

MC9S08JM16 Series Features

8-Bit HCS08 Central Processor Unit (CPU)

- 48 MHz HCS08 CPU (central processor unit)
- 24 MHz internal bus frequency
- HC08 instruction set with added BGND instruction
- Background debugging system
- Breakpoint capability to allow single breakpoint setting during in-circuit debugging (plus two more breakpoints in on-chip debug module)
- In-circuit emulator (ICE) debug module containing two comparators and nine trigger modes. Eight deep FIFO for storing change-of-flow addresses and event-only data. Debug module supports both tag and force breakpoints
- Support for up to 32 interrupt/reset sources

Memory Options

- Up to 16 KB of on-chip in-circuit programmable flash memory with block protection and security options
- Up to 1 KB of on-chip RAM
- 256 bytes of USB RAM

Clock Source Options

- Clock source options include crystal, resonator, external clock
- MCG (multi-purpose clock generator) — PLL and FLL; internal reference clock with trim adjustment

System Protection

- Optional computer operating properly (COP) reset with option to run from independent 1 kHz internal clock source or the bus clock
- Low-voltage detection with reset or interrupt
- Illegal opcode detection with reset
- Illegal address detection with reset

Power-Saving Modes

- Wait plus two stops

Peripherals

- **USB** — USB 2.0 full-speed (12 Mbps) with dedicated on-chip 3.3 V regulator and transceiver; supporting endpoint 0 and up to 6 additional endpoints
- **ADC** — 8-channel, 12-bit analog-to-digital converter with automatic compare function; internal temperature sensor
- **ACMP** — Analog comparator with option to compare to internal reference; operation in stop3 mode
- **SCI** — Up to two serial communications interface modules with optional 13-bit break; LIN extensions
- **SPI** — Two 8- or 16-bit selectable serial peripheral interface modules with a receive data buffer hardware match function
- **IIC** — Inter-integrated circuit bus module to operate at up to 100 kbps with maximum bus loading; multi-master operation; programmable slave address; interrupt-driven byte-by-byte data transfer; broadcast mode; 10-bit addressing
- **Timers** — One 2-channel and one 4-channel 16-bit timer/pulse-width modulator (TPM) modules; selectable input capture, output compare, and edge-aligned PWM capability on each channel. Each timer module may be configured for buffered, centered PWM (CPWM) on all channels
- **KBI** — 7-pin keyboard interrupt module
- **RTC** — Real-time counter with binary- or decimal-based prescaler

Input/Output

- Up to 37 general purpose input/output pins
- Software selectable pullup on ports when used as inputs
- Software selectable slew rate control on ports when used as outputs
- Software selectable drive strength on ports when used as outputs
- Master reset pin and power-on reset (POR)
- Internal pullup on $\overline{\text{RESET}}$, IRQ, and BKGD/MS pins to reduce customer system cost

Package Options

- 48-pin quad flat no-lead (QFN)
- 44-pin low-profile quad flat package (LQFP)
- 32-pin low-profile quad flat package (LQFP)

10.2.2. Módulo de radio RFM12B

UNIVERSAL ISM BAND FSK TRANSCEIVER MODULE

RFM12

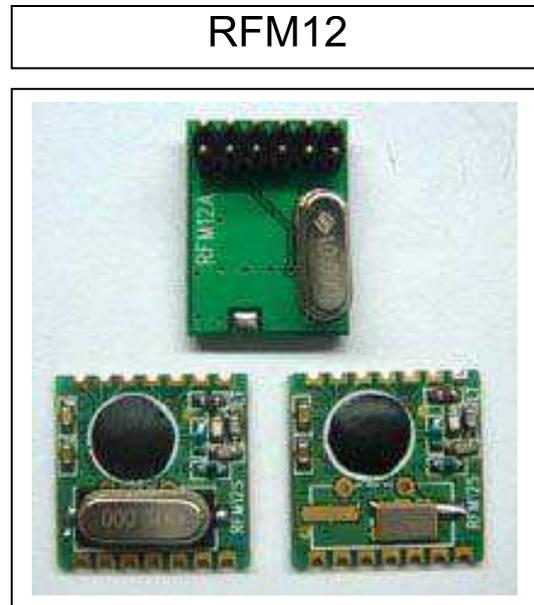
(the purpose of this spec covers mainly for the physical characteristic of the module, for register configure and its related command info please refer to [RF12 data sheets](#))

