



# DOCUMENTO 1

# MEMORIA



---

# **ÍNDICE DE LA MEMORIA**

## **Resumen figuras y tablas**

## **CAPITULO I. ANTECEDENTES DEL PROYECTO**

## **CAPITULO II. OBJETO DEL PROYECTO Y JUSTIFICACIÓN**

- 2.1 OBJETO DEL PROYECTO**
- 2.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

## **CAPITULO III. MARCO NORMATIVO LEGAL**

- 3.1 LEGISLACIÓN DE ÁMBITO EUROPEO**
- 3.2 LEGISLACIÓN DE ÁMBITO NACIONAL**
- 3.3 LEGISLACIÓN DE ÁMBITO AUTONÓMICO**
- 3.4 LEGISLACIÓN DE ÁMBITO LOCAL**
- 3.5 NORMAS**

## **CAPITULO IV. REQUISITOS DE DISEÑO**

- 4.1 REQUISITOS DEL HARDWARE**
- 4.2 REQUISITOS DEL SOFTWARE**

## **CAPITULO V. VIABILIDAD DEL PROYECTO**

- 5.1 VIABILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA**
- 5.2 VIABILIDAD LEGAL Y LABORAL**

## **CAPITULO VI. ESTUDIO DE MERCADO**

## **CAPITULO VII. SISTEMA**

- 7.1 INTRODUCCIÓN**
- 7.2 SISTEMA DE LOCALIZACIÓN**



- 7.3 RSSI**
- 7.4 INFLUENCIA DE LOS DISTINTOS PARÁMETROS**
- 7.5 ALGORITMOS SOFTWARE**
- 7.6 SISTEMA DE CONTROL**

## **CAPITULO VIII. HARDWARE**

- 8.1 ZIGBEE**
- 8.2 SmartRF04EB**
- 8.3 BATTERY BOARD**
- 8.4 PLACA PCB DISEÑADA**

## **CAPITULO IX. SOFTWARE DEL PC**

- 9.1 Z-LOCATION ENGINE**
- 9.2 LOCATION ENGINE MONITOR (LEMonitor)**
- 9.3 IEEE Address Programmer**

## **CAPITULO X. PROCESO DE FABRICACIÓN**

## **CAPITULO XI. ENSAYOS**

## **CAPITULO XII. PLANIFICACIÓN**

- 12.1 FASES DE DESARROLLO**
- 12.2 FASE DE FABRICACIÓN Y PRUEBAS**
- 12.3 GRÁFICO DE GANTT**

## **CAPITULO XIII. BIBLIOGRAFÍA Y WEBS**

- 13.1 BIBLIOGRAFÍA**
- 13.2 WEBS**

## **CAPITULO XIV. HERRAMIENTAS**

- 14.1 HERRAMIENTAS HARDWARE**
- 14.2 HERRAMIENTAS SOFTWARE**



---

## **CAPITULO XV. CONCLUSIONES**

## **CAPITULO XVI. AGRADECIMIENTOS**



---

## Resumen figuras y tablas

**Figura 1: Sistema de Localización**

**Figura 2: Entradas y Salidas del Location Engine**

**Figura 3: Paquete de datos recibidos**

**Figura 4: Curva de Linealidad de RSSI**

**Figura 5: RSSI frente a la Distancia**

**Figura 6: Medición de A**

**Figura 7: Medidas de RSSI a la distancia de 1 metro**

**Figura 8: N frente a la Distancia**

**Figura 9: Acotación de un mapa de 64 x 64**

**Figura 10: Localización en una red de tres dimensiones**

**Figura 11: Enlace entre una red inalámbrica y el PC**

**Figura 12: Partes del CC2431**

**Figura 13: Principales componentes de la SmartRF04EB**

**Figura 14: SmartRF04EB**

**Figura 15: Interruptor S3**

**Figura 16: Conector de alimentación**

**Figura 17: Modo Master**

**Figura 18: Modo Esclavo**

**Figura 19: Flujo de la señal**

**Figura 20: Conexión EM y LCD.**

**Figura 21: Battery Board con un CC2430EM**

**Figura 22: Cara Bottom de la Battery Board**

**Figura 23: Flujo de las señales en una Battery Board**

**Figura 24: Conexión de la SmartRF04EB y SOC\_BB para la programación**

**Figura 25: Gráfica para ver el grosor de las pistas**

**Figura 26: Cara Top**

**Figura 27: Cara Bottom**

**Figura 28: Programación de la placa diseñada.**

**Figura 29: Pantalla del Z-Location Engine**

**Figura 30: Menús y botones**

**Figura 31: Settings**

**Figura 32: Panel Setup**

**Figura 33: Panel Background**



---

**Figura 34: Panel Reference Node Setup**

**Figura 35: Panel Blind Node Setup**

**Figura 36: Barra de estados**

**Figura 37: Interfaz gráfico de LEMonitor**

**Figura 38: Menú**

**Figura 39: Barra de herramientas**

**Figura 40: Panel de mensajes**

**Figura 41: Lista de nodos**

**Figura 42: Mensajes para enviar**

**Figura 43: Programador de la dirección IEEE**

**Figura 44: Diagrama Gantt del Desarrollo**

**Figura 45: Diagrama Gantt de Fabricación y Pruebas**

**Tabla 1: Relación entre N y n\_index**

**Tabla 2: Conector A (P10)**

**Tabla 3: Conector A (P11)**

**Tabla 4. Tabla del mensaje XY-RSSI Response**

**Tabla 5. Tabla del mensaje Blind Node Find Response**



---

## **CAPITULO I.**

### **ANTECEDENTES DEL PROYECTO**

La electrónica esta presente hoy día en todo lo que nos rodea, prácticamente todo el mundo posee al menos uno o más aparatos electrónicos, y los sistemas de localización están cada vez extendiéndose más, un ejemplo claro es el GPS, por eso en este Proyecto se dedicará a la localización de objetos en interiores aunque también tendría podría usarse para la localización de personas en un edificio, y muchos más que se le podrá como explicaremos más adelante.

El control mediante PCs y la inclusión en cualquier dispositivo, por simple que parezca, da posibilidades de comunicación y configuración, para adaptarse a las necesidades de cada momento es hoy imprescindible en cualquier nuevo fabricado.

En este Proyecto se pretende dar la solución al problema de la localización de objetos en interiores y que pueda ser utilizado de la forma más adecuada posible, teniendo un control en su configuración y también que pueda adaptarse fácilmente a las necesidades y requerimientos de lugar de instalación.

Se intentará siempre escoger la solución más sencilla de cara al usuario, la que nos ofrezca más posibilidades de uso y a la vez mejor se adecue a nuestro problema.



---

## **CAPITULO II.**

### **OBJETO DEL PROYECTO Y JUSTIFICACIÓN**

#### **2.1 OBJETO DEL PROYECTO**

El objeto del presente Proyecto consiste en desarrollar un sistema que permita la localización de objetos o personas dentro de un recinto delimitado (interiores), para ello se utilizarán los componentes RF/IF de Texas Instruments y más concretamente el CC2431 de ZigBee que nos aporta muchas ventajas sobre las demás tecnologías de redes inalámbricas.

Todo lo necesario para la realización de este proyecto ha sido proporcionado por el departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores de la Universidad de Sevilla.

Los objetivos del presente proyecto final de carrera son los siguientes:

- Conocer las partes y componentes así como el funcionamiento del sistema de localización.
- Diseñar un prototipo de reducidas dimensiones.
- Conocer y manejar los programas necesarios para la realización del prototipo, así como los utilizados para en el sistema de localización.
- Evaluación básica del sistema para su uso en determinados emplazamientos, aportando datos de todas las pruebas que se realizarán encaminadas a la implantación de este.

#### **2.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

El motivo del presente proyecto, es la necesidad de encontrar un sistema que permita la localización de unos objetos determinados en un espacio delimitado, así como una apuesta por la innovación y desarrollo de un sistema que dentro de poco tiempo se convertirá en el referente de las comunicaciones inalámbricas, además ayudará a empresas dedicadas a la logística a incrementar la capacidad de producción pero no solo esto sino que esta tecnología está comenzando a ser una de las claves en cuanto a domótica se refiere, en la que se están desarrollando muchos proyectos y los usos posibles son numerosos.

Otros de los motivos es la apuesta de muchas empresas por la inversión en esta tecnología donde se caracteriza la innovación y la flexibilidad que ofrece.





## **CAPITULO IV.**

### **MARCO NORMATIVO LEGAL**

#### **3.1 LEGISLACIÓN DE ÁMBITO EUROPEO**

- Directiva 2002/96/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, del 27 de Enero de 2003, sobre los residuos de aparatos eléctricos o electrónicos RoHS.
- Directiva 2003/108/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, del 8 de Julio de 2003 por la que se modifica la Directiva 2002/96/CE sobre residuos de aparatos eléctricos o electrónicos.
- Directiva del 2004/108/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, del 15 de Diciembre de 2004 relativas a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética y por la que se deroga la directiva 89/336/CEE.
- Directiva 2002/91CE del Parlamento Europeo y del Consejo, del 16 de Diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética en los edificios.
- Directiva 2002/95CE de 27 de Enero de 2003, sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos.
- Directiva 89/656/CEE del Consejo de 30 de noviembre de 1989 relativa a las disposiciones mínimas de seguridad y de salud para la utilización por los trabajadores en el trabajo de equipos de protección individual y la Directiva 96/58/CE por la que se modifica la Directiva 89/656/CEE.
- Directiva 1999/5/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de marzo de 1999, sobre equipos radioeléctricos y equipos terminales de telecomunicación y reconocimiento mutuo de su conformidad.

#### **3.2 LEGISLACIÓN DE ÁMBITO NACIONAL**

- Ley 21/1992 del 16 de Julio, de Industria. B.O.E. N° 176 publicado el 23/7/1992.
- Ley 10/1998, del 21 de Abril de residuos.
- Reglamento electrotécnico de Baja Tensión, aprobado por el Real Decreto 842/2002, del 2 de Agosto, así como sus instrucciones técnicas complementarias.



- Orden del 16 de Julio de 1993, del Departamento de Industria, Comercio y Energía y Normas UNE de obligado cumplimiento.
- Real Decreto 2002/1995, del 28 de Diciembre por el que se aprueba el Reglamento de la infraestructuras para la Calidad y la Seguridad Industrial B.O.E. Nº 32 publicado el 6/2/1996.
- Real Decreto 411/1997, del 21 de Marzo, por el que se modifica el Real Decreto 2200/1995, del 28 de Diciembre por el que se aprueba el Reglamento de laS infraestructuras para la Calidad y la Seguridad Industrial B.O.E. Nº 100 publicado el 26/4/1997.
- Real Decreto 486/1997, del 14 de Abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Real Decreto 208/2005, del 25 de Febrero, sobre aparatos electrónicos y eléctricos y la gestión de sus residuos.
- Real Decreto 1495/1986 por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad de Máquinas.
- Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y de salud para la utilización por los trabajadores en el trabajo de equipos de protección individual. (BOE 12.06.1997).

### 3.3 LEGISLACIÓN DE ÁMBITO AUTONÓMICO

- Ley 7/1994, del 18 de Mayo, de Protección Ambiental (BOJA Nº 79, de 31/05/94). Observaciones:

Desarrollada por:

Decreto 292/1995, del 12 de Diciembre, Reglamento de EIA (BOJA Nº 166, del 28/12/95).

Decreto 153/1996, del 30 de Abril, Reglamento Informe Ambiental (BOJA Nº 69, del 18/06/96).

Decreto 297/1995, del 19 de Diciembre, Reglamento de Calificación Ambiental (BOJA Nº 3, del 11/01/96).

- Decreto 283/1995, del 21 de Noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Residuos de la C.A. de Andalucía (BOJA Nº 161, del 19/12/95).
- Decreto 74/1996, del 20 de Febrero, por el que se aprueba el Reglamento de la Calidad del Aire.
- Acuerdo de 9 de Diciembre de 1997, del Consejo de Gobierno por el que aprueba la formulación del Plan Director Territorial de Gestión de Residuos de Andalucía (BOJA Nº 144, del 13/12/97).



- Decreto 53/1999, de 2 de Marzo, de normas de aplicación del Reglamento (CEE) 1836/1993, de 29/06/93 que permiten que se adhieran con carácter voluntario a un sistema comunitario de gestión y auditoria medioambientales las empresas del sector industrial (BOJA N° 135, del 23/03/99).

Observaciones:

Modificado por el Decreto 122/1999, de 18 de Mayo de 1999 (BOJA N° 68, del 15/06/99).

- Orden de 10 de Noviembre de 1999, por la que se establecen los Planes de Inspecciones en Materia Medioambiental (BOJA N° 141, del 04/12/99).
- Resolución del 20 de Octubre de 2000, de la Viceconsejería por la que se regula la elaboración de los Planes Sectoriales de Inspecciones Medioambientales en Andalucía (BOJA N° 140, del 05/12/00).
- Ley 16/2002, del 1 de Julio, de prevención y control integrados de la contaminación.
- Ley 37/2003, de 17 de Noviembre, del Ruido.

### **3.4 LEGISLACIÓN DE ÁMBITO LOCAL**

- Ordenanza Municipal del Ayuntamiento de Sevilla publicada en el B.O.P. N° 178 del Jueves 2 de Agosto de 2001 por el que se regulan los procedimientos de intervención administrativa que se siguen en el municipio de Sevilla en materia de licencia de Aperturas de actividades.

### **3.5 NORMAS**

- UNE EN 60950 Seguridad de los equipos de Tecnologías de la información.
- UNE EN 55024 y UNE EN 55022 Normativa de Inmunidad y emisiones electromagnéticas.
- UNE EN 61000-4-14.2001/A1:2005 Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4: Técnicas de ensayo y medidas, Sección 14: Ensayos de la inmunidad a las fluctuaciones de tensión.
- UNE EN 60998-2-1.2005 Dispositivos para conexión de tipos domésticos y análogos. Parte 2-1: Requisitos particulares para dispositivos de conexión independientes con órganos de apriete con tornillo.



- 
- UNE 20-431 Características de los cables eléctricos resistentes al fuego.



---

## **CAPITULO IV.**

### **REQUISITOS DE DISEÑO**

#### **4.1 REQUISITOS DEL HARDWARE**

Los requisitos que ha de cumplir el circuito hardware son los siguientes:

- Deberá ser un circuito de dimensiones reducidas y por lo tanto que tenga pocos componentes externos.
- Debe de tener un bajo consumo.
- Tiene que existir un enlace entre la red inalámbrica y el usuario u operario
- La comunicación con el PC será vía USB y cable RS-232, también conocido como cable serie.
- Dispondrá de un microcontrolador 8051.
- Debe de ser lo más robusto posible frente a las interferencias.
- Su frecuencia de trabajo será por encima de los 2,4GHz.
- Y por último y quizás el más importante es que tenga un indicador de potencia de la señal recibida, RSSI (Received Signal Strength Indication).
- Su programación debe ser lo más fácil posible.

#### **4.2 REQUISITOS DEL SOFTWARE**

El software del PC deberá de cumplir los siguientes requisitos:

- Deberá poder comunicarse con el circuito de control mediante cable RS-232 y USB.
- Permitirá de una manera fácil y visual la configuración de todos los nodos de la red.
- Permitirá la monitorización de todos los elementos que componen el sistema.
- Debe permitir la localización de un nodo ciego cuando se desee.
- Deberá permitir la carga de código sobre cualquier elemento del sistema.



---

## **CAPITULO V.**

### **VIABILIDAD DEL PROYECTO**

#### **5.1 VIABILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA**

En este apartado se tratan de ver las posibilidades técnicas y económicas que se van a tener para poder realizar este proyecto:

Todos los componentes necesarios para la realización del proyecto se encuentran disponibles en el mercado nacional e internacional, pudiéndose adquirir los mismos directamente desde sus fabricantes o a través de sus distribuidoras o sus representantes comerciales.

Desde el punto de vista técnico, se han aprovechado las herramientas de trabajo que existen en el Departamento de Tecnología y Arquitectura de Computadores de la Universidad de Sevilla, gracias a los cuales, se ha podido realizar un diseño SMD, ya que la precisión de las máquinas utilizadas lo permiten.

La elección del CC2431 de T.I. se debe a que nos aporta prácticamente todas las necesidades básicas para el proyecto, principalmente la de traer incorporado el microcontrolador 8051, tener un bajo consumo, trabaja a la frecuencia de 2,4 GHz y tiene incorporado el indicador RSSI.

Posee también dispone de periféricos para poder realizar la comunicación USB y RS-232. La memoria de este es suficiente para el desarrollo del sistema, además su precio de los chips es bastante asequible, incluso se espera que dentro de poco tiempo se realizarán a gran escala por lo que su coste será aún más asequibles.

Por otro lado las condiciones económicas de las que se han dispuesto son las siguientes:

Para la realización del presente proyecto se ha dispuesto de un presupuesto procedente del Departamento de Tecnología y Arquitectura de Computadores de la Universidad de Sevilla el cual ha realizado una importante inversión en el sistema para su conocimiento y desarrollo, para encontrar la solución al problema que se le planteaba, para ello adquirió el CC2431ZDK (CC2431 ZigBee Development Kit), a través de su distribuidor español, además T.I. proporciona a sus clientes el software necesario para el desarrollo del kit el cual ha permitido realizar las pruebas necesarias y exigidas.

Todos los componentes necesarios para el desarrollo de la placa, así como el software necesario para su diseño también han sido aportados por dicho departamento.

Como software para el diseño de la placa se ha utilizado PROTEL del cual el Departamento posee una licencia, pero también se puede utilizar cualquier otro que nos aporte las mismas condiciones y del cual se pueda hacer un uso legal.



---

## 5.2 VIABILIDAD LEGAL Y LABORAL

La fabricación de los prototipos la realizará una empresa especializada en la fabricación de pequeñas series y prototipos fáciles de encontrar en el entorno de Sevilla, que posea todos los permisos y licencias necesarias para el desarrollo de su actividad.

El Ingeniero Técnico Projectista posee las licencias de desarrollo software necesarias para la realización de los circuitos.

Legalmente no se necesita pagar por el uso de ninguna patente y no se incumple ninguna ley al usar este dispositivo.



---

## CAPITULO VI.

### ESTUDIO DE MERCADO

A la hora de hacer el estudio de mercado, hemos analizado las distintas alternativas que ofrecía este, y nuestra elección se debe a lo siguiente:

Todos los sistemas que no sean inalámbricos quedarán totalmente descartados.

También se trata de que no vaya una persona física vaya buscando lo que se desea encontrar, por eso se descartan los métodos de láser y detectores de proximidad, como por ejemplo máquinas de lectura de códigos de barras o RFID con etiquetas pasivas, el cual necesita estar dentro de un rango pequeño para que se active ya que no posee alimentación propia.

Tenemos que tener en cuenta que existen sistema de localización externas como el GPS e internas como infrarrojos, ultrasonidos,... A continuación citaremos los más conocidos y haremos un análisis del por qué de nuestra elección.

- **GPS**

Primero tendremos que tener en cuenta que este sistema es usado para exteriores ya que en interiores su uso es delimitado.

El GPS (Sistema de Posicionamiento Global) es un sistema de radiolocalización que, además de la posición, también permite conocer la velocidad del movimiento, la orientación del desplazamiento y la traza del recorrido que se ha efectuado.

El receptor GPS calcula su posición realizando una triangulación. Para poder realizar un cálculo preciso debe contar, como mínimo, con señales de cuatro satélites distintos. El sistema GPS consta de 24 satélites que dan una vuelta completa a la Tierra cada 12 horas. Esto significa que, desde cualquier lugar de nuestro planeta, siempre están "visibles" seis satélites. Aunque cuatro es la cantidad mínima para poder realizar el cálculo, recibir la señal de seis satélites aporta mayor precisión.

El receptor GPS calcula su distancia con respecto a cada satélite a partir de la conocida relación entre distancia, velocidad y tiempo (la distancia es igual a la velocidad multiplicada por el tiempo). La velocidad es conocida, pues las señales de radio viajan a la misma velocidad que la luz (300.000 km/s). El tiempo se puede calcular, pues el receptor puede comparar el dato sobre la hora en que el satélite emitió la señal con la hora actual, que obtiene de su propio reloj. Y, a partir de velocidad y tiempo, se puede calcular la distancia. Hay que tener en cuenta dos consideraciones importantes. La primera es que es fundamental que los relojes del satélite y del receptor estén sincronizados y sean precisos y la segunda es que una señal que llegue rebotada introducirá un error en el cálculo (calculará una distancia mayor a la real).

