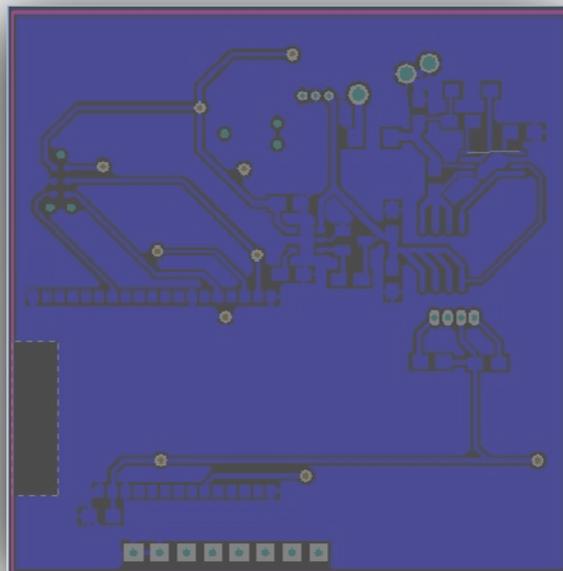




ESTACION AMBIENTAL MULTISENSORIAL



Escuela
Universitaria
Ingeniería
Técnica
Industrial
ZARAGOZA

Autor: Víctor García Muñoz

Director: Ángel Asensio

Ponente: Antonio Bono

Electrónica / Septiembre 2011

Índice

1.- INTRODUCCION.....	3
1.1 Objetivo.....	3
1.2 Alcance.	4
1.3 Estado del arte.	5
1.4 Búsqueda de sensores.	8
1.5 Otros sensores.	18
2.- SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN y BATERIAS	22
2.1 Introducción.....	22
2.2 Tipos.	23
2.3 Selección batería.....	26
2.4 Tabla de consumo de sensores.....	27
2.5 Tecnologías emergentes.....	29
3.- DISEÑO DE HARDWARE.	31
3.1 Introducción.	31
3.1 Diseño conceptual.	32
3.2 Diseño esquemático.	34
3.3 Diseño de PCB.	46
3.4 Resultado.....	50
3.5 Coste.....	52
4.- DISEÑO FIRMWARE.....	54
4.1 Requisitos.....	54
4.2 Metodología de trabajo.	58
4.3 Diagrama de flujo.	61
4.4 Descripción librerías.	65
5.- COMUNICACION.	78
5.1 Problemática/ Necesidades.	78
5.2 Estado del arte.....	79
5.3 Descripción Zigbee.	84
5.4 Estructura control.	88
5.4 Metodología de puesta a punto del dispositivo.....	90

6.- INICIACION DEL SISTEMA.....	92
6.1 Condiciones de funcionamiento, puesta en marcha.....	92
6.2 Operación del sistema.....	93
7.- CONCLUSIONES.....	95
7.1 Desarrollo del proyecto.....	95
7.2 Resumen del trabajo.....	97
7.3 Resultados.....	98
7.4 Líneas futuras.....	100
7.5 Conclusiones personales.....	101
BIBLIOGRAFIA.....	102

1.- INTRODUCCION.

1.1 Objetivo.

Se pretende con este proyecto la realización de un sistema electrónico capaz de extraer información del contexto. Podemos obtener diferente información del entorno según cuál sea el lugar donde se adquieren los datos y los dispositivos de medición. Entre las diferentes variables podríamos medir situación, números de personas, estado del ambiente, actividad producida... entre otras.

Es objetivo del presente proyecto, el desarrollo de un sistema, que permita extraer y analizar variables ambientales del entorno (tales como temperatura, presión, humedad, luminosidad...). Deberá disponer de capacidades de comunicación para enviar esta información a otros sistemas.

El sistema a desarrollar debe de ser capaz de estar situado en cualquier lugar y no requerir una instalación complicada, por ello tiene que disponer de una alimentación independiente. Se priorizará sistemas de alimentación basados en baterías recargables, para aumentar la versatilidad del dispositivo.

Está prevista la integración del sistema desarrollado en un Aml (Ambient Intelligence), este sistema electrónico introducido en un entorno son perceptibles y sensibles a la presencia de gente. En la inteligencia ambiental los dispositivos funcionan en conjunto para apoyar a las personas, que lleven a cabo sus actividades cotidianas y las tareas de una manera sencilla, utilizando la información y la inteligencia que se esconde en la red que conecta estos dispositivos

Por ello se prevé la necesidad de que el nuevo dispositivo pueda interactuar con el resto de dispositivos en un entorno inteligente.

Los datos obtenidos, valores físicos de variables ambientales del sistema, tienen que poderse almacenar en el propio dispositivo, ser enviados a otros dispositivos, o en el caso más típico, enviados a un sistema de procesamiento, tipo PC, en el que se analice que ha pasado en ese ambiente.

El dispositivo electrónico (denominado a partir de este punto como multisensora ambiental), resultado del proyecto fin de carrera, no pretende ser un dispositivo comercializable. Los prototipos desarrollados se enmarcan dentro de un ámbito de investigación. Por ello, en las directrices que marcan el diseño no consideran críticos aspectos como coste, estética, factores de forma etc.

1.2 Alcance.

La realización del sistema nos permitirá obtener información del estado ambiental que nos rodea, obteniendo múltiple información de valores ambientales.

Pretendemos que el sistema llegue a ser autónomo, siendo colocado en cualquier lugar poder medir ciertas magnitudes ambientales, que le permitan al usuario ver que está ocurriendo y actuar sobre el entorno.

1.2.1 Objetivos.

En la realización de este P.F.C. se pretende conseguir una serie de propósitos que esperamos lograr, enumerados a continuación:

- Definición de los parámetros ambientales que pueden resultar de interés para la caracterización del entorno.
- Medida de valores ambientales.
- Autonomía del sistema que disponga de una alimentación adecuada.
- Transmisión de datos inalámbrica.
- Almacenamiento no volátil de datos en el propio dispositivo.
- Procesamiento de la información.

1.2.2 Escenarios de uso previstos del sistema.

El ámbito de aplicación de un sistema que monitorice parámetros ambientales puede ser diverso y amplio.

Como sistema de monitorización ambiental dentro de un recinto cerrado, ya sea casa, oficina, almacén o similar, permite obtener las variaciones producidas en el ambiente gracias a los diversos sensores. De este modo, nos mantendremos informados del estado ambiental, con posibles alarmas.

Otra aplicación posible sería para un sistema de tracking de paquetería donde podríamos hacer un seguimiento de la carga transportada y ver si su estado ha sido el adecuado o ha sido sometido a golpes o elevadas temperaturas..., según los sensores que disponga el sistema.

1.3 Estado del arte.

Nuestro sistema multisensora ambiental, nos deberá dar información de la situación que nos rodea. Conseguir este tipo de información, es una acción que desde hace tiempo la humanidad viene realizando. La obtención de datos del entorno es algo muy común, sobre todo con parámetros ambientales, para predicción del tiempo. Esto no quiere decir que nuestro sistema sea una estación meteorológica, es algo más allá, que nos da información del ambiente que nos rodea y actuamos sobre él.

El sistema a diseñar, dada la naturaleza de alguno de los parámetros a monitorizar, a priori tiene una similitud con estaciones meteorológicas al uso. Por ello, es necesaria una referencia inicial a las mismas.

Con la evolución de la meteorología surgen este tipo de instalaciones destinadas a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas, mediante diferentes instrumentos. Tradicionalmente, estos datos se utilizan tanto para la elaboración de predicciones meteorológicas a partir de modelos numéricos como para estudios climáticos.



Estación meteorológica

En la línea, del sistema a desarrollar, actualmente es posible encontrar en el mercado, soluciones electrónicas de medición meteorológica:

Estaciones meteorológicas integradas domesticas: Desde no hace muchos años, han surgido unos dispositivos electrónicos de pequeño tamaño que los usuarios pueden adquirir y así obtener valores meteorológicos básicos, como temperatura, humedad y presión llegando a realizar una pequeña predicción del tiempo a corto plazo. Entre las varias empresas dedicadas a la comercialización destaca una llamada Oregon Scientific [\[1\]](#) que se encarga de realizar y comercializar estas estaciones

meteorológicas. Puedes obtener varios puntos de adquisición de datos, a si exterior como interno.



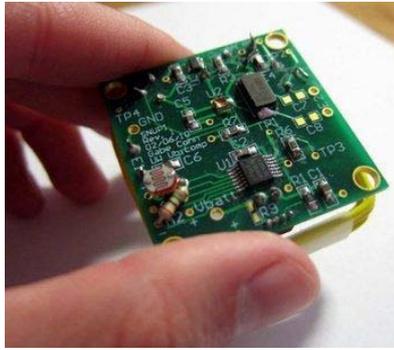
Estación integrada domestica

Estaciones amateur ambiental: Un conjunto de sensores como, presión, humedad, temperatura etc, soldados en una pequeña PCB y que trasmite los datos a un ordenador. No es un sistema de predicción pero nos permite obtener el valor actual del ambiente. Algunos tiendas de internet como Sparfunk ofrecen varios de estos dispositivos juntos o por separados, para disposición del cliente realice sus propios sistemas. [\[2\]](#)



Placa PCB Sensores ambientales

Otro ámbito, en el que es posible encontrar sistemas con características similares al que se pretende desarrollar, es en el de los sistemas inteligentes domóticos. Las casas inteligentes pretenden tener el control automático de todos los sistemas de las viviendas, ya sea el control de iluminación, calefacción, seguridad, aperturas de puertas... Para ello se requiere un sistema de automatización de baja potencia e integrado, un conjunto de sensores que monitorean las variables ambientales. [\[3\]](#)



Central domótica

Como se ha comentado en la introducción, la utilización de sistemas, dotados de amplias capacidades de monitorización también se da en aplicaciones de Trackers. Estos son dispositivos seguidores de desplazamiento de paquetes, alimentación y en general cualquier elemento que requiere un transporte de un sitio a otro. Para ello se introduce un dispositivo dentro de la carga y se va recopilando información de las variables que podamos medir.

Presión, temperatura humedad, aceleraciones, posicionamiento.... Que nos permita ver si la carga ha sufrido algún percance o maniobra que pueda causar daño a la carga. [\[4\]](#)



Sistema de Trackers

Nuestro sistema nos permitirá almacenar los datos obtenidos y también transmitirlos para poder actuar sobre otros dispositivos, según los valores obtenidos. Podrá llevar a cabo una determinada tarea según la información que den los sensores e incluso activar alarmas. Dispondremos de una temporización para establecer fecha y hora, situándonos en un momento temporal concreto.

1.4 Búsqueda de sensores.

Un sensor es un dispositivo que transforma una variable física, en un valor eléctrico para un uso determinado.

Inicialmente se plantean una serie de magnitudes a medir:

1.4.1 Presión.

La presión es la magnitud física que nos da la fuerza aplicada sobre una superficie. Para la medida de presión atmosférica la unidad en el S.I. es el Pascal (Pa) que es equivalente a una fuerza total de un Newton actuando uniformemente en un metro cuadrado.

Se pretende:

Medida de presiones en torno a 1 atmósfera. Siendo este el valor equivalente a la presión que realiza la atmosfera a nivel del mar. Con esta información es posible medir valores ambientales y poder llegar a calcular la altura que se encuentra el dispositivo respecto el nivel del mar, tras la realización de una cuenta.

A continuación se muestra la tabla con las características de los sensores considerados:

Tabla 1 Sensores de presión.

Sensor	Tipo	Tensión	Corriente	Precio	Rango	Resolución
SCP1000	Presión	2.4-3.3V	25µA	24.46€	30-120kPa -30- 85°C I2C	1.5 Pa 19 bits,
SSCDNND1 50PA7A3	Presión	3.3-5V	2.1mA		6-1000 KPa I2C	+ -2% 12 bits
Hp03	Presión	2.2-3.6V	500µA	21.78€	30- 110KPa, I2C	10Pa 16bits

1.4.2 Temperatura.

Es un valor que nos proporciona si un ambiente es cálido o frío, el cual es medido con un termómetro.

Se pretende:

Obtener valores de temperatura acordes con la situación ambiental, midiendo valores ambientales entre -20°C a 65°C . Disponga de una resolución de al menos 0.1° , para una buena precisión, para el cálculo de la altura previamente mencionado.

1.4.3 Humedad.

La cantidad de vapor de agua presente en el aire. Se puede expresar de forma absoluta mediante la humedad absoluta, o de forma relativa mediante la humedad relativa o grado de humedad.

Se pretende:

Poder medir humedad relativa entre 0-100%, con resolución al menos de 0.5, para saber si nos encontramos en un ambiente muy húmedo, poco húmedo o en un sitio en buenas condiciones.

A continuación se muestra la tabla con las características de los sensores considerados:

Tabla 2 Sensores de temperatura y humedad.

Sensor	Tipo	Tensión	Corriente	Precio	Rango	Resolución
SHT75	Temperatura y humedad	2.4-5.5V	550 μA	28.63€	0-100%RH -40 -123 $^{\circ}\text{C}$ I2C	+ -0.03%, + -0.01 $^{\circ}\text{C}$ 12-14 bits
SHT25	Temperatura y humedad	2.1-3.6V	300 μA	31.15€	0-100%RH -40 -123 $^{\circ}\text{C}$ I2C	+ -0.04%, + -0.01 $^{\circ}\text{C}$ 12-14 bits
TMP175	Temperatura	2.7-5.5V	10mA	1.09€	-25- 85 $^{\circ}\text{C}$ I2C,	+ -0.5 $^{\circ}\text{C}$ 9-12 bits
BMP085	Presión y temperatura	1.8-3.6V	8mA	3.73€	-40- 85 $^{\circ}\text{C}$ 30-110 KPa I2C	+ -0.1 $^{\circ}\text{C}$ 1Pa 16 bits

1.4.3 Luz

La radiación electromagnética, una combinación de campo eléctrico y magnético oscilante que se propaga por el espacio transportando energía. Esta puede ser visible para el ojo humano, espectro visible o infrarrojo y ultravioleta.

Se pretende:

Medir la luz ambiental en luxes, para saber si el entorno está en condiciones óptimas de iluminación.

A continuación se muestra la tabla con las características de los sensores considerados:

Tabla 3 Sensores de luminosidad.

Sensor	Tipo	Tensión	Corriente	Precio	Rango	Resolución
TSL2561	Luminosidad	2.7-3.6V	600µA	2.62€	I2C	16 bits
ISL29002	Luminosidad	2.5-3.3V	300µA	2.25€	I2C	15 bits

1.4.4 Acelerómetro.

Instrumento destinado a medir aceleraciones. El método más usado es el piezoeléctrico, este se basa en que, cuando se comprime un retículo cristalino piezoeléctrico, se produce una carga eléctrica proporcional a la fuerza aplicada.

Se pretende:

Observar variaciones bruscas o movimientos en el entorno en los 3 ejes, que puedan alterar el sistema en torno a 3g.

A continuación se muestra la tabla con las características de los sensores considerados:

Tabla 4 Acelerómetros.

Sensor	Tipo	Tensión	Corriente	Precio	Rango	Resolución
CMA3000-D01	Acelerómetro	1.7-3.6V	70µA	11.95€	+-8g	10bits
ADXL345	Acelerómetro	2-3.6V	145µA	3.85€	+-4g I2C	11bits
MMA7455L	Acelerómetro	2.4-3.6V	490µA	4.99€	+-4g I2C	8bits

1.4.5 Sonido.

Propagación de una onda a través de un fluido, generado por la vibración de un cuerpo. El oído humano percibe entre los 20Hz y los 20 kHz. Para capturar el sonido usaremos un micrófono, una membrana que detecta las ondas.

Se pretende:

Captura el sonido ambiente para comprobar si es un sistema calmado o tiene mucho ruido que pueda ser molesto.

A continuación se muestra la tabla con las características de los sensores considerados:

Tabla 5 Micrófonos.

Sensor	Tipo	Tensión	Corriente	Precio	Salida	Sensibilidad
SPM0408HE5H	Micrófono CMOS MEMS	1.5-3.6V	100-350 µA	5.11€	Analógico	-22dB
ADMP401	Micrófono	1.5-3.3V	250µA	1.43€	Analógico	-42dBV

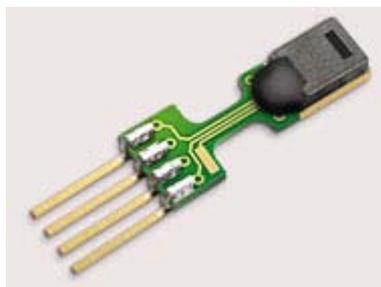
WM7110	Micrófono Silicona	1.5-3.7V	140 μ A	3.24€	Analógico	-42dB
AKU230	Micrófono CMOS MEMS	2.3-3.6V	1.2mA	1.05€	Analógico	-26dBFS

1.4.6 Selección de sensores.

Tras la búsqueda de sensores con las características deseadas para la multisensora ambiental, podemos observar en la tabla anterior sus características más relevantes, hemos obtenido unas series de datos que nos han hecho decantarnos por los siguientes sensores.

1.4.6.1 SHT75 de Sensirion.

Sensor de temperatura y humedad con transmisión de datos mediante I2C. Uno de los pocos sensores de humedad que dispone de esta característica para la transmisión de datos al microcontrolador. Además las prestaciones de temperatura que buscamos también son las idóneas con un rango de medida de temperatura.



Encapsulado SHT75

Especificaciones:

Alimentación: 2.4 ~ 5.5V

Consumo mínimo (sleep): 2 μ W

Consumo (medida): 3mW

Consumo medio: 90 μ W

Comunicación: Digital (interfaz de dos cables, similar I2C)

Temperatura de almacenamiento: 10 ~ 50°C (0 ~ 80°C máximo)

Humedad almacenamiento: 20 ~ 60%RH

Resolución: 12 ~ 14 bits.

Temperatura:

Rango de medida: $-40^{\circ}\text{C} \sim +123.8^{\circ}\text{C}$

Resolución: 0.04°C (Mínima), 0.01°C (Típica)

Precisión: $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ (rango $0^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$), $\pm 4^{\circ}\text{C}$ (rango $-40 \sim +125^{\circ}\text{C}$)

Repetibilidad: $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$

Tiempo de respuesta (Mínimo): 5 segundos (63% de respuesta)

Tiempo de respuesta (Máximo): 30 segundos (63% de respuesta)

Humedad:

Rango de medida: $0 \sim 100\%RH$

Resolución: $0.4\%RH$ (Mínima), $0.05\%RH$ (Típica)

Precisión: $\pm 1.8\%RH$

Repetibilidad: $\pm 0.1\%RH$

Tiempo de respuesta: 8 segundos

1.4.6.2 SCP1000 de VTI Technologics.

Sensor de presión con las prestaciones deseadas, y de fácil disponibilidad en el mercador. El resto de sensores quedan descartados ya que su precisión de medida es mucho peor, como el MPL115A2 y BMP085, el Hp03 tenía buenas características pero su disponibilidad era baja, difícil de encontrar.



Kit SCP100 soldado

Especificaciones:

Alimentación: $2.4 \sim 3.3\text{V}$

Consumo mínimo (sleep): 200nA

Consumo (medida): $25 \mu\text{A}$

Comunicación: Digital SPI/I2C

Temperatura de almacenamiento: $-20 \sim +70^{\circ}\text{C}$

Resolución: $15 \sim 19$ bits

Tiempo de respuesta: 50 ms

Temperatura:

Rango de medida: $-40^{\circ}\text{C} \sim +123.8^{\circ}\text{C}$

Resolución: 0.2°C

Precisión: $\pm 1^{\circ}\text{C}$

Presión:

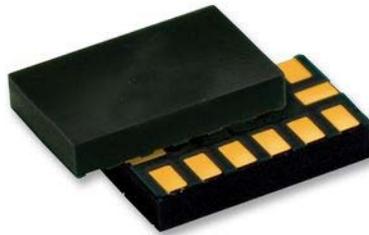
Rango de medida: 30 kPa ~ 120 kPa

Resolución: 1.5 Pa

Precisión: 1.5 Pa

1.4.6.3 MMA7455L de Freescale.

Acelerómetro, barato y buenas prestaciones ofrecidas, el ADXL345 nos proporcionaba prestaciones similares, pero dificultar de encontrar en el mercado y el CMA3000-D01 demasiado caro comparado con el MMA7455.



Encapsulado MA7455L

Especificaciones:

Alimentación: 2.74~ 3.6V

Consumo mínimo (sleep): 2.5 μ A

Consumo (medida): 0.4mA

Comunicación: Digital I2C

Temperatura de almacenamiento: -40 ~ +80°C5

Tiempo de respuesta: 100 ms

Acelerómetro:

Pulso de detección de Reconocimiento de pulso simple o doble.