General Introduction

RFM12 is a low costing ISM band transceiver module implemented with unique PLL. It works signal ranges from 315/433/868/915MHZ bands, comply with FCC, ETSI regulation. The SPI interface is used to communicate with microcontroller for parameter setting.

Features:

- Low costing, high performance and price ratio
- Tuning free during production
- PLL and zero IF technology
- Fast PLL lock time
- High resolution PLL with 2.5 KHz step
- High data rate (up to 115.2 kbps with internal demodulator, with external RC filter highest data rate is 256 kbps)
- Differential antenna input
- Automatic antenna tuning
- Programmable TX frequency deviation (from 15 to 240 KHz)
- Programmable receiver bandwidth (from 67 to 400 kHz)
- Analog and digital signal strength indicator (ARSSI/DRSSI)
- AFC
- DQD
- Internal data filtering and clock recovery
- RX synchron pattern recognition
- SPI interface
- Clock and reset signal output for external MCU use
- 16 bit RX Data FIFO
- Two 8 bit TX data registers
- 10MHz crystal for PLL timing
- Wakeup timer
- 2.2V - 5.4V power supply
- Low power consumption
- Standby current less than 0.3uA



10.2.3. Sensor PIR 555-28027

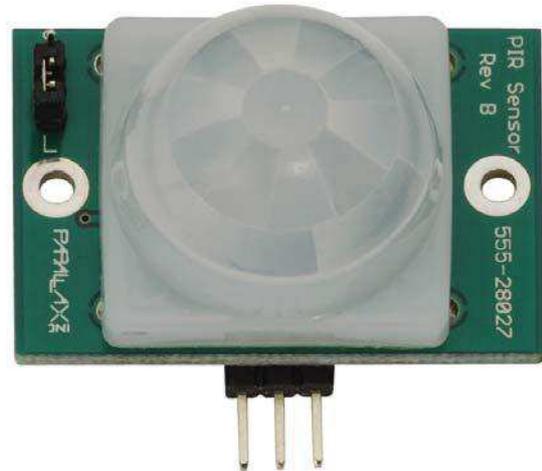
PIR Sensor (#555-28027)

The PIR (Passive Infra-Red) Sensor is a pyroelectric device that detects motion by sensing changes in the infrared (radiant heat) levels emitted by surrounding objects. This motion can be detected by checking for a sudden change in the surrounding IR pattern. When motion is detected the PIR sensor outputs a high signal on its output pin. This logic signal can be read by a microcontroller or used to drive an external load.

NOTE: Revision B of this sensor provides many updates and improvements from Revision A. If your PIR Sensor's PCB does not read "Rev B," please use the information found in the Revision History section on page 5.

Features

- Detect a person up to approximately 30 ft away, or up to 15 ft away in reduced sensitivity mode
- Jumper selects normal operation or reduced sensitivity
- Directly drive a load
- Onboard LEDs light up the lens for fast visual feedback when movement is detected
- Mounting holes for #2 sized screws
- 3-pin SIP header ready for breadboard or through-hole projects
- Small size makes it easy to conceal
- Easy interface to any microcontroller