Los satélites GPS contienen relojes atómicos, cuyo funcionamiento se basa en la frecuencia de una vibración atómica, y son los más precisos que existen. Los receptores también contienen relojes, pero estos no son atómicos, sino de cuarzo.





Otras de los detalles a tener en cuenta en este sistema es que todo receptor GPS no tienen la capacidad de transmitir ningún tipo de dato, este puede ser uno de los mayores inconvenientes en este sistema.

Este sistema puede tener una gran utilidad para localizar a los enfermos, o para que personas que estén perdidas en el campo les ayude a situarse en el lugar, también tiene un uso en senderismo, ciclismo de montaña, esquí, windsurf, vela... empotrados en una pulsera, en un reloj, de mano (que son algo mayor que los teléfonos móviles), también tiene uso en el control de flotas, monitorización de animales (para localizar las mascotas), pero este último emite por radiofrecuencia. También se usa para la localización de jóvenes a través de los móviles. En el ámbito de la personas enfermas este sistema está teniendo un gran auge en la localización de personas enfermas de alzhéimer, el cual mediante un brazalete-teléfono con el que es posible localizar de manera permanente a personas que sufren pérdida de memoria, esta pulsera puede detectar automáticamente cada salida de una zona considerada segura y alerta a la central telefónica que contacta con la familia o los responsables del enfermo y además este tiene una función de "manos libres". En este aspecto unos ingenieros de Sevilla han patentado un sistema desarrollado por ellos, para más información podemos acceder a [www.keruve.com](http://www.keruve.com). También empiezan a colocarse en vehículos para conocer su posición en caso de robo.

- **INFRARROJOS**

Infrarrojos fue la primera tecnología empleada para el desarrollo de sistemas de localización en interiores. Se utilizan tags que emiten radiación infrarroja en modo difuso, es decir, de forma radial, no en modo punto a punto como es habitual en los sistemas IR empleados en comunicaciones. Se trata de un sistema de detección más que de localización, ya que la posición del elemento etiquetado con el tag IR se infiere de la posición fija y conocida de los sensores que detectan al tag. La principal limitación de esta alternativa tecnológica es que la radiación infrarroja no atraviesa las paredes, por lo que hay que instalar sensores en cada una de las habitaciones. Además, debido a que la emisión es directiva por el efecto pantalla del cuerpo del portador del tag, es conveniente instalar más de un sensor por localización para asegurar que la detección se produzca correctamente, lo cual hace aumentar mucho el coste. No obstante, con este sistema se obtiene la gran ventaja de conseguir evitar interferencias y falsas detecciones de otros sensores, pero no nos aporta todo lo que nosotros buscamos.

- **WIFI**

Hoy en día las tecnologías para red de área local (LAN) inalámbrica están experimentando un boom de implantación. Estas nuevas infraestructuras también soportan localización de dispositivos móviles, por lo que las aplicaciones basadas en la posición para entornos de área local resultan viables.

Existen lugares en los cuales se han puesto en funcionamiento redes de este tipo de forma experimental en museos (Metropolitan Museum de Nueva York, Tate Modern Museum de Londres...), excavaciones arqueológicas (Atapuerca, en combinación con Bluetooth), hoteles (Hotel Royal Sonesta de Boston), parques de temáticos (Disney World), obviamente con la idea de ofertar servicios basados en la filosofía de suministrar al usuario información de interés ligada a su posición.

Las redes inalámbricas cubren áreas de hasta 75 metros en el interior de edificios, y de 300 metros en el exterior, ampliables a varios kilómetros mediante



antenas. Están implementadas en un grupo de estándares, conocido como 802.11 que comprende varias modalidades, cada una de ellas con unas características de ancho de banda y alcance determinadas. La modalidad más popular es la que se conoce como 802.11b, introducida en 1997. Opera a una frecuencia de 2,4GHz, y su índice de transferencia de datos es de 11Mbps. Esta tasa se ve ampliamente superada por el estándar 802.11a, que llega a ofrecer 55Mbps en una frecuencia de funcionamiento de 5GHz. El problema es que dicha parte del espectro no está disponible en países como España, Italia, Portugal o Alemania, pues es de uso restringido militar.

La localización mediante redes locales inalámbricas puede llevarse a cabo de diferentes maneras. La más sencilla es la basada únicamente en el punto de acceso más cercano al terminal. Este método confunde a menudo la planta del edificio, pues es fácil que la antena más cercana a un usuario ubicado en una determinada planta sea la misma que la correspondiente a un usuario situado en una planta superior, si la posición sobre el piso es similar. Por otra parte la señal es vulnerable debido a las interferencias, lo que puede afectar, además de a la precisión, a la seguridad de la comunicación, estos inconvenientes son algunos de los que harán que no elijamos este sistema.

Existe una propuesta muy interesante, realizada por Ekahau, basada en el almacenamiento de medida de potencia de señal en diferentes puntos del recinto cubierto. La técnica, conocida como Wi-Fi mapping, arroja resultados más exactos que los métodos de triangulación celular, ofreciendo una precisión de 1 a 20 metros pero que para nuestro sistema serán demasiado amplios teniendo en cuenta que el rango de medida en interiores es hasta 75 metros y por tanto no podemos aceptar este rango de error por lo que quedará descartado.

- **RFID**

La tecnología RFID tiene aplicaciones muy interesantes pero que no son las que nosotros usaremos, en los lugares donde empieza a utilizarse son peajes (tarjetas de pago sin contacto), zonas de aparcamientos, oficinas y bibliotecas. En aplicaciones biomédicas también comienza a utilizarse etiquetas RFID que contienen información sobre la identidad, en las aplicaciones farmacéuticas las empresas comienzan a utilizar rótulos RFID en los envases para combatir la falsificación y el robo de sus medicamentos. Otra aplicación es la seguridad y el control de acceso principalmente laboratorios (para el control de zona restringida), en las escuelas como ejemplo en Tokio para comprobar que estudiantes entran y salen del mismo o en Estados Unidos además de controlar el acceso a la zona universitaria se utiliza para identificar y garantizar la seguridad de activos tales como libros y ordenadores portátiles. En aeropuertos por ejemplo la Administración de Transporte Aéreo de Canadá utiliza tarjetas RFID para acceso restringido. En el deporte también se ha utilizado. En una maratón de Boston se les ofreció a los corredores una pequeña insignia para que se la atasen a los cordones y cuando este atravesara postes fijos ubicados a lo largo de la pista estos registrarían su tiempo.

Todas estas aplicaciones como podemos ver son muy interesantes pero no nos ofrece lo que realmente necesitamos ya que ninguna tarjeta o etiqueta de estas contiene un microcontrolador que nos permita el procesamiento de datos o su "independencia", en el sentido que por si solo se ha capaz de hacer algo más que solo aportar unos datos. Por lo tanto este sistema a pesar de todo el abanico de posibilidades que nos ofrece la descartaremos en un primer momento al no ofrecernos todo lo que nosotros queremos y necesitamos.



---

- **ULTRASONIDOS**

Existen además sistemas de localización mediante ultrasonidos, que dan una resolución alta de la posición, pero tienen el gran inconveniente de que tanto transmisor como receptor deberán estar posicionados uno frente a otro, lo cual es bastante complicado en nuestro sistema. También han aparecido otros sensores ultrasónicos los cuales son omnidireccionales pero luego para realizar todos los cálculos se necesitará de un módulo microcontrolador por lo que el espacio necesario será mayor y será más complejo el enlazar los sensores con este módulo y un problema básico en la medición del tiempo de propagación es determinar con precisión el instante de la llegada de la onda de ultrasonidos por tanto este sistema en principio se descarta por estas y las anteriores razones.

- **BLUETOOTH**

También esta el Bluetooth, que tiene algunas ventajas sobre el ZigBee pero los inconvenientes que presenta frente a este hacen que se descarte su uso, uno de ellos es que mientras que ZigBee puede constar de un máximo de 255 nodos por red, mientras que el Bluetooth sólo puede tener 8 nodos en una red, número muy insuficiente para nuestras necesidades, otra ventaja importantísima de ZigBee es el menor consumo ya que este la mayor parte del tiempo estará dormido, mientras que en una comunicación Bluetooth esto no se puede dar, y siempre se está transmitiendo y/o recibiendo, además el tiempo de unión a la red es muchísimo menor en ZigBee es del orden de 30 mseg, mientras que en el Bluetooth es cercano a los 3 seg.

La gran ventaja del Bluetooth frente al ZigBee es la velocidad ya que este tiene una de 250 kbps mientras que el Bluetooth tiene 1 Mbps, pero que esta no la tendremos en cuenta ya que no es algo demasiado importante en nuestro problema, y si tendremos en cuenta las ventajas de Zigbee sobre el Bluetooth que son bastantes más útiles en nuestro sistema.

- **ZIGBEE**

Zigbee en un principio apareció para llenar el hueco dejado por el bluetooth pero poco a poco se está convirtiendo en algo más, y su uso no parece detenerse solo en la domótica, sino que tiene muchísimas más de las que haremos mención más adelante.

ZigBee resulta ideal para redes estáticas, escalables, con muchos dispositivos, pocos requisitos de ancho de banda y un uso infrecuente, y donde se requiera una duración muy prolongada de la batería.

Como se comentó más arriba algunas de las características más importantes de este son el bajo consumo, la posibilidad de estar dormidos durante un gran periodo de tiempo, su sencillez, su bajo coste ya que se prevé un gran futuro ya que su fabricación de forma masiva y la cantidad de empresas importantes que componen la Alianza Zigbee harán que sea el transmisor inalámbrico más barato jamás producido con un coste estimado cerca de los 2 euros.

Así, la tecnología ZigBee está indicada para aplicaciones como el seguimiento de productos (en competencia con RFID), monitorización médica de pacientes y cuidado personal, control de máquinas y herramientas y redes de sensores para el



control industrial de plantas de proceso, así como para la automatización del hogar, control de energía y medioambiente. Otras aplicaciones de interés son como interfaz para teléfonos móviles, control de accesos, juguetes interactivos, conexión de electrodomésticos y periféricos de ordenadores (compitiendo en este caso con USB y FireWire inalámbricos), monitorización de los parámetros de un vehículo, localización de objetos, telemetría, etc, como vemos el campo de la aplicación es bastante amplio.

Con la tecnología ZigBee es posible determinar en qué ambiente se encuentra el usuario, por ejemplo, si está en su casa, en la oficina o en la calle, detectando que otros dispositivos se encuentran en su entorno y actuar en consecuencia. Así, podría advertirnos si nos dejamos el maletín, las llaves o el teléfono móvil olvidado al salir de casa o de un restaurante, al perder el contacto con otros, o si nos lo están robando sin que nos demos cuenta.

Otra de las posibilidades en el ámbito médico es que personas enfermas que no puede salir de ciertos lugares se le bloqueen puertas o posibles salidas en caso de que se acerquen a ellas y se pueda evitar su salida, o simplemente avisar al personal encargado de que esta persona está intentando abandonar el lugar.

Una de las aplicaciones más interesante de zigbee se esta desarrollando en Japón y en el cual lanzaron un proyecto llamado "Proyecto sin fronteras IT", y consiste en la unión de las distintas tecnologías existentes para concebir un sistema de localización, guía y prevención de peligro para los invidentes.

Consiste en desarrollar un terminal (teléfono móvil por ejemplo), que pueda guiar a los ciegos gracias a la información recibida por distintos medios, y la idea es instalar en el suelo (veredas, muelles, corredores de centros comerciales o estaciones de trenes) etiquetas electrónicas de radiofrecuencia (RFID) en las que se grabará su lugar exacto, la presencia o no de un cruce, la distancia a una escalera o cualquier otra.

Esos 'chips' serán leídos por el bastón (por transmisión inalámbrica). Y además es capaz de recibir diversas informaciones por ondas de radio.

También se instalaron unos "captoreos" en la calle para retransmitir informaciones de contexto y se trataba de captar la temperatura, la humedad, los ruidos y difundir esos datos a los transeúntes equipados, a través de una red sin cables mediante la tecnología Zigbee, y los datos procedentes del GPS y bases cartográficas u otros completarían el sistema.

Otra aplicación interesante es el control de riego mediante Zigbee y otra tecnología llamada WIMAX, que permiten mejorar la automatización, reducir costes y mejorar los sistemas de comunicaciones de dichas aplicación, este ha sido llevado a cabo mediante la Universidad de Granada y una empresa de la misma provincia.



---

## CAPITULO VII.

### SISTEMA

#### 7.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presentarán todos los aspectos básicos para la localización y servirán como pasos o pistas fáciles de seguir para el desarrollo del sistema usando el CC2431.

Lo primero para entender un poco más en que consiste el sistema de localización será definir unos conceptos básicos y muy utilizados, que son los siguientes:

- **ZigBee:** es un protocolo de comunicaciones inalámbrico, similar al bluetooth, y basado en el estándar para redes inalámbricas de área personal (WPANs) IEEE\_802.15.4. Surge del fruto de una alianza, de más de 200 empresas, la mayoría de ellas fabricantes de semiconductores, con el objetivo de conseguir el desarrollo e implantación de una tecnología inalámbrica de bajo coste. Destacan empresas como Invensys, Mitsubishi, Honeywell, Philips y Motorola que trabajan para crear un sistema estándar de comunicaciones, vía radio y bidireccional.
- **CC2430:** Son los circuitos integrados que nos ofrece Texas Instruments para el desarrollo de nuestro sistema.
- **CC2431:** Son los mismos que los citados anteriormente pero con la diferencia que estos traen incorporado el Location Engine que es fundamental en nuestro sistema y el cual nos permite conocer la posición del Nodo Ciego, y es un dato a tener muy en cuenta ya que estos solo podrán incorporar estos chips, mientras que los Nodos de Referencia pueden usar este o el CC2430, ya que como explicaremos más adelante los Nodos de Referencia no necesitan del Location Engine.
- **Location Engine:** Es el algoritmo utilizado por el CC2431 y está basado en los valores RSSI, hay que tener en cuenta que los valores RSSI disminuyen cuando la distancia se incrementa, su diagrama de flujo lo podemos encontrar en el Documento 5 Anexos.
- **Nodo Ciego:** Es aquel nodo que desconocemos donde se encuentra y del cual deseamos conocer su posición, su diagrama de estados lo podemos ver en el Documento 5 Anexos.
- **Nodo de Referencia:** Son aquellos nodos que son estáticos en el sistema y su función es proporcionar las coordenadas donde se encuentran a los nodos ciegos para que estos puedan calcular su posición, su diagrama de estados lo podemos ver en el Documento 5 Anexos.



- **Parámetro A:** Es el valor absoluto de RSSI en dBm a la distancia de un metro del transmisor, sus valores van desde 30 a 50.
- **Parámetro n:** Representa el valor del exponente de la señal de propagación, este valor depende en gran medida de las condiciones ambientales, sus valores van desde 0 a 31.
- **RSSI:** Received Signal Strength Indicator, es el indicador de potencia de la señal recibida, este valor esta dado en dBm, el valor que usa el location engine es valor absoluto, sus valores van desde 40 a 95.
- **X,Y:** Son los valores representados por las coordenadas relativas a X e Y, sus valores van desde 0 a 63,75m, con una precisión de 0,25 m.
- **SmartRF04EB:** Es la placa principal de kit ya que nos permite la programación de los nodos, y además es el interfaz necesario entre la red inalámbrica y el usuario.
- **SOC\_BB (Battery Board):** La principal función de esta placa es la de alimentar a los CC2430 ó CC2431EM, usando dos pilas del tipo AA, en nuestro diseño uno de los principales objetivos es "eliminar" esta placa y estas pilas por una de botón debido a su gran tamaño
- **Z-Location Engine:** Es el programa que nos permite visualizar la posición de los nodos y la configuración de estos.
- **LEMonitor:** Es una programa que nos permite configurar y obtener datos de los nodos.

## 7.2 SISTEMA DE LOCALIZACIÓN

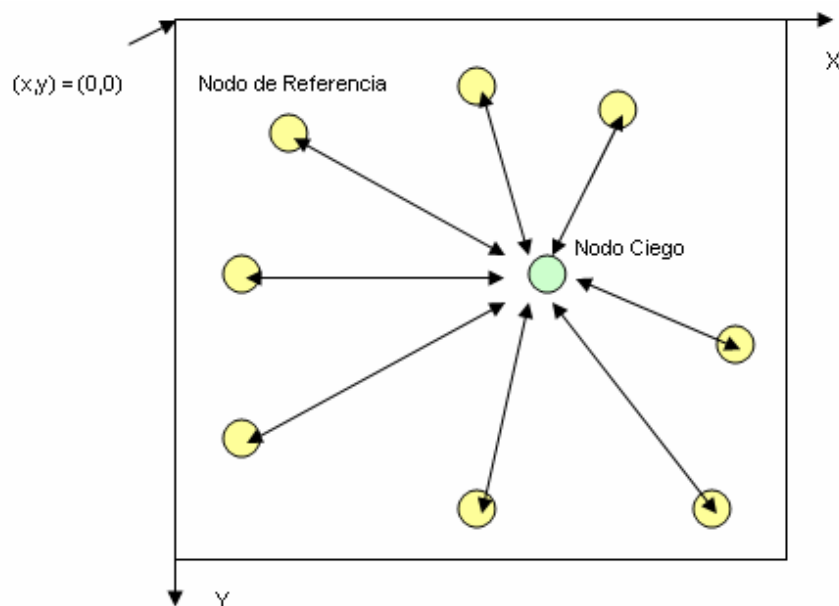


FIG.1 SISTEMA DE LOCALIZACIÓN



En la figura anterior se muestra a groso modo un sistema para la localización, en la que vemos los nodos de referencia, los cuales son como dijimos anteriormente nodos estáticos, de los cuales se conoce su posición, estos mandarían su posición a al nodo ciego cuando este lo requiera. Como se comento antes los nodos de referencia no necesitan el hardware necesario para la localización, ya que estos no realizarán ningún tipo de cálculo. El nodo ciego es un nodo obligatoriamente construido con un CC2431, ya que este recolectará las señales de respuesta de los nodos de referencia cuando este lo requiera, leerá todos los valores RSSI los cuales con el hardware de localización calculará su posición y será enviada a la aplicación de control del sistema.

Los datos mínimos que debe de contener los paquetes enviados desde el nodo de referencia a los nodos ciegos serán los parámetros de X e Y del nodo de referencia, el valor de RSSI lo calcula el aparato receptor, que en este caso es el nodo ciego.

La principal característica del Location Engine es que los cálculos de la localización son realizados por cada nodo ciego, así de esta forma se consigue un algoritmo descentralizado, lo que permite una reducción muy grande de los datos transferidos por la red, ya que sólo se transmitirá la posición calculada y no todos los datos usados para la realización del cálculo.

Para la acotación de los lugares donde se realice la localización siempre se usará una cuadrícula en dos dimensiones, que serán denominadas con X e Y, siempre X será la coordenada en dirección horizontal, e Y la vertical, el Location Engine del CC2431 es capaz de manipular mapas en dos dimensiones, pero esto como se verá más adelante se puede manipular una tercera dimensión en software. El punto  $(X, Y) = (0, 0)$ , estará ubicado en la esquina superior de la parte izquierda de la cuadrícula.

El Location Engine utiliza un interfaz muy simple, lo que hace es tomar todos los parámetros necesarios para el cálculo como entradas y devuelve su posición como parámetro de salida, la siguiente figura ayudará a la comprensión:

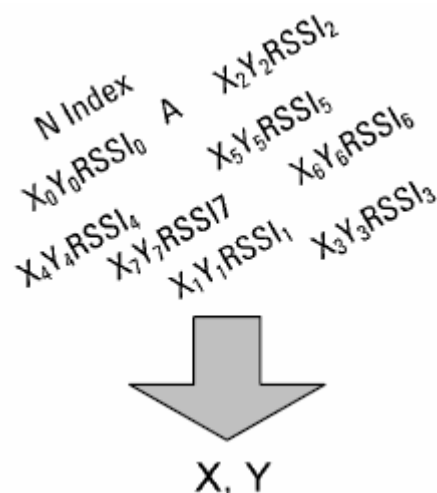


FIG 2. ENTRADAS Y SALIDAS DEL LOCATION ENGINE

Los parámetros de entrada son los siguientes: A, N\_Index, y los valores RSSI, X e Y de cada nodo de referencia, todos explicados al principio de este capítulo.