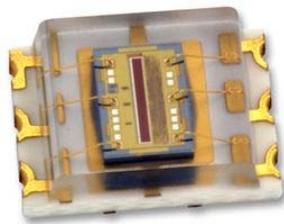
Sensibilidad (64 LSB / g @ @ 8g 2g y en el modo de 10 bits).

Sensibilidad seleccionable (\pm 2 g, \pm 4 g, \pm 8 g) de modo de 8 bits.

Este sensor fue incluido en el primer prototipo desarrollado, pero nunca llego a ser implementado en la placa. Inicialmente se evaluó este dispositivo, pero en la versión final no se incluyó por considerar que la variable medida era de distinta a lo que se pretendía en este proyecto. Además que su soldadura era bastante complicada, para llevar a cabo.

1.4.6.4 TSL2561 de TAOS.

Sensor de luminosidad con buenas prestaciones y ya usado con anterioridad en otros montajes por el grupo de HOWLab, nos proporciona el dato, tras una cuenta previa en luxes, el ISL29002 de prestaciones similares y similar precio, pero nos decantamos por el primero por su implementación con anterioridad en otros proyectos que se deseaban mismas características.



Encapsulado TSL2561

Especificaciones:

Alimentación: 2.7 ~ 3.6V
Consumo mínimo (sleep): 3.2 μ A
Consumo (medida): 0.24mA
Consumo medio: 0.70mW
Comunicación: Digital I2C
Temperatura de almacenamiento: -30 ~ +70°C
Resolución: 16 bits
Tiempo de respuesta: 100 ms

Luminosidad:

Programable analógico de ganancia y la Integración Tiempo de Apoyo a 1.000.000 a 1 rango dinámico
Rechaza 50/60-Hz Iluminación Ondulación

1.4.6.5 SPM0408HE5H.

Microfono analogico de tecnologia CMOS MEMS con pequeña etapa preamplificadora interna. Salida de continua de 1 voltio debido a su alimentacion simple pudiendo mantener la onda completa y no recortada.



Encapsulado MEMs de SPM0408HE5H

Especificaciones:

Alimentación: 1.5 ~ 3.6V

Consumo máximo: 0.35mA

Comunicación: Analógica

Temperatura de almacenamiento: -40 ~ +100°C

Sensibilidad: 22dB.

Omnidireccional.

Tras la selección de estos componentes, algunos de ellos costo bastante tiempo su adquisición, debido a la dificultad de encontrarlos en paginas normales y su sistema de envío. Mientras se llevo a cabo la realización del proyecto aparecieron en el mercado nuevos sensores, que tambien podrian realizar la misma funcion que los seleccionados, incluso de mejores prestaciones, como se muestran a continuacion.

Novedades, sensores que aparecen después de la elección, la mayoría de tipo MEMS:

Tabla 6 Otros sensores.

Sensor	Tipo	Tensión Alimentación	Corriente	Rango	Resolución
MPL115A2	Presión	2.4-5.5V	10 μ A	50-115kPa	15Pa
LPS001WP	Presión	2.2-3.6V	190 μ A	30-110KPa	6.5Pa 16bits
MS5611-01BA01	Presión y temperatura	1.8-3.6V	12.5 μ A	1-120KPa -40- 85 $^{\circ}$ C	1-6pa +-0.01 $^{\circ}$ C 24 bits
SHT25	Temperatura y humedad	2.1-3.6V	300 μ A	0-100%RH -40 -123 $^{\circ}$ C I2C	+-0.04%, +-0.01 $^{\circ}$ C 12-14 bits

1.5 Otros sensores.

Durante la realización del estado del arte, se contemplaron otras variables ambientales que podrían aportar valor adicional. Permitirían una mayor obtención de información del estado del ambiente que rodea al sistema.

Se ha realizado la valoración inicial de los requisitos de uso de estos sensores que se muestran a continuación. Aunque la información que estos sensores aportan, pueda ser de interés, se ha considerado, centrar el presente proyecto, en los parámetros de interés contrastados. Midiendo solo las variables que se han considerado básicas en el ambiente.

1.5.1 Sensores QC50 de colores reales.

Dispositivos capaces de detectar colores reales, usados para detectar el color de posibles elementos, analiza y compara un color a otro color, o intensidades variables de un color. Un uso posible de clasificación de botellas por color. [\[5\]](#)



Sensor QC50 colores reales

1.5.2 Sensor de color 10-30 VDC.

El sensor de color de la serie LX-100 representa la combinación perfecta de un convertor A/D de alta resolución (12 bits) y la función de selección automática de color y del led emisor. [\[6\]](#)



Sensor color 10-30 VDC

1.5.3 Sensor de área 10-30 VDC.

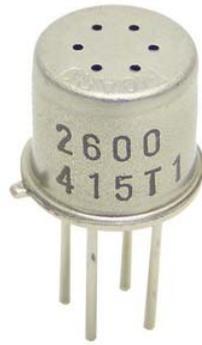
Dispositivo creado para detectar la presencia de objetos delante de él, de pequeño tamaño a partir de haces de luz LED. Se pueden poner para detectar obstáculos a si como protección de personas. [\[7\]](#)



Sensor área 10-30 VDC

1.5.4 Sensor calidad de aire TGS 2600.

Tiene alta sensibilidad a los varios contaminantes gaseosos del aire tales como los gases encontrados en humo del cigarrillo, sensibilidad a los compuestos orgánicos volátiles (VOCs) y a los gases olorosos (tales como H₂S). Se puede interconectar con los sistemas de la ventilación y de aire acondicionado para proteger el aire que usted respira. [\[8\]](#)



Sensor calidad de aire TGS 2600

1.5.5 Sensor térmico TPA81.

Es un sensor térmico de 8 píxeles capaz de medir la temperatura de un objeto a distancia. Este sensor está formado en realidad por una matriz de 8 sensores colocados linealmente de forma que puede medir 8 puntos adyacentes simultáneamente. El sensor térmico no necesita que haya movimiento para detectar el calor, por lo que su aplicación en el campo de la robótica, abre gran cantidad de aplicaciones no disponibles hasta ahora. El sensor se conecta por bus I2C y además se le puede conectar un servo estándar que es controlado por el propio sensor para hacer un barrido y tomar 32 mediciones diferentes, obteniéndose un mapa térmico de 180 grados. El TPA81 es capaz de detectar la llama de una vela a 2 metros de distancia y además no le afecta la luz ambiental. [\[9\]](#)



Sensor térmico TPA81

1.5.6 Sensor detector de movimiento PIR.

El sensor detector de movimientos por infrarrojos, pequeño tamaño y bajo consumo. El sensor incluye una lente tipo fresnel de plástico que le proporciona un alcance de 5 metros y un ángulo de detección de 60 °. La señal de salida es compatible TTL y la alimentación es de 5V con un consumo de tan solo 350 uA mientras esta en reposo. Reducidas dimensiones de solo 25 x 35 x 18 mm. [\[10\]](#)



Sensor detector de movimiento PIR

2.- SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN y BATERIAS

2.1 Introducción

Se pretende tener un dispositivo electrónico con autonomía propia basado en batería recargable. También se contempla la posibilidad de que pudiera ser conectado directamente a un bus de alimentación externo.

A la hora de realizar el desarrollo del sistema, será necesario conocer las diversas tecnologías de almacenamiento eléctrico disponibles en el mercado.

Una batería, es un elemento electroquímico que almacena energía. Esta energía química al conectarse a circuito eléctrico se transforma en energía eléctrica. La constitución de las baterías es similar en todas ellas. Compuestas por un número de celdas electroquímicas, un electrodo positivo y negativo y entre ellas un separador. Al estar conectada se produce una reacción química entre los diferentes electrodos, haciendo circular a los electrones del electrodo positivo al negativo vía un circuito externo.

En general, los diferentes tipos de baterías, son debidos a las diferentes materias que las componen. Estas suelen llamarse por el material usado para su fabricación (Níquel-Hierro, Litió-Hierro). Otras baterías toman el nombre según el material hallado en los electrodos y del tipo de electrolito utilizado. La mayoría normalmente son baterías de ácido de plomo. El material activo utilizado determina el voltaje de las celdas y el número de celdas determina el voltaje total de la batería. Actualmente pueden encontrarse, diferentes tecnologías.

Las baterías de ácido de plomo tienen un voltaje nominal de unos dos voltios. La mayoría de baterías de coche se componen de seis celdas y por ello tienen una tensión de doce voltios.

2.2 Tipos.

2.2.1 Alcalinas.

Poco comunes en tipo recargable. Aportan una tensión de 1.5 voltios. Difíciles de encontrar en el comercio, por su cargador especial necesario.



Pila alcalina

2.2.2 Níquel.

Muy habituales, proporcionan tensiones de 1.2 voltios. Contienen cadmio, un metal pesado que representa un peligro ecológico. Exteriormente tienen la misma forma y tamaño de las pilas.

Interiormente tienen dos electrodos, el de cadmio (negativo) y el de hidróxido de níquel (positivo), separados entre sí por un electrolito de hidróxido de potasa. Llevan también un separador situado entre el electrodo positivo y la envoltura exterior y un aislante que las cierra herméticamente.

Baratas, ya que estas puedes recargarlas, sin tener que cambiarlas como las alcalinas e ir comprando cada vez pilas nuevas.

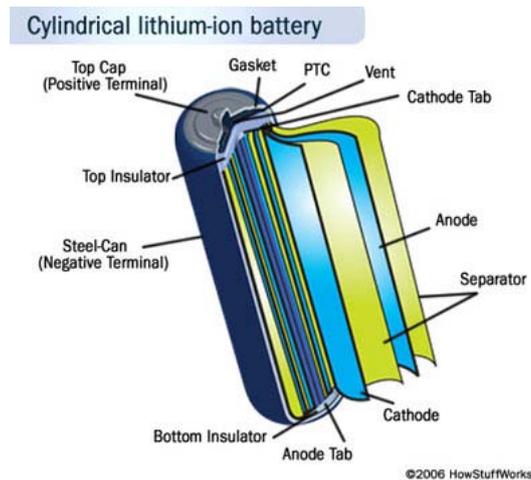
Tienen efecto memoria. Antes de recargarlas es preciso haberlas agotado totalmente ya que en caso contrario su vida se va acortando.

2.2.3 Níquel–Hidruro Metálico.

Este tipo de baterías ofrecen un 40% de autonomía suplementaria respecto a las de NiCd de un volumen equivalente (mAh). Son un poco más ligeras y no tienen efecto memoria y una vida media de unos 800 ciclos de carga. Se usan habitualmente portátiles y teléfonos móviles.

2.2.4 Litio–Ion.

Estas baterías tienen un gasto de producción elevado y muy costoso que se refleja en su precio final. Su ciclo de vida se sitúa entre los 500–600 ciclos. Sin embargo son mejores y más duraderas que las baterías de Ni/Cd o Ni/MH. Recomendada para usos exigentes.



Estructura de una batería de Li-Ión

2.2.5 LIPO.

Baterías de litio y polímero, última novedad en baterías, de peso reducido y pequeño tamaño. Sin efecto memoria. No pierden rendimiento como se pueden apreciar en las de Ni-Cd o Ni-Mh y mantiene la carga constante hasta casi el final de la carga. Necesitan un cargador específico que balanceen la carga de sus celdas por separado. Nunca se debe dejar que se agote completamente la carga, ya que eso supone la muerte de la batería. La batería está compuesta de celdas, y cada celda tiene un valor nominal de 3.7V. Estas baterías necesitan para funcionar correctamente que todas sus celdas tengan la misma carga exacta. Por eso necesitan cargadores totalmente diferentes a los usados para las Ni/Cd o Ni/Mh. Estos cargadores se encargan de balancear todas las celdas de la batería durante la carga para que tengan el mismo voltaje cada una de ellas.

2.2.6 Baterías de alcohol.

Los investigadores de Motorola Labs han adelantado una etapa en el desarrollo de una nueva tecnología de baterías. Han construido y presentado en la Power 2000 Conference en San Diego un prototipo de una micro batería apta para producir energía a partir del metanol, también designado alcohol. El funcionamiento consiste en la mezcla de oxígeno y metanol dentro de un envoltorio cerámico, que genera energía a la temperatura ambiente.

El objetivo es crear una batería pequeña y barata, con una autonomía muy superior a la de las baterías de Litio, y que en el futuro pueda por ejemplo alimentar un móvil durante un mes. Fue testada durante varias semanas sin que presentase señales de degradación relevantes. Pero esta tecnología no se quedará por los teléfonos móviles, todo que sea portátil podrá un día ser aún más pequeño y fácilmente transportable. [\[11\]](#)

Características más relevantes de las baterías:

Tabla 7 Características baterías.

Tipo	Recargable	Tasa Auto-descarga	Memoria/Ciclos	Tensión celda	Intensidades	Coste
Alcalina	No	5 años	No	1.5V	700mAh	Baratas
Ni-Cd	Si	15% mes	Si 1000	1.2V	600-1600 mAh	Baratas
NiMh	Si	20% mes	No 800	1.2V	800-2900 mAh	Baratas
Li-Ion	Si	6% mes	No 500-600	3.7V	600-1500 mAh	Medio
LIPO	Si	Muy baja	No 350	3.7V	800-2200 mAh	Caras

2.3 Selección batería.

Tabla 8 Datos baterías.

Marca	Tipo	Tensión	Corriente	Precio
UNIROSS	Ión-Litio	3,7v	620mAh	16,17 €
UNIROSS	Ión-Litio	3,7v	700mAh	16,17 €
UNIROSS	Ión-Litio	3,7v	1080mAh	14,46 €
VARTA	Ión-Litio	3,7v	595mAh	23,98 €
VARTA	LIPO	3,7v	880mAh	21,45 €
VARTA	LIPO	3,7v	1100mAh	23,86 €
VARTA	LIPO	3,7v	2200mAh	25 €

Tras haber hecho un pequeño cálculo del consumo de los sensores como vemos en la página siguiente, observamos que no es necesaria una batería de gran suministro de corriente. Podemos decantarnos por una batería de Ión-Litio de 800mAh siendo la más barata, descartando las de tipo LIPO que necesitaría un cuidado mayor en el sistema de carga y mantenimiento.



Batería Uniross 1080 mAh

2.4 Tabla de consumo de sensores.

Tabla 9 Consumo de sensores.

Sensor	Corriente lectura (uA)	Corriente durmiendo (uA)	tiempo medida+comunicación (ms)	tiempo durmiendo (ms)	uA seg. Muestreando cada segundo	tiempo durmiendo (ms)	uA min. Muestreando minuto
SHT75	1000	1,5	34	966	35,449	59966	2,065
SPC 1000	25	1	265	735	7,36	59735	1,106
MMA7455L	400	3	50	950	22,85	59950	3,330
TSL2561	600	15	435	565	269,475	59565	19,241
SPM0408HE5H	350		1000	0	350		350
Total					685,134		375
Pila de 800mAHora = 288000000 uA segundo; autonomía de 420000 seg.= 50 días muestreando por segundo*							
Pila de 800mAHora = 48000000 uA minuto; autonomía de 128000 min.= 88 días muestreando por minuto*							

Modo de trabajo actual.

Tenemos un consumo estático del uC [17] y Zigbee [18] como muestra las tablas siguientes:

Mode	Router, COO				MED, SED			
	MCU	Radio	Timers	I	MCU	Radio	Timers	I
0	Awake	Awake	User defined	36mA	Awake	Asleep	User defined	9mA
1	Idle	Awake	User defined	32mA	Idle	Asleep	User defined	4.5mA
2	Awake	Awake	User defined	0.7mA ¹	Asleep	Asleep	User defined	0.7mA ¹
3	Asleep	Asleep	Off	0.7uA	Asleep	Asleep	Off	0.7uA

Tabla consumo ZigBee

17.6	mA	-40°C	2.5V ⁽³⁾	16 MIPS
17.6	mA	+25°C		
17.6	mA	+85°C		
20	mA	-40°C	3.3V ⁽⁴⁾	
20	mA	+25°C		
20	mA	+85°C		

Tabla consumo microcontrolador.

Consumo fijo de Zigbee→9.5mA

Consumo fijo de uC→ 20 mA.

Consumo fijo de sensores→ 0 debido a que es mucho menor que el del uC y el Zigbee.

Teniendo una batería de 800mAh/29.5mA = 27 horas.

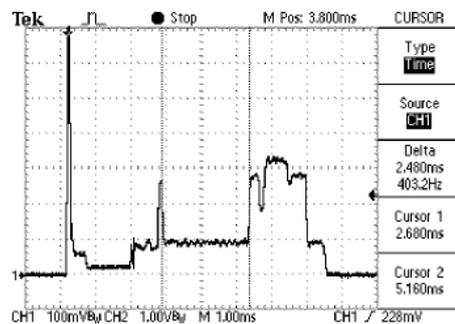
No es objetivo de este proyecto hacer un estudio completo del consumo del sistema. Podía haberse realizado un sistema que permitirá ahorrar energía poniendo a dormir el Zigbee y el microcontrolador.

Quitando el consumo estático, poniendo a dormir los sensores:

Consumo del uC→9uA

Consumo del Zigbee estatito→0.7uA

Como estos valores son muy pequeños, siendo que en la transmisión de datos del Zigbee tiene picos elevados de hasta 60mA como vemos en la tabla siguiente. [19]



Onda de consumo de transmisión del Zigbee.

Realizamos el consumo medio de un paquete de datos de 5 bytes que son 2.5ms. Y el tiempo total de comunicación mas envío es de 10 ms.

Consumo medio de envío y comunicación→20mA

Despreciando los consumos estáticos, debido a su pequeño valor.

Teniendo una batería de 800mAh/20mA = 40 horas.

2.5 Tecnologías emergentes.

Al hilo del almacenamiento eléctrico, cabe comentar, la tendencia actual a intentar conseguir energía de lugares y modos poco convencionales. Esta línea de investigación se suele denominar Energy harvesting. La premisa, es tratar de obtener una pequeña cantidad de energía suficiente para alimentar un pequeño dispositivo.

Esta electricidad se obtiene de otras fuentes de energía que se encuentran en el ambiente, como el calor, la luz, el movimiento. A modo de ejemplo se puede citar:

-Las placas fotovoltaicas de aprovechamiento de la energía solar. Podemos encontrar pequeñas células muy eficientes y económicas, tiene un problema que necesitan luminosidad solar directa y ocupan un espacio considerable dependiendo la necesidad.

-Termo-generadores. Utiliza gradientes térmicos basados en el efecto Seebeck, debido a la diferencia de temperatura entre dos metales creamos un voltaje eléctrico, produciendo corrientes constantes y bajos niveles de tensión. Este es viable donde exista una diferencia de temperatura considerable.

-Energía cinética o vibraciones, a partir del movimiento, usando la electro-dinámica o piezoeléctricos podemos disponer de una micro turbina



Turbina generadora

como la de la imagen, capaz de generar 17 vatios.

-Gracias a la investigación en microcombustion, el uso de motores muy pequeños con una turbina generadora, haciendo que quepa en un pequeño espacio y pese menos que una batería convencional, permitirá minimizar al máximo el tamaño de los motores y siendo que las baterías actualmente suelen ser más grandes y pesados que el propio dispositivo a

alimentar y necesitan de una recarga, será una gran mejora en los sistemas de alimentación.

-Se pretende sacar energía hasta del propio cuerpo humano, en medicina del propio micro-dispositivo sacar medida y actuación para su funcionamiento. [\[12\]](#)

3.- DISEÑO DE HARDWARE.

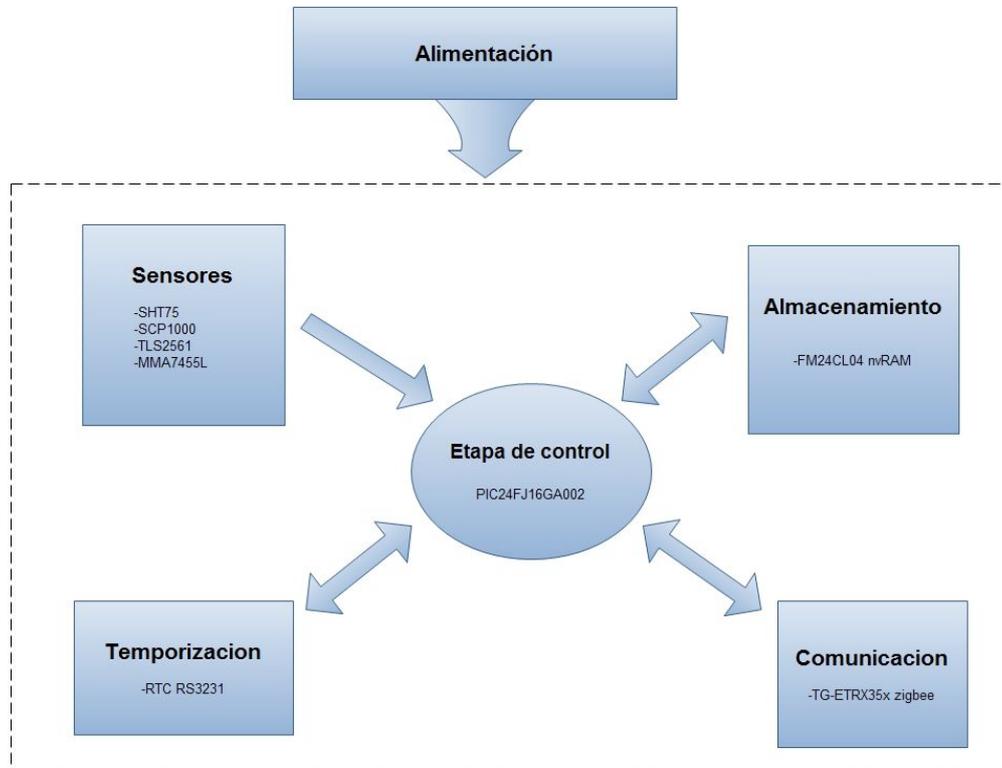
3.1 Introducción.