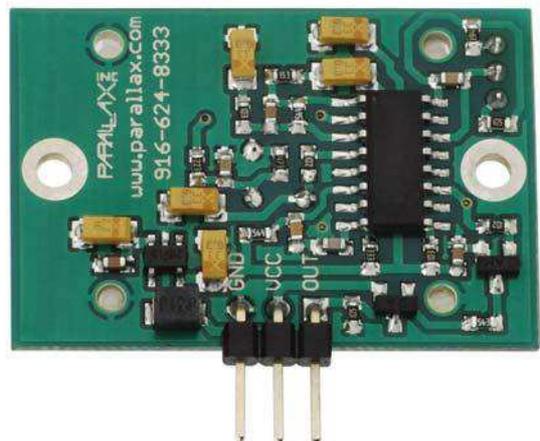


Key Specifications

- Power Requirements: 3 to 6 VDC; 12 mA @ 3 V, 23 mA @ 5 V
- Communication: Single bit high/low output
- Operating temperature: 32 to 122 °F (0 to 50 °C)
- Dimensions: 1.41 x 1.0 x 0.8 in (35.8 x 25.4 x 20.3 cm)

Application Ideas

- Motion-activated nightlight
- Alarm systems
- Holiday animated props



10.2.4. Conversor DC/DC MAX1837



24V Internal Switch, 100% Duty Cycle, Step-Down Converters

MAX1836/MAX1837

General Description

The MAX1836/MAX1837 high-efficiency step-down converters provide a preset 3.3V or 5V output voltage from supply voltages as high as 24V. Using external feedback resistors, the output voltage may be adjusted from 1.25V to V_{IN} . An internal current-limited switching MOSFET delivers load currents up to 125mA (MAX1836) or 250mA (MAX1837).

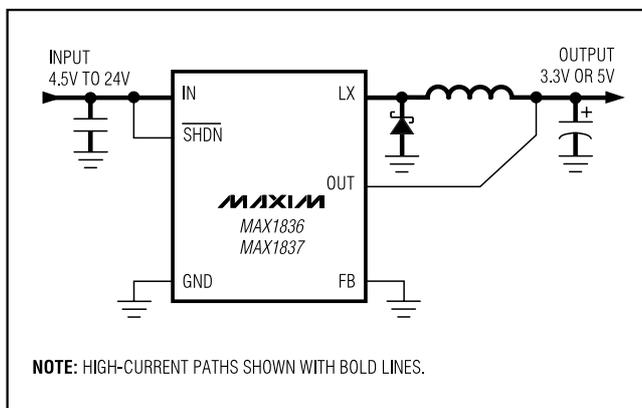
The unique current-limited control scheme, operating with duty cycles up to 100%, minimizes the dropout voltage (120mV at 100mA). Additionally, this control scheme reduces supply current under light loads to 12µA. High switching frequencies allow the use of tiny surface-mount inductors and output capacitors.

The MAX1836/MAX1837 step-down converters with internal switching MOSFETs are available in 6-pin SOT23 and 3mm x 3mm TDFN packages, making them ideal for low-cost, low-power, space-sensitive applications. For increased output drive capability, use the MAX1776 step-down converter that uses an internal 24V switch to deliver up to 500mA. For even higher currents, use the MAX1626/ MAX1627 step-down controllers that drive an external P-channel MOSFET to deliver up to 20W.

Applications

- 9V Battery Systems
- Notebook Computers
- Distributed Power Systems
- Backup Supplies
- 4mA to 20mA Loop Power Supplies
- Industrial Control Supplies
- Handheld Devices

Typical Operating Circuit



Features

- ◆ 4.5V to 24V Input Voltage Range
- ◆ Preset 3.3V or 5V Output
- ◆ Adjustable Output from 1.25V to V_{IN}
- ◆ Output Currents Up to 125mA (MAX1836) or 250mA (MAX1837)
- ◆ Efficiency Over 90%
- ◆ 12µA Quiescent Current
- ◆ 3µA Shutdown Current
- ◆ 100% Maximum Duty Cycle for Low Dropout
- ◆ Small 6-Pin SOT23 and TDFN Packages