Los parámetros de salida son: las coordenadas X e Y del nodo ciego. Para ver con más detalles podemos ver la comunicación de los nodos y sus diagramas de flujo de forma simplificada en el Documento de Anexos.

### 7.3 RSSI

Como se indicó en la introducción RSSI (Received Signal Strength Indicator), es el indicador de potencia de la señal recibida, este se añadirá automáticamente cuando un CC2430/31 recibe un paquete. El valor RSSI siempre será promediado por los 8 primeros periodos (128  $\mu$ s), este valor RSSI es representado como un byte, cuando un paquete es leído desde la FIFO del CC2431, el penúltimo byte contendrá el valor RSSI, como podemos ver en la siguiente figura:



FIG 3. PAQUETE DE DATOS RECIBIDOS

Tanto CC2430/31 contienen un registro denominado RSSI, este registro tiene el mismo valor que el descrito anteriormente, pero no queda cerrado cuando el paquete es recibido, por lo tanto el valor de este registro no debe ser usado para futuros cálculos. Sólo el valor RSSI cerrado, adjuntado al dato recibido puede ser interpretado como valor RSSI, ósea el medido justamente cuando el dato se recibe.

El valor de RSSI puede ser leído mal debido a que tiene doble signo por lo que para evitar esto lo que se hace es sumar un offset, este offset se da en el data sheet y es aproximadamente de -45, además este offset dependerá de la configuración de la antena.

La linealidad es otro punto clave de los valores RSSI. Texas Instruments nos ofrece la siguiente gráfica (FIG 4) en la que podemos ver la potencia de entrada frente al valor RSSI:

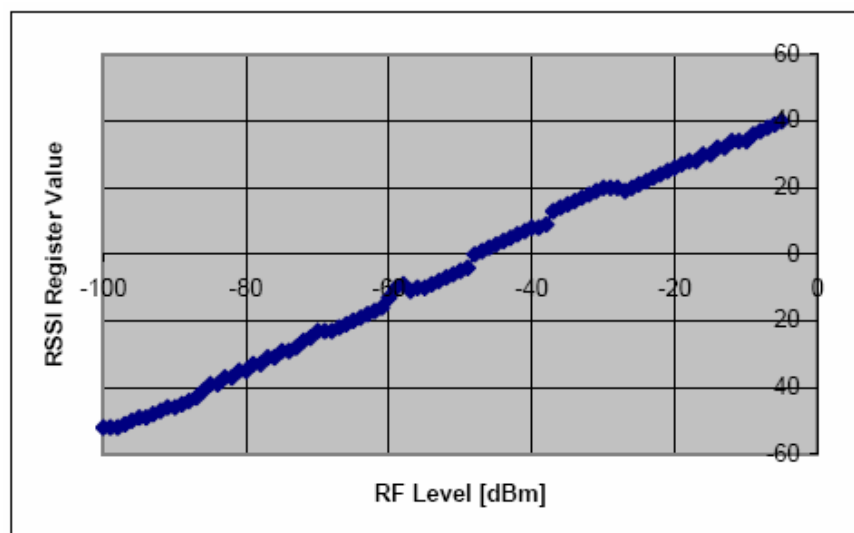


FIG 4. Curva de Linealidad de RSSI





Otra cuestión a tener en cuenta es la propagación teórica de la señal, esta estará en función de la potencia transmitida y la distancia entre el transmisor y el receptor

La potencia de la señal recibida disminuirá si se incrementa la distancia, tal y como se muestra en la ecuación siguiente:

$$RSSI = -(10n \log_{10} d + A)$$

- **n**: constante de la señal de propagación, también llamada exponente de propagación.
- **d**: distancia desde el transmisor.
- **A**: potencia de la señal recibida a la distancia de un metro.

En la siguiente figura podemos ver como sería para unos valores de  $A=40$  Y  $n=3$ .

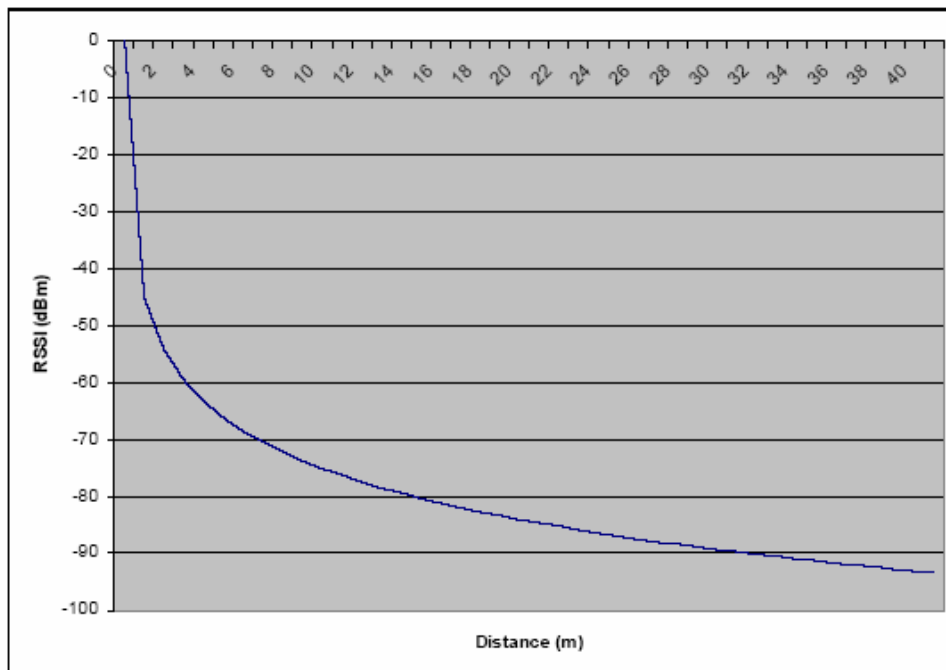


FIG 5. RSSI frente a la DISTANCIA

Lo descrito anteriormente es teórico y como es lógico en las medidas real tendrá cierta incertidumbre los valores reales de los prácticos, la mayoría de esta incertidumbre es tratada por el hardware, pero algún tipo de manipulación software se podría incluir para conseguir una mayor exactitud esto es lo que veremos a continuación.

Hay dos formas utilizadas para corregir los valores de RSSI y son los siguientes:

- Realizando el promedio de los valores RSSI de los nodos de referencia, este requiere un gran número de valores para que sea lo más correcto posible, el valor RSSI medido y calculado es dado por la siguiente ecuación:



$$\overline{RSSI} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{i=n} RSSI_i$$

- La otra es mediante el concepto de realimentación, el cual solo usa los últimos valores de RSSI recibidos para el cálculo, este requiere por tanto mucho menos datos que el anterior pero hace que se aumente el tiempo de espera para el próximo cálculo, la ecuación es la siguiente en la que **a** suele ser sobre 0,75 o un poco superior, esto ayuda a que diferencias altas de los valores RSSI sea suavizada, por eso no es bueno que el objeto que tiene que ser seguido pueda moverse una gran distancia entre cálculo y cálculo.

$$RSSI_n = a \cdot RSSI_n + (1 - a) \cdot RSSI_{n-1}$$

## 7.4 INFLUENCIA DE LOS DISTINTOS PARÁMETROS

El Location Engine como hemos visto más arriba depende de dos parámetros cuando se realiza el proceso de cálculo de posición, estos son **A** y **n**.

- **El parámetro A** como dijimos es un valor empírico que es determinado con el valor de RSSI a un metro de distancia del transmisor.

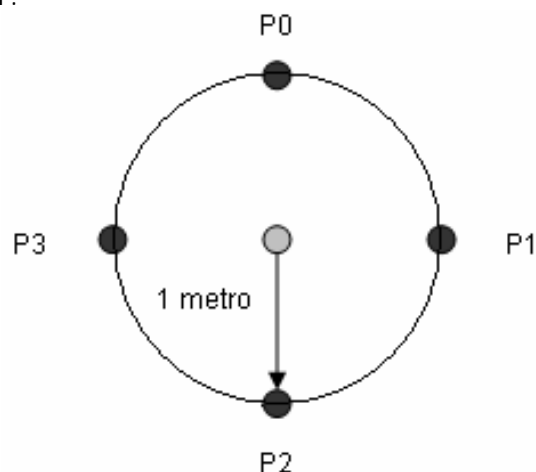


FIG 6. MEDICIÓN DE A

Este valor teóricamente debería de ser el mismo en todas las direcciones, pero debido a que las antenas de los transmisores y de los receptores no son totalmente isotrópicas (que transmiten en todas las direcciones igual), por tanto debe de ser usado un promedio de este valor. A continuación podemos ver una gráfica que nos ofrece T.I. en la cual se puede apreciar que las antenas no son isotrópicas.

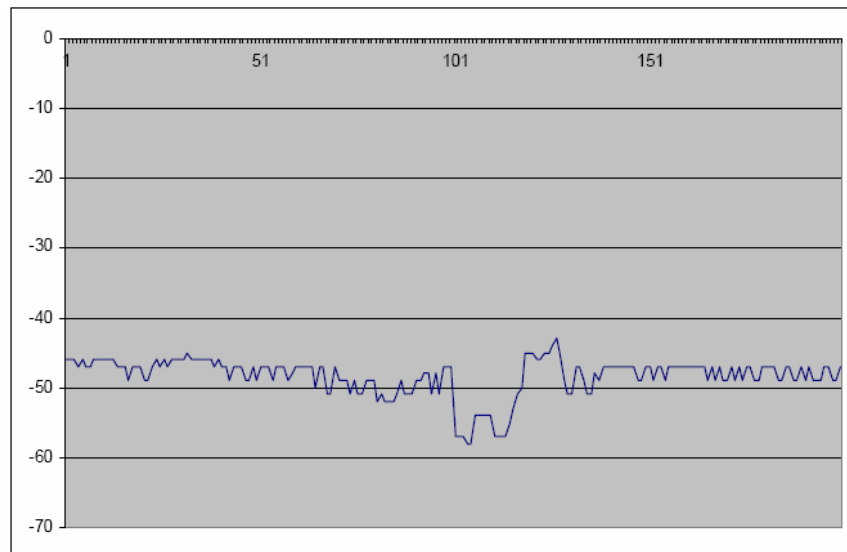


FIG 7. MEDIDAS DE RSSI A LA DISTANCIA DE 1 METRO.

Hay que tener en cuenta que estas medidas están realizadas con un offset de -45 dBm.

- **El parámetro  $N$ :** este describe como la potencia de la señal disminuye con el aumento de la distancia, este valor depende enormemente del ambiente, como por ejemplo las paredes.

El Location Engine implementado en el CC2431 no usa  $N$  directamente, lo que se usa es el valor  $n\_index$ , que tiene la siguiente relación con el parámetro  $N$ , esto es así para reducir la complejidad de hardware.

$n\_index$	$N$	$n\_index$	$N$
0	1.000	16	3.375
1	1.250	17	3.500
2	1.500	18	3.625
3	1.750	19	3.750
4	1.875	20	3.875
5	2.000	21	4.000
6	2.125	22	4.125
7	2.250	23	4.250
8	2.375	24	4.375
9	2.500	25	4.500
10	2.625	26	4.625
11	2.750	27	5.000
12	2.875	28	5.500
13	3.000	29	6.000
14	3.125	30	7.000
15	3.250	31	8.000

TABLA 1. RELACIÓN ENTRE  $N$  y  $n\_index$ .



En la siguiente figura se muestra como influye distintos valores de **N** en la distancia:

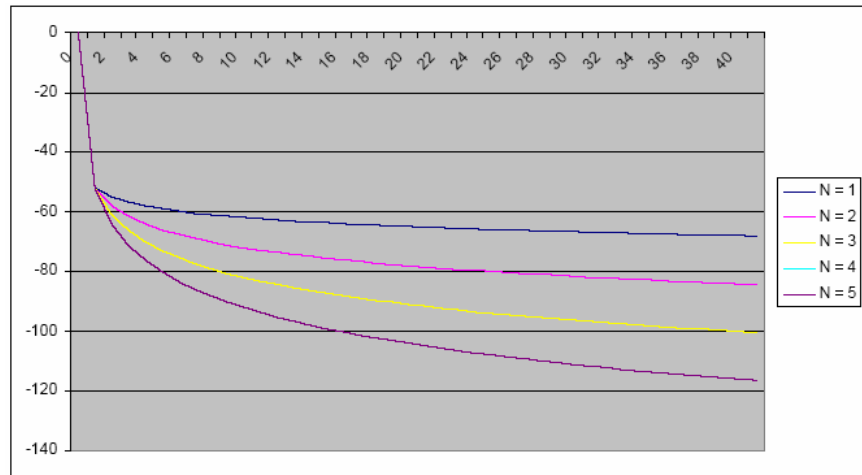


FIG 8. N frente DISTANCIA.

No existe un valor óptimo para todos los ambientes, por eso es mejor probar con distintos valores en el ambiente que se vaya a instalar y utilizar el que mejor se adapte al ambiente, según los experimentos realizados por T.I. dicen que dan buenos resultados cuando **n\_index** se encuentre entre 15 y 25.

## 7.5 ALGORITMOS SOFTWARE

Existen algoritmos que permiten aumentar el área de búsqueda aunque, todos ellos se basan en encontrar el nodo de referencia más cercano del nodo ciego.

Como ya sabemos el hardware Location Engine sólo puede manejar valores de X e Y de 0 a 63,75 metros, y esta área puede ser demasiado pequeña para la mayoría de las aplicaciones, pero esto puede ser modificado fácilmente con un algoritmo software.

Partiendo de que cada nodo, representará X e Y con dos bytes, y con una precisión de 0,25, esto dará un rango máximo de 16384 m.

Los pasos que tendremos que seguir son los siguientes:

1. Será localizar el nodo con mayor valor RSSI, y calcular un offset para que este sea el nodo central de un cuadrado de 64x64 metros.
2. Luego se añadirán los nodos de referencia que estén dentro de este cuadrado, a todos estos tendrán el offset del primer paso.
3. Los valores encontrados serán introducidos al Location Engine y dará como salida la posición.



4. El último paso es sumar el mismo offset a la posición calculada, después de que estos pasos se hayan realizado, sabremos la posición del nodo ciego en el mapa.

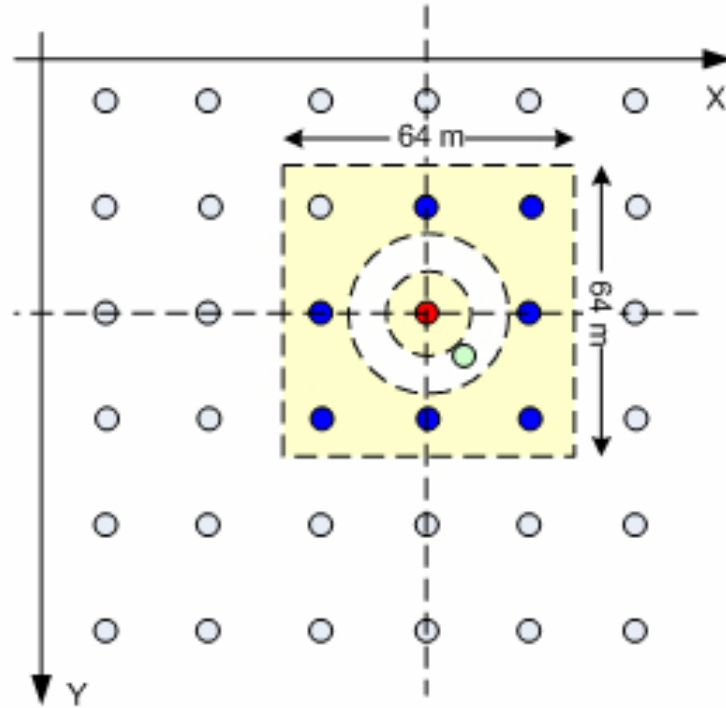


FIG 9. ACOTACIÓN DE UN MAPA DE 64X64

Otros de los casos que puede ser solucionado con un algoritmo software es conocer la posición de a que nivel se encuentra el nodo ciego, para ello necesitaremos una tercera coordenada (Z), este será representado con un byte por lo tanto tendremos hasta 256 niveles diferentes.

Hay que tener en cuenta se supone que el RSSI de un nodo de referencia localizado en otro nivel que el nodo de referencia es menor que el de un nodo de referencia que se encuentre en ese nivel. Esto implicará una gran densidad de nodos de referencia.



Un ejemplo se muestra en la siguiente figura:

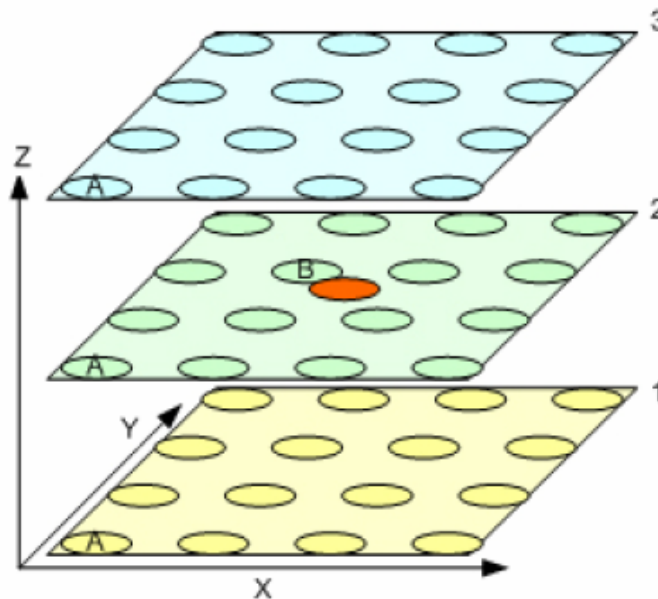


FIG 10. LOCALIZACION EN UNA RED DE TRES DIMENSIONES.

Como podemos ver hay tres niveles en los cuales hay tres nodos denominados con la letra A, estos tendrán la misma coordenada X e Y pero distinta coordenada Z.

Tenemos que tener en cuenta que este sistema el nodo más cercano será el que nos de su valor más grande de RSSI, ya que este será el que nos diga en que nivel nos encontramos, ya que es la clave para que este sistema nos diga donde se encuentra el nodo ciego.

Los pasos a seguir serían los siguientes:

1. Encontrar el nodo más cercano, en la figura anterior este nodo sería el nodo denominado B.
2. El nodo B indicará que el nodo ciego se encontrará en el nivel 2.
3. Luego se usarán todos los nodos de referencia del nivel 2 para realizar el cálculo.
4. El nodo ciego calculará su posición de forma normal, con las coordenadas X e Y.
5. Con el cálculo anterior, junto con la coordenada Z sabremos la posición del nodo ciego.



## 7.6 SISTEMA DE CONTROL

Para interactuar entre la red y los nodos se necesitará algún sistema, lo más habitual es usar un PC, por eso se necesita un interfaz entre la red y el PC y su función principal será la poder tener acceso a todas las transferencias de datos de la red, para proporcionar información al usuario, y la otra es que el usuario pueda tener acceso a unas mínimas funcionalidades como son:

- Configurar los nodos.
- Verificar el estado de los nodos, por ejemplo cuantos nodos hay conectados.
- Pedir a los nodos ciegos que digan su posición si no lo hacen en los intervalos establecidos.