La realización del sistema conlleva un estudio global de todas las partes del sistema. Tras haber decidido que componentes se van a usar en el desarrollo del mismo, se va a realizar un diagrama de bloques del sistema.

En este se van a poder observar a groso modo cada uno de los bloques más importantes que componen el dispositivo y su conexión entre cada una de ellas.

Tras la realización de una breve explicación de cada bloque se entrará en detalle en cada apartado, explicando las partes que lo componen y su utilidad.

3.1 Diseño conceptual.



Descripción de cada uno de los bloques.

- 1- Alimentación: El sistema se alimenta a través de una etapa de potencia, que pueda ser alimentada con un bus externo o un batería recargable. La batería recargable de 3.7V, nos permitiría obtener una tensión de alimentación de los integrados de 3.3 V para todos ello.
- 2- Etapa de control: Nos basaremos en una microcontrolador que sea capaz de controlar todos los dispositivos mediante el protocolo I2C de comunicación serie.
- 3- Dispositivos o sensores: Permitirán medir todas las variables ambientales (presión, humedad, aceleración, luz...) y almacenarlas en un memoria.

- 4- Comunicación: El sistema mandara sus datos al exterior mediante un dispositivo inalámbrico que permitirá volcar toda la información obtenida a un dispositivo externo para analizarla. Para la comunicación inalámbrica utilizaremos el dispositivo Zigbee, mucho más seguro, rápido y de menor consumo como otros como puede ser el Bluetooth. ZigBee es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radio digital de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4. Usado para aplicaciones de comunicación de baja tasa de datos y permitiendo un mayor duración de las baterías.
- 5- Temporización: Nos permitirá controlar en cada instante el momento de medición y control de los sensores y así nos permitirá mantener dormido el resto de los dispositivos para una bajo consumo del mismo.

Algunos microcontroladores de microchip llevan incorporado este sistema. No es el caso y por ello se ha decidió usar un circuito integrado con control de tiempo que nos proporcione una RTC (Real time clock), un reloj de ordenador que nos informe de la hora actual. Estas unidades nos permitirían dormir el sistema entero a la espera de una alarma.

El DS3231 de bajo costes y conexión I2C nos permitirá conectarlo al mismo bus serie que el resto de sensores. Dispone de salida para alimentación por batería independiente, además de fecha completa y dos alarmas.

- 6- Almacenamiento: Una unidad que podrá guardar toda la información de los sensores o datos necesarios, para después puedan transmitida mediante el sistema de comunicación.

Para guardar los datos de sensores, valores y otros datos necesarios necesitaremos una EEPROM. Los nuevos DSPIC no incorporan memoria EEPROM de almacenamiento, por ello nos vemos obligados a usar un circuito externo.

Actualmente se empiezan a usar las nvRAM muy similares a las EEPROM pero que conservan el dato, memorias de acceso aleatorio no volátil.

Este tipo de memorias suele ser flash, usadas actualmente en teléfonos móviles.

3.2 Diseño esquemático.

El sistema diseñado tiene la estructura vista anteriormente en el apartado de diagrama del sistema, donde hemos visto los cinco principales bloques que constan el sistema alimentación, sensores, temporización, comunicación, almacenamiento y etapa de control.

Estos apartados han sido desarrollados en un esquema general del circuito, con todos los componentes que lo componen. Ahora pasaremos a explicar parte por parte toda la estructura del esquema desarrollado, explicando que desempeña cada uno y todos los componentes que lo componen.

3.2.1 Cargador de batería.

El sistema necesitará de una parte que cargue la batería mediante un bus de alimentación externa, permitiendo recargar la batería cuando esto sea necesario.

Para ello a través de un transistor MOSFET NDS8434 se inyecta corriente a la batería, dejando pasar la corriente que sensa la resistencia. El MOSFET es controlado por puerta por el MCP73841-4.2 que activa o no el transistor dependiendo de si la tensión de la batería baja por debajo de un determinado valor. También disponemos de un diodo de protección a la entrada de la alimentación por si conectamos la tensión al revés. El integrado de gestión de carga, está dotado de un medidor de tiempo para que la carga de la batería no sea permanente y corte a un cierto tiempo.

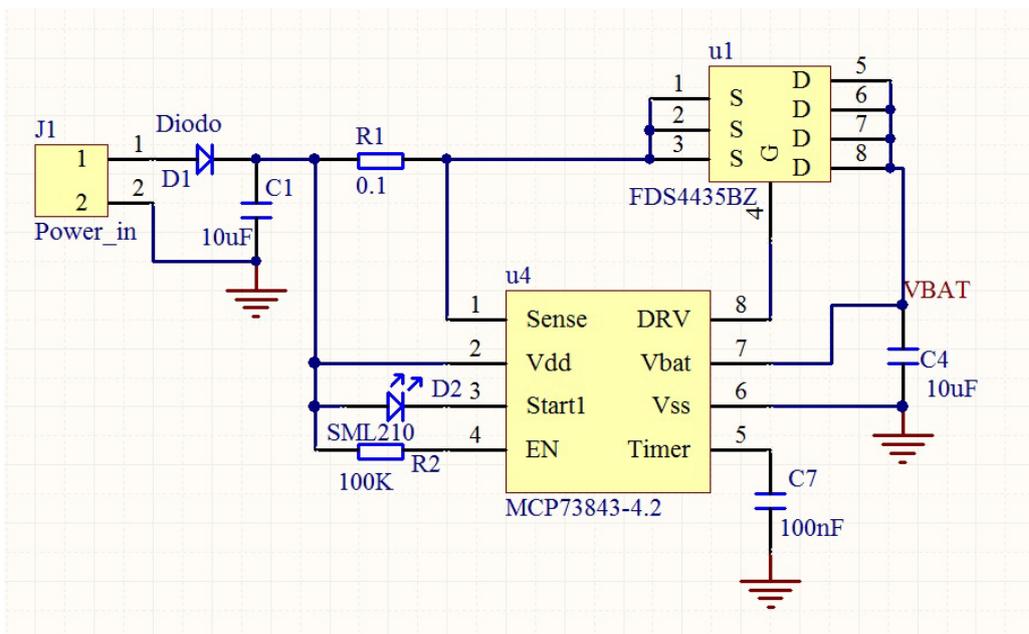


Figura 1

Circuito de carga de batería, inyecta corriente través de NDS8434, interruptor JFET controlado por MCP73843-4.2 por el PIN8 (DRV) que activa o no el JFET, que estabiliza la carga de la batería.

D1 bloquea que se pueda conectar la entrada al revés.

C1 10uF filtra al entrada de alimentación externa.

C4 10uF filtra la salida de tensión a la batería.

C7 100nF realiza un temporización para que no esté constantemente metiendo corriente.

R1 0.1 OHM sensa la corriente introducida en el JFET. Entre Vdd-Vsense=0.1V, es decir con esa resistencia deja pasar 1A.

R3 100K habilita el dispositivo.

D2 Diodo LED de visión de ON de la activación del integrado MCP73843-4.2.

FDS4435BZ debido a que solo aguanta $P_{max}=2.5W$ y a través de él pasa 1A, corriente de carga de la batería que deja pasar la resistencia de sensado.

Si lo alimentamos al máximo que permite los integrados de 12 voltios se destruiría, necesitaría un disipador, ya que:

$$P=V \times I = (V_{in}-V_{out}) \times I = (12-4.2) \times 1 = 7.8 \text{ vatios.}$$

Así sólo podemos alimentar el circuito externamente con 2.5 voltios por encima de la salida para no sobrepasar la potencia máxima que soporta, si no queremos ponerle un disipador externo. Esto nos permitirá alimentar el circuito a un máximo de unos 7 voltios teniendo en cuenta la caída de tensión en el diodo de protección.

3.2.2 Regulador de tensión.

La batería conectada de 3.7 voltios que suministra la corriente a todos los dispositivos del sistema deberá ser regulada a 3.3 voltios, tensión de alimentación de todos los dispositivos. El regulador TC1015-3.3 proporciona a la salida los 3.3 voltios, dispone de una patilla (pin 3) de control para anular la salida del mismo, por si no nos interesa que haya una tensión inferior a esta. Los dispositivos funcionan todos a 3.3V, pero no todos tienen el mismo rango de operación. Por ejemplo el Zigbee puede actuar hasta 2.6 voltios y el micro solo 3 voltios, por ello se debe cortar el

suministro de tensión por debajo de un valor que impide el mal funcionamiento del sistema.

Esto es controlado por el MCP-111-315 que cuando detecta que la tensión de la batería está por debajo de 3.15, corta al regulador impidiendo trabajar al sistema por debajo de esta tensión, hasta que esta vuelva a subir, cuando la batería se cargue.

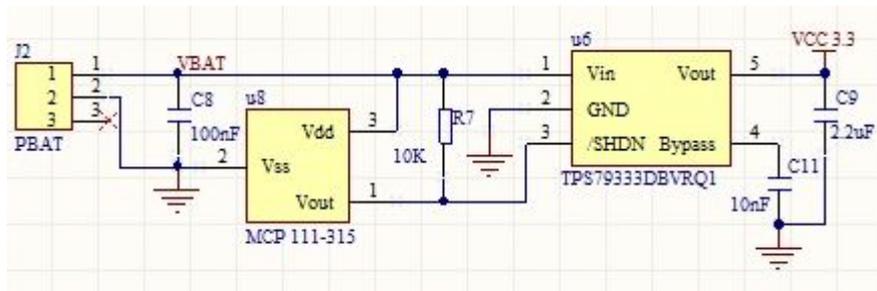


Figura 2

El TC1015-3.3 regulador de tensión de la batería a 3.3V, tensión de alimentación de todos los componentes del proyecto.

El MCP 111-315 esta como sistema de protección para impedir que el regulador baje por debajo de n nivel mínimo específico y así no perder la tensión de 3.3 del resto del sistema.

C8 100nF condensador de desacoplo.

C9 2.2uF se crea un filtro de paso bajo para reducir el ruido de tensión de referencia y, por tanto, el ruido en la salida del regulador

C11 10nF estabilizar la salida del regulador.

R7 10K debido al drenaje abierto de la salida del integrado MCP 111-315, resistencia de pull-up.

3.2.3 Microcontrolador.

El microcontrolador es el sistema de cálculo y control principal del sistema. Es un computador completo, aunque de limitadas prestaciones, que está contenido en el chip de un circuito integrado programable y se destina a gobernar una sola tarea con el programa que reside en su memoria. Sus líneas de entrada/salida soportan el conexionado de los sensores y actuadores del dispositivo a controlar. Integran memoria interna para almacenamiento de datos.

Los microcontroladores PIC de Microchip Technolohy Inc. combinan una alta calidad, bajo coste y excelente rendimiento. Un elevado número de estos microcontroladores son usados en una gran cantidad de aplicaciones

tan comunes como periféricos del ordenador, datos de entrada automoción de datos, sistemas de seguridad y aplicaciones en el sector de telecomunicaciones.

Microchip dispone de una amplia familia de chips de 16 bits tenemos PIC24F PIC24H dsPIC30F y dsPIC33F, ante una familia pic o dspic esta ultima la más reciente de microchip tiene una arquitectura de uso digital como su nombre indica (Digital Signal Processing), una nueva forma de tratar señales digitales.

El dispositivo seleccionado, pic24fj16ga002 dispone de oscilador interno, pudiendo llegar a trabajar el sistema hasta a 80 MHz, de modo que no es necesario el uso de un cristal externo. Para llevar a cabo la programación del micro se utilizan los pines PGD y PGC, junto al MCLR.

Se ha utilizado el conversor A/D de 10 bits, para entradas analógicas tanto para el monitor de la batería, como para la entrada de audio.

El uC se comunica con todos los sistemas externos con él mediante sus respectivos métodos de comunicación.

En este caso hemos usado puerto serie I2C (SCL y SDA) para comunicarnos con los sensores y demás chips de almacenamiento y control de tiempo. Puede comunicarse a 400 Kbps Necesita de dos resistencias de pull-up para cada línea para su correcto funcionamiento, típicamente de 10k ohm. Las líneas de transmisión deben ser lo más cortas posibles.

Es un sistema creado por Philips que tiene un sistema concreto de comunicación de datos, primero se inicia la transmisión START, con unos determinados cambios de las líneas de reloj y datos, después se indica la dirección del dispositivo correspondiente, indicamos si se quiere leer o escribir, la dirección de memoria, se lee o se escribe en la dirección indicada y por último se finaliza la conexión STOP, con un sistema similar al de START.

Comunicación SPI de sensor de presión SCP1000 debido a que la versión adquirida no disponía de I2C, usando las entrada salida MOSI/MISO, el reloj SCK y la activación del mismo con CSB.

El Bus SPI es un estándar de comunicaciones serie de dispositivos electrónicos. Es un estándar para controlar casi cualquier dispositivo electrónico digital que acepte un flujo de bits serie regulado por un reloj, dato entrante, dato saliente y un pin de selección que conecta o desconecta la operación del dispositivo con el que uno desea comunicarse.

El bus SPI de comunicación bidireccional pero usando doble línea, una

para cada dirección, es más rápido que el I2C, pero usando mayor número de pines. Tiene un protocolo de comunicación bastante sencillo. Consumo bastante bajo, menor que I2C.

Para comunicarnos con el exterior disponemos de la UART (TX y RX) puerto serie de transmisión y recepción de datos que usaremos para el Zigbee. Para este sistema el propio programador del micro ya tiene sus propias instrucciones, para enviar y recibir datos. Tiene distintas velocidades de transmisión desde 100 a 256000 Kbps

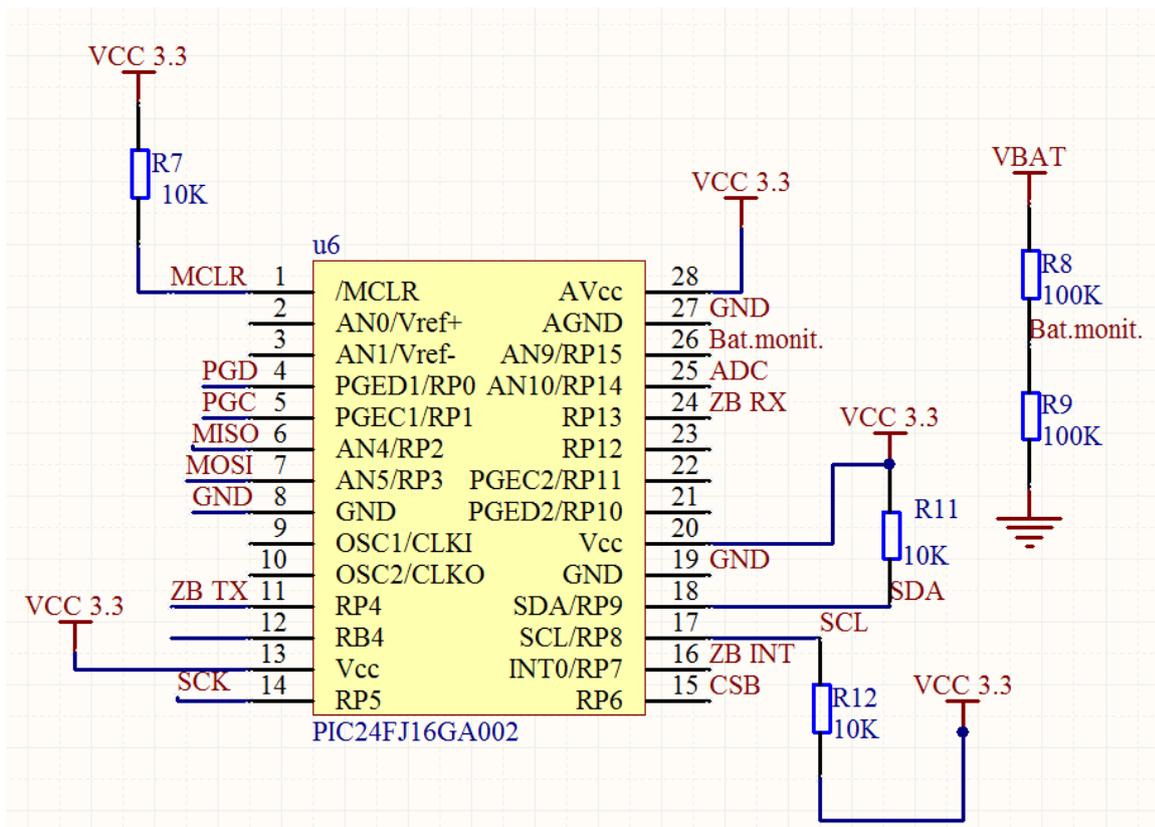


Figura 3

Usamos el microcontrolador PIC24FJ16GA002 para llevar a cabo el control de todos los dispositivos (sensores, memoria....), así como realizar todas las operaciones necesarias.

R3 10K pull-up, deshabilita el MCLR.

R4 y R6 100K divisor resistivo para control de tensión de batería a pin 26 entrada analógica.

R8 10k pull-up pin18 (SDA) para la línea de I2C.

R9 10k pull-up pin17 (SCL) para la línea de I2C.

Pin 11 y 24 salida y entrada respectivamente (TX y RX) para conexión de rs232.

Pin 4 y 5 (PGD y PGC) para programación del micro.

Pin 6, 7, 14 y 15 para comunicación SPI.

Pin 16 interrupción Zigbee.

Pin 25 entradas de conversor A/D del micrófono.

3.2.4 Comunicación Zigbee.

Dispositivo de transmisión inalámbrica, que se comunica con el exterior según lo explicado en el apartado posterior de comunicación. Este está conectado con el micro por el puerto serie UART, dispone de sistema de programación, para actualizar su firmware, o posibles problemas. Dispone de una patilla de interrupción para actuar sobre el microcontrolador.

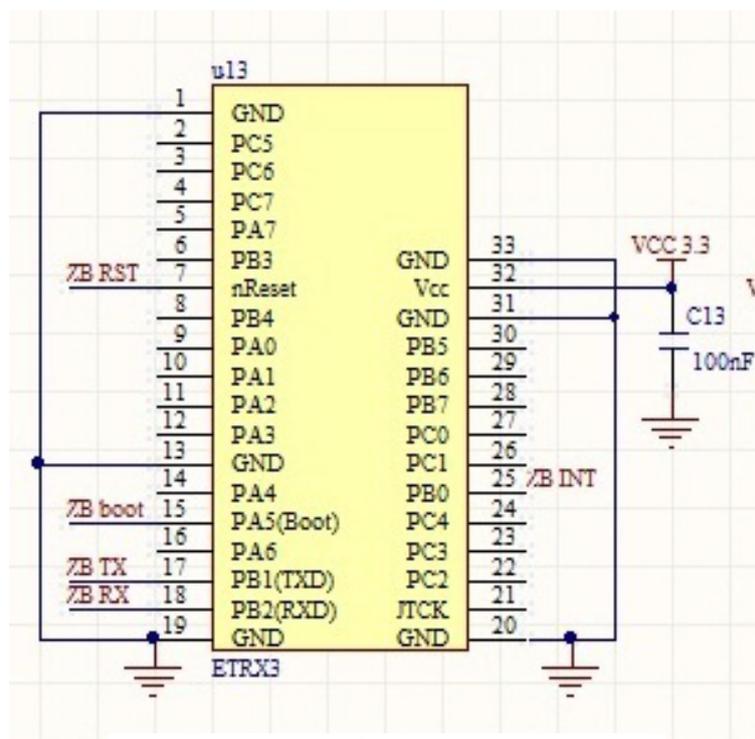


Figura 4

Dispositivo de comunicación inalámbrica Zigbee ETRX3, nuevo modelo de Telegexis, dispone de una antena cerámica, que transmite a 2.4Ghz802.15.4.