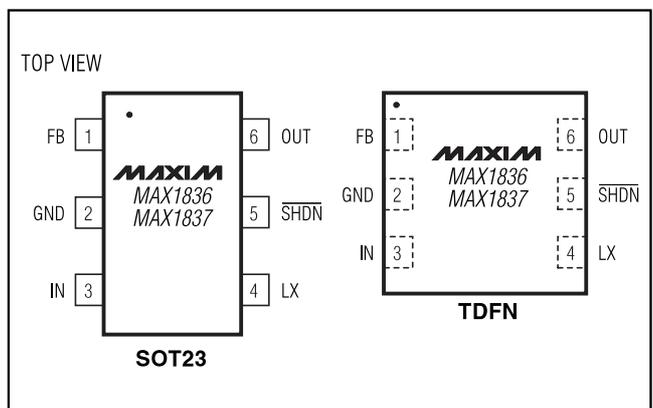
Ordering Information

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE	TOP MARK
MAX1836ETT33-T	-40°C to +85°C	6 TDFN-EP*	AJG
MAX1836ETT50-T	-40°C to +85°C	6 TDFN-EP*	AJE
MAX1836EUT33-T	-40°C to +85°C	6 SOT23-6	AANY
MAX1836EUT50-T	-40°C to +85°C	6 SOT23-6	AANW
MAX1837ETT33-T	-40°C to +85°C	6 TDFN-EP*	AJH
MAX1837ETT50-T	-40°C to +85°C	6 TDFN-EP*	AJF
MAX1837EUT33-T	-40°C to +85°C	6 SOT23-6	AANZ
MAX1837EUT50-T	-40°C to +85°C	6 SOT23-6	AANX

*EP = Exposed pad.

Selector Guide appears at end of data sheet.

Pin Configurations



For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim/Dallas Direct! at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at www.maxim-ic.com.

10.2.5. Conversor DC/DC MAX1675



High-Efficiency, Low-Supply-Current, Compact, Step-Up DC-DC Converters

General Description

The MAX1674/MAX1675/MAX1676 compact, high-efficiency, step-up DC-DC converters fit in small μ MAX packages. They feature a built-in synchronous rectifier, which improves efficiency and reduces size and cost by eliminating the need for an external Schottky diode. Quiescent supply current is only 16 μ A.

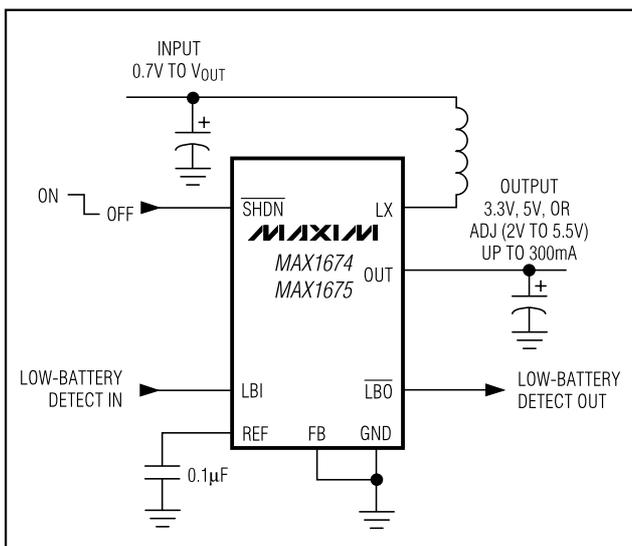
The input voltage ranges from 0.7V to V_{OUT} , where V_{OUT} can be set from 2V to 5.5V. Start-up is guaranteed from 1.1V inputs. The MAX1674/MAX1675/MAX1676 have a preset, pin-selectable output for 5V or 3.3V. The outputs can also be adjusted to other voltages using two external resistors.

All three devices have a 0.3 Ω N-channel MOSFET power switch. The MAX1674 has a 1A current limit. The MAX1675 has a 0.5A current limit, which permits the use of a smaller inductor. The MAX1676 comes in a 10-pin μ MAX package and features an adjustable current limit and circuitry to reduce inductor ringing.