La placa que realizará todo esto será la SmartRF04EB, su conexión será como se muestra en la figura siguiente:

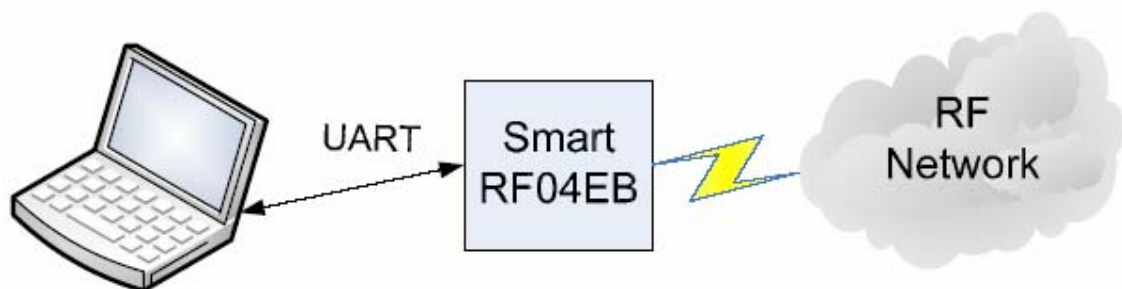


FIG 11. ENLACE ENTRE LA RED INALÁMBRICA Y EL PC

En el Documento 5 Anexos podemos ver un diagrama de flujo entre el Pc y los nodos que hubiese en la red.



## CAPITULO VIII.

### HARDWARE

#### 8.1 ZIGBEE

Como ya hemos comentado, nuestro sistema está basado en la tecnología Zigbee y ahora a continuación lo que haremos es reseñar las partes más importantes de los chips utilizados que son el CC2430 y el CC2431, cuya única diferencia entre uno y otro es que el CC2431 posee el Location Engine. Este se representa con las siguientes partes:

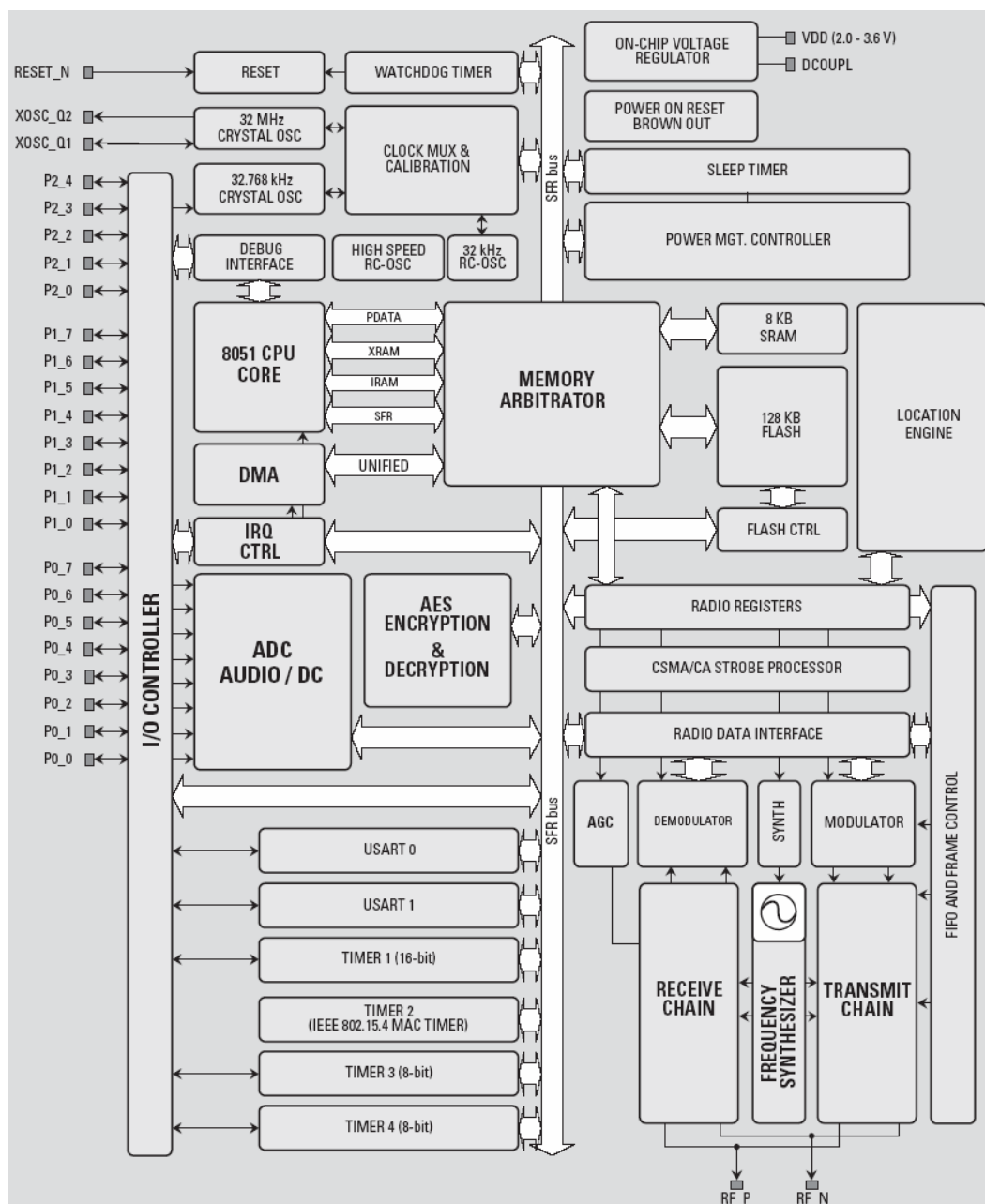


FIG 12. Partes del CC2431.





---

Las principales características de este son las siguientes:

- Traer incorporado el Location Engine para realizar los cálculos de localización en una red.
- Gran rendimiento y bajo consumo.
- Trae incorporado un microcontrolador 8051.
- Tiene un transmisor-receptor de radio frecuencia de 2,4Ghz según la IEEE 802.15.4.
- Tiene el protocolo de memoria jerarquizada de ZigBee.
- Sensibilidad alta en el receptor y robusto frente a las interferencias.
- 128 KB de memoria flash.
- 8 KB de memoria RAM.
- Potente funcionalidad de DMA.
- Pocos componentes externos.
- Sólo se necesita de un cristal para una red mallada.
- Muy bajo consumo (RX: 27mA, TX: 27mA).
- Sólo 0,5  $\mu A$  , en el estado "dormido", cuando haya una interrupción externa o el RTC este se despertará.
- Rápida transición desde los estados de bajo consumo a los estados activos.
- Soporta hardware CSMA/CA.
- Rango de tensión operable de 2V a 3,6V.
- Compatible con RSSI/LQI digitales.
- Sensor de temperatura.
- ADC con hasta 8 entradas configurables.
- Un coprocesador de seguridad AES de 128 bits.
- 2 USARTs con soporte para varios protocolos series.
- Soporta hardware de depuración.
- Tiene Watchdog Timer.
- Tiene un Timer MAC IEEE 802.15.4, un timer general de 16 bits y 2 timers de 8 bits.
- RoHS de 7x7 mm, encapsulado QOP48.



- 21 pines generales de I/O.
- Flexibilidad de las herramientas de desarrollo.

Reseñar que el rango de temperatura al que debe usarse es de -40°C a 85°C.

## 8.2 SmartRF04EB

Como ya sabemos la SmartRF04EB nos proporciona una de las partes fundamentales ya que nos permite la conexión entre el PC y la red inalámbrica. Además esta nos permite controlar y visualizar todo lo referente a la red (nodos, mensajes,...), la siguiente figura nos muestra los principales componentes de esta:

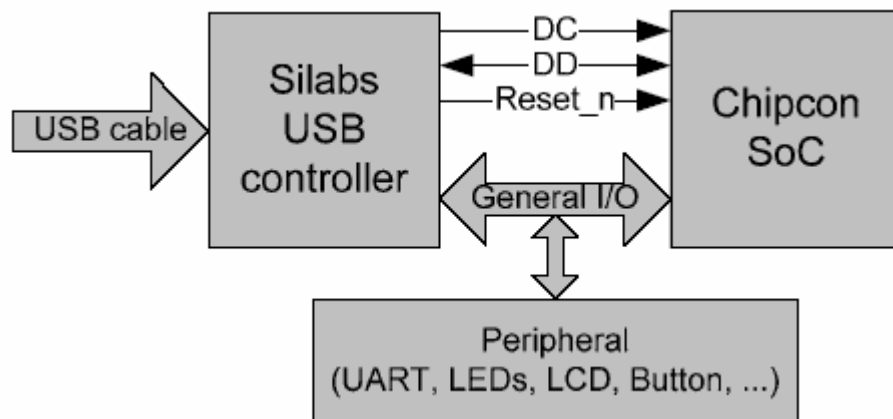


FIG 13. Principales componentes de la SmartRF04EB.

Como podemos ver un cable USB desde el PC está conectado directamente al controlador USB Silabs. Cuando un SoC (System on Chip), se conecta a la SmartRF04EB, el propósito de del controlador USB es “traducir”, las señales de USB al SoC, mediante dos señales que son DC (Debug Clock) y DD (Debug Data), y también tendrá control sobre la señal reset\_n del SoC.

La mayoría de los periféricos de la SmartRF04EB están conectados tanto para el controlador USB Silabs, como al SoC. Cuando el Controlador de Silabs detecta que un SoC está conectado, pondrá todas su I/O en alta impedancia.

En la siguiente figura podemos ver el aspecto real de la SmartRF04EB:

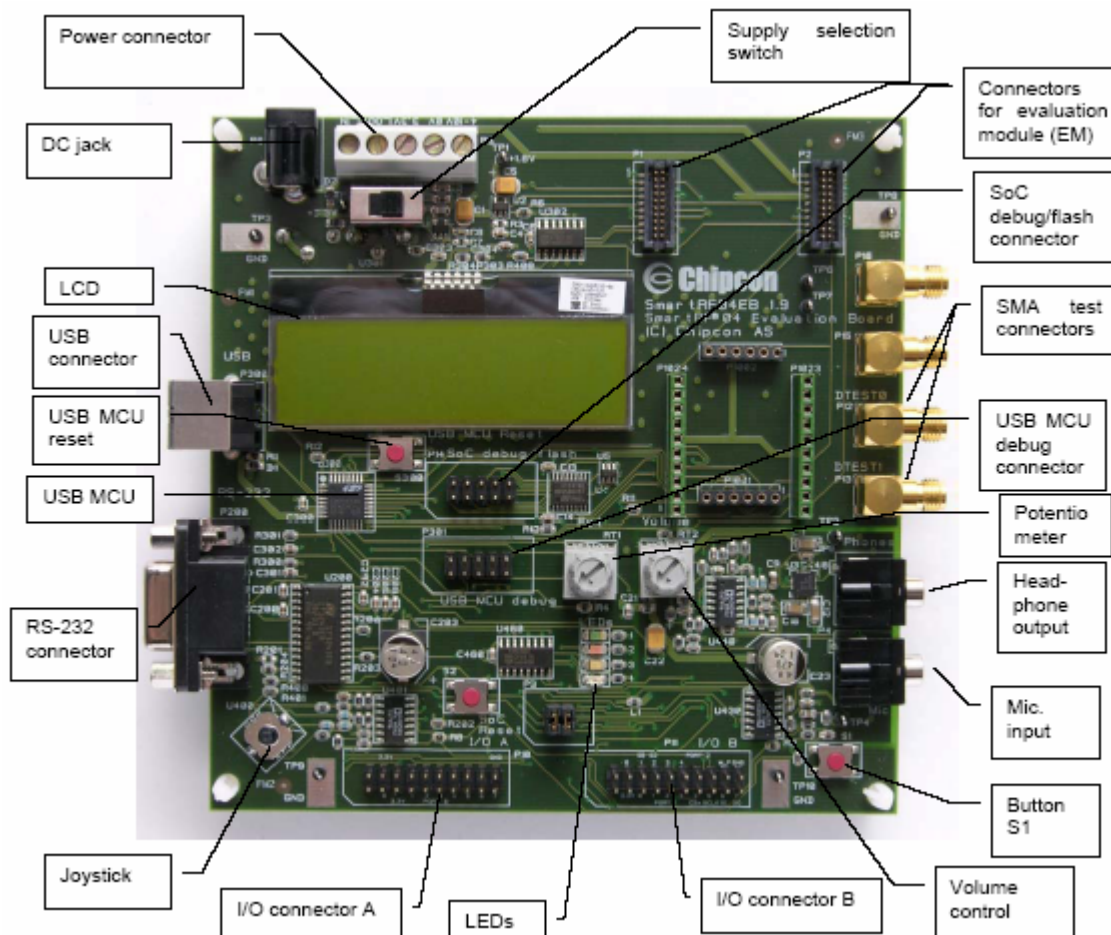


FIG 14. SmartRF04EB

En la figura podemos ver las distintas partes de las cuales se compone la SmartRF04EB.

Lo primero que comentaremos será las distintas formas de alimentación posible de la placa. Pero para ello debemos saber que en caso de que se le aplique directamente 3,3V, el interruptor S3 deberá estar en la izquierda, y para cualquier otro caso deberá estar en la derecha, además este interruptor sirve también como desconexión de la alimentación si lo colocamos en la posición contraria a la que se debe de colocar cuando se alimenta con uno de los casos anteriores. A continuación vemos una imagen del interruptor comentado.



FIG 15. Interruptor S3.



La SmartRF04EB tiene las siguientes posibilidades de alimentación:

- **Conector DC jack:** Son los conectores estándar de DC jack, como el que vemos en la imagen siguiente, y que puede ser utilizado para una tensión de entrada de 4-10V, y ya con un regulador interno de la placa, la regula a 3,3V que es la que necesita la placa.

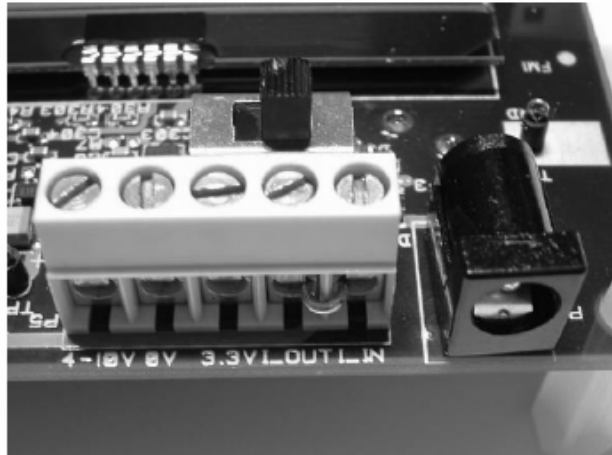


FIG 16. Conector de alimentación.

- **Alimentación en el laboratorio:** También se puede alimentar con una fuente de tensión que tengamos en el laboratorio, y podemos usar tanto la conexión anterior, colocando la tierra en el terminal de 0V, y ya el regulador se encargaría de alimentar a la placa con la tensión correspondiente. O también podemos alimentarlo con 3,3V en el pin que se indica con este nombre, por lo que no se usaría el regulador de tensión y por lo tanto habría que colocar el interruptor S3 en el lado izquierdo.
- **Alimentación a través de USB:** Si la placa está conectada con el cable USB con el PC esta se alimentará de este, pero para ello necesitará el regulador de tensión por lo que el interruptor S3 debería estar en el lado derecho para que funcionase.
- **Mediante una batería:** La placa también incluye un conector para una batería de 9V, por la parte posterior de la placa. En este caso será necesario el uso del regulador, por lo que el interruptor S3 deberá estar en el lado derecho para que funcione.

Después nos encontramos con los distintos interfaces, que son los siguientes:

- **Interfaz USB:** Sirve para la programación y depuración a través de los programas de PC. También sirve como hemos comentado anteriormente para la alimentación.
- **Interfaz RS-232:** Este interfaz sirve para establecer comunicaciones con otros dispositivos, principalmente el PC. Nota el RS-232 tiene un multiplicador de tensión y este puede meter algo de ruido.



- **Interfaz usuario:** La SmartRF04EB incluye un joystick, varios pulsadores, 4 leds y una pantalla LCD de 2x16 caracteres.
- **Interfaz de audio:** La SmartRF04EB incluye una entrada para un micrófono y una salida para auriculares. La parte de salida de audio consiste en un control del volumen, seguido por un filtro de nivel 4 Chebychev, que sirve para atenuar las frecuencias por encima de 6kHz y un convertidor de señales PWM a una señal analógica de audio. La entrada del micrófono consiste en un amplificador de micrófono y seguido con un filtro pasa bajo.
- **Interfaz SPI (Serial Peripheral Interface):** Debido a problemas en las primeras versiones de los SoC, en un cambio dirección de los pines para MOSI y MISO, para el cambio de modo master a modo esclavo. En las próximas versiones siempre habrá que colocar los pines en modo master, el modo SPI esclavo se utilizará en caso de que se use el programa de Chipcon Packet Sniffer pero que nosotros no hemos utilizado.

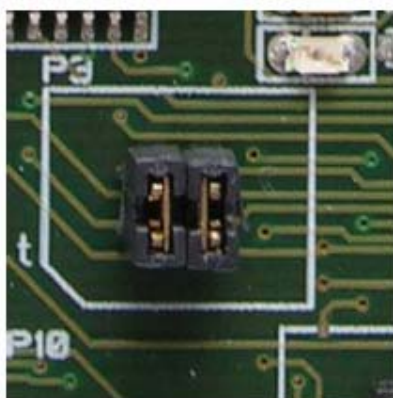


FIG 17. Modo Master.

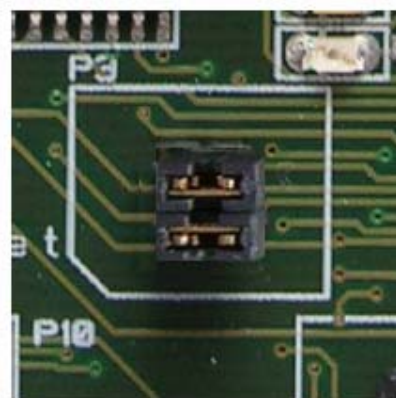


FIG 18. Modo Esclavo.

- **Conectores I/O:** Estos conectores nos permiten tener acceso a lo siguiente:

Pin	Function
1	N/C
2	N/C
3	P0_0/MIC_IN
4	VDD
5	VDD
6	N/C
7	P0_1/BUTTON_PUSH
8	N/C
9	P0_2/UART_RD
10	N/C
11	P0_3/UART_TD
12	N/C
13	P0_4/RTS
14	N/C
15	P0_5/JOY_PUSH
16	N/C
17	P0_6/JOY
18	N/C
19	P0_7/POT
20	GND

TABLA 2. Conector A (P10).

Pin	Function
1	N/C
2	N/C
3	VDD
4	P2_0/LED4
5	P1_0/LED1
6	P2_1/DD
7	P1_1/PWM_OUTPUT
8	P2_2/DC
9	P1_2/LED2
10	P2_3/SDA
11	P1_3/LED3
12	P2_4/SCL
13	P1_4/CSn
14	N/C
15	P1_5/SCLK
16	RESET_N
17	P1_6/MOSI
18	Debug Data Direction(DD_DIR)
19	P1_7/MISO
20	GND

FIG 3. Conector B (P11).



- **Conectores EM:** Estos conectores sirven para conectar los EM a la SmartRF004EB, y estos están nombrados con P1 y P2.
- **Flujo de la señal:** Las señales de los conectores EM van a través de las pistas hasta el USB MCU y varios periféricos de la SmartRF004EB, como se muestra en la siguiente figura:

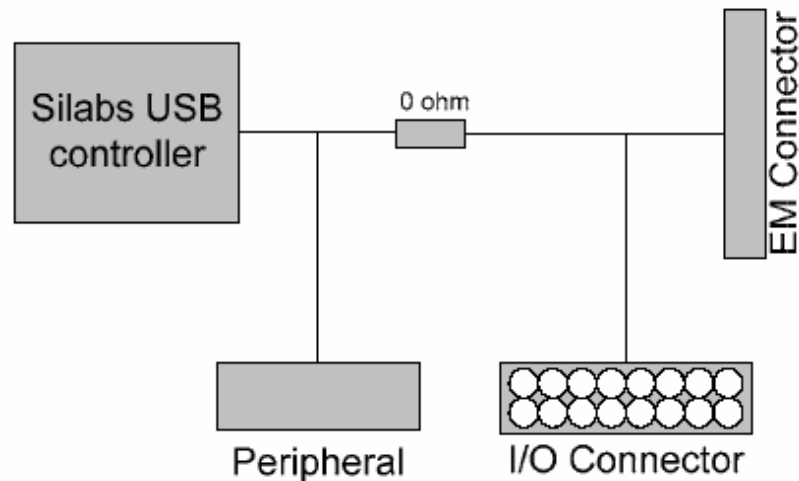


FIG 19. Flujo de la señal.