Alimentado a 3.3v, un consumo de 40mA y 08uA en reposo.

ZB_TX pin 17 y ZB RX pin 18 transmisión de datos con microcontrolador.

ZB_INT pin25 de interrupción

ZB_boot pin 15 de programación de Zigbee

ZB_RST pin 7 de reset.

C13 100nF condensador de desacoplo.

3.2.5 RTC (Real Time Calendar).

Unidad de control temporal DS3231, tiene un sistema de calendario de horas, minutos, segundos, día, mes y año, además dispone de dos alarmas. Opera a 3.3V, 200uA de corriente activa, 100uA en espera.

Conexión mediante el puerto I2C con el microcontrolador. Dispone de una patilla de batería por si se pierde la alimentación mantenga la fecha el sistema, con oscilador interno y poder despertar al micro con una posible interrupción, con una de sus alarmas.

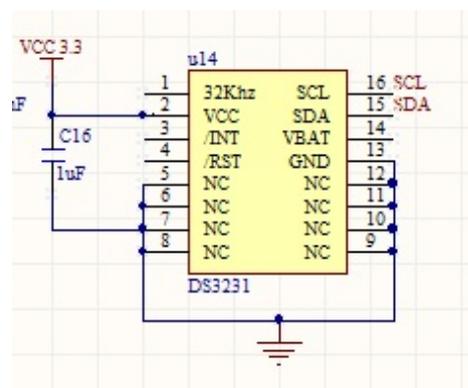


Figura 5

C16 1uF condensador de desacoplo.

3.2.6 Memoria no volátil.

Dispositivo de almacenamiento nvRAM FM24CL04, memoria de acceso aleatorio no volátil, la cual no pierde la información al cortar la alimentación, de material ferro-eléctrico con 4Kb organizada de 512x8. En la primera versión se uso la memoria nvRAM.

Ante posibles problemas de suministro, se tuvo en cuenta una EEPROM 24LC512 de similares características y más fácil adquisición. Disponiendo de una distribución de pines y tamaño igual a la nvRAM, a diferencia que son más lentas en la transmisión de datos. Además el programa de utilización sirve para los dos, sin tener que realizar otra función.

Las EEPROM eléctricamente borrable, utiliza una estructura de puerta flotante donde las celdas de almacenamiento son transistores MOSFET adjudicando la cualidad de flotante debido a que tienen una compuerta de silicio sin ninguna conexión eléctrica, adición que le permite la propiedad de borrado eléctrico al aplicar entre la compuerta y el consumo del MOSFET un voltaje.

La carga inducida en la compuerta flotante permanecerá ahí aun cuando se suspenda la alimentación. Al invertir el voltaje se eliminan las cargas capturadas de la compuerta flotante borrando las celdas.

Opera entre 2.7-3.65V, 75uA de corriente activa, 1uA en espera.

Retención datos durante 45 años, no retraso de escritura. Comunicación serie I2C con el micro.

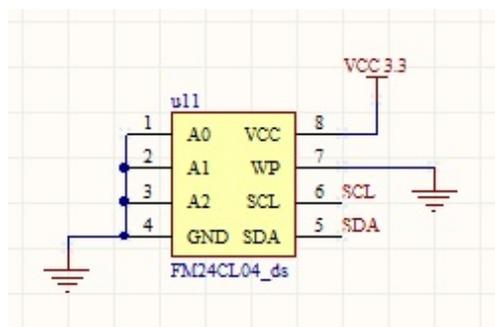


Figura 7

3.2.7 Sensor de luz.

Sensor de luz TSL2561, convertidor de luz en tensión. Comunicación con el micro con señal digital mediante I2C. Cada dispositivo combina una banda ancha fotodiodo (visible además de infrarrojos) y un fotodiodo de infrarrojos en un solo circuito integrado CMOS capaz de proporcionar una respuesta casi fotópica a través de 20 bits el rango dinámico (16 bits de resolución). Conversor ADC de las corrientes de cada fotodiodo de la irradiación medida de cada canal. El valor de los dos canales puede ser convertido en lux en el microcontrolador, mediante una cuenta empírica para aproximar la respuesta al ojo humano.

El sensor dispone de un sistema que permite activar una interrupción cuando supera unos determinados valores. En este caso no usada.

Alimentado a 3.3V, 240uA corriente activa, 3uA en espera.

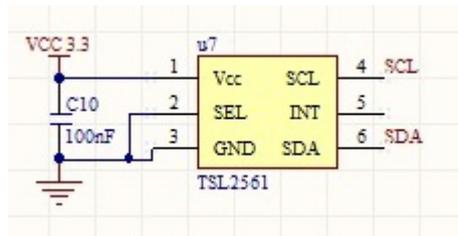


Figura 8

C10 100nF condensador de desacoplo.

3.2.8 Sensor presión y temperatura.

Sensor de presión absoluta SCP1000 conexión por I2C o SPI. Salida de 30-120KPa en una resolución de 19 bits. Alimentado a 3.3V, 25uA en activo, 3.5uA en espera. También devuelve el valor de la temperatura.

Los datos de presión y temperatura son compensados y calibrados internamente. Para obtener el valor verdadero solo debemos realizar unos cálculos de adaptación, con las constantes que ofrece el fabricante. Dispone de 4 sistemas de medida, tres continuos gran precisión, mayor velocidad de adquisición o de bajo consumo y otro de medida en un determinado momento.

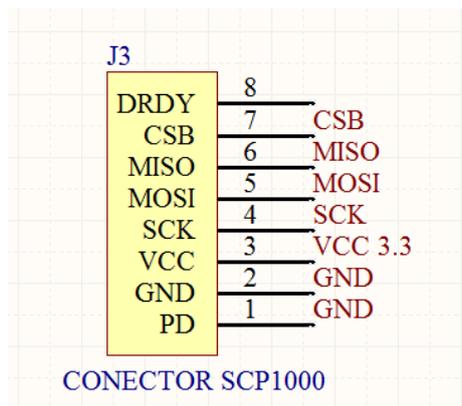


Figura 9

Debido a la adquisición de una placa con el sensor ya soldado con sus respectivos condensadores, para su mejor manejo debido a su pequeño tamaño y sus 19 pines. Se dispuso un conector para conectar directamente esa placa a la PCB.

3.2.9 Sensor de temperatura y humedad.

Sensor SHT75 de Sensirion conectado con el micro por el bus I2C. Aunque el sistema no utiliza exactamente el sistema de comunicación I2C, sino que se debe realizar el propio sistema que indica en el datasheet. El sensor proporciona un valor digital ya procesado, con un auto calibrado inicial. Un único sensor capacitivo elemento se utiliza para medir la humedad relativa, mientras que la temperatura se mide mediante un sensor de banda brecha. La aplicar la tecnología CMOS garantiza una excelente fiabilidad y estabilidad a largo plazo.

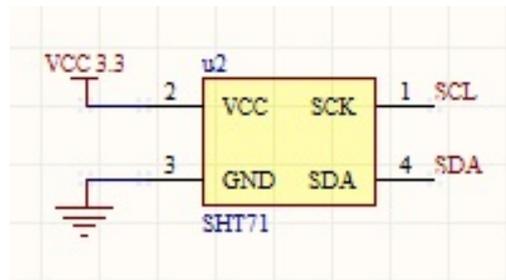


Figura 10

3.2.10 Conectores de programación.

Conectores de programación de micro y Zigbee conectados respectivamente con cada uno de ellos. Huellas en la PCB para poder conectar el bus de programación de microchip MPLAB ICD2, para poder modificar el programa en cualquier momento. A si como el correspondiente para el Zigbee de similar forma, pero distinta distribución de pines.

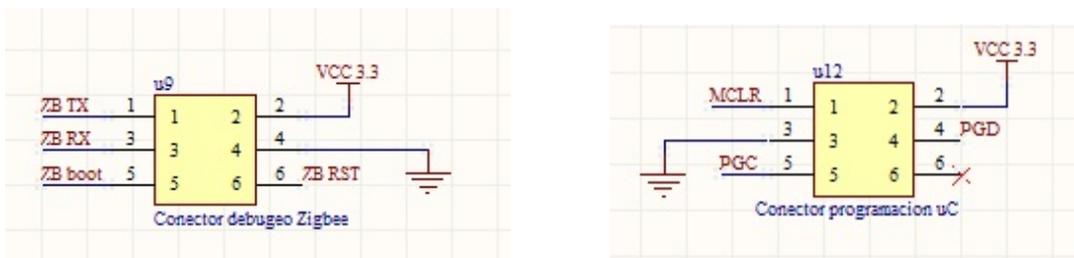


Figura 11

3.2.11 Micrófono y etapa de amplificación.

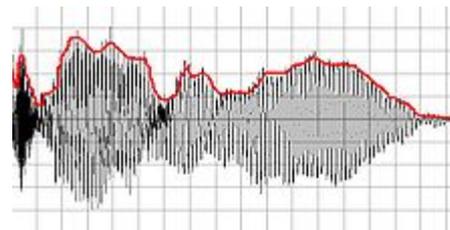
Micrófono SPM0408HE5H de tecnología MEMS, conectado al microcontrolador a través de una entrada A/D, previamente amplificado con una etapa no inversora. El amplificador usado es el LM358 con ganancia 20

de alimentación simple, ya que solo queremos ver el ruido ambiental, y no reconstruir la señal.

El bandwidth del LM358 es de 1MHz debido a que ampliamos a una ganancia de 20, para ver la señal lo suficientemente grande, podemos llegar a tener una frecuencia de corte 50KHz, más que suficiente para el sonido ambiente. No tendremos problemas de recorte de señal.

La salida del micrófono debe filtrar un nivel de continua, con C2 y R2, de 1 voltio que tiene este micrófono a la salida, debido a que es de alimentación simple. Como no nos interesa reconstruir la señal después de procesarla por el uC, suprimimos el nivel continua y nos quedamos con la parte positiva de la señal. A si podemos amplificarla más y analizar mejor el ruido ambiente.

A la salida del amplificador de dispone de una etapa de detector de envolvente con un diodo y condensador, que va manteniendo la salida al valor máximo de la señal de entrada.



Detector de envolvente [15]

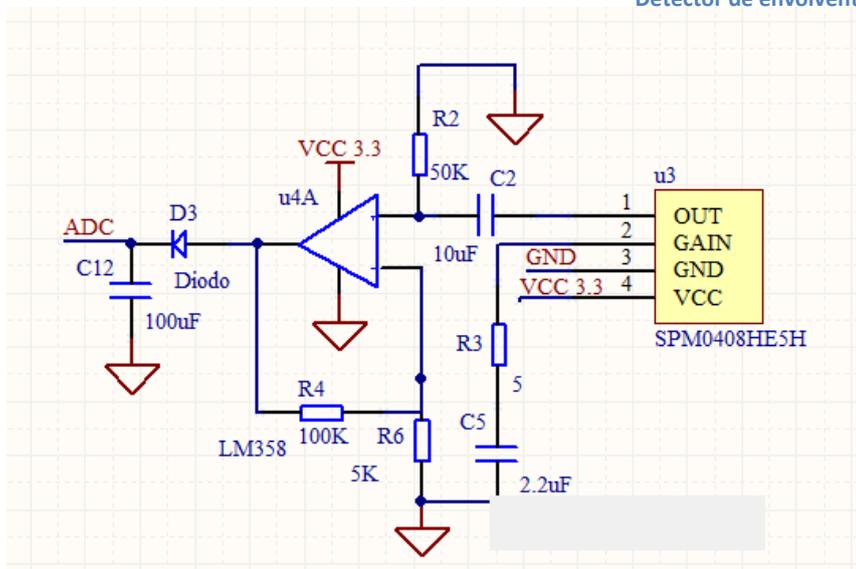


Figura 12

C2 10uF y R2 50K filtrar la salida continua del micrófono.

R3 5ohm y C5 2.2uF ajuste de ganancia del micrófono.

$G = 1 + (22K / (2.4K + R3)) = 10$. Los valores son de resistencias internos solo se puede ajustar el de 5 ohm.

R4 100K y R6 5K ganancia del amplificador.

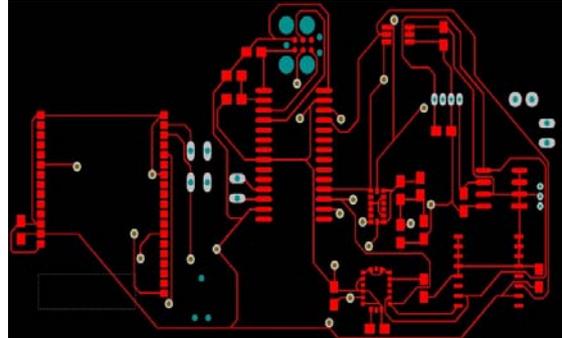
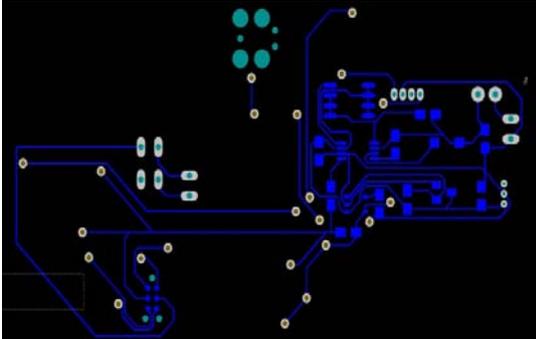
Siendo etapa no inversora:

$$G = 1 + (R4/R6) = 21$$

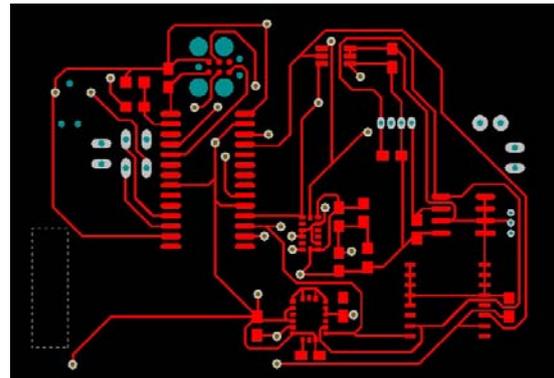
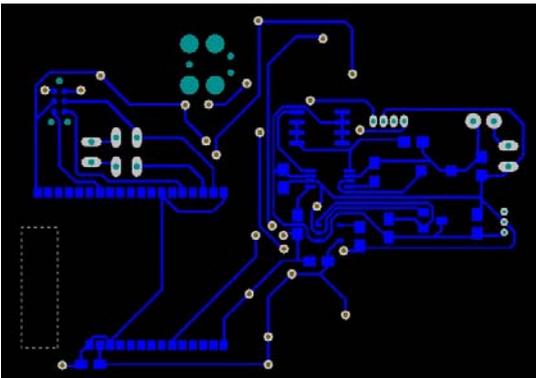
D3 y C12 100nF detector de envolvente.

3.3 Diseño de PCB.

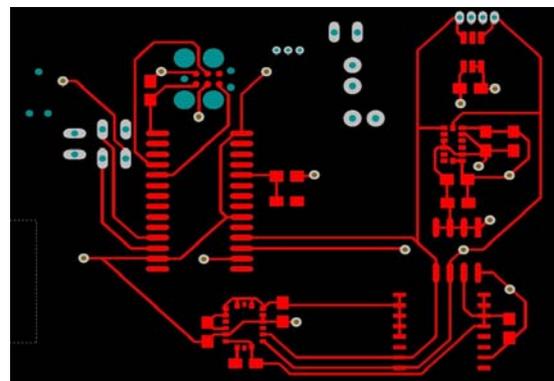
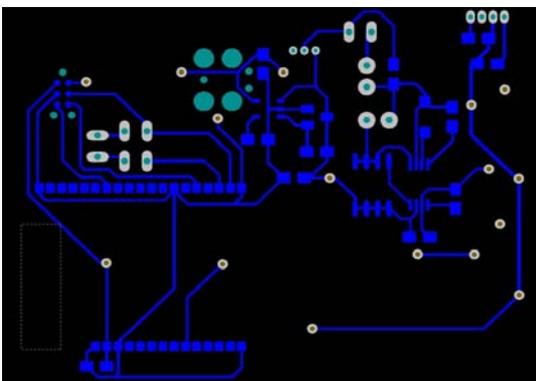
3.3.1 Evolución del diseño.



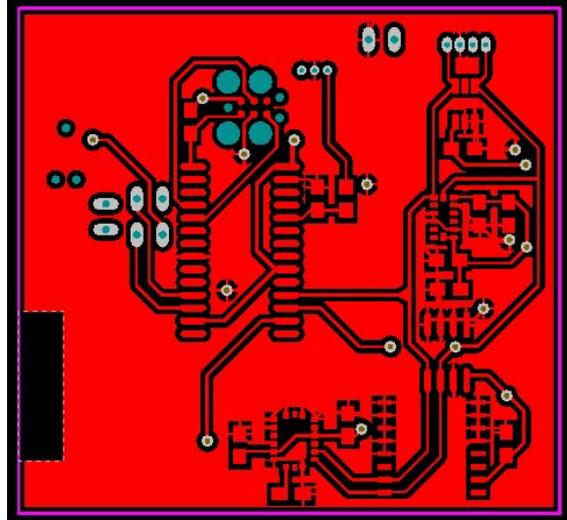
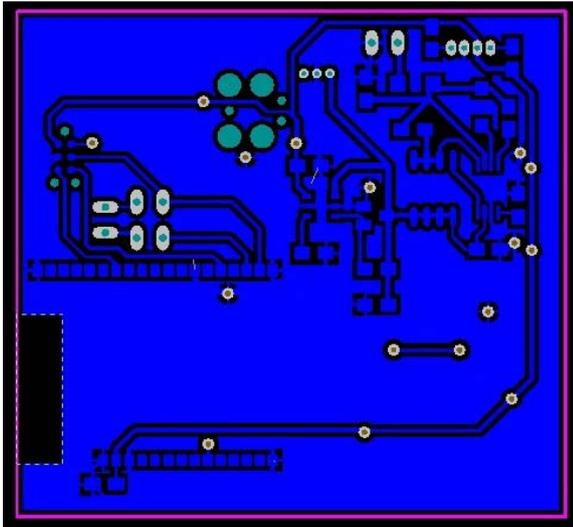
Primera iteración de componentes y ruteado



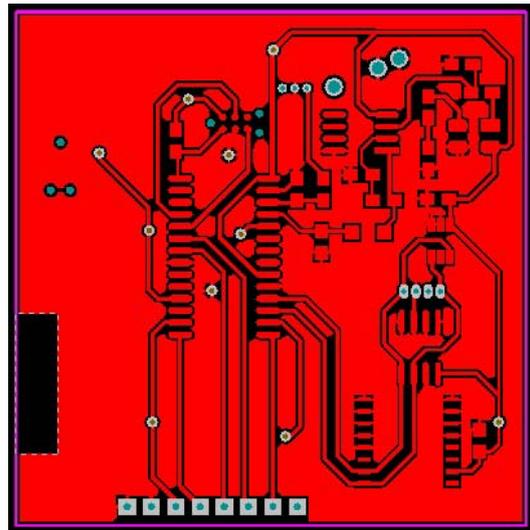
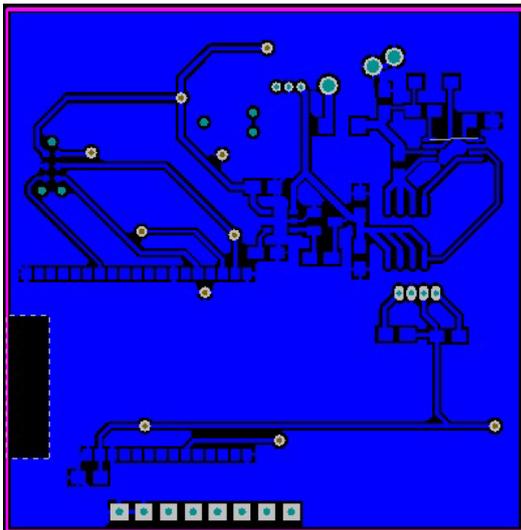
Segunda iteración de componentes y ruteado



Tercera iteración de componentes y ruteado



Primer prototipo



Segundo prototipo

3.3.2 Desarrollo.

Para el desarrollo de la PCB se ha usado, el programa de CAD electrónico, Altium Designer. Como es habitual, hasta alcanzar el resultado final con un tamaño de de 55x50mm han sido necesarios sucesivos diseños intermedios. En las imágenes anteriores podemos ver la evolución que ha tenido la misma.