Applications

Pagers
Wireless Phones
Medical Devices
Hand-Held Computers
PDAs
RF Tags
1 to 3-Cell Hand-Held Devices

Typical Operating Circuit



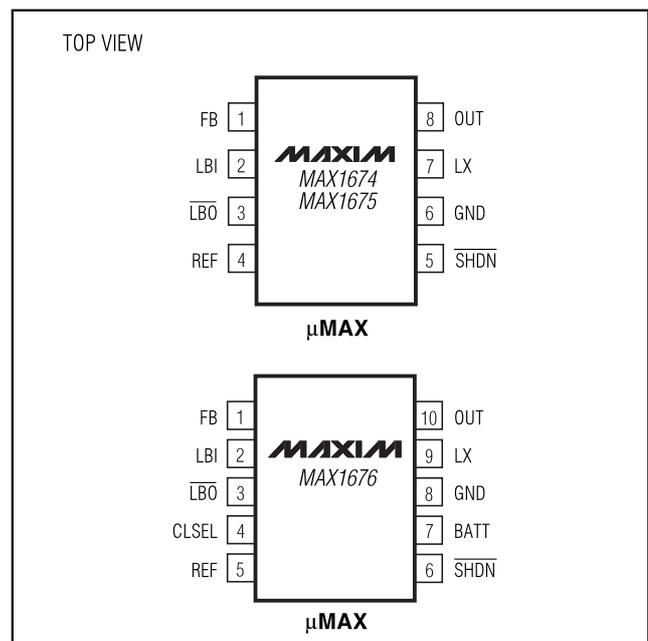
Features

- ◆ 94% Efficient at 200mA Output Current
- ◆ 16 μ A Quiescent Supply Current
- ◆ Internal Synchronous Rectifier (no external diode)
- ◆ 0.1 μ A Logic-Controlled Shutdown
- ◆ LBI/LBO Low-Battery Detector
- ◆ Selectable Current Limit for Reduced Ripple
- ◆ Low-Noise, Anti-Ringing Feature (MAX1676)
- ◆ 8-Pin and 10-Pin μ MAX Packages
- ◆ Preassembled Evaluation Kit (MAX1676EVKIT)

Ordering Information

PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MAX1674EUA	-40°C to +85°C	8 μ MAX
MAX1675EUA	-40°C to +85°C	8 μ MAX
MAX1676EUB	-40°C to +85°C	10 μ MAX

Pin Configurations



10.2.6. Supercondensador BCAP0100

PRODUCT SPECIFICATIONS

ELECTRICAL	BCAP0001	BCAP0003	BCAP0005	BCAP0010	BCAP0025
Rated Capacitance ¹	1 F	3.3 F	5 F	10 F	25 F
Minimum Capacitance, initial ¹	0.8 F	2.6 F	4.0 F	8.0 F	25 F
Maximum ESR _{DC} , initial ¹	700 mΩ	290 mΩ	170 mΩ	75 mΩ	42 mΩ
Rated Voltage	2.70 V				
Absolute Maximum Voltage ¹¹	2.85 V				
Maximum Continuous Current ($\Delta T = 15^{\circ}\text{C}$) ²	0.4 A _{RMS}	0.8 A _{RMS}	1.1 A _{RMS}	2.2 A _{RMS}	2.8 A _{RMS}
Maximum Continuous Current ($\Delta T = 40^{\circ}\text{C}$) ²	0.7 A _{RMS}	1.3 A _{RMS}	1.8 A _{RMS}	3.5 A _{RMS}	4.5 A _{RMS}
Maximum Peak Current, 1 second ³	0.8 A	2.3 A	3.6 A	8 A	16 A
Leakage Current, maximum ⁴	0.006 mA	0.012 mA	0.015 mA	0.030 mA	0.045 mA
TEMPERATURE					
Operating temperature range (Cell case temperature)					
Minimum	-40°C	-40°C	-40°C	-40°C	-40°C
Maximum	65°C	65°C	65°C	65°C	65°C
Storage temperature range (Stored uncharged)					
Minimum	-40°C	-40°C	-40°C	-40°C	-40°C
Maximum	70°C	70°C	70°C	70°C	70°C
PHYSICAL					
Mass, typical	1.1 g	2.0 g	2.3 g	4.0 g	7.5 g
Terminals	Wire Leads				
Vibration	-	-	-	-	-
Shock	-	-	-	-	-