- **Conexión entre EM y el display LCD:** Los pines P2\_3 y el P2\_4 del SoC están conectados al oscilador de 32kHz de la placa EM. El display LCD está conectado a través de P1\_2 y P2\_0 a los P2\_3 y P2\_4 del conector P11 respectivamente y estos están unidos al display LCD, como se muestra en la figura siguiente:

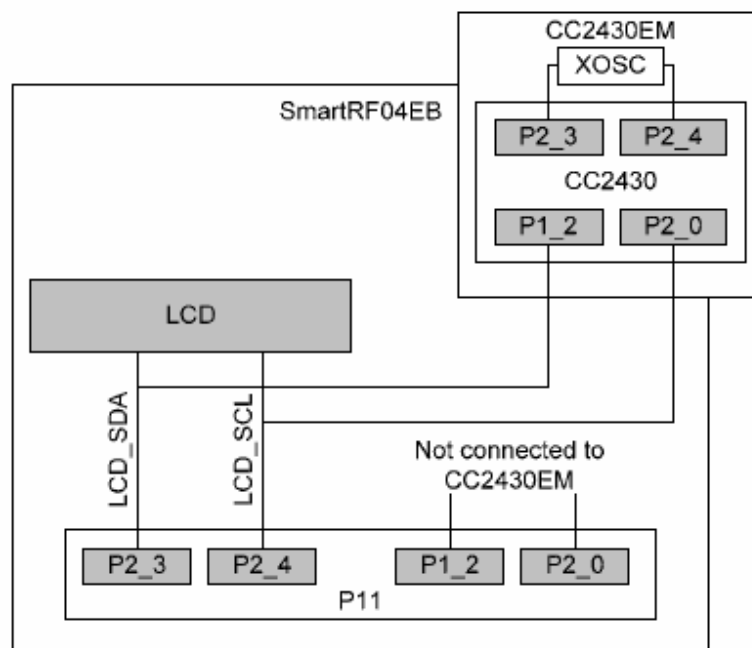


FIG 20. Conexión EM y LCD.



### 8.3 BATTERY BOARD

La Battery Board es la placa que nos permite alimentar con dos pilas del tipo AA al CC2431EM/CC2430EM, el conjunto de estas dos es como se muestra en la siguiente figura:

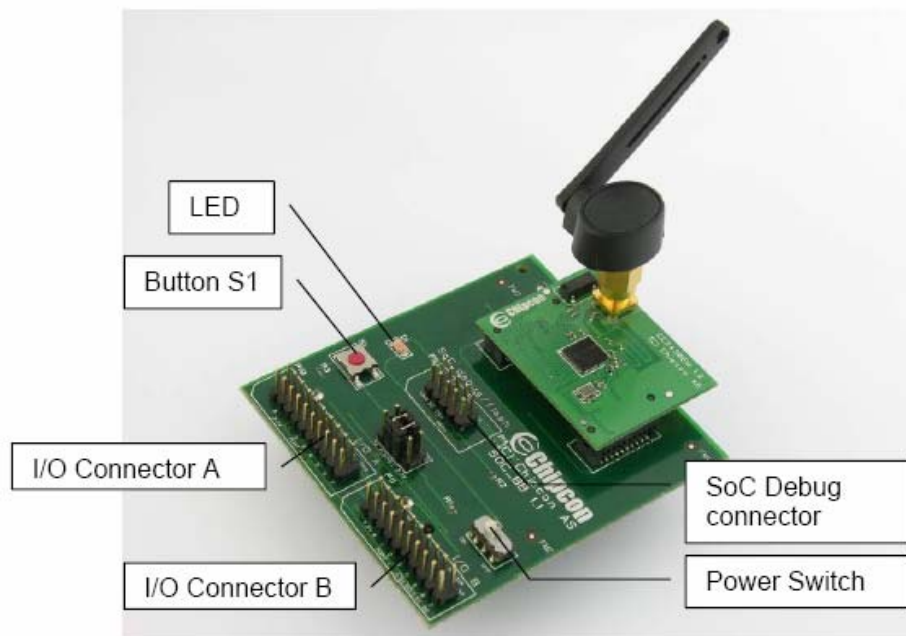


FIG 21. Battery Board con un CC2430EM.

Además de la alimentación mediante las dos pilas AA, también puede ser alimentada desde una fuente de alimentación del laboratorio, pero hay que tener en cuenta que no utiliza un convertidor de tensión, por lo que la tensión estará conectada directamente al chip.

La parte por donde se conectan las pilas es la cara bottom de la placa y que se muestra a continuación:

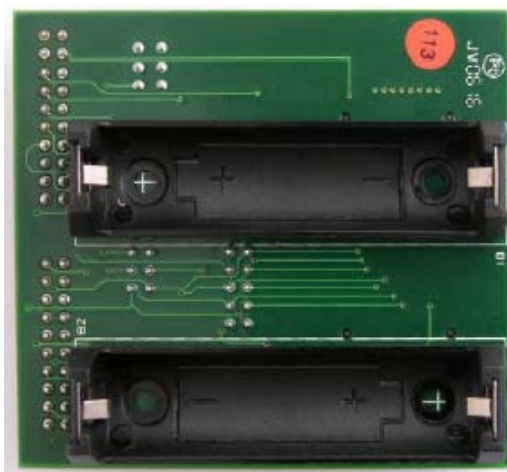


FIG 22. Cara bottom de la Battery Board.

Los conectores de I/O A y B, dan acceso a todas las I/O del SoC, estos tienen la misma función que los conectores P10 y P11 de la SmartRF04EB.



También está el conector SoC Debug, el cual nos permite la descarga del firmware a la flash y también la depuración del chip, para ambas acciones se usa la SmartRF04EB como circuito emulador.

Los pines más importantes de P4 son los pines 3 y 4 para habilitar el LED, los pines 5 y 6 habilitan al pulsador S1, los pines 1 y 2 están conectados al P1.6 (TD) y P1.7 (RD) respectivamente para tener un fácil acceso a la UART, y por último los pines 7 y 8 están conectados a VDD y GND respectivamente.

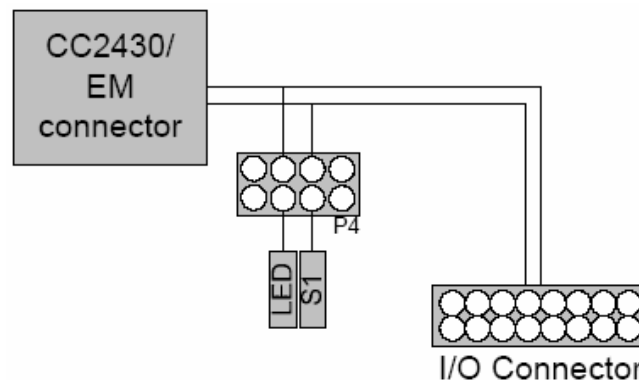


FIG 23. Flujo de la señales en la Battery Board.

Mediante el interruptor S3 podremos activar o desactivar la Battery Board.

Además de la programación que se puede realizar de la CC2431EM conectándola a los conectores P1 y P2 de la SmartRF04EB, y utilizando el programa de Z-Location Engine, existe otra posibilidad que no necesita de esta conexión para la programación, la cual se realiza mediante una cinta de 10 hilos conectada entre el P5 de la SOC\_BB y el P14 de la SmartRF04EB, para ello la SOC\_BB deberá de estar alimentada y encendida antes de realizar la programación la forma de la conexión será como se muestra en la siguiente figura:

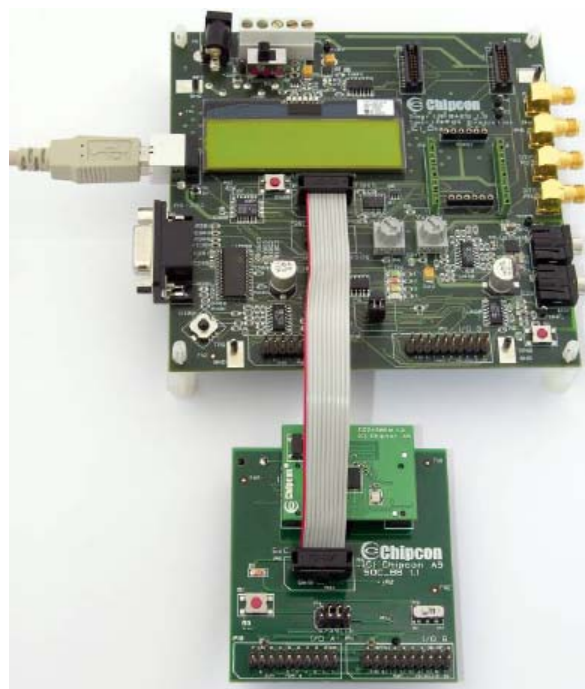


FIG 24. Conexión de la SmartRF04EB y SOC\_BB para la programación





## 8.4 PLACA PCB DISEÑADA

La mayor parte de los componentes utilizados son SMD, por lo que se consigue unos de los principales objetivos de este diseño que intentar reducir lo máximo posible el tamaño. Aún teniendo conectores para la programación y depuración, una pila botón, y otros componentes las dimensiones finales son de 37,2 x 39,5 mm.

En la PCB se han utilizado distintos grosores de pista, una más gruesa para todo lo referente a la alimentación y otra más fina para la parte de control.

La placa es de doble cara con metalización de cobre de 36  $\mu\text{m}$ , tipo FR4, suponiendo una temperatura ambiente de unos 40 °C y según la UNE 20-621-84, podemos calcular el grosor de las pistas mediante la siguiente gráfica:

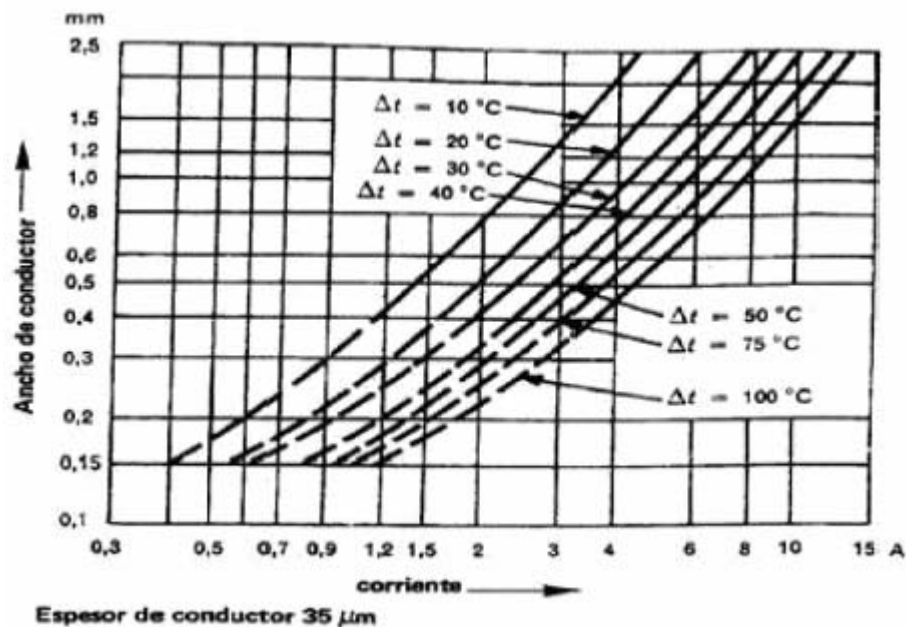


FIG 25. Gráfica para ver el grosor de las pistas.

En nuestro circuito nuestro ancho mínimo es de 0,2 mm, para lo que obtenemos una intensidad máxima de 1,2 A, y esta es muy superior a la utilizada en cualquier parte del circuito por la parte de control. El segundo ancho de pista utilizado es de 0,4 mm para la cual obtenemos una intensidad máxima de 2,4 A también es muy superior al valor de la corriente que circula por estas pistas en el circuito. Por lo que se ha realizado un diseño correcto de los anchos de pista.

En cuanto al diseño propiamente dicho lo que se ha tratado es realizar un diseño lo más pequeño posible, para ello lo primero que nos planteamos fue intentar eliminar la Battery Board, ya que esta la principal función que tiene es la de alimentar con dos pilas de tipo AA, permitir la programación del CC2430/31 mediante los conectores EM y la de tener acceso a todos los I/O del SoC, teniendo en cuenta todo esto decidimos sustituir las pilas AA por una pila de Botón la cual reduce considerablemente el tamaño y el peso de la placa, también como comprobamos que la programación se podía realizar sin necesitar los conectores EM decidimos eliminar estos. Y por último como en nuestro proyecto no se desea dar mayor uso en un



principio a los I/O decidimos eliminar los conectores que nos permite tener acceso a estos, con lo cual conseguimos reducir el tamaño y el peso de la placa.

Para el diseño de la placa nos basamos en los esquemáticos, de la Battery Board, en el del CC3430EM y en los datos de las conexiones necesarias que vienen en el data sheet del CC2430.

Luego de todo esto realizamos la placa la cual tuvimos que tener mucho cuidado a la hora de soldar los componentes y a la hora de la comprobación de la placa ya que sus dimensiones y sus pequeños componentes pueden dificultar bastante.

A continuación podemos ver algunas vistas generadas por el programa utilizado para el diseño de la placa, y que están incluidos en el fichero GERBER para la fabricación de la placa y también en el documento Planos.

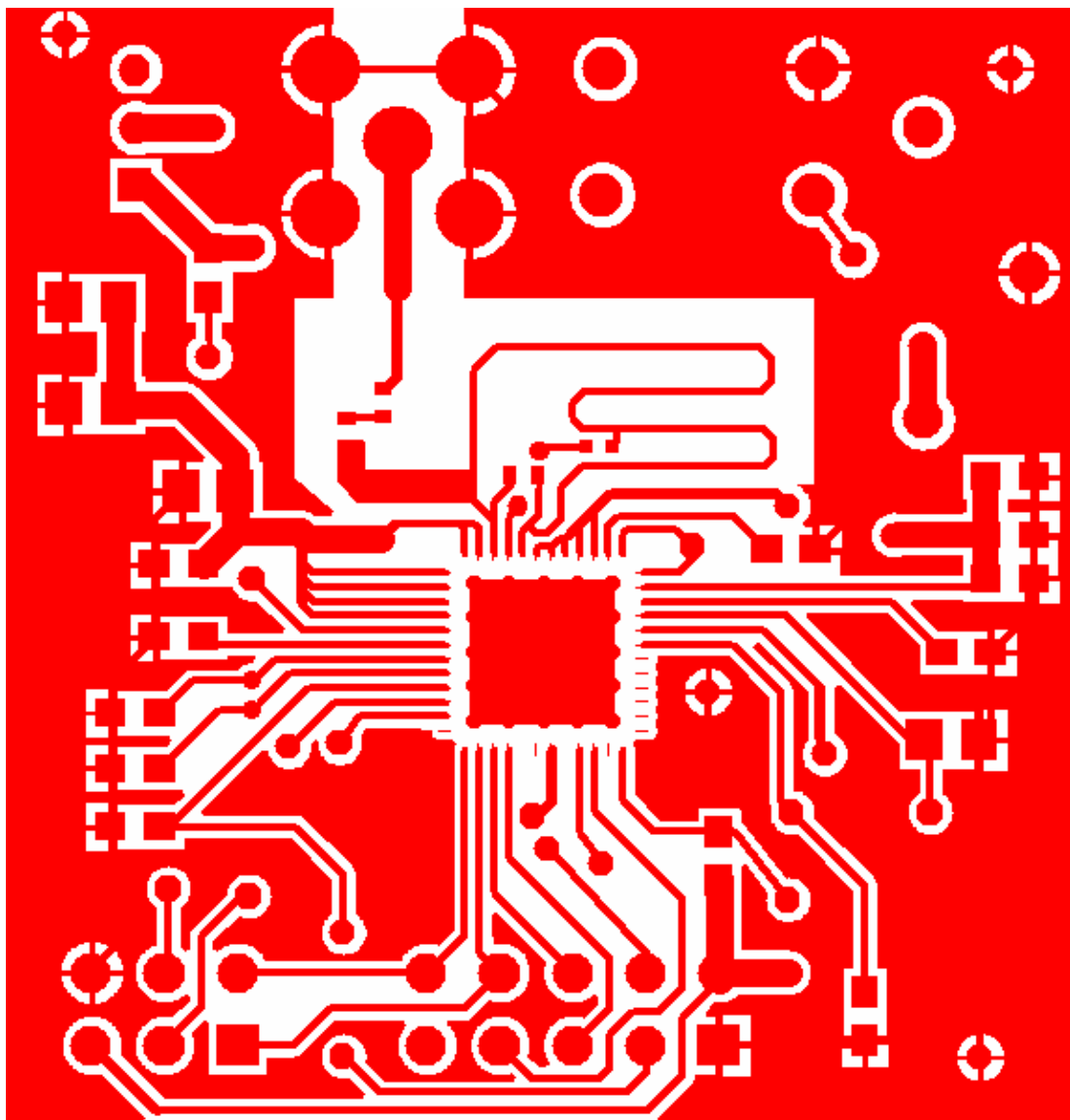


FIG 26. Cara Top.

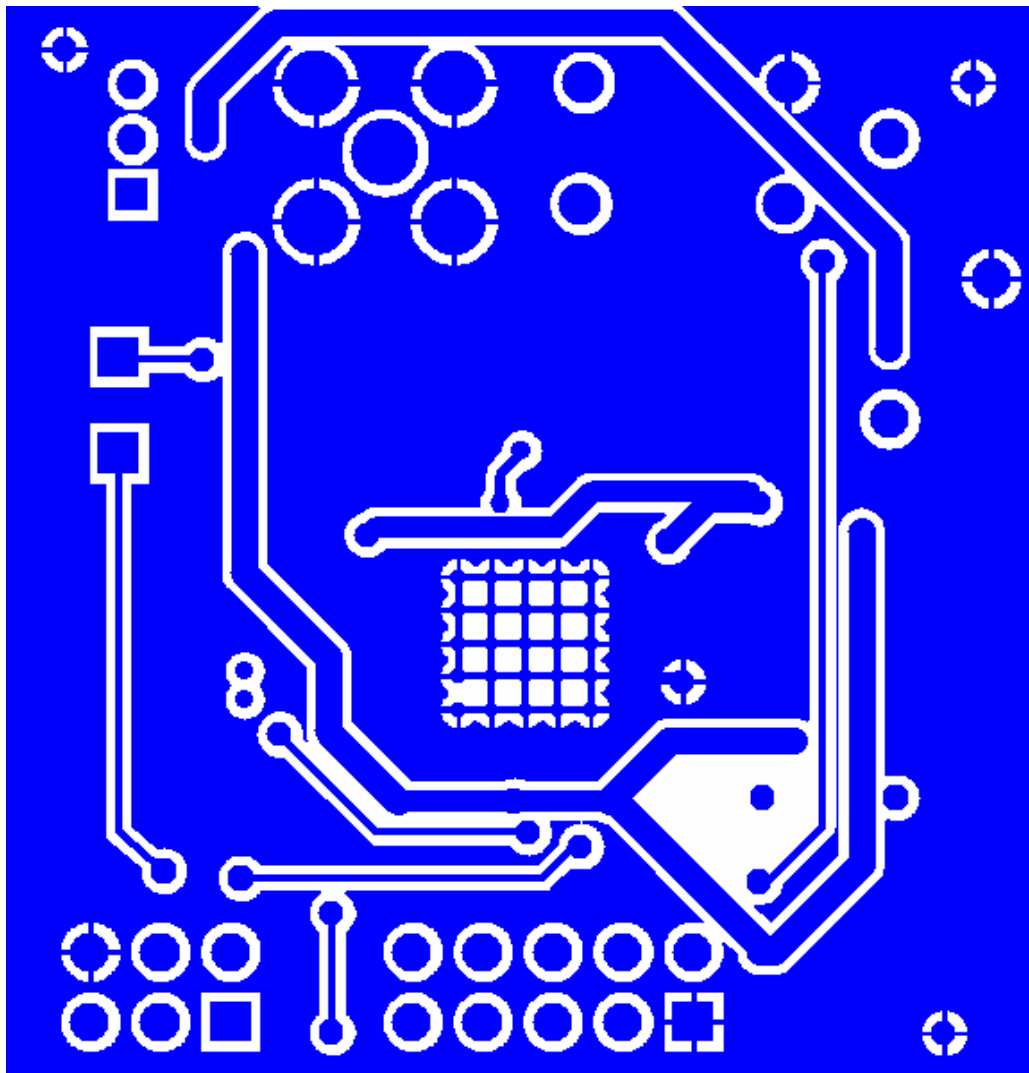


FIG 27. Cara Bottom.