En la cara Bottom se ha dispuesto en la parte superior izquierda la etapa de alimentación para la carga de batería y alimentación del sistema. El dispositivo de transmisión inalámbrica también se encuentra en la parte inferior derecha, con la antena de trasmisión lo más alejada posible de la etapa de potencia y del resto. Se ha eliminado el plano de masa debajo de la misma, para no causar posibles interferencias

En la cara Top encontramos los sensores y circuitos de almacenamiento todos alineados en la parte derecha permitiendo que el bus de I2C sea lo más corto posible y presente el menor cambio de dirección, evitando así cambios bruscos de impedancia.

Para una buena comunicación del micro, con el resto de periféricos y dispositivos, este se ha situado en el centro de dicha cara.

El diseño se ha realizado teniendo en cuenta las limitaciones de ruteado conforme al estándar industrialase 3. Se ha intentado ampliar donde se pueda al máximo las dimensiones, para que la fabricación fuese más sencilla, ya que el prototipo lo queríamos realizar con las herramientas que disponíamos en la facultad.

Las pistas o tracks deben ser lo más directas posibles entre conexiones, en la medida de lo posible no presentar ángulos de 90° ni salientes, además de preservar una continuidad uniforme a lo largo de toda su longitud. Las dos principales características que vamos a establecer son: el ancho de pista y el espacio entre pistas o la distancia a otros elementos como pads o agujeros. El ancho mínimo de fabricar 0.4mm en forma segura. Se aconseja que la pista sea lo más gruesa que el espacio permita, mas teniendo en cuenta si esa pista va a conducir cierta corriente que llegará a ser de 0.8mm.

En el caso del espacio (clearance) debemos especificar uno acorde al tipo de circuito impreso que se está diseñando. Si estamos trabajando con pistas de 0.4mm es aconsejable que el clearance sea del mismo valor. Si no hace falta que estén tan cerca, este valor debe ser el más grande que permita el diseño.

Cuando procedemos a generar los archivos necesarios para el perforado, una de las primeras cosas que hacemos es ajustar los diámetros de los agujeros a valores que dispongamos para su fabricación.

Las coronas, parte que rodea al agujero y sirve como soldadura, deben ser de la medida suficiente como para que el anillo que queda alrededor del agujero, sea lo suficientemente grande. Para esto se establece una distancia mínima determinada como la diferencia entre el radio del agujero y el radio del pad. Esta distancia debe ser el doble que el agujero para facilitar la soldadura. Como el diámetro de taladro metalizado de 0.6mm para todas las vías, el de corona de soldadura tendrá que ser de 0.6mm también haciendo un total de 1.2mm agujero más pad.

El plano de masa debe respetar un espacio mínimo de separación a otros objetos que no pertenezcan a la misma red (net) y además deben respetar la forma de conexión y grosor de los radiales de conexión a las islas de su misma red. Para ello estableceremos dos parámetros:

-Polígono clearance: Este parámetro define el espacio de aislamiento a otras nets. En este caso usaremos 0.6mm. Cuanto más alejado de este mínimo este el valor mejor, ya que se evitara posibilidades de corto circuitos entre pistas al fabricar o montar la placa.

-Polígono conexión: Estos valores definen el tipo de conexión. Lo más usual es utilizar un estilo en cruz, ya sea a 90° o 45°, eso no modifica en nada. Lo que sí es importante es definir un grosor de conductor no menor a 0.254mm y no mayor a 0.5mm. El mínimo asegura una buena conexión y el máximo asegura que la disipación de calor al momento de la soldadura no sea elevada, ya que esto dará como resultado una soldadura fría o difícil de realizar. Este valor se combina con la expansión del pad y el espaciado.

	CLASE 3		CLASE 4		CLASE 5		
	mm.	mils	mm.	mils	mm.	mils	
Ancho de pistas	0,3	12	0,2	8	0,15	6	
Separación entre pistas o pads	0,3	12	0,2	8	0,15	6	
Diámetro mínimo de taladro metalizado	0,5	20	0,4	16	0,3	12	
Pared mínima de la corona	0,22	8,6	0,2	8	0,18	7	
Separación mínima entre pistas y canto (para el fresado)	0,25	10	0,25	10	0,25	10	

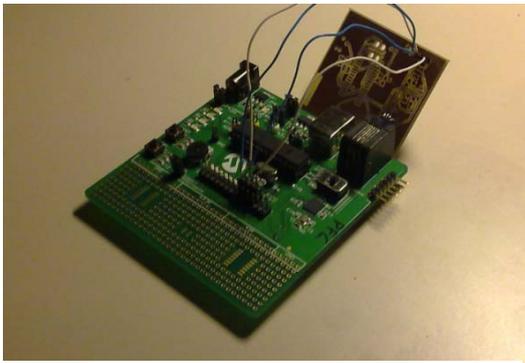
Clases de fabricación de PCB [\[13\]](#)

3.4 Resultado.

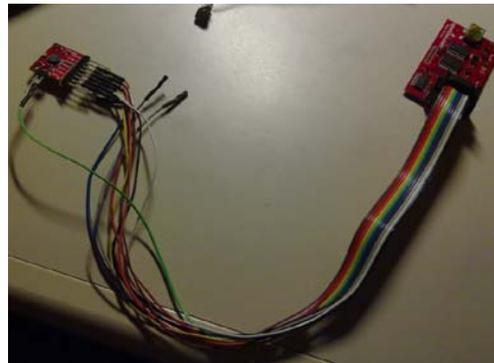
La realización de la PCB, como se podrá ver en las imágenes siguientes, fue bastante elaborada y complicada, debido al pequeño tamaño de algunos pad de soldadura de determinados componentes.

Como mencionamos antes el sensor SCP1000 de presión, fue adquirido en un kit, PCB mas conexiones ya soldado debido a su pequeño tamaño. Este sistema nos permitió su manejo con mayor facilidad, si no hubiera sido imposible su utilización por nuestra cuenta.

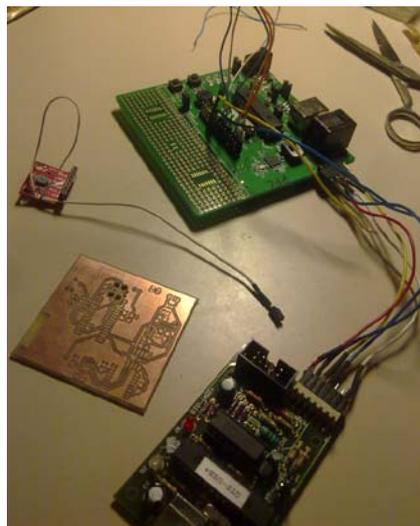
Había otros componentes que también eran pequeños y se hizo bastante complicada la soldadura.



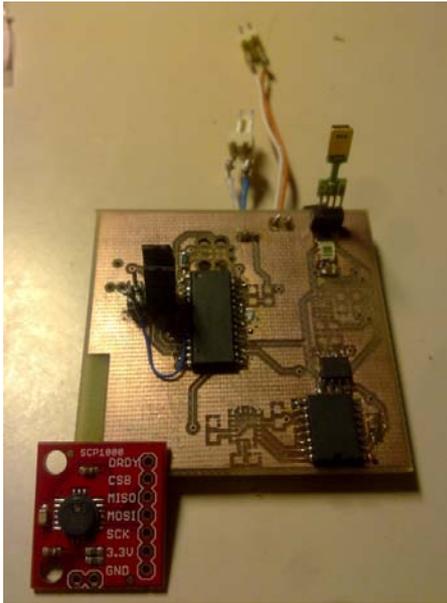
Placa de desarrollo de PIC



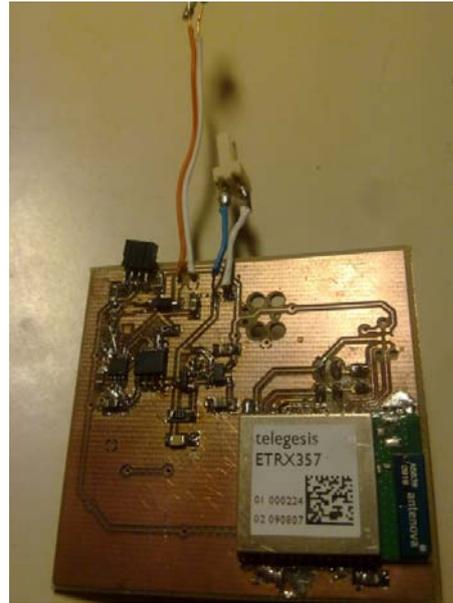
Bus pirate



Programación micro WINPIC 800 placa desarrollo



Prototipo 1 cara top



Prototipo 1 cara bottom

3.5 Coste

A continuación se desglosa el coste de los componentes de la PCB. Los precios corresponden a los catálogos on-line de las páginas:

www.farnell.es

www.mouser.es

El coste puede ser elevado debido a que se adquieren pocas unidades de cada componente, solo las necesarias para la realización del prototipo. El suministro de estos componentes no proviene de mayoristas por lo que encarece bastante el precio.

Se procedió a la consulta de precio aproximado de fabricación de una PCB en empresa, para hacer un cálculo total de todo el dispositivo. [14]

Como ya se ha indicado, no es objetivo del presente proyecto, los criterios de coste y productividad.

Elemento	Identidad particular	Precio Unitario	Precio Total
Microcontrolador	PIC24fj16GA002	2,69	2,69
Comunicación	Zigbee ETRX3	18,81	18,81
Sensor presión	SCP1000	25,78	25,78
Sensor temperatura y humedad	SHT75	33,69	33,69
Sensor luz	TSL2561	1,88	1,88
Sensor sonido	SPM0408HE5H	5,01	5,01
Amplificador	LM358	0,33	0,33
Real time clock	DS3231	11,67	11,67
Memoria	FM24CI04	1,62	1,62
Cargador batería	MCP73843-4.2	1,8	1,8
MOSFET	NDS8434	3,33	3,33
Supervisor	MCP 111-315	0,5	0,5
Regulador de tensión	TC1015-3.3	0,4	0,4
Condensadores	Multicomp	0,039	0,39
Resistencias	Multicomp	0,036	0,36
Diodos	TAIWAN 1607	0,25	0,5
Conector alimentación	NEB_J21R	0,85	0,85
Conector batería	MOLEX - 53048-0310	0,28	0,28
Batería	Uniross 1080 mAh	14.46	14.46
Fabricación PCB		51.71	51.71
TOTAL			176,06

Como podemos ver el precio es bastante elevado, siendo que solo es un prototipo no un sistema comercial el precio se encare bastante. Si hubiéramos fabricado muchas más unidades el precio hubiera sido bastante inferior, y podría compararse con el precio de sistemas similares que podemos adquirir actualmente en el mercado.

4.- DISEÑO FIRMWARE

4.1 Requisitos.

Los sistemas electrónicos siempre han tenido un sistema de control y procesamiento, antes de la existencia de los microprocesadores los circuitos constaban de muchos componentes electrónicos. Un circuito lógico y básico requería de numerosas resistencias, transistores etc. Todo esto cambio con la aparición de circuitos integrados que disponían dentro de ellos de componentes necesarios para una determinada tarea.

Los circuitos integrados, permitieron que el diseño se hiciera más sencillo. La aparición de estos, todo sería mucho más fácil de entender y los diseños electrónicos serían mucho más pequeños y simplificados. Con los circuitos integrados aparecieron unos componentes que incluían varios sistemas dentro, microcontroladores.

Un microcontrolador es un computador completo, aunque de limitadas prestaciones, que está contenido en el chip de un circuito integrado programable y se destina a gobernar una sola tarea con el programa que reside en su memoria. Sus líneas de entrada/salida soportan el conexionado de los sensores y actuadores del dispositivo a controlar. Integran memoria interna para almacenamiento de datos.

Entre los diferentes circuitos lógicos integrados podemos encontrar.

4.1.1 ASIC.

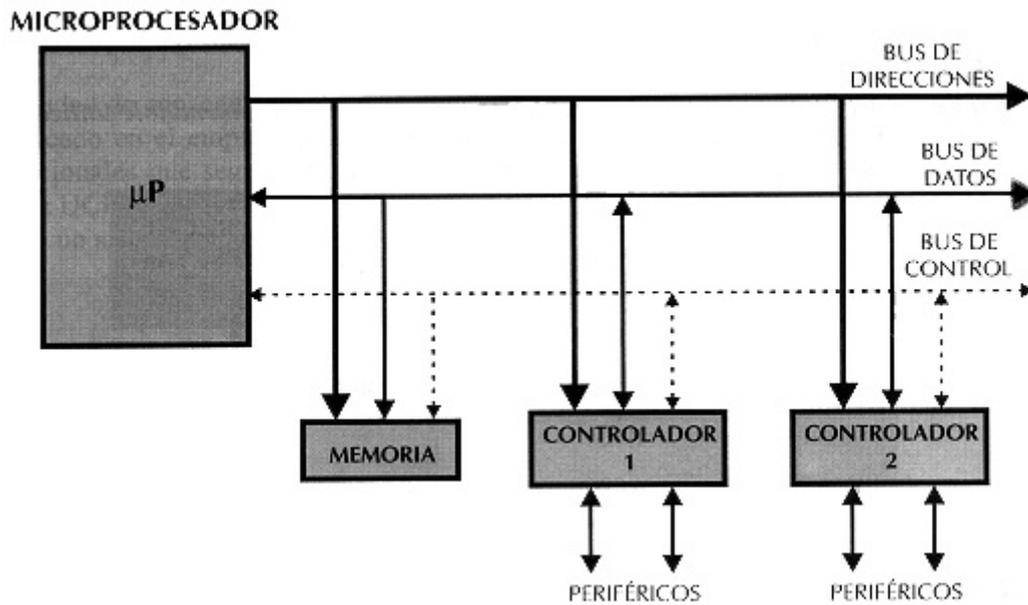
Circuito Integrado para aplicaciones específicas. Es un circuito integrado hecho a medida para un uso particular, en vez de ser concebido para propósitos de uso general. Es evidente que usar un circuito integrado a medida aumentaría el coste en gran medida por eso se descarta esta opción.

4.1.2 FPGA.

Dispositivo semiconductor que contiene bloques de lógica cuya interconexión y funcionalidad se puede programar. La lógica programable puede reproducir desde funciones tan sencillas como las llevadas a cabo por una puerta lógica o un sistema combinacional, hasta complejos sistemas en un chip. Los FPGAS se utilizan en sistemas similares a los ASIC pero consumen más y son más lentos.

4.1.3 Microprocesador.

Un microprocesador es un dispositivo que solo realiza procesamiento de datos cuando se precisa de gran capacidad de procesamiento, se usan en los ordenadores o sistemas que requieren hacer gran cantidad de cálculo de datos. Sobre estos sistemas actúan 3 buses de información diferentes.



Estructura conexión microcontrolador

Bus de direcciones, que indica el registro sobre el que actuar, un bus de datos que transmite la información y un bus de control que indica a quien va dirigido, dispositivos, memoria, controladores, sensores... este dispositivo no es como el microcontrolador que ya tiene todos los dispositivos integrados en uno.

4.1.4 Microcontrolador.

Los uC disponen básicamente de una unidad de control o procesamiento, una unidad aritmético lógica o centro de cálculo, memoria para la programación de la tarea RAM y ROM, sistema de almacenamiento EEPROM de datos adquiridos, reloj interno que controla la frecuencia de funcionamiento, entradas y salidas para comunicación serie o paralelo, sistemas de temporización, entre otras. En el mercado hay varios tipos de uC y cada uno con su forma de control.

Dentro de los tipos de micros podemos elegir entre micros de 8 o 16 bits, con uno de 8 bits nos bastaría para lo que pretendemos realizar pero visto que los de 16 bits son de precio similar y mayor rendimiento. Existen micros de 32 bits, pero se nos quedan muy lejos ya que no pretendemos controlar ningún dispositivo de de gran potencia, ya sea audio video u otro similar.

Varios fabricantes ofrecen uC entre ellos estos son los más destacables.

4.1.4.1 MOTOROLA-FREESCALE.

La elección de un MICROCONTROLADOR MOTOROLA-FREESCALE frente a sus homólogos, se debe a características tales como su bajo precio, velocidad, reducido consumo de energía, tamaño, facilidad de uso, fácil programación y lo mejor de todo son los recursos que la gran mayoría de estos microcontroladores presentan a la hora de diseñar cualquier aplicación.



Micro de Motorola

4.1.4.2 TEXAS INSTRUMENT.

Microcontroladores de ultra baja potencia, soluciones de alto rendimiento de diseño embebido para control en tiempo real y con procesadores ARM, el modelo MSP430 de 16 bits, con precio de un 8 bits, ofrecen una mayor memoria RAM que el resto.



Micro de Texas Instrument

4.1.4.1 MICROCHIP

Los microcontroladores PIC de Microchip Technology Inc. combinan una alta calidad, bajo coste y excelente rendimiento. Un gran número de estos microcontroladores son usados en una gran cantidad de aplicaciones tan comunes como periféricos del ordenador, datos de entrada automoción de datos, sistemas de seguridad y aplicaciones en el sector de telecomunicaciones.

Microchip dispone de una amplia familia de chips de 16 bits tenemos PIC24F PIC24H dsPIC30F y dsPIC33F, ante una familia pic o dspic esta ultima la más reciente de microchip tiene una arquitectura de uso digital como su nombre indica (Digital Signal Processing), una nueva forma de tratar señales digitales, estos tienen el inconveniente de no poseer casi memoria interna E2PROM, pero podemos intercambiar los pines de acceso para un posible mejor ruteo de la placa posterior.



Micro de Microchip

4.2 Metodología de trabajo.

La programación del microcontrolador se realiza en lenguaje de alto nivel basado en ANSI C, pero orientado a la programación de microcontroladores. El lenguaje usa la estructura de dos archivos un .c y .h en los cuales mediante las normas de programación en C se implementa el programa.

Este lenguaje presenta varias características:

Lenguaje de programación de propósitos generales.

Permite la Programación Estructurada.

Abundancia de Operadores y Tipos de Datos.

No está asociado a ningún sistema operativo ni a ninguna máquina.

Popular y Eficaz.

Permite el desarrollo de Sistemas Operativos y programas de aplicación.

Portabilidad.

Tiene sólo 32 palabras reservadas.

4.2.1 Nombres de variables y constantes.

Siguiendo la práctica habitual en C, para los nombres de variables se emplearon letras minúsculas y para los nombres de constantes letras mayúsculas.

Se utilizó nombres de variables y constantes que estuvieran relacionados con el propósito de la variable. Intentando evitar el uso de variables con nombres aux, x, y, etc.

Se nombraron las variables y constantes en inglés.

Nombres de funciones y procedimientos:

Los nombres de las funciones y procedimientos están en minúsculas e inglés y tienen relación con la "función" que realizan.

En los archivos .c se implementa el código fuente del programa, las funciones y los enlaces a otros ficheros.

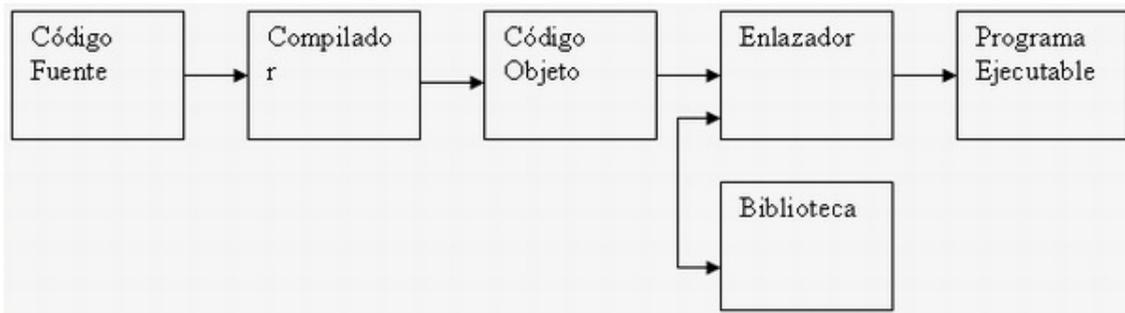
En los ficheros .h se definen las variables globales, las constantes y el prototipado de las funciones.

4.2.2 Entorno de desarrollo.

El desarrollo se ha llevado a cabo en el entorno de programación de PCW-CCS, una herramienta de escritura de ficheros en C, con un entorno gráfico para su realización. Al compilar genera un código máquina muy compacto y eficiente. Se integra perfectamente con MPLAB. Incluye una biblioteca muy completa de funciones precompiladas para el acceso al hardware de los dispositivos, entrada/salida, temporizaciones, conversor A/D, transmisión RS-232, bus I2C etc.

MPLAB es un entorno de desarrollo integrado (IDE). La característica IDE proporciona a los desarrolladores de software flexibilidad para editar, compilar, emular, simular, desarrollar y depurar su propio software para los microcontroladores de Microchip. El entorno dispone de varios dispositivos para realizar estas operaciones, en este caso hemos usado el enlazador de conexión con el chip el MPLAB ICD2 de microchip.