La programación de la placa diseñada se realizará de la misma forma que se comentó más arriba y que consistía en realizar la programación mediante una cinta de 10 hilos conectada entre el P5 de la SOC\_BB y el P14 de la SmartRF04EB, para ello la placa deberá de estar alimentada y encendida antes de realizar la programación la forma de la conexión será como se muestra en la siguiente figura, pero hay que tener en cuenta de que antes de realizar todo esto será necesario programarle una dirección IEEE válida, la cual podemos realizar mediante el programa IEEE Address Programmer como ya comentaremos en el siguiente capítulo de este documento.



FIG 28. Programación de la placa diseñada.



## CAPITULO IX.

### SOFTWARE DEL PC

Los programas utilizados para este proyecto son los siguientes:

- Z-Location Engine.
- LEMonitor.
- IEEE Address Programmer.

Hay que tener en cuenta que todos estos programas anteriormente citados son proporcionados por Texas Instruments y que ninguno ha sido desarrollado en este proyecto. Lo que si se propone como una posible mejora es desarrollar un software propio y adaptado a la instalación en concreto o la necesidad de adquirir las licencias correspondientes en caso de que la instalación se realizara.

#### 9.1 Z-LOCATION ENGINE

El primero de ellos que explicaremos será el Z-Location Engine el cual nos permite visualizar el sistema en el PC, configurarlo y tener un control sobre este. A continuación podemos ver la interfaz gráfica de usuario:

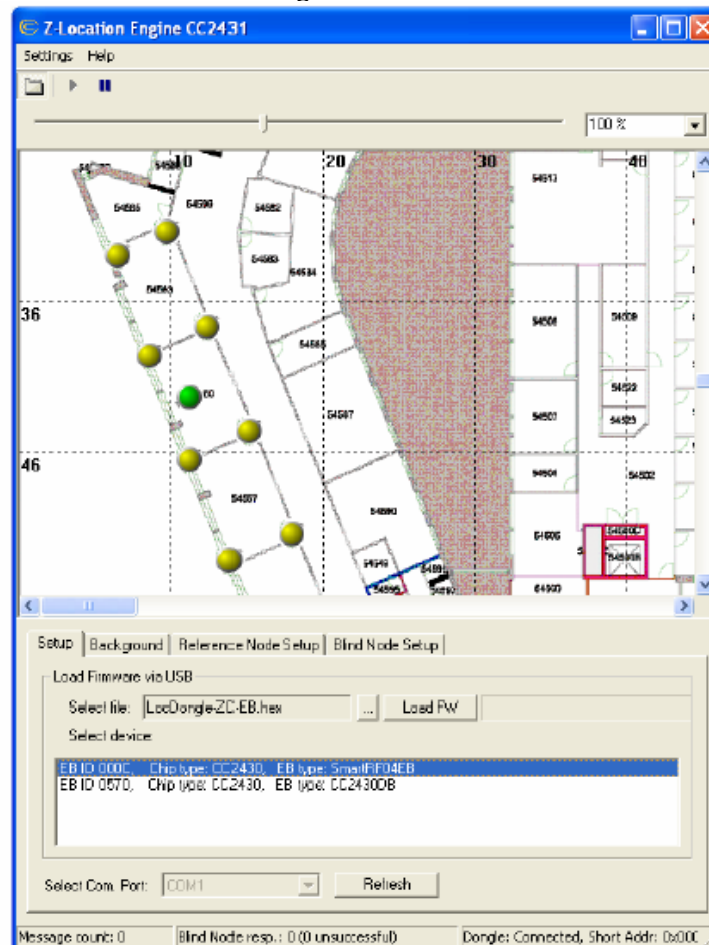


FIG 29. Pantalla del Z-Location Engine



A continuación pasaremos a explicar en que consiste cada uno de los menús y botones que posee el programa, con la intención de que sea más fácil su comprensión.

En la parte superior podemos distinguir los siguientes menús y botones:

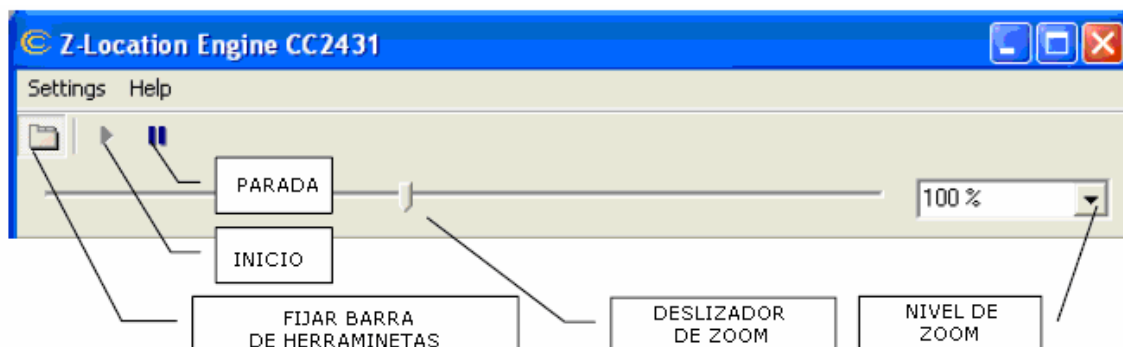


FIG 30. MENÚS Y BOTONES.

- **Fijar barra de herramientas:** Si la tenemos activada nos permitirá visualizar y a tener acceso a las herramientas inferiores del programa.
- **Inicio:** Sirve para conectar la SmartRF04EB.
- **Parada:** Sirve para desconectar la SmartRF04EB y para quitar los nodos de la lista.
- **Zoom:** Sirve para aumentar o disminuir el área de localización.

Todos los parámetros que pueden variarse se muestran en la siguiente figura, este se abre cuando presionamos Settings.

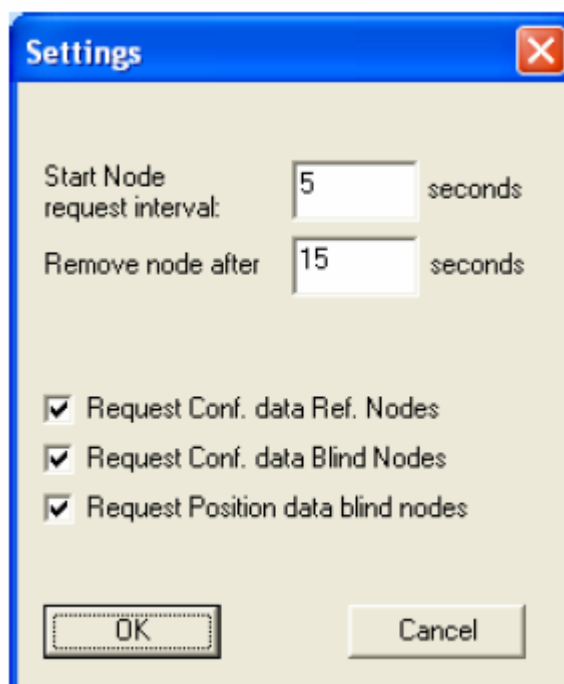


FIG 31. Settings



- **Start Node request node:** Este valor es dado en segundos. Este valor fija el intervalo de tiempo entre la aplicación del PC y las emisiones de los nodos.
- **Remove node after:** Los nodos registrados por la aplicación del PC serán verificados por regularmente. Si el tiempo desde el último mensaje desde el nodo será confrontado con el valor dado en el campo, y si es mayor entonces este nodo se quitará de la aplicación.
- **Request Conf. data Ref. Nodes:** Sirve para el control de la emisiones, se demanda los datos de configuración de los nodos de referencia, en caso de que esto no ocurra no se enviará ningún mensaje a los nodos de referencia.
- **Request Conf. Data Blind Nodes:** Idem a lo anterior pero para los nodos ciegos.
- **Request Position data blind nodes:** Sirve para controlar las peticiones de los datos de posición de los nodos ciegos

Este programa posee cuatro paneles en la parte inferior que son: Setup, Background, Reference Node Setup y Blind Node Setup, los cuales explicaremos a continuación.

- **Setup:** En este panel tiene como principales funciones la de elegir el puerto COM que se va a utilizar para la conexión de la SmartRF04EB con el PC. Este soporta desde el COM1 al COM20. Además de lo anterior también da la posibilidad de descargar el firmware directamente sobre la placa que se conecte a la SmartRF04EB o al conector P14 de esta misma placa. La selección del firmware se realiza fácilmente pulsando sobre el botón Load FW, y seleccionando el archivo a cargar. Una nota importante es que en la programación de la flash siempre retendrá la dirección IEEE almacenada en los últimos 8 bytes de la flash del CC2431/CC2430. El panel donde se realiza todo lo anterior es el siguiente:

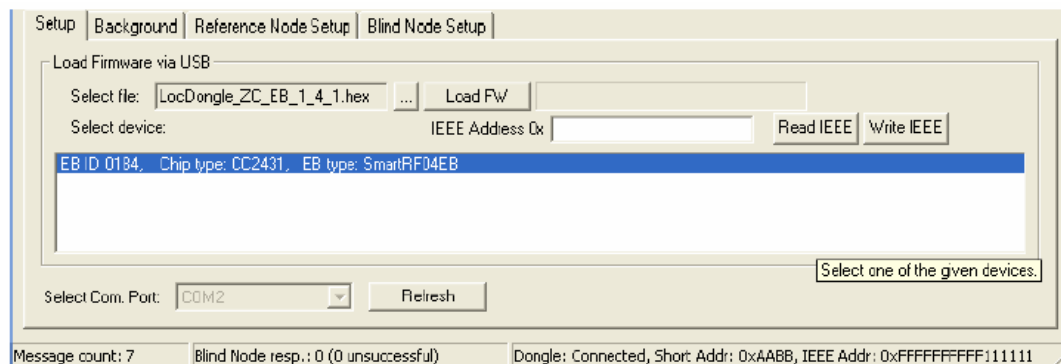


FIG 32. Panel Setup.



- **Background:** Este panel te permite que puedas incluir un mapa en el área donde se encuentran los nodos. Esta imagen debe de tener una extensión .bmp. Además tiene la opción de introducir la anchura y la altura del mapa en metros, y a continuación habrá que darle a al botón de Update y tener activa la opción de "Show background image", para que aparezca el mapa. En la parte derecha además de la opción de "Show background image" que sirve para que se visualice el mapa introducido, también se encuentra la opción de "Visible grid", la cual permite que ver al cuadrícula en caso de que este activa.

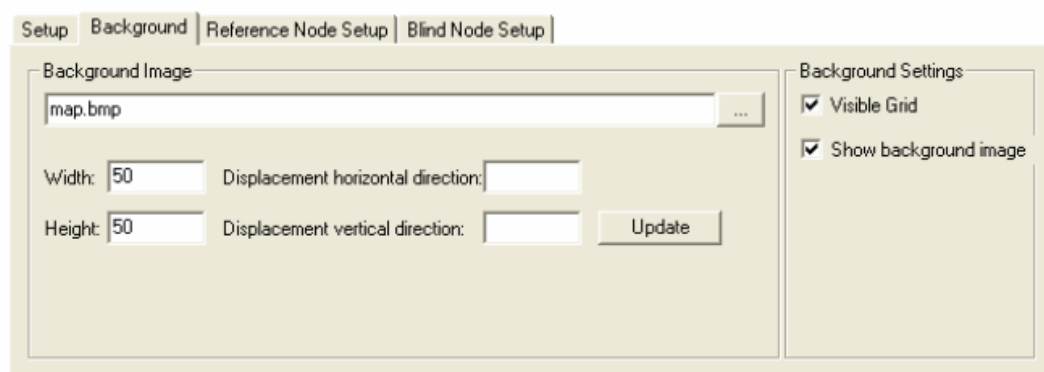


FIG 33. Panel Background.

- **Reference Node Setup:** En este panel da la posibilidad al usuario de asignar las coordenadas a cada uno de los nodos de referencia que haya en el sistema, para realizar este debemos picar dos veces sobre el nodo que queremos editar su posición y entonces tendremos la posibilidad de hacerlo, y la otra forma es picando sobre el nodo cuando aparece en el área. Una vez que elijamos uno de estos dos procedimientos podremos editarlo y confirmarlo pulsando el botón de "Update", y entonces aparecerá este nodo de color amarillo sobre el mapa. El panel que aparece es como el de la siguiente figura:

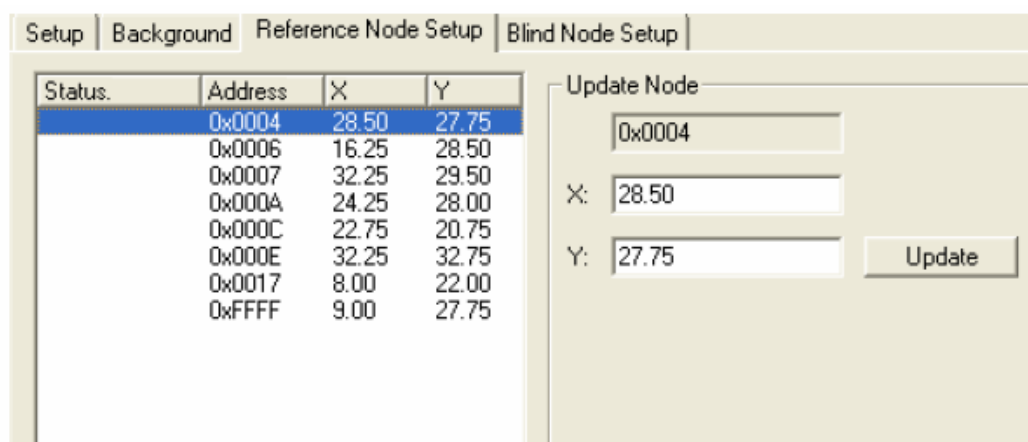


FIG 34. Panel Reference Node Setup.





- **Blind Node Setup:** En este panel se mostrarán los nodos ciegos que hay en el sistema, y los cuales podremos configurar de la misma forma que se ha explicado anteriormente, siendo el panel donde se realizará el siguiente:

Status.	Address	X	Y
New	0x0007		
	0x0008	28.75	32.50

**Update Node**  
Node id: 0x0008      Cycle Time: 20  
A: 39.00      Rep. short address: 0xAABB  
N: 16      Rep. Endpoint: 203  
Operating Mode: 1      Min. Ref. Nodes: 3  
Collect Time: 2      **Update**

FIG 35. Panel Blind Node Setup.

La información de cada parámetro de muestra a continuación:

- **A:** Es el valor absoluto de RSSI en dBm a la distancia de un metro del transmisor.
- **N:** Representa el valor del exponente de la señal de propagación, describe como decae la señal con el aumento de la distancia del nodo transmisor.
- **Operating Mode:** Existen dos modos:
  - 0: Espera a que se requiera encontrar al nodo ciego para realizar la búsqueda.
  - 1: Automáticamente se inicia la búsqueda y se da la respuesta.
- **Collect Time:** Es el número de milisegundos que espera a que el nodo de referencia responda a una petición del nodo ciego. (los incrementos son de 100 milisegundos).
- **Cycle Time:** Es el número de milisegundos que espera antes de comenzar de nuevo el cálculo. Esto solo es válido en el Operating Mode 1.
- **Report Short Address:** Dirección a la cual el nodo ciego devolverá los cálculos realizados (en el modo automático), en el modo 0, los devolverá a quién realizó la demanda.
- **Report Endpoint:** Destino final del mensaje de respuesta del nodo ciego (solo en modo automático).
- **Min. Ref. Nodes:** Mínimo número de nodos con los que realizar los cálculos de la localización (3-16).

Por último cabe destacar que abajo aparece una barra de estados, con información del interfaz que este conectado al PC, y a continuación mostramos una imagen de los datos que pueden aparecer.

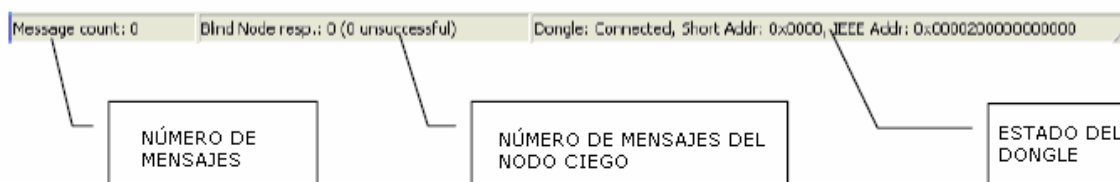


FIG 36. Barra de estado.

Como podemos ver los datos que aparecen son el número de mensajes recibidos que fueron recibidos por el PC desde que se lanzó el programa. Otro es el número de mensajes recibidos por el nodo ciego, y el último es el estado en el que se encuentra la placa conectada al PC.

## 9.2 LOCATION ENGINE MONITOR (LEMonitor)

Esta aplicación tiene como principal función visualizar todos los mensajes recibidos por la SmartRF04EB. Este programa permite también la configuración de la red pero se recomienda mejor utilizar el Z-Location Engine.

El programa tiene el siguiente aspecto:

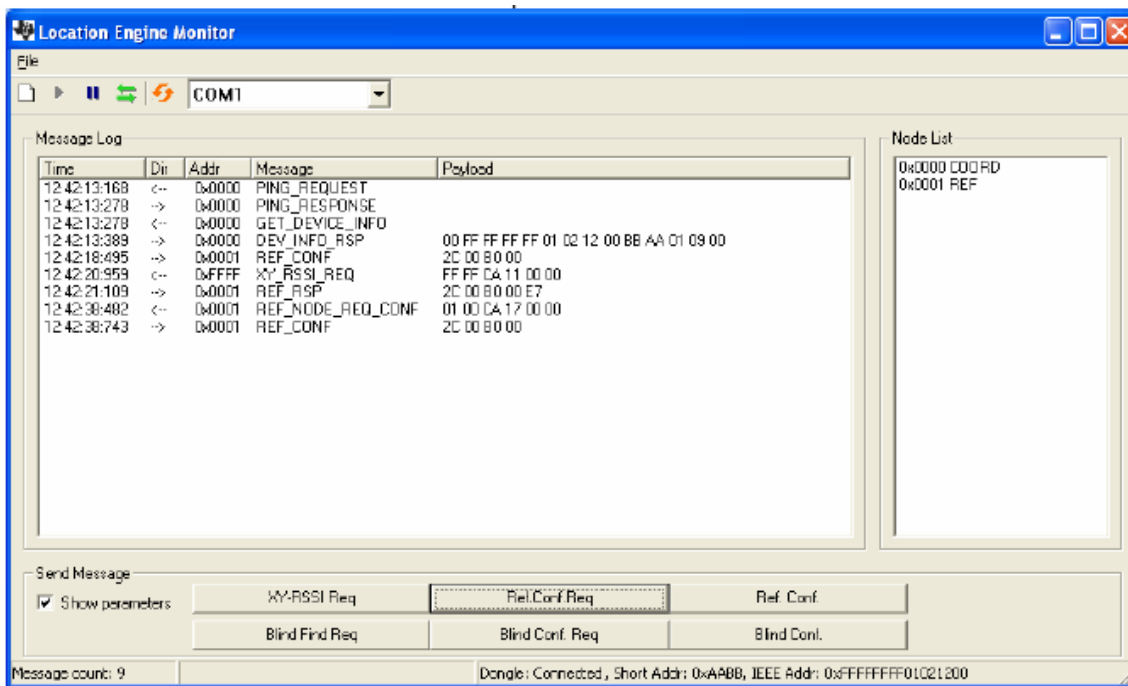


FIG 37. Interfaz gráfico de LEMonitor.

Lo primero que ocurre cuando se conecta dándole a Start es que el programa envía un señal (PING\_REQUEST) a la SmartRF04EB, y si este responde diciendo que la ha recibido (PING\_RESPONSE), y entonces se le devolverá el "GET\_DEVICE\_INFO", y aparecerá en la barra de estado que hay un dispositivo conectado.



El menú contiene los siguientes opciones:

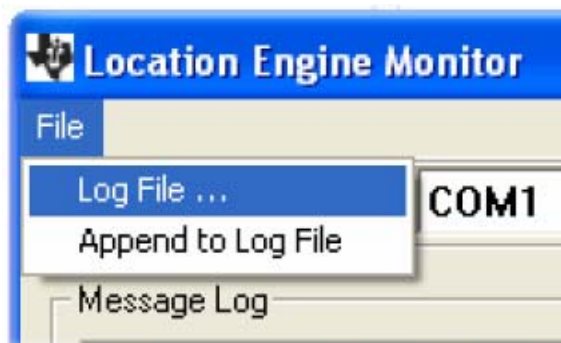


FIG 38. Menú.

- **Log File:** Sirve para poner el nombre y elegir la ruta donde registrar el archivo.
- **Append to Log File:** Sirve para si se desea adjuntar la información de los mensajes al archivo registrado.

Luego esta la barra de herramientas que se muestra en la siguiente figura y la que quedan bastante claro cual es la función de cada una:

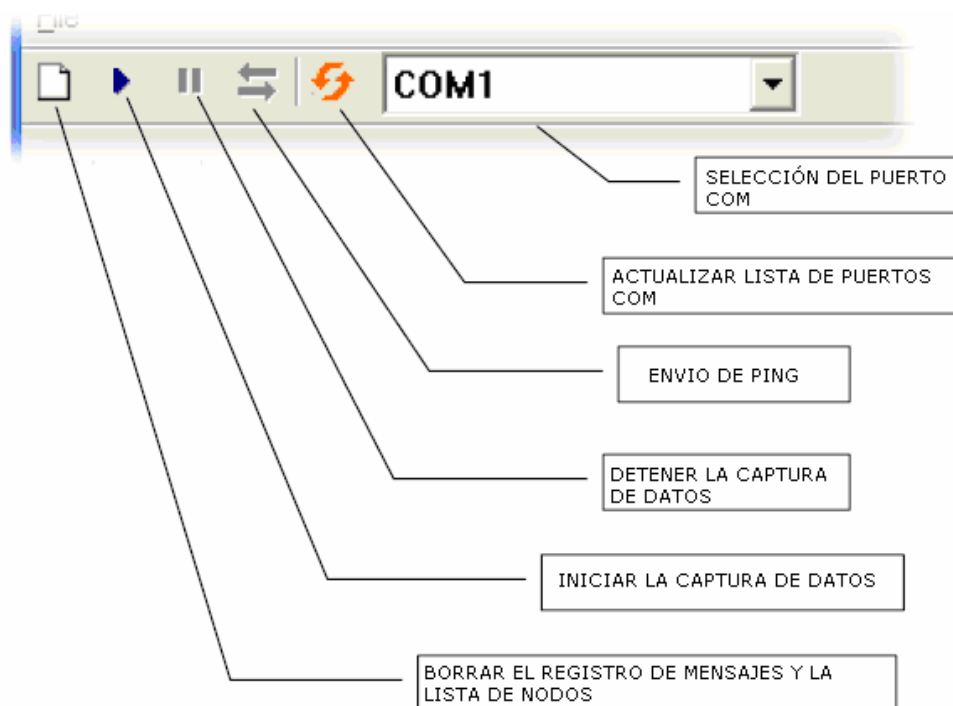


FIG 39. Barra de herramientas.



Más abajo lo que encontramos el lugar donde aparecen todos los mensajes tanto recibidos como enviados, en la siguiente figura podemos ver a que nos referimos:

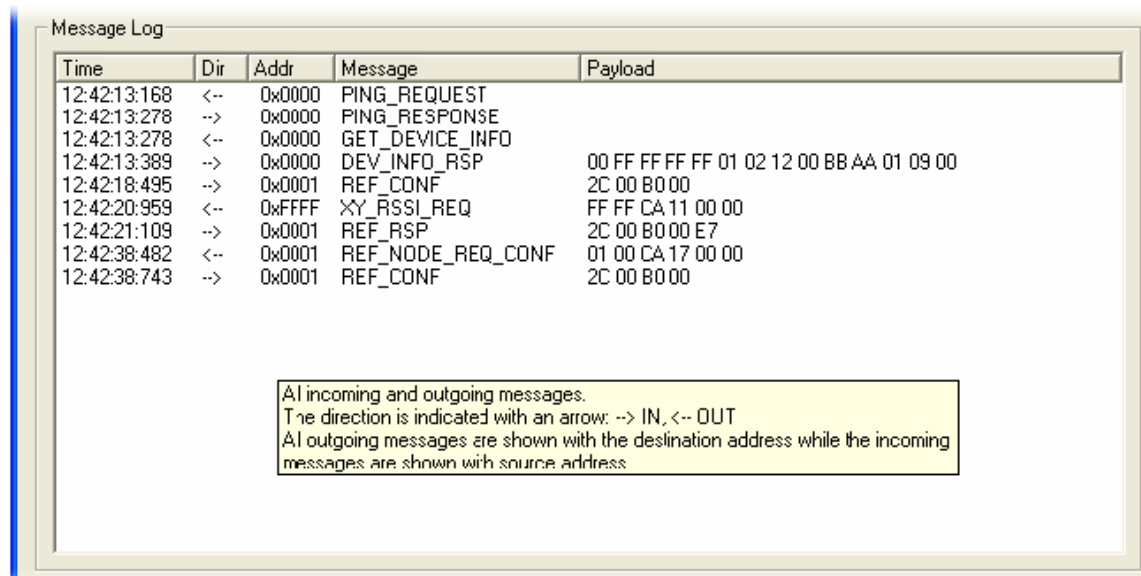


FIG 40. Panel de mensajes.

Y en la parte derecha al lado podemos ver la lista de nodos que pertenecen a la red, y en la que se define la dirección de cada nodo y que es el en sistema (nodo de referencia, nodo ciego o coordinador).

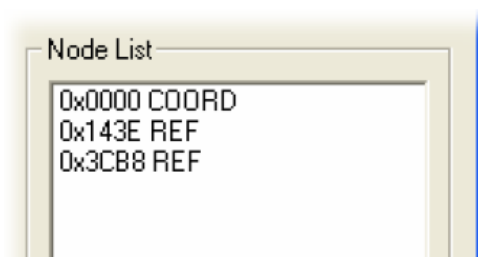


FIG 41. Lista de nodos.

Por último se encuentra la parte que nos sirve para enviar mensajes, dentro de ellos también están los mensajes en los que se pueden configurar los nodos.



FIG 42. Mensajes para enviar.



A continuación explicaremos lo que ocurre si pulsamos cada uno de los posibles mensajes.

- **XY-RSSI-Req:** Este envía un mensaje a los nodos de referencia para solicitar su posición X e Y, además de calcular el promedio de RSSI.
- **Blind Find Req:** Envía un mensaje al nodo ciego para obligarle a realizar el cálculo de su posición.
- **Ref.Conf.Req:** Envía un mensaje para pedir la configuración del nodo de referencia que deseemos.
- **Blind Conf. Req:** Envía un mensaje para pedir la configuración del nodo ciego que deseemos.
- **Ref. Conf:** Envía un mensaje con la nueva configuración del nodo de referencia que deseemos.
- **Blind Conf:** Envía un mensaje al nodo ciego con la nueva configuración que deseemos.

Y los mensajes que se devolverán como respuesta de las peticiones anteriores son los siguientes:

- Como respuesta al mensaje **XY-RSSI-Req** el programa responderá con el consiguiente **XY-RSSI Response** siendo el cuerpo del mensaje el siguiente:

Byte Index	Description	Value
0 & 1	Reference Node's X position	Bits 15-2 – whole meters Bits 1-0 – 0.25 meters If this field contains 0xFFFF, the Reference Node hasn't been configured
2 & 3	Reference Node's Y position	Bits 15-2 – whole meters Bits 1-0 – 0.25 meters If this field contains 0xFFFF, the Reference Node hasn't been configured
4	RSSI Average of any RSSI Blast broadcasts and that of the request message itself.	0 – 255

TABLA 4. Tabla del mensaje XY-RSSI Response

**NOTA:** Tanto en este como en los siguientes mensajes que pongamos los bytes se envían de menos significativo a más significativo, en el caso de que algún dato este dado por dos bytes.



- Como respuesta al mensaje **Blind Find Req** el programa responderá con el consiguiente **Blind Node Find Response** siendo el cuerpo del mensaje el siguiente:

Byte Index	Description	Value
0	Status	0 – Success 1 – Not enough Reference Node responding
1 & 2	Blind Node's calculated X position	Bits 15-2 – whole meters Bits 1-0 – 0.25 meters
3 & 4	Blind Node's calculated Y position	Bits 15-2 – whole meters Bits 1-0 – 0.25 meters
5	Number of Reference Nodes used in calculation	0 – 8
6 & 7	Closest (based on RSSI) Reference Node's short address	0x0000 – 0xFFFFA, 0xFFFFE is invalid
8 & 9	Closest Reference Node's X position	Bits 15-2 – whole meters Bits 1-0 – 0.25 meters
10 & 11	Closest Reference Node's Y position	Bits 15-2 – whole meters Bits 1-0 – 0.25 meters
12	Closest Reference Node's RSSI	

TABLA 5. Tabla del mensaje Blind Node Find Response.

### 9.3 IEEE Address Programmer

Este programa lo utilizaremos para programar la dirección IEEE de la SmartRF04EB que por defecto es la 0xFFFF y no puede ser esta, ya que lo indica el fabricante, sino su funcionamiento sería erróneo. El interfaz del programa es el siguiente:

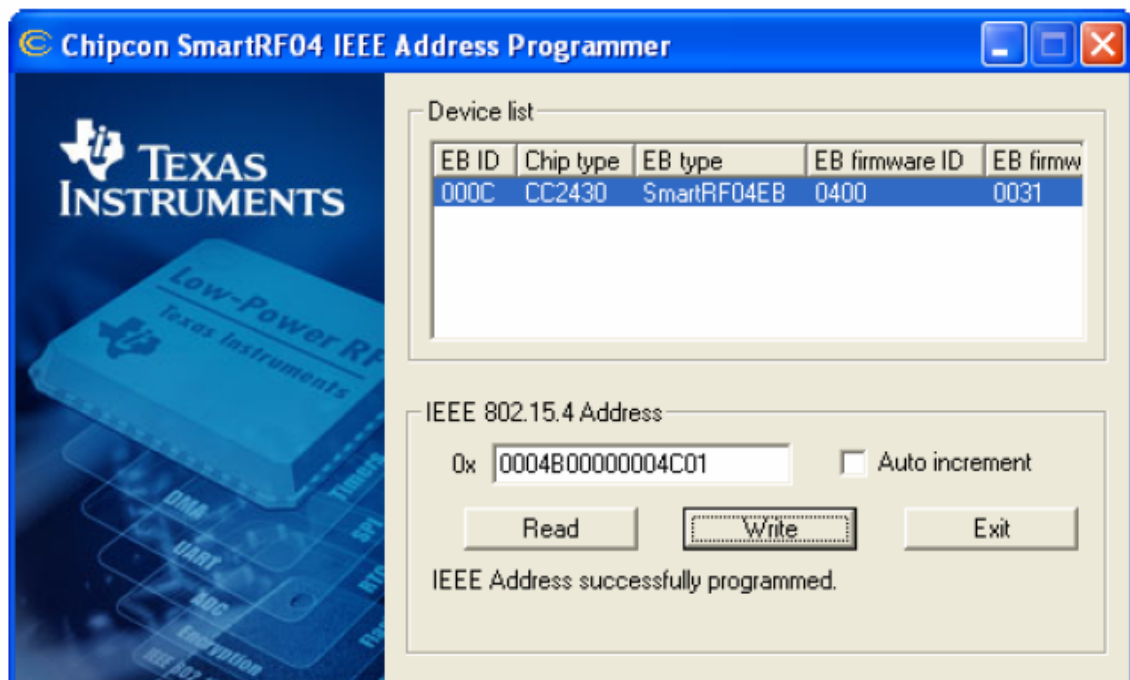


FIG 43. Programador de la dirección IEEE.



---

Lo único que hay es que poner una dirección que nos permitan y pulsar el botón "Write", o si queremos ver la dirección que tiene podemos comprobarla con el botón "Read".



---

## CAPITULO X.

### PROCESO DE FABRICACIÓN

Uno de los aspectos que quiero dejar plasmado en la memoria de este proyecto, es todo el trabajo realizado que hay detrás del sistema que no son más que horas de trabajo, en pruebas, documentación, comprobaciones, diseño de hardware,... Es por todo esto que en este capítulo contaremos todos los pasos dados cronológicamente, desde el inicio con la idea de lo que se quería conseguir hasta que por fin encontramos el sistema que se adaptaba mejor a nuestro problema.

Lo primero que debía quedar claro eran las especificaciones del sistema, ya que en función de ellas utilizaríamos una solución u otra según se adaptase mejor, y lo primero que hicimos fue dividirla por partes. Dichas especificaciones fueron transmitidas por los tutores del proyecto, Francisco Gómez Rodríguez y Daniel Cascado Caballero, y a partir de ellas comenzamos el proyecto.

Lo primero que tenía que encontrar era un chip que fuese capaz de medir la potencia de emisión de un transmisor, y esto fue bastante complicado ya que esos momentos no había nada en el mercado, por lo que decidimos intentar encontrar una solución con el CC2420, el cual comprobamos que no se adaptaba totalmente a nuestro problema, y en esos momentos de duda apareció en el mercado el CC2431 el cual nos permitía realizar lo que necesitábamos y no solo eso sino que además presentaba unas características que lo hacían muy interesante para nuestro proyecto, por eso creímos que podría ser la mejor solución a nuestro problema, por esto el Departamento hizo un gran esfuerzo económico para tratar conseguir el kit de desarrollo sobre el cual se han realizado todas las pruebas necesarias para comprobar realmente la capacidad del sistema y ver si este se adaptaría a nuestro problema.

Después de esto nos pusimos a intentar realizar un diseño de la placa de circuito impreso de dimensiones más reducidas, para lo cual utilizamos la herramienta de PROTEL específica para realizar diseños de placas, y del cual el departamento posee la licencia oportuna para su uso, además es el programa utilizado en el Departamento para cualquier diseño que se necesite realizar, por lo que la mejor opción era usar es programa, el cual no resultó fácil ya que tuve que aprender a manejar herramienta, por lo que tuve que repetir el diseño en una ocasión con el conveniente de la pérdida de tiempo.

Una vez realizado el diseño pasamos a la soldadura de todos sus componentes y a la comprobación de dicha placa para verificar que su funcionamiento fuera el correcto.

Una vez recibido el kit de desarrollo de Zigbee, procedí a la lectura de todos los documentos necesarios para su puesta en marcha, y a la comprensión de todos los programas que se usan en desarrollo de este.

Para todas las conexiones, fue necesario el uso de un PC ya que este haría de interfaz entre los programas utilizados, para ello también fueron necesario un cable con conexión USB y un cable serie o también conocido como RS-232.





---

Una vez realizado esto se procedió a todas las medidas y pruebas necesarias y requeridas para comprobar que realmente habíamos encontrado el sistema adecuado.

Dentro de todas las pruebas anteriores se llevaron a cabo también otras en las que variábamos los parámetros para encontrar la mejor solución posible, principalmente los parámetros que cambiamos fueron A y n, ya comentados anteriormente en este documento.

Una vez terminadas todas las pruebas llegamos a la conclusión de que esta es la mejor opción posible a nuestra demanda.

Una cosa que quizás al principio pueda resultar demasiado excesivo es el precio de la realización de una placa, la cual puede resultar mucho más barata en el caso de que se fabriquen una gran cantidad de ellas y hemos realizado una especie de estimación del coste que conllevaría una instalación de estas características, esto lo podemos ver en el Documento de Anexos.



---

## CAPITULO XI.

### ENSAYOS

Esta es la parte más importante del proyecto, ya que será la que nos aportará si realmente este sistema será el adecuado para nuestro sistema por ello es uno también de los que más dedicación hemos dedicado.

Además no solo nos hemos dedicado a los ensayos y pruebas con el kit sino que también a la placa diseñada para la cual hemos necesitado un polímetro y de todo lo necesario para su programación y comprobación.

Las principales pruebas que había que realizar y que fueron propuestas por los tutores del proyecto fueron las siguientes:

- Demostrar a que altura la baliza obtiene mejores resultados.
- Que ocurre en el caso de que haya un nodo ciego cerca de una pared y hay nodos de referencia a ambos lados de la pared.
- Velocidad de respuesta del nodo ciego.
- Estudiar como pueden afectar todas las condiciones ambientales posibles.
- Hacer una instalación no “cuadriculada”, y ver si es mejor que la cuadriculada.
- Ver como afecta el número de nodos en una red.
- Ver con cuales condiciones se adaptaban mejor al lugar de pruebas.

Después de tener todas estas premisas para poder realizar las pruebas necesarias, nos pusimos manos a la obra.

Hay que tener en cuenta que todas las medidas han sido realizadas en el laboratorio F0.33 de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática, y en los laboratorios y despachos cercanos, y las condiciones ambientales allí existentes son las siguientes:

- Existe un cluster en el laboratorio en el cual están conectados 11 ordenadores, el cual emite una gran radiación, la cual podría influir algo en nuestras medidas.
- También existe una red inalámbrica de la Universidad de Sevilla que permite a los estudiantes el acceso a Internet y la cual trabaja a la frecuencia de 2,4 GHz aproximadamente, que resulta ser la misma frecuencia de trabajo de nuestro sistema.
- También existe otra red inalámbrica del Departamento con el consiguiente mismo problema que anteriormente.



- Y por último el ambiente quizás no sea el más preciso para realizar las pruebas debido a la cantidad de ordenadores, aparatos electrónicos, tubos fluorescentes y demás, pero podemos llegar a la conclusión de que este ambiente nos han venido muy bien ya que se consiguen resultados bastante buenos, por lo que podemos suponer que en ambientes con menos carga de elementos electrónicos y quizás más despejado en cuanto a materiales se refiere, los resultados podrían ser excelentes para un sistema que está en pleno desarrollo.

Después de tener en cuenta todo lo anterior comenzamos las pruebas para lo ello fue necesario un PC con conexión USB y también con conexión RS-232, y los cables correspondientes para su conexión.

**NOTA:** Todas las medidas están dadas como coordenada X,Y, con los valores de A=39 y N=16 que eran con los que se obtenían mejores resultados.

Por tanto ahora comentamos cada una de las pruebas realizadas:

1. Colocamos balizas de referencia en dos laboratorios separados por una pared, y comprobamos que el sistema reconocía cuando el nodo ciego estaba en una sala o en la otra, incluso estando cerca de la pared. Por lo tanto podemos usar el sistema en un lugar que este dividido por paredes sin miedo a que este nos de una posición en un sala distinta de la que realmente se encuentra. A continuación podemos ver algunos valores tomados durante el experimento.

PRUEBAS ENTRE LAS PAREDES										
Pruebas										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Posición Real	4,2	2.5,1	5.25, 1.75	2.75, 0.25	2.40, 3	1,3	2.5,5	0.25,2	2,1.5	5,3
Posición Medida	0.25, 0	1.5, 0.5	6,0	1.75,0	2.5, 3.5	0.5, 4	1.5, 6.5	0.5, 1.5	0.5, 0.5	4.5, 3.25
¿Lado correcto?	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si

Como podemos observar en las medidas tomadas a pesar del error en algunas medidas está entre 0,25 y algo más de 3 metros corresponden todas al lado de la pared donde se encontraba el nodo ciego, y considerando que solo se han podido utilizar tres nodos por cada lado de la pared podemos decir que los resultados obtenidos son positivos.

2. En esta prueba se trataba de buscar a que altura responde mejor el sistema, y comenzamos colocando las balizas en el suelo y este daba unos resultados aceptables aunque no todo lo correcto que se deseaba. Pensamos que quizás sería mejor colocarlos en el parte superior de la habitación, pero con el inconveniente de que las balizas no llegamos a colocarlas totalmente paralelas al techo por lo que las antenas no se encontraban en posición perpendicular a este y sabiendo que estas no son antenas isotrópicas, los resultados no fueron del todo lo esperado, por lo que decidimos colocar las balizas a una altura media de la habitación y fue con esta una forma con la que se consiguieron los resultados más ajustado a la realidad, y como



podemos comprobar no existe ninguna medida con un error superior a los 3 metros que son exactamente los que refleja el fabricante.