MPLAB ICD 2 es un dispositivo flash que puede tanto programar como depurar el programa. Con el software instalado, el programa se puede ejecutar en tiempo real, examinando en detalle su ejecución. El firmware interno puede ser actualizado fácilmente desde el sitio web de Microchip. Le permite seleccionar las variables a monitorear y establecer puntos de interrupción directamente desde el código fuente C ejecutar instrucciones paso a paso.



Desarrollo de programación

4.2.3 Estructura de archivos.

El firmware deseamos que sea reutilizable, para ellos se usa una programación modular, estructurado en capas.

Capa 0: Esta capa es la que gestiona la funcionalidad del dispositivo llamando al resto de funciones que controlan cada dispositivo y sus opciones a realizar.

Capa 1: Esta capa se apoyará en las funciones de la capa inferior y proporcionará datos a las de la capa superior.

Capa 2: Esta capa es la más próxima al hardware. Por cada dispositivo a controlar se implementará un .h y un .c con el nombre o descripción del dispositivo, que incluye las funciones de bajo nivel que permiten configurar/comunicarse/medir/etc. En este nivel se incluirán las funcionalidades básicas. Las funciones de esta capa incluyen delante el nombre o descripción del archivo, evitando de este modo la repetición de nombres de las funciones habituales.

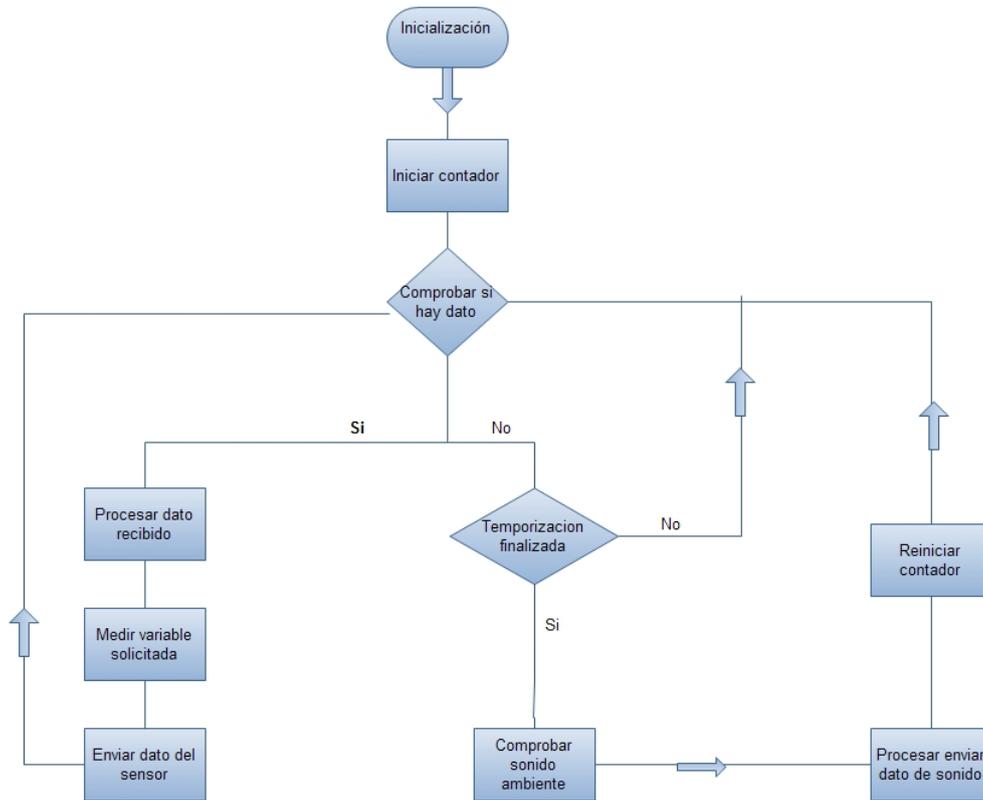
Tabla 10 Estructura de capas.

Capa 0	Capa 1	Capa 2
Ambiental	ambientalAMI	DS3231
	ZB_ATLibrary301	FM24CL04
	Store	SCP1000
	time	SHT75
		SPM0408HE5H
		TSL2561_LightSensor

La programación modular dispone de varias ventajas, es más fácil de entender, permiten ser leídas de forma secuencial. La estructura de los programas es clara, puesto que las instrucciones están ligadas entre sí y su estructura tiene una buena presentación. La depuración del programa se hace más sencilla.

4.3 Diagrama de flujo.

A continuación se describe el diagrama de operación para el modo de operación estándar.



Pasamos a describir las principales rutinas del diagrama.

4.3.1 Inicialización.

Al inicial el programa se realiza 3 actuaciones principales.

El programa establece los opciones de iniciación del micro, setup.

```
setup_wdt(WDT_OFF);
```

```
setup_timer1(TMR_INTERNAL|TMR_DIV_BY_64);
```

```
enable_interrupts(INT_TIMER1);  
  
setup_adc_ports(sAN10);  
  
setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);  
  
enable_interrupts(INT_RDA);
```

Llama a la función para crear la red de comunicación Zigbee.

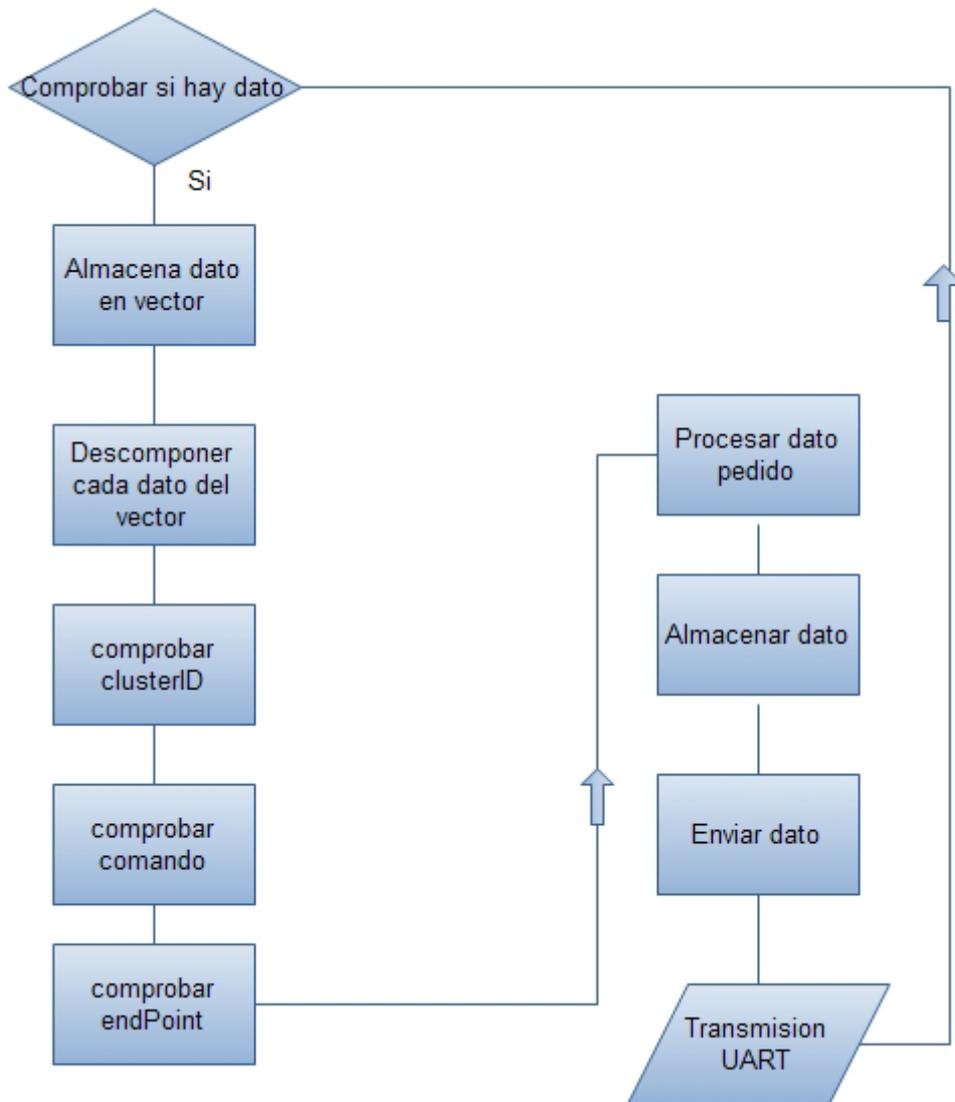
```
ZB_StartUpNet(void)
```

Establecemos el valor inicial de ciertas variables.

```
flagRx_Ok=0;  
  
flag_timer=0;  
  
Rx_IndexBuffer=0;
```



4.3.2 Comprobar si hay dato.



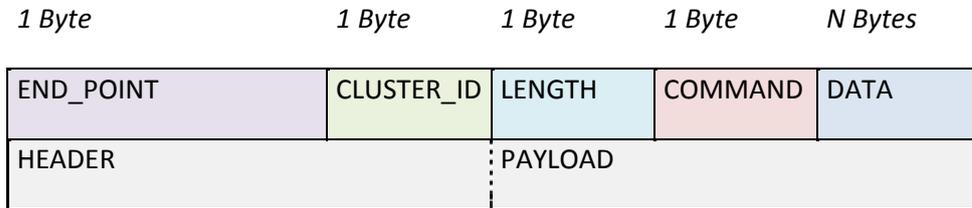
El programa entra en un bucle cerrado, en el que se espera a recibir un paquete de datos, para procesarlos y ver que deseamos obtener. Si no esperar que se acabe la temporización

Para el envió de datos se ha elegido el protocolo de OSGI4AMI, que manda una serie de estructura de datos seguidos, con un cierto orden y siempre igual, para después dividir el comando en partes y interpretar cada una. A si el programa actúa según la orden recibida.

En el siguiente esquema se muestra como es el comando de envió de datos del PC al nodo y del nodo al PC.

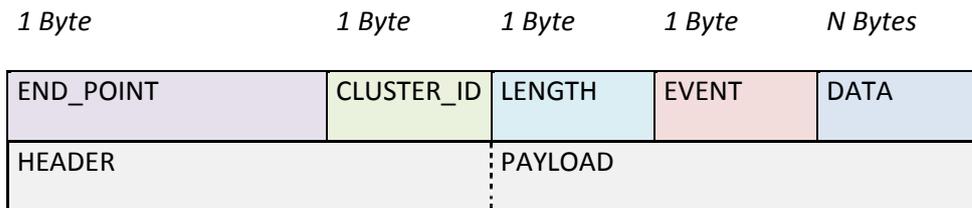
A continuación se muestra el protocolo de envío de datos, la estructura de paquete.

PC >> nodo (Comandos)



END_POINT	Identificador interno del dispositivo lógico
CLUSTER_ID	Grupo de atributos en el que se encuadra el mensaje
LENGTH	Longitud del Payload (N+1)
COMMAND	Comando para el nodo, específico del cluster
DATA	Parámetros del comando

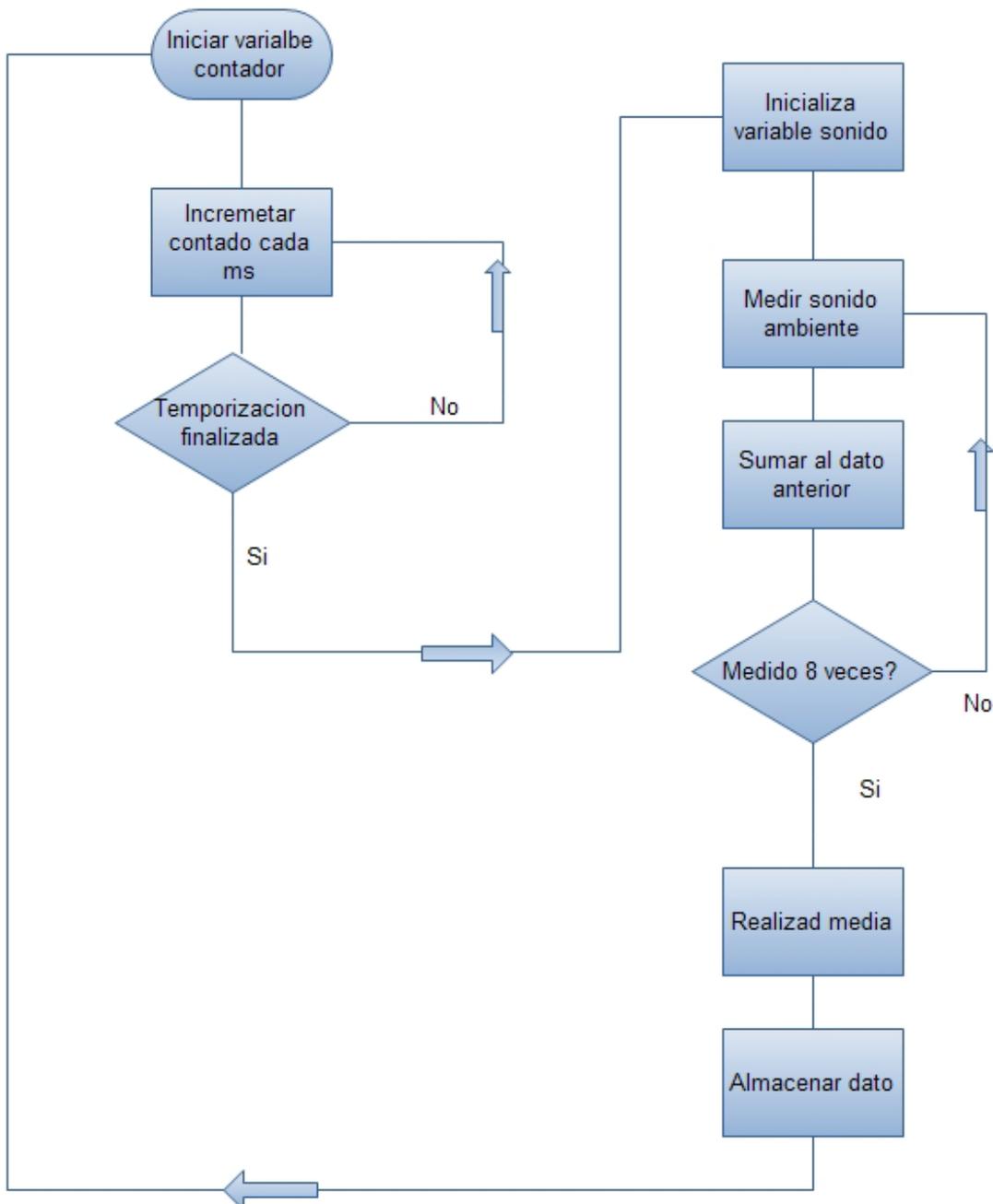
PC << nodo (Eventos)



END_POINT	Identificador interno del dispositivo lógico
CLUSTER_ID	Grupo de atributos en el que se encuadra el mensaje
LENGTH	Longitud del Payload (N+1)
EVENT	Respuesta del nodo, específico del cluster
DATA	Parámetros del comando

4.3.3 Temporización y medida de sonido ambiente.

Cada vez que se termina la temporización interna del micro establecida, se comprueba el sonido ambiente y se almacena el dato para después sea adquirido por usuario cuando lo desee.



4.4 Descripción librerías.

Para documentar el código fuente, se utiliza Doxygen como herramienta de apoyo. Este software permite incluir en el código fuente diferentes sintaxis de comentarios, que posteriormente utiliza el asistente para generar una amplia documentación en formato .html. A continuación se incluyen los reports generados separados por librerías y siguiendo la estructuración de capas.

4.4.1 Ambiental.

Funciones/ descripción

void main (void)
Program initialization and main loop.

4.4.2 AmbientalAMI.

Funciones/ descripción

void parseo (int8 * buffer, int8 nData)
Parsing function of action choice.

Parameters:

*bufferPointer vector data
nData number of data

4.4.3 ZB_ATLibrary301.

Funciones/ descripción

void ZB_GetPowerLevel (void)
Ask for the supply voltage of the device.

void ZB_NETDisassociate (void)
Disassociate Local Device From PAN.

void ZB_NETJoin (void)
Join Network.

void ZB_SSink (void)
Search For A Sink.

void ZB_SendToSinkD (int8 nDatos, int8 *Datos)

Send data in binary to the Sink.

Parameters:

nDatos number of data to send.

*Datos pointer to a byte array with the data to send.

char hex2char (int8 AuxHex)

Convert hexadecimal to char.

Parameters:

AuxHex number in hexadecimal.

Returns:

return char converter

void ZB_SendToAddress (int8 nDatos, int8 *Address, int8 *Datos)

Send data in binary to Address.

Parameters:

*Address direction to send.

nDatos number of data to send .

*Datos pointer to a byte array with the data to send.

void ZB_StartUpNet (void)

Connect the Zigbee device to the preconfigured network.

void ZB_TGBootloader (int8 ZB_Bootlader_Type)

Function to configure the Zigbee device the first time

void ZB_PowerMode (int8 PowerMode)

Change the power level.

PowerMode Put one power mode label.

void ZB_PowerConf (int8 PowerMode)

Change the power mode.

PowerMode Put one power mode label.

4.4.4 Store.

Funciones/ descripción

int8 read_nvRAM (int8 Address)

Function to read 1 data of nvRAM.

Address direction of read.

Returns:

data read.

int8 readn_nvRAM (int8 Address, int8 nDatos)

Function to read n data of nvRAM.

Parameters:

Address direction of read
nDatos number of data to read.

Returns:

pointer of the first data.

void white_nvRAM (int8 Address, dato)
Function to write 1 data in nvRAM.

Parameters:

Address writing direction.
dato data to write.

void whiten_nvRAM (int8 Address, int8 nDatos, int8 *datos)
Function to write n data in nvRAM.

Parameters:

Address writing direction.
nDatos number of data to write.
*datos pointer writing direction vector.

4.4.5 Time.

Funciones/ descripción

void set_hour (int8 hr, int8 min, int8 sec)
Function set RTC hours.

Parameters:

hr hours .
min minutes.
sec seconds.

void read_hour (int8 &hr, int8 &min, int8 &sec)
Function gets RTC hours.

Parameters:

&hr value hours
&min value minutes
&sec value seconds

void set_date (int8 dow, int8 day, int8 mth, int8 year)
Function set RTC date.

Parameters:

Dow day of week

day
mth month
year

void read_date (int8 &dow, int8 &day, int8 &mth, int8 &year)

Function gets RTC date.

Parameters:

&Dow value day of week .

&day value.

&mth value month .

&year value.

4.4.6 DS3231.

Funciones/ descripción

int8 DS3231_bin2bcd (int8 binary_value)

Converts binary number to bcd.

Parameters:

bcd_value Bcd number to be converted.

Returns:

Number converted to binary

int8 DS3231_bcd2bin (int8 bcd_value)

Converts bcd number to binary.

Parameters:

binary_value Binary number to be converted

void DS3231_Set_Mode (int8 mode)

Set mode.

Parameters:

mode Select to mode function

int8 DS3231_Read_Status (void)

Read device status.

Returns:

Device status

void DS3231_Set_Date (int8 dow, int8 day, int8 mth, int8 year)

Sets date.

Parameters:

Dow Day of the week

Day
Mth Month
Year

void DS3231_Get_Date (int8 &dow, int8 &day, int8 &mth, int8 &year)
Sets date.

Parameters:

&dow Day of the week address
&day Day address
&mth Month address
&year Year address

void DS3231_Set_Time (int8 hr, int8 min, int8 sec)
Sets time.

Parameters:

hr Hours
min Minutes
sec Seconds

void DS3231_Get_Time (int8 &hr, int8 &min, int8 &sec)
Gets time.

Parameters:

&hr Hours address
&min Minutes address
&sec Seconds address

void DS3231_Set_TimeSec (int32 secs)
Sets time using the second of the day.

Parameters:

secs Second of the day

void DS3231_Get_TimesSec (int32 &secs)
Gets time of the day in seconds.

Parameters:

&secs Second of the day address

void DS3231_Set_Alarm (int8 NumAlarm, int8 day, int8 hr, int8 min, int8 sec, int8 config)
Sets Alarm.

Parameters:

NumAlarm Alarm Number (1 or 2)

Day
hr Hours
min Minutes
sec Seconds
config Configuration

void DS3231_Get_Alarm (int8 NumAlarm, int8 &day, int8 &hr, int8 &min, int8 &sec)

Gets Alarm configuration

Parameters:

NumAlarm Alarm Number (1 or 2)
&day Day address
&hr Hours address
&min Minutes address
&sec Seconds address

void DS3231_ReadAlarms (int1 &A1F, int1 &A2F)

Reads alarm flags.

Parameters:

&A1F Alarm 1 Flag address
&A2F Alarm 2 Flag address

void DS3231_Set_AlamSec (int32 secs)

Sets Alarm 1 using only seconds of the day.

Parameters:

secs Seconds of the day.

void DS3231_Get_AlamSec (int32 &secs)

Gets Alarm 1 in seconds of the day.

Parameters:

&secs Second of the day address

4.4.7 FM24CL04.

Funciones/ descripción

void write_byte_nvRAM (int8 direccion, int8 dato)

Write 1 byte in nvRAM

Parameters:

direccion address of write
dato data to write

void write_nbyte_nvRAM (int8 direccion, int8 nDatos, int8 *Datos)
Write n byte in nvRAM

Parameters:

direccion address of write

nDatos number of data

*Datos pointers of data

int8 read_byte_nvRAM (int8 direccion)
Read 1 byte in nvRAM

Parameters:

dirección address of read

Returns:

Data read

int8 read_nbyte_nvRAM (int8 direccion, int8 nDatos)
Read n byte in nvRAM

Parameters:

Direccion address of read

nDatos number of data.

Returns:

Data read address

int1 nvRAM_ready (void)
check list nvRAM.

Returns:

Ack ok.

4.4.8 SCP1000.

Funciones/ descripción

unsigned int8 SCP1000_read_register (char register_name)
Read 1 byte to SCP1000.

Parameters:

register_name direction of register of read.

Returns:

Register read.

void SCP1000_write_register (char register_name, char register_value)
Write 1 byte to SCP1000.

Parameters:

register_name direction of register of write
register_value data to write

float SCP1000_read_register16 (char register_name)
Read 16 bits data to SCP1000.

Parameters:

register_name direction of register of read.

Returns:

Read register 16 bits

unsigned long SCP1000_readPressure (void)
Processing pressure SCP1000

Return:

Pressure value.

float SCP1000_readTemperature (void)

Processing temperature SCP1000.

Return:

temperature value.

void SCP1000_init (SCP_MODE)
Initialized mode SCP1000.

Parameters:

SCP_MODE mode of function sensor.

int16 SCP1000_get_high (float temp, long presion)
Calculate high.

Parameters:

temp temperature value .
presion pressure value.

Return:

Estimated height.

4.4.9 SHT75.

Funciones/ descripción

void SHT75_start (void)

Activation of sensor.

int1 SHT75_write_data (int8 iobyte)

Write data to SHT75.

Parameters:

Iobyte direction of register of write.

Return:

Ack value.

int16 SHT75_read_data (void)

Read data from SHT75.

Return:

Read value.

void SHT75_wait (void)

Wait for SHT75 reading.

void SHT75_reset (void)

Reset SHT75 communication.

void SHT75_soft_reset (void)

Soft reset SHT75.

int16 SHT75_MeasureTemp (void)

Measure SHT75 temperature.

Return:

Read temperature data

int16 SHT75_MeasureHum (void)

Measure SHT75 RH.

Return:

Read humidity data

void SHT75_calculate (int16 temp, int16 humid, float &tc, float &rhlin, float &rhtrue)

Calculate SHT75 temp & RH.

Parameters:

temp read temperature
humid read humidity
&tc calculate temperature reading address
&rhlin calculate Real RH reading address
&rhtrue calculate True RH reading address

void SHT75_TempHum (float &temp, float &>truehumid)
measure & calculate SHT75 temp & RH.

Parameters:

&temp temperature reading
&truehumid humidity relative reading

void SHT75_init (void)
Initialize SHT75 on power-up.

4.4.10 SPM0408HE5H.

Funciones/ descripción

int16 SPM0408HE5H_read (void)
Read value microphone.

Return:

Value sound.

4.4.11 TSL2561_LightSensor.

Funciones/ descripción

int8 TSL2560_Read1Byte (int8 address)
Read 1 byte

Parameters:

address of read

Return:

Value byte read

void TSL2560_Write1Bytes (int8 address, int8 data)
Write 1 byte

Parameters:

address of write
data to write

int16 TSL2560_Read2Bytes (int8 address)

Read 2 bytes

Parameters:

address of reads.

Return:

Value 2 bytes reads

void TSL2560_Write2Bytes (int8 address, int16 data)

Write 2 bytes

Parameters:

address of write

data to write

void TSL2560_PowerUp (void)

Activate sensor

void TSL2560_PowerDown (void)

Deactivate sensor.

int1 TSL2560_Init (void)

Initialize sensor

Return:

Ack value.

int8 TSL2560_ReadID (void)

Reading the ID Register.

Return:

Value ID register.

int16 TSL2560_ReadChannel0 (void)

Reading the canal0.

Return:

Value channel0.

int16 TSL2560_ReadChannel1 (void)

Reading the canal1.

Return:

Value channel1.

int16 TSL2560_Calculate_Lux (float Canal0, float Canal1)

Lux calculate

Parameters:

canal0 reading canal0
canal1 reading canal1

Return:

Value Lux calculate

int16 TL2561_luxes (void)
lux calculate

Return:

Value Lux

5.- COMUNICACION.

5.1 Problemática/ Necesidades.

Como se ha expuesto en capítulos anteriores, los datos adquiridos por el dispositivo deberán ser puestos a disposición del sistema central o incluso de otros dispositivos integrados en el ambiente inteligente. Adicionalmente se requerirá modificar parámetros de operación del dispositivo. Ambos requisitos, ponen de manifiesto la necesidad de un medio de comunicación del dispositivo con su entorno.

Ya se ha comentado, que aspectos como fácil integración en el entorno, sencillez de mantenimiento, posibilidad de modificación de ubicación y autonomía se consideran prioritarios. Todos estos requisitos a priori, indican la necesidad de plantearse una comunicación inalámbrica. La comunicación inalámbrica permite enviar y recibir datos sin tener que disponer de una red de cableado, esto nos lleva a poder comunicarnos entre dispositivos separados distancias grandes más cómodamente. Ciertos tipos de tecnologías inalámbricas, permiten que los dispositivos se comuniquen entre sí, mediante la creación de una red.

En la actualidad todos nuestros dispositivos suelen ser controlados a distancia. Al principio pocos como la TV, ahora todos ellos (TV, DVD, cámaras digitales, puerta del garaje, coches, alarmas...) llevan algún tipo de comunicación inalámbrica.

5.2 Estado del arte

Actualmente encontramos 4 sistemas de comunicación inalámbrica ampliamente utilizados WIFI, Wiimax, Bluetooth y ZigBee. Estos dos últimos muy parecidos y de las características deseadas. Además de la tecnología de comunicación de redes móviles como es el 4G/3G/GPRS/GSM

5.2.1 WIFI.

WIFI es la tecnología de comunicación inalámbrica más extendida y usada actualmente sobre todo en comunicaciones a través de internet. Descrita en el estándar IEEE 802.11b/g/n (en el que la letra nos informa de la versión y velocidad de transmisión) la velocidad de transmisión llega a alcanzar los 100Mbps transmitiendo en la frecuencia de 2.4GHz. Esta tecnología conlleva un gran consumo, del orden de los 400mA en comunicación y 20mA en reposo. Es recomendable encriptar los datos mediante WPA o la predecesora WEP, para garantizar la seguridad de la conexión.

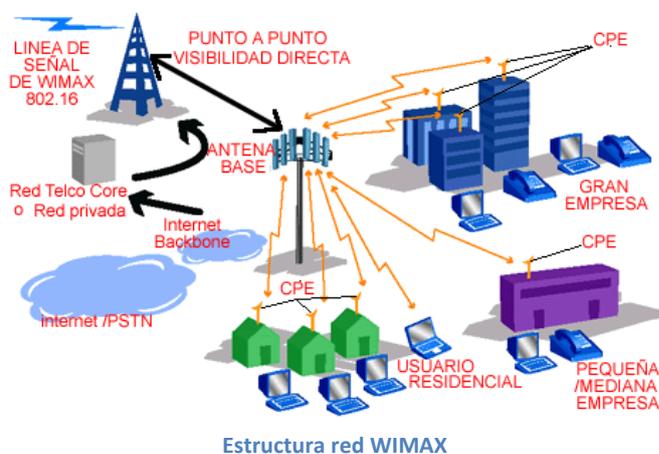
No es la tecnología adecuada para este proyecto, ya que no deseamos tanta transferencia de información y presenta un elevado consumo. Además como se muestra en la imagen, no es una tecnología para crear redes malladas sino, unas redes con nodo central (router), que es el que recibe y manda la información al resto.



Modem WIFI

5.2.2 WIIMAX.

Sistema de comunicación inalámbrica, que transmite en el rango de frecuencias de 2.3 a 3.5 GHz, descrita en el protocolo IEEE 802.16. Mediante la colocación de las antenas adecuadas puede llegar a transmitir a 80km y una velocidad de hasta 125 Mbps. Gracias a estas capacidades, actualmente se hace uso de WIIMAX para desplegar redes metropolitanas de acceso a internet o transmisión de datos en áreas con baja densidad de población, en las que sería costoso utilizar comunicación cableada.



5.2.3 Bluetooth.

Bluetooth es un sistema de comunicación rápida de pequeños paquetes de datos, su uso se centra en móviles y pequeños dispositivos. Debido al pequeño tamaño de los sistemas que lo implementa y a su gran uso es bastante económico. Pueden conectarse un máximo de 7 esclavos y 1 maestro en una red Bluetooth. Las piconets es la tipología de red usada para conectar los dispositivos, en ella debe haber 2 dispositivos mínimo, en la que el maestro solo puede estar en una piconet, mientras el esclavo en varias. Su sistema de transmisión es omnidireccional.

Consumo 40mA en transmisión y 0.2mA en reposo aunque este no se puede mantener dormido sino, que siempre está transmitiendo y recibiendo, esto hace que tenga un elevado consumo. Puede llegar a tener una velocidad de transmisión de hasta 1Mbps. Debido a su velocidad este sistema es usado en dispositivos móviles y informática casera, pero los

dispositivos deben estar próximos ya que no alcanza más que 10 metros de comunicación.

Usan el sistema de seguridad Spread Spectrum Frequency Hopping como técnica de multiplexación, garantiza las comunicaciones entre dispositivos y que estas, no sean interceptadas. Adicionalmente el sistema usa un sistema de autenticación del dispositivo para comunicarse a la red y un cifrado para proteger la información.



Dispositivo bluetooth USB

5.2.4 ZigBee.

ZigBee es un protocolo de comunicación ampliamente utilizado en el ámbito doméstico, de transmisión de datos entre sensores y control remoto, ya que permite el uso de varios nodos remotos. Una red ZigBee puede constar de un máximo de 65535 nodos distribuidos en subredes de 255 nodos. Consume unos 30mA en transmisión y 3uA en reposo.

Zigbee tiene una velocidad de hasta 250 Kbps Debido a la velocidad relativamente moderada, ZigBee resulta inadecuado para tareas que necesiten una gran tasa de transmisión de datos como streaming de música y video, sin embargo es ampliamente versátil en la transferencia de pequeños paquetes de datos. Por ello, su mercado principal se centra en aplicaciones domésticas, productos con alimentación a partir de batería, sensores médicos, y en artículos de juguetería, en los cuales la transferencia de datos es menor.

5.2.5 4G/3G/GPRS/GSM.

Sistema de comunicación muy extendido en los dispositivos móviles, sobre todo en el uso del teléfono móvil

El GSM sistema global para comunicaciones móviles, es el estándar de comunicación más extendido, permite enviar, recibir mensajes, navegar... Actualmente ha quedado ya desfasado aunque siguen usándolo la mayoría de los dispositivos, y se siguen generando estándares de última generación como puede ser el 3G o UMTS. La banda GSM 900 MHz es la usada en Europa. Permite alcanzar transmisiones a 564 Kbps mediante GSM_EDGE, pero el sistema tradicional apenas consigue 9.6 Kbps Alcanza cientos de metros en áreas urbanas y hasta 35 kilómetros en zonas rurales.

El GPRS es una extensión del GSM, servicio general de paquetes vía radio, desarrolla una velocidad de 171 Kbps, que permite un envío de datos no continuo y así la facturación solo se realiza por datos enviados, no por tiempo.

El sistema 3G, es el sistema de comunicación de tercera generación, o también conocida como UMTS, servicio universal de telecomunicación móvil. Inicialmente ideado para permitir la transferencia de voz y datos, así como videollamadas. Este sistema puede usarse en dispositivos portátiles a través de un USB pero teniendo que tener una tarjeta SIM. El máximo de conexión teórico es de 3,6 Mbps, en pocos sitios alcanzable ya que depende de las compañías.

El más reciente sistema, 4G una novedad en Europa para dispositivos móviles de cuarta generación, competencia de la red WIIMAX. Permite velocidades de 100Mbps, se basa en el protocolo IP, siendo un sistema de sistemas, una colección de tecnologías y protocolos, del resto de sistemas.

5.2.6 Tabla comparación.

Dispositivo	Ancho de banda	Consumo Transmitiendo/ reposo	Rango de cobertura	Ventajas	Aplicaciones	Introducción en el mercado	Coste
WIFI	<100Mbps	400mA/20mA	100 metros	Gran ancho de banda	Navegación, redes de ordenadores.	Alta	Costoso
WIIMAX	<125Mbps		80 Km	Gran ancho de banda	Lugares poco accesibles, internet...	Baja	Más caro
Bluetooth	1 Mbps	40mA/0.2mA	10 metros	Sustituto del cable	Móviles, informática casera.	Media	Accesible
ZigBee	250 Kbps	30mA/3uA	10-100 metros	Batería larga duración, bajo coste.	Domotica, juguetería, sensores médicos.	Baja	Mas barato
GSM	9 Kbps	0.7 mA	300 metros -35 Km	Comunicación fácil	Telefonía móvil	Alta	Barato
GPRS	171 Kbps	5mA/ 2mA		Mejora del GSM, mayor velocidad	Telefonía móvil	Alta	Barato
3G	3.6 Mbps	150 mA		Transmisión de video y audio	Telefonía móvil, internet portátil	Media	Caro
4G	100 Mbps			Gran transmisión a alta velocidad	Telefonía móvil	Muy baja	Muy caro

En base a los requisitos necesarios y las prestaciones de los diferentes sistemas para la comunicación inalámbrica utilizaremos la tecnología Zigbee, ya que sus características de seguridad, consumo, coste y capacidad de desplegar topologías tipo red, la hacen más idónea para el presente proyecto

5.3 Descripción Zigbee.

5.3.1 Sistema Zigbee.

ZigBee es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radio digital de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4. Usado para aplicaciones de comunicación de baja tasa de datos y orientado a una mayor duración de las baterías.

ZigBee es promovida por la ZigBee Alliance, una comunidad internacional de más de 100 compañías como Motorola, Mitsubishi, Philips, Samsung, Siemens. Permite habilitar redes inalámbricas con capacidades de control y monitoreo que sean confiables, de bajo consumo energético y de bajo costo, que funcione vía radio y de modo bidireccional; todo basado en un estándar público global que permita a cualquier fabricante crear productos que sean compatibles entre ellos.

En principio, el ámbito donde se prevé que esta tecnología cobre más fuerza es en domótica debido a su bajo consumo, topología de red en malla y su fácil integración. Otro atractivo importante para este sector, es que se pueden fabricar nodos con muy poca electrónica.

ZigBee utiliza la banda ISM para usos industriales, científicos y médicos, en concreto, 868 MHz en Europa, 915 en Estados Unidos y 2,4 GHz en todo el mundo. Pero la mayoría de los dispositivos usan la 2,4 GHz, por ser libre en todo el mundo. El desarrollo de la tecnología se centra en la sencillez y el bajo coste más que otras redes inalámbricas semejantes de la familia WPAN, como por ejemplo Bluetooth. El nodo ZigBee más completo requiere en teoría cerca del 10% del hardware de un nodo Bluetooth o WiFi típico; esta cifra baja al 2% para los nodos más sencillos. No obstante, el tamaño del código en sí es bastante mayor y se acerca al 50% del tamaño del de Bluetooth. Se anuncian dispositivos con hasta 128 Kbyte de almacenamiento.

5.3.1.1 Tipos dispositivos.

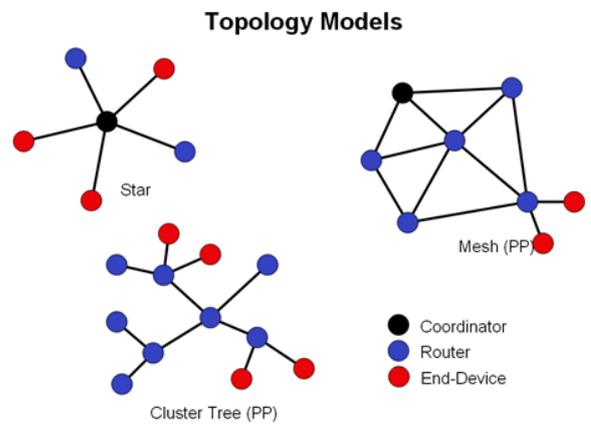
Zigbee está configurado para poder tener acceso a distintos puntos, creando una red que permita la conexión entre diferentes dispositivos. Esta red puede ser de varios tipos, suele ser frecuente encontrar en las

diferentes topologías un coordinador que controle la red, unos router para la ejecución y unos dispositivos finales que se conectan con el coordinador. Los diferentes tipos de dispositivos que pueden encontrarse en una red ZigBee son:

Coordinador Zigbee (ZC): Dispositivo más completo, debe existir uno por red, actúa como enlace entre otras redes, siendo el director de una red en árbol. Es el nodo de comienzo de cada red, único en cada una ellas. Almacena toda la información de la red, así como el sistema de distribución de claves de cifrado.

Router Zigbee (ZR): Actúa como router interconectado dispositivos separados en la topología de red. Mantiene la información sobre la red para crear el mejor enrutado del un paquete de información. Retransmite paquetes de otros paquetes o de dispositivo final.

Dispositivo final (ZigBee end device, ZED): Básicamente se conecta con su padre no puede transmitir información destinada a otros dispositivos. Transmite los datos al padre, o los recibe de este, el cual le controla, así puede estar dormido la mayor parte del tiempo, solo despertarse cuando es necesario aumentado la duración de la batería. Requiere requisitos mínimos de memoria y por eso es el más barato.



Modelos de topología de red Zigbee

5.3.1.2 Capas Zigbee.

Zigbee puede describirse de acuerdo al modelo OSI, que define diferentes capas independientes unas de las otras.



Capas modelo OSI

A continuación se describen algunas de las características de las diferentes capas, comenzando por la capa más próxima al dispositivo físico:

Capa física (PHY), la de más bajo nivel, junto con la capa de enlace de datos (MAC) realizan la transmisión de datos por el aire. Están descritas en los estándares IEEE 802.15.4–2003. Como se ha comentado, trabaja en la bandas de ISM de uso no regulado, con hasta 16 canales en el rango 2.4GHz.

Capa de red (NWK) conlleva la realización del correcto uso del subnivel (MAC) para ofrecer una interfaz adecuada para su uso en la parte de aplicación. Describe los requisitos para unirse a la red, crear la red, entregar paquetes etc. La Zigbee Alliance define esta capa así como los mecanismos para mantener la comunicación y el medio de transmisión de datos dentro de la red, filtrar paquetes a nivel de aplicación y simplificar el envío de datos a los diferentes nodos.

Capa de aplicación (APL) provee los mecanismos e interfaces a través de los cuales se simplifica el uso del dispositivo, gracias a la gestión de las capas inferiores.

Ante las directrices de la ZigBee Alliance un fabricante como Ember nos aporta unos chips dentro de la capa de red (NWK) que nos permiten realizar una comunicación según los estándares ZigBee. Establecer una red ZigBee con estos dispositivos, entraña cierta dificultad, ya que, el usuario tiene que crearse las rutas entre los distintos dispositivos, mantener la red, crear las ordenes de comunicación. Adicionalmente, estos integrados suelen requerir etapas electrónicas externas, como la de radiofrecuencia, oscilación y alimentación.

5.3.2 Zigbee Telegesis.

Como se ha comentado, el trabajo directo con los integrados de RF, entrañan cierta dificultad, por ello, otros fabricantes, como Telegesis ya aportan un sistema integrado con las diferentes etapas necesarias. Adicionalmente, ofrecen un control e interfaz simplificado, para el control de la red. Se puede decir que sus dispositivos se enmarcan dentro de la capa de aplicación (APL), ya con unas normas de comunicación. Este sistema crea y mantiene las redes, ofrece al usuario facilidades de trabajo, gracias a una serie de comandos establecidos por el fabricante.

Dentro de la oferta de dispositivos de Telegesis, para la realización del presente proyecto se ha seleccionado el modulo ETRX357. Este dispositivo nos permite establecer una comunicación ZigBee de modo relativamente sencillo. La comunicación con el módulo de Telegesis se lleva a cabo a través de una UART haciendo uso de un protocolo de comunicación basado en un juego de comandos al estilo AT.

Cada dispositivo consta de un número de dirección EUI64 propio de fábrica, que nos permite identificarlo y sirve como dirección para el envío de datos.

5.4 Estructura control.

Para el control y configuración del sistema Telegesis [15] ofrece una serie de comandos, registros y funciones preconstruidas, que son descritas en el manual del mismo y permiten al usuario su interacción con él.

5.4.1 Registros.

Los registros permiten configurar la red, así como el comportamiento del dispositivo. Por ejemplo, en el registro ATSOA, se puede configurar el dispositivo como coordinador, router o nodo final. Podemos elegir la velocidad de comunicación de la UART en ATS12. Otras opciones como establecer la contraseña de comunicación, el nombre del dispositivo, el canal de transmisión tienen asociados sus correspondientes registros.

Forma de modificar:

ATS002= 0001 Modificamos el registro 02.

ATS002? Preguntamos cuál es el valor de ese registro.

5.4.2 Funciones.

Las funciones preconstruidas nos permiten controlar una serie de actuaciones del dispositivo, algunas funciones se pueden disparar a través de interrupciones asociadas cada una a una temporización. Todas las funciones temporizadas, se definen en dos registros, uno que controla el tiempo de la temporización y otro que acción debe realizar, existiendo una lista de las funciones posibles. Como por ejemplo Poll Parent ATS29 donde se controla la duración de la temporización y el ATS2A pregunta el padre si tiene algún dato.

5.4.3 Comandos.

Los comandos permiten la configuración, manejo de red, y gestión del tráfico de datos entre otras funciones. Los comandos de manejo de la red permiten realizar la conexión a una red, crearla, busca algún punto de conexión, información de si se encuentra conectado ya alguna.

Por su parte los comandos de transferencia de datos, permiten definir qué tipo de dato vamos a enviar, y si es para toda la red o solo para un dispositivo en concreto. A continuación se comentan algunos de los comando más utilizados.

5.4.3.1 Comandos de configuración y redes.

ATI muestra la información del dispositivo, nombre dispositivo, versión de firmware, número de EUI64.

AT+EN	Establece una red.
AT+JN	Se une a una red.
AT+SN	Muestra información de la red a la que está conectado.

5.4.3.2 Comandos de transferencia.

AT+BCAST	Transmitir caracteres a toda la red.
AT+BCASTB	Transmitir numero binario a toda la red.
AT+UCAST	Transmitir caracteres a un dirección.
AT+UCASTB	Transmitir numero binario a un dirección.

5.4 Metodología de puesta a punto del dispositivo.

A continuación exponemos en orden de uso, una serie de comandos necesarios para la puesta a punto del sistema de transmisión de datos.

En un principio ajustamos los registros más necesarios, para ello, se parte de la configuración por defecto de fábrica.

Al iniciar se realiza un AT&F para establecer valores de fábrica.

Se establece la velocidad de comunicación de la UART a 115200 en el registro 12:

ATS12=0C10.

Elegimos la potencia de emisión:

ATS01=4.

Establecemos el password de manipulación de registros.

ATS0C=victor:password.

Establecemos respetivamente si va a ser coordinador para el ZigBee conectado al ordenador o nodo final para el dispositivo ambiental inteligente. Esto se realiza en el registro de función principal 0A.

ATS0A=0500:victor

ATS0A=4501:victor

Después debemos crear la red. Para establecer la red le decimos al coordinador que se disocie de la red, AT+DASSL, por si estaba unido en alguna.

Creamos la red AT+EN.

En el dispositivo final también desconectamos de alguna posible red, AT+DASSL.

Después de haberlo desasociado de una posible red anterior le decimos que se conecte a una red, AT+JN.

Luego tenemos otra serie de parámetros que le preguntamos en qué situación de red esta AT+N.

La información del dispositivo (nombre del dispositivo, versión de firmware, y número de EUI64) ATI.

Mandamos un dato para probar la conexión desde cada uno de los dispositivos, del coordinador al, nodo final y viceversa, con el comando AT+BCASTB:XX:nn, XX el dato nn el número de datos.

Utilizamos AT+UCASTB:dato:address para mandar el número en hexadecimal al coordinador, a través de su dirección.

6.- INICIACION DEL SISTEMA.

6.1 Condiciones de funcionamiento, puesta en marcha.

Para un buen uso del dispositivo se deben seguir unos pasos que permitirán un correcto funcionamiento del mismo, cuando se inicie su uso.

Primero deberemos conectar el coordinador Zigbee en nuestro PC, y abrir el sistema de comunicación y comprobar que el sistema esta como coordinador de la red. Si no estaba establecida ya.

Introduciremos la pila, en su conexión correspondiente, alimentando a todo el sistema, si viéramos que no hay tensión deberíamos conectar el sistema al bus de alimentación para cargar la batería.

El propio sistema al ser alimentado se unirá a la red del coordinador establecida en el PC, tras unos 10-20 segundos ya estaremos listos en enviar datos al sistema con el paquete de datos correspondiente.

6.2 Operación del sistema.

Una vez que tenemos el sistema alimentado y operativo, podemos solicitar al dispositivo que nos proporcione valores de los sensores. Para ello enviamos un paquete de datos, este paquete de datos ya ha sido descrito con anterioridad en el apartado de firmware, que consta de un conjunto de números en hexadecimal.

El sistema procesa el paquete de datos y nos devuelve un paquete de datos con lo solicitado.

El mensaje que debe contener el paquete de datos que permite conocer cada valor de los sensores es el siguiente.

6.2.1 Instrucciones de envío.

Para el envío de datos, tenemos el siguiente conjunto de instrucciones, en números hexadecimales que nos permiten obtener el dato deseado. Estos comandos son los desarrollados para el prototipo desarrollado/ demo, podían haber sido otros.

Elemento	Comando
Temperatura	11 10 01 00
Presión	12 10 01 00
Humedad	13 10 01 00
Luminosidad	14 10 01 00
Sonido	15 10 01 00
Establecer fecha	16 08 08 00 *
Leer fecha	16 08 01 01
Establecer alarma	16 08 05 02 **
Leer alarma	16 08 01 03

Al establecer la fecha y la alarma en el paquete de datos hay que incluir los datos a introducir.

*Establecer fecha: 16 08 09 00 dow day mth year hr min sec

**Establecer alarma: 16 08 09 02 day, hr,min,sec

Ejemplo de posible dato de envío y recepción:

Para pedir un dato de humedad introducimos el comando de envío.

Comando enviado: 11100100

13 (EndPoint)	10 (Cluster)	01 (Length)	00 (Command)
---------------	--------------	-------------	--------------

Tras el procesamiento el dispositivo devuelve el valor siguiente.

Comando de respuesta: 101005003109

13 (EndPoint)	10 (Cluster)	05 (Length)	00(Event)	S _H Low	S _H High
---------------	--------------	-------------	-----------	--------------------	---------------------

$S_T = 0x931 = 0d2353 \rightarrow H = 75.79 \%RH$

El dato obtenido se procesa como dice en el datasheet de cada sensor y obtenemos el resultado deseado, en este caso 75.79% RH.

7.- CONCLUSIONES

7.1 Desarrollo del proyecto.

La realización del proyecto se ha llevado a cabo durante varios meses de trabajo, a continuación podemos ver un diagrama de la evolución temporal de la realización del mismo.

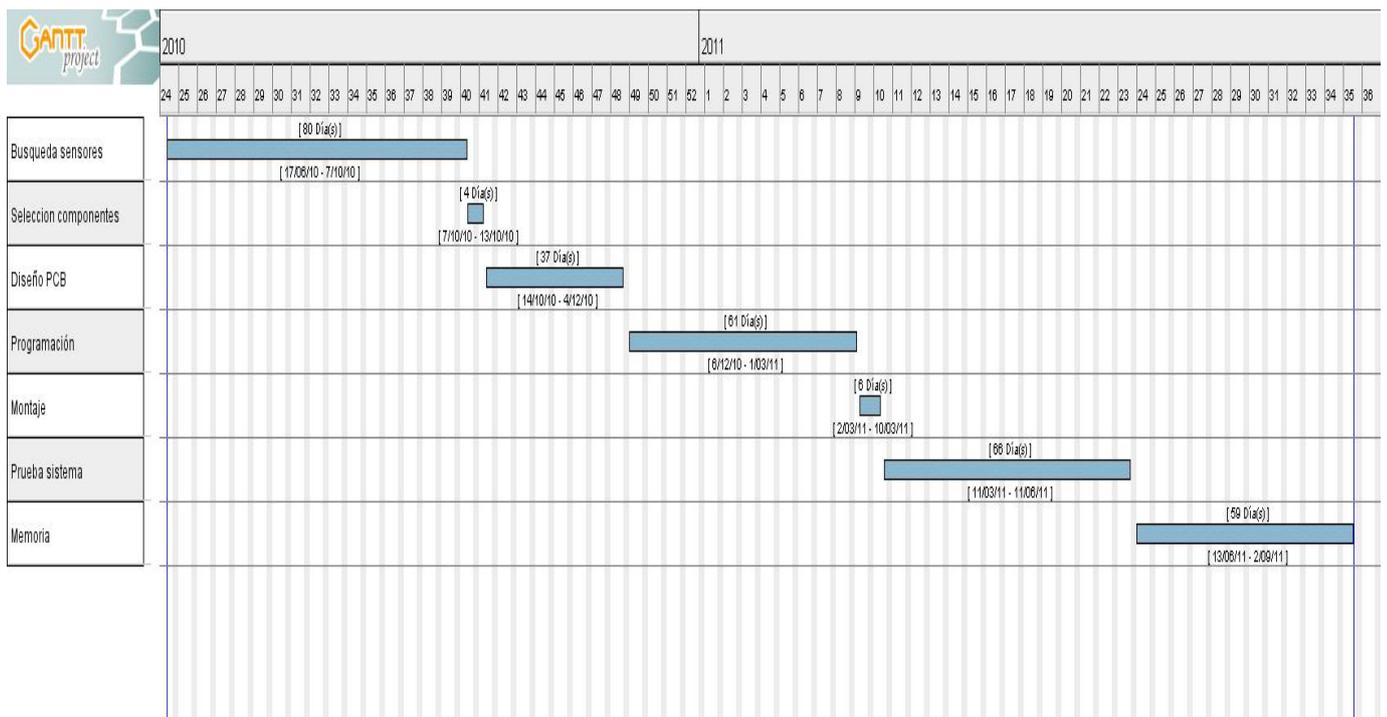


Diagrama de Gantt

La relación de programas u otras herramientas usadas, para el desarrollo de las diversas tareas del proyecto son las siguientes:

- Altium Designer Summer 2009 software de desarrollo completo de la PCB, permite la realización de un esquema general, y el desarrollo del esquemático de PCB, usando las librerías ya existen o creando propias si es necesario.
El nos genera los archivos Gerber para la fabricación de la placa.
- PCWHD Compiler 4.088, herramienta de escritura de archivos de C muy fácil de usar, aparte de compilador.
- Serial-Terminal v4.0, software que permite es establecer la conexión con el puerto serie y enviar/recibir varios tipos de datos a través de la línea serie. Creado preferentemente por el grupo Tecnodiscap para el envío de datos a través del dispositivo Zigbee.
- Eltima serial port terminal v5.0, al igual que el anterior también permite crear conexiones por el puerto serie para enviar/recibir datos, pero siendo útil para cualquier tipo de dispositivo que use el puerto serie para sistema de comunicación.
- MPLAB IDE versión v8.73 es una plataforma de desarrollo integrada de Microchip, permite escribir el programa para los PIC en lenguaje C, podemos crear proyectos, ensamblar o compilar, simular el programa y finalmente programar el componente, a través de MPLAB ICD2, kit de conexión entre el dispositivo y el ordenador.
- WinPIC800, software de programación de PIC
- Doxygen v1.7.4 es un generador de documentación multiplataforma, en este caso C. Creando un documento en html que hace más comprensible la estructura programada.
- Bus pirate, herramienta de investigación electrónica, que permite conectar directamente un dispositivo al ordenador, a través de varios medios de comunicación como I2C, SPI, JTAG... para comprobar el funcionamiento correcto de los mismos. [\[16\]](#)
- Placa de pruebas de Microchip.
- Equipos de instrumentación.
- Equipos de soldadura.

7.2 Resumen del trabajo

Para la realización del proyecto fin de carrera, se ha desarrollado un sistema electrónico capaz de adquirir varias variables ambientales, compuesto por sensores electrónicos controlado por un microcontrolador. La comunicación entre los diferentes dispositivos se ha realizado mediante el protocolo de comunicación I2C.

Dentro de las diferentes variables ambientales posibles, se han escogido, temperatura, humedad, presión, luz y sonido ambiente. El usuario puede pedir al sistema cada una de estas variables y este las procesa y envía al PC donde el usuario las interpreta.

El dispositivo es capaz de mantener una autonomía propia, gracias a una batería recargable, además de disponer de un sistema de carga para esta, conectado el sistema a un bus de alimentación.

La transmisión inalámbrica de datos se realiza mediante el sistema ZigBee de comunicación, capaz de enviar pequeños paquetes de datos al PC.

El sistema dispone de una memoria EEPROM para almacenar datos de diferentes sensores o datos, así como una RTC para llevar un control de la fecha y hora del sistema.

Primero se hizo una selección de los componentes a usar, después de haber realizado una búsqueda de las posibilidades del mercado. Se diseñó la PCB aplicando las normas de fabricación que nos imponía el taller de la universidad. Realizamos el diseño del firmware de programa para el funcionamiento del sistema. Con ello se llevaron a cabo pruebas del sistema por separado, de todos los componentes. Tras las diferentes pruebas se rediseñó una nueva PCB con los problemas detectados, y por último se redactó la memoria.

7.3 Resultados

El objetivo principal de este proyecto consiste en la obtención de información de variables ambientales del sistema que nos rodea, siendo cubierto con total satisfacción.

Para las consecuencias del proyecto, se han realizado todas las tareas propias de un proyecto electrónico tipo, abarcando desde las fases iniciales de especificación, diseño de circuito, diseño firmware, montaje y puesta a punto.

Como consecuencia del proyecto, se dispone de un dispositivo operativo, que permite adquirir estados, sucesos del entorno, procesarlos, almacenarlos y enviarlos, para poder realizar posibles actuaciones sobre el sistema que lo hagan más óptimo.

Si analizamos los objetivos parciales obtenidos, en su vertiente académica:

- Realización de estados del arte, y revisión de proyectos técnicos, y documentación de referencias.

- Estudio de diferentes dispositivos y componentes hardware: Sensores, actuadores, baterías. Manejo de documentación de referencia técnica.

- Aprendizaje y manejo de nuevos programas: Mplab, Pic C Compiler, Doxygen, Altium.

- Se ha profundizado en la tecnología de microprocesadores de Microchip utilizando gran parte de sus recursos internos, como convertidor analógico digital, comunicación serie, comunicación I2C y temporizadores. De este modo ha sido posible conseguir un sistema con un hardware muy reducido y sencillo.

- Se ha realizado el diseño del hardware. Inicialmente probado en placa de prototipo para comprobar su correcto funcionamiento antes de diseñar una PCB.

- Se ha realizado el diseño de la PCB. Para ello se ha perfeccionado en el manejo de software de diseño. Este diseño se ha realizado siguiendo los procesos de producción estándar.

-Mediante el montaje de la PCB, se ha tenido la posibilidad de realizar un aprendizaje tanto en la parte teórica como en la parte práctica que requiere la soldadura.

- Aprendizaje de C, un lenguaje de programación de alto nivel.

- Se ha programado un firmware con un lenguaje de alto nivel con el que se ha comprobado el correcto funcionamiento del sistema.

- Se ha trabajado con una metodología de diseño firmware: La programación se realizó de una manera estructurada generando diferentes librerías, encapsuladas e independientes. Durante el desarrollo del firmware se respetaron las normas de estilo estándar recomendadas para C. Además se ha aprendido a trabajar con librerías realizadas por otros miembros del grupo de Tecnodiscap y adaptarlas al sistema.

- Se ha realizado un acercamiento a la tecnología de comunicación inalámbrica de gran repercusión y perspectiva de futuro que es ZigBee. Adquiriendo conocimientos:

 - Manejo de redes de sensores.

 - Tipos de mensaje.

 - Modelo de capas OSI.

 - Configuración de redes.

- Adquirir conocimientos sobre la metodología de trabajo asociada a un grupo de investigación.

- Se ha conseguido realizar un sistema de alimentación independiente a través de una batería recargable

7.4 Líneas futuras.

El sistema desarrollado podría tener versiones futuras de investigación, mejorando lo desarrollado en este dispositivo en varios campos.

-Conseguir un sistema con mayor autonomía. Como ya se ha comentado, este no ha sido un tema prioritario. Para optimizar el consumo, se podrían llevar a cabo estrategias del tipo...Actuando sobre el micro, creando un modo que permita ponerlo en suspensión (sleep) y no esté continuamente funcionando, la red Zigbee también está operativa en todo momento, siendo esto un gran consumo de para la batería.

-Mejoras en el diseño de la PCB.

-Más pequeña.

-Más estable

-Más sencillo de producir

Con componentes de menor tamaño, se desarrollo con las herramientas disponibles en la universidad y soldando los componentes a mano. Se podía realizar la placa más pequeña, si hubiéramos usado elementos pasivos y componentes menores y una maquina de gran precisión nos hubiera fabricado y soldado.

-Añadir nuevas versatilidades al sistema.

Implementando nuevos modos de funcionamiento (otra inteligencia), medir valores en otros intervalos, 1 minutos 5 minutos, cada segundo. Comparar con valores anteriores y hacer una media.

Como ya se comentó con anterioridad el sistema podría servir, eligiendo algún otro tipo de sensor, para un sistema de tracker, haciendo control de una carga a transportar.

-Integración en otros sistemas de Aml

Una gran aplicación para posibles avances y mejoras seria una interoperación directa con otros dispositivos que permitiera actuar sobre ellos, según los valores obtenidos de los sensores. Así por ejemplo, si la temperatura fuera muy baja, podría actuar sobre un sistema de calefacción. Esto permitiría crear un ambiente más agradable, en un sistema inteligente, que permitiría al usuario estar en un buen estado de confort, sin necesidad de realizar mucho esfuerzo.

7.5 Conclusiones personales.

En el plano personal, la realización de este PFC ha supuesto gran satisfacción. Se ha estudiado y alcanzado cierto nivel de manejo de información necesaria para la realización de proyecto. Describiendo tecnologías actuales del mercado y en cierta manera llevando a cabo el desarrollo de un nuevo sistema. Así como sistemas habituales de uso en el desarrollo de proyectos.

Llevar a cabo el montaje final del sistema, ha permitido conocer aspectos técnicos en la elaboración de un prototipo, desde la gestión de componentes, soldadura, verificación de circuitos, puesta en marcha etc. Ha sido un trabajo muy elaborado y de gran esfuerzo en su desarrollo.

Cabe destacar, el carácter innovador y de investigación propio del desarrollo, lo que ha impulsado a la realización de dicho dispositivo

Agradezco la colaboración de mi director de proyecto Ángel Asensio en su guía y ayuda de realización, y a todo el grupo HowLab. Ha sido una buena experiencia trabajar con ellos.

BIBLIOGRAFIA

- [1] <http://es.oregonscientific.com/>
- [2] <http://www.sparkfun.com/products/9800>
- [3] <http://www.domoticausuarios.es/sensores-inteligentes-el-hogar-inteligente-ahora-puede-ser-una-antena-para-la-domotica/618/>
- [4] <http://www.sparkfun.com/products/8755>
- [5] <http://www.bannerengineering.com/es-MX/products/65/Sensors/309/True-Color-Sensors/97/QC50-Series/#overview>
- [6] <http://www.ecfa.com.ar/lx-100.html>
- [7] <http://www.ecfa.com.ar/na2.html>
- [8] <http://www.directindustry.es/prod/figaro-engineering/sensores-de-calidad-de-aire-con-semiconductor-29357-147448.html>
- [9] <http://www.superrobotica.com/S320085.htm>
- [10] <http://www.superrobotica.com/S320140.htm>
- [11] <http://www.pcdoctor.com.mx/Radio%20Formula/temas/Baterias.htm>
- [12] <http://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2011/03/28/131138>
- [13] <http://www.futurlec.com/PCBService.shtml>
- [14] <http://www.2cisa.com/es/index.htm>
- [15] <http://www.telegesis.com/>
- [16] <http://dangerousprototypes.com/bus-pirate-manual/>
- [17] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39881D.pdf>
- [18] <http://www.telegesis.com/downloads/general/TG-ETRXn-R305-Commands.pdf>
- [19] www.telegesis.com/downloads/general/TG-APP-Power_4.2to4.3-100.pdf