PRUEBAS DE ALTURA										
Pruebas										
SUELO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Posición Real	1.25, 0.5	4, 0.5	6.25, 1	7.25, 3.5	5.75, 4.5	2.75, 3.75	1, 3.75	0.5	5.25, 3	7.25, 0
Posición Medida	0.25, 0.5	4, 0.25	5.75, 0	60.5, 55	4.5, 6.75	3.50, 6	1.25, 7	0.75, 6.50	4.25, 7.50	8.50, 0
MEDIA ALTURA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Posición Real	3.5, 4	5, 3.25	5.75, 1.25	6, 6	1.5, 3.5	0.25, 6.25	6.75, 4.75	4.25, 0.75	4.25, 0.75	2.25, 2.5
Posición Medida	3.75, 4.25	3, 2.5	5.25, 1	6.5, 4.25	2.25, 5.5	0.75, 5.25	2.75, 5.25	6.25, 4	1.75, 1	1.25, 2.25
TECHO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Posición Real	0, 0.60	2, 0.5	3.25, 2.5	3, 3.75	1.5, 4	1.5, 6	6.25, 4.50	6.75, 1.25	0, 3	1.75, 5.25
Posición Medida	1, 0	1.25, 1	5.25, 1.5	2.5, 3.5	2, 9	2.5, 25	5.50, 4	7.50, 2.25	2.75, 1.5	1, 2.75

- Otra de las claves era encontrar la velocidad de respuesta del nodo ciego. Este tiene la opción de ajustar un parámetro el cual nos permite conocer su nueva posición cuando deseemos, este parámetro el Cycle Time, pero hay que tener en cuenta que siempre debemos dejar un pequeño intervalo de tiempo para que se ajuste la posición a la que realmente se encuentra y a veces no es bueno bajar demasiado este tiempo ya que a veces no tendrá el Location Engine los valores necesarios para realizar un buen cálculo.
- Las condiciones ambientales pudimos comprobar que quizás sea el punto débil de este sistema, ya que le afectan y hacen que las medidas que se realizan no sean las correctas. Como ya comenté antes en el laboratorio se encontraba un cluster de ordenadores el cual puede influir al sistema ya que se realizaron pruebas con un nodo de referencia cerca de este y los resultados para los nodos ciegos que se encontraban cerca no eran totalmente ajustados, sin embargo cuando cambiamos la posición de este y lo colocamos a una distancia de unos tres metros las medidas fueron bastante más ajustadas que las anteriores. Otra de las cosas que se comprobó que si se puede evitar colocar nodos cerca de grandes máquinas o materiales, ayuda enormemente a que las medidas sean más ajustadas. También se hicieron pruebas metiendo al nodo ciego dentro de cajas cerradas de distintos materiales, pero hay que tener en cuenta que los nodos fueron introducidos solos en la caja y los resultados fueron los siguientes:
  - Si el nodo ciego se encontraba dentro de una caja de cartón reciclado, esta no le afectaba a la hora de dar su posición, y podemos considerar su medida como prácticamente como la que daría en el caso de que no estuviese dentro de la caja de cartón.



- Si se encuentra dentro de una caja de metal, en este caso un armario metálico, este da una posición totalmente incorrecta y fuera de lugar. En el caso de que se le abriese una parte al armario, el nodo ciego al menos se situaba en la zona en la que se encontraba.
- En el caso de que el nodo se encontrase dentro de bolsas de plástico cerradas, el valor de su posición era bastante correcto al contrario que en el caso anterior.
- Y por último probamos dentro de una caja de madera de grosor bastante pequeño, en el cual sus medidas no eran muy distantes de las del nodo sin caja (más o menos uno o dos metros en cada coordenada).

A continuación se muestran algunos valores tomados durante las pruebas.

PRUEBAS DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES										
Pruebas										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Posición Real	4.75, 3.25	6.5,1	2.25, 0.5	6,6	2, 4.75	1.5,6	6, 3.25	1.75, 2.50	0.25, 0.25	3.75, 1
Posición Medida con caja de cartón	5.75, 3.75	5.50, 1.25	1.50, 1.75	5, 4.25	0.25, 3.75	1, 3.75	6, 2.50	0.50, 0.50	0.50, 0.25	3,0
Posición medida con caja de madera	4.50,4	3.50,1	1.75, 0.5	5, 4.50	5.75, 3.25	0.50, 3.75	4.75, 2.50	0.50, 1.25	0.75,0	0.25, 1
Posición medida en bolsa de plástico	3.75, 3.25	5.25,0	3.25,2	5, 3.75	2, 1.75	1, 5.50	6.50, 2.50	0.50, 1.50	1.5,1	2.25, 0

5. Otras de las pruebas era ver con que configuración daba las medidas más correctas, primero realizamos pruebas con un sistema montado en rectángulo con seis nodos y los resultados que se obtenían no eran malos del todo pero si es verdad que a veces cuando el nodo se situaba en una zona cercana de un armario de metal este se perdía y lo podemos ver en la prueba número 7 de este experimento. Otra configuración que se probó su la de pasar un nodo al centro de la habitación y los otros en la misma posición que anteriormente, y con este se obtenían mejores resultados que con la configuración anterior quizás alguna varía respecto de la configuración rectangular pero podemos ver que ninguna prueba da un error mayor a los 2,25 metros por tanto para el entorno en el que hemos realizado las pruebas podemos considerar esta la mejor configuración. A continuación vemos los resultados:

PRUEBAS DE CONFIGURACIÓN										
Pruebas										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Posición Real	0.25, 0.25	3.75,1	6, 1.25	3.75, 3.5	2.5,2	0.5, 2.25	5.75,5	3.75,6	3,3.75	1.50,6
En rectángulo	0.25, 1.5	2.5, 1.25	4,2	3.75,2	2.25, 0.75	2.5, 1.5	59.25, 52.5	2.75, 4.5	3.5, 4.25	2.5, 3.5
Con uno en el centro	0.75,0	2,1	4,1.5	3,3	2.25,0	0.5,0	5,3.75	3.75, 5.25	3.75,4	0.50, 3.75



6. La siguiente prueba a realizar era ver como afectaba el número de nodos al cálculo de la posición. Al principio realizamos pruebas con sólo 4 nodos en el laboratorio y vimos que las medidas no eran totalmente lo esperado como podemos ver en las pruebas números 7 y 9 nos da una posición totalmente inválida por lo que decidimos probar, como actuaría si se le añadían dos nuevos nodos de referencia y pudimos comprobar algo que también aconsejaba Texas Instruments y es que si se puede aumentar el número de nodos este ayudará a realizar una mejor localización del nodo ciego. Además los programas utilizados para realizar las pruebas nos permitían la opción de con cuantos nodos de referencia queríamos realizar los cálculos, la cual no afecta al número que nosotros tengamos en el sistema sino que con este opción el Location Engine elegirá al número de nodos que nosotros deseemos, pero utilizará para los cálculos aquellos con mayor valor RSSI.

PRUEBAS DEL NÚMERO DE NODOS										
Pruebas										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Posición Real</b>	0.25, 0.25	3.75, 1	6, 1.25	3.75, 3.5	2.5, 2	0.5, 2.25	5.75, 5	3.75, 6	3, 3.75	1.50, 6
<b>4 Nodos</b>	1, 1	4, 1	4, 2	3, 3	2.25, 0.75	2.25, 1.25	59, 25, 53.5	3, 3	53.5, 60, 5	1.75, 4
<b>6 Nodos</b>	0.75, 0	2, 1	4, 1.5	3, 3	2.25, 0	0.5, 0	5, 3.75	3.75, 5.25	3.75, 4	0.50, 3.75

Una vez realizadas todas las pruebas anteriores, aunque la mejor opción siempre será la de realizar las pruebas sobre el lugar y con las condiciones en el que se vaya a utilizar este sistema, podemos afirmar que a la hora de montar un sistema como este el cualquier lugar habría que tener en cuenta las siguientes consideraciones, ya que ayudarán a una mayor precisión en la localización del nodo ciego.

- Intentar que todos los nodos estén a la misma altura. Intentar que los nodos de referencia se encuentren a la misma altura que el nodo ciego.
- Los mejores resultados se obtienen colocando los nodos de referencia aproximadamente a la altura media la habitación.
- El nodo ciego debe encontrarse siempre del área delimitada por los nodos de referencia. En caso contrario las medidas variarán mucho de las reales.
- Intentar que los nodos ciegos en caso de que tengan que ir acoplados, en algún vehículo, caja,... que se encuentre en una posición que su señal no se pueda ver afectada.
- Intentar colocar todos los nodos de referencia en lugares donde su señal no se vea alterada por ningún medio físico.
- Podemos utilizar el sistema en un lugar dividido por paredes ya que este nos dará posiciones correctas.



- 
- Intentar colocar el mayor número de nodos de referencia posible ya que estos darán una mejor precisión, ya que en el caso de que uno de los valores sea incorrecto su influencia en el resultado será mayor, en el caso de que haya pocos nodos en los que basar la localización.
  - Si no se pueden colocar muchos nodos de referencia, el fabricante nos asegura un resultado bueno colocando un nodo de referencia por cada diez metros cuadrados (pero como hemos comentado anteriormente mientras más haya mejor será el resultado).



---

## CAPITULO XII.

### PLANIFICACIÓN

#### 12.1 FASES DE DESARROLLO

A lo largo de la ejecución del proyecto se han seguido unos pasos fundamentales en lo que su elaboración se refiere. A continuación iremos detallando los pasos realizado y comentando en que ha consistido cada uno de ellos.

- **FASE 1: ADJUDICACIÓN:** Se contacta con el Departamento de Arquitectura Tecnología de Computadores de la Universidad de Sevilla, para la adjudicación del presente proyecto.
- **FASE 2: ESPECIFICACIONES:** Es una de las fases más importantes ya que debíamos tener claro todas las especificaciones a la hora de realizar el sistema, ya que en función de ellas sabíamos que necesitábamos y como conseguir la mejor solución. Dichas especificaciones fueron transmitidas por los tutores del proyecto, Francisco Gómez Rodríguez y Daniel Cascado Caballero.
- **FASE 3: DOCUMENTACIÓN:** Esta fue una de la fase que mayor tiempo se necesito, al principio empezamos analizando las distintas opciones que nos ofrecía el mercado, y la información era escasa y los sistemas que encontrábamos no se ajustaban totalmente a nuestra necesidades, hasta que encontramos un chip de reciente creación que podía ofrecernos todo lo que estábamos buscando. Incluso se pensó en un sistema con CC2420, el cual hizo que retrasarnos, ya que no era la mejor opción para realizar nuestras especificaciones.
- **FASE 4: DISEÑO HARDWARE:** En este paso se trató en la medida de lo posible realizar un circuito de dimensiones reducidas para eso se estudio los diferentes esquemáticos y datasheet del fabricante para optimizar en todo lo posible el circuito.
- **FASE 5: DISEÑO PCB:** En este paso se trata de llevar a la práctica todo lo desarrollado en el paso anterior. Para este diseño de PCB utilizamos la herramienta informática para diseño de circuitos electrónicos llamada PROTEL. Este también fue un paso importante en cuanto a tiempo se refiere ya que tuve que aprender a manejar esta herramienta, por lo que el circuito no salió a la primera y nos llevó a volver a repetir el diseño.
- **FASE 6: MANEJO DEL KIT:** Aquí realizamos un estudio sobre todo lo referente al kit con el que haríamos todas las pruebas necesarias para comprobar si realmente este sistema nos ayudaría a solucionar nuestro problema, este paso supone uno de los pilares fundamentales.





- **FASE 7: REDACCIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN:** En este paso realizaremos toda la documentación necesaria que componen el proyecto.

## 12.2 FASE DE FABRICACIÓN Y PRUEBAS

En este apartado se describirán las fases necesarias en el paso de fabricación y de pruebas realizadas para comprobar el correcto funcionamiento de la placa diseñada.

- **FASE 8: FABRICACIÓN DE LA PCB:** Con la obtención de los ficheros GERBER al realizar el diseño con la herramienta de PROTEL, se generan todos los datos necesarios para la fabricación de la placa.
- **FASE 9: MONTAJE DE COMPONENTES:** Una vez fabricada la placa de circuito impreso, se comenzará por el montaje de los componentes de montaje superficial (SMD), y luego con el resto de componentes.
- **FASE 10: REPARACIÓN Y COMPROBACIÓN:** En esta fase realizaremos las comprobaciones necesarias al circuito para que este funcione de forma correcta y en el caso de encontrar fallos, procederíamos a su reparación.
- **FASE 11: PROGRAMACIÓN Y COMPROBACIÓN FINAL:** En esta fase programaremos la placa diseñada para comprobar su correcto funcionamiento.

## 12.3 GRÁFICO DE GANTT

A continuación podemos ver el diagrama de Gantt para la parte de desarrollo del sistema:



FIG 44. DIAGRAMA GANTT DEL DESARROLLO



A continuación podemos ver el diagrama de Gantt para la parte de fabricación y pruebas del sistema:

DIAGRAMA GANTT DE FABRICACIÓN Y PRUEBAS						
SEMANAS		1	2	3	4	5
	FASE 8					
	FASE 9					
	FASE 10					
	FASE 11					

FIG 45. DIAGRAMA GANTT DE FABRICACIÓN Y PRUEBAS.



---

## CAPITULO XIII.

### BIBLIOGRAFÍA Y WEBS

#### 13.1 BIBLIOGRAFÍA

- **Diseño e Ingeniería electrónica asistida con Protel DXP.**  
Autores: Manuel Torres, Miguel Ángel Torres.  
Editorial: Ra-Ma; ISBN: 84-7897-618-3.
- **Oficina Técnica.**  
Autores: Francisco Aguayo, Juan Ramón Lama, Nicolás del Pozo y Enrique Arias.  
Editado por Panella, Octubre 2000; ISBN: 84-933034-0-2.
- **Diseño Asistido por Ordenador.**  
Autores: Julián Llorente Geniz, Fernando Mateo Carballo y Arturo Fernández de la Puente Sarriá.  
Editado por Panella, ISBN: 84-607-5834-6.
- **Apuntes de la clase de Oficina Técnica de 3º de I.T.I. Electrónica.**  
Autor: Alberto Junquera Sánchez.  
Profesor: Juan Ramón Lama Ruiz.  
Curso: 2005-2006.
- **Datasheets de los componentes**, utilizados para realización del proyecto todos estos se pueden encontrar en el Documento 5 Anexos.
- **NORMAS UNE**



---

## 13.2 WEBS

- <http://www.datasheetcatalog.com/>  
Búsqueda de componentes y Datasheets.
- <http://www.amidata.es>  
Tienda online.
- <http://www.farnell.com>  
Tienda online
- <http://www.ti.com>  
Fabricante y distribuidor de ZigBee.
- <http://www.mtas.es/insht/legislation/legiina.htm>  
Legislación y normas.
- <http://www.boe.es/g/es>  
Boletín Oficial del Estado
- <http://www.andaluciajunta.es/BOJA>  
Boletín Oficial de la Junta de Andalucía
- <http://www.zigbee.org>  
Página Oficial de la Alianza ZigBee



---

## CAPITULO XIV.

### HERRAMIENTAS

#### 14.1 HERRAMIENTAS HARDWARE

Las herramientas hardware utilizadas y necesarias para el presente proyecto son las que se citan a continuación:

- **PC con conexión USB y conexión RS-232.**
- **USB DEBUG ADAPTER de Silicon Laboratories.**  
Adaptador USB bus EC2 del microcontrolador, para la carga y depuración del software.
- **Placa PCB y componentes electrónicos** proporcionados por el Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores de la Universidad de Sevilla, para el desarrollo de la placa.
- **CC2431 ZigBee Development Kit**, kit de desarrollo ZigBee con el que realizaremos todas las pruebas necesarias.

#### 14.2 HERRAMIENTAS SOFTWARE

Las herramientas software utilizadas y necesarias para el presente proyecto son las que se citan a continuación:

- **Z-Location Engine Versión 1.1.0**  
Monitorización, control y programación del sistema.
- **IEEE Address Program Versión 1.0.0**  
Programación de la dirección IEEE.
- **LEMonitor Versión 1.0.0**  
Monitorización y control del sistema
- **Altium Protel DXP 2002 versión 6.6.**  
Entorno de desarrollo para el diseño PCB.
- **Autocad 2004.**  
Para la realización de planos y esquemáticos.
- **Microsoft PowerPoint 2007.**  
Realización de Presentaciones.



- 
- **Microsoft Word 2007.**  
Procesador de textos.
  - **Paint Versión 5.1.**  
Dibujo y tratamiento de imágenes.
  - **Adobe Acrobat PDF Professional Versión 6.0.**  
Diseño y visualización de archivos.



---

## CAPITULO XV.

### CONCLUSIONES

Las conclusiones que sacamos de este proyecto son las siguientes:

Teniendo en cuenta que el primer objetivo era encontrar un circuito que nos permitiese realizar el sistema de localización conforme a nuestras necesidades, el cual se encontró. Además este nos ofrece unas características las cuales aprovecharemos como son el bajo consumo, la seguridad en las transmisiones,... y muchas otras.

Otro de los objetivos era evaluar el sistema ZigBee, realizando las pruebas y trabajos necesarios para comprobar las capacidades que posee y si estas se adecuaban a nuestro problema y a las especificaciones iniciales y como hemos comentado en el capítulo de Ensayos estas pruebas han dado el fruto y unas especificaciones que deseábamos conocer y las cuales hemos podido obtener satisfactoriamente.

Otro de los objetivos era crear una placa de dimensiones reducidas, y con las mismas prestaciones la cual que hemos conseguido y que esperamos que sirva para futuros proyectos.

Además como mejoras o líneas futuras que creemos que podrían ser interesantes destacaremos las siguientes:

- Realizar un programa que se adapte a las necesidades expresas del lugar donde se necesite el sistema, ya que el utilizado puede ser totalmente válido pero sirve más para la evaluación y las pruebas necesarias que se necesiten realizar.
- Otras de las posibles mejoras es tratar de encontrar un sistema de dimensiones reducidas (por ejemplo un teléfono móvil o una PDA) desde el que se pueda controlar todo el sistema, sin necesidad de tener que estar en un lugar fijo, para que en el caso de que una persona vaya en busca del objeto o de la persona a localizar, lleve consigo un pequeño sistema que le diga si este está cambiando de posición, en todo momento.
- Otra de las líneas futuras que se podría seguir es no ceñirnos sólo a ZigBee como un sistema de localización sino que aparte de eso nos aporta muchísimas más posibilidades como las que están en investigación en otros países, como el caso del "Bastón de Ciego" de Japón, o también utilizarlo para que personas a las que le estén prohibido salir de centros, impidan su salida mediante el bloqueo de puertas o ascensores.
- También puede servir para controlar al personal de un edificio, para controlar cuando entran o abandonan el edificio o para localizar a médicos en el caso de emergencias y poderles enviar un mensaje o un código que le indique lo que ocurre.



- Otros de los usos que se están estudiando y que quizás sería necesario conocer son los trabajos que se están realizando sobre redes ZigBee en las que lo importante no sea la cantidad de datos que pueda transmitir sino la seguridad y el bajo consumo que estos tenga.
- Otros de los fines, y en el cual ya esta creciendo a un gran ritmo es el de la domótica, por eso para cualquier proyecto de este tipo sería muy interesante utilizar la tecnología de Zigbee.

Por otro lado no es una tecnología de paso sino que tiene unos “cimientos” bastante grandes, gracias en gran medida a la Alianza ZigBee y a la cual pertenecen empresas muy importantes internacionalmente al nivel de la electrónica.

Además Zigbee pretende ser la base sobre la que crear productos y sistemas para diversidad de sectores como la domótica (automatización en viviendas), la inmótica (automatización en edificios), la automatización en fábricas y en otros sectores con necesidad de usar diversidad de sensores repartidos en un área acotada, ni siquiera los teléfonos móviles se libran de esta tecnología un ejemplo es el fabricante coreano Pantech & Curitel ya ha presentado una versión de demostración de lo que será su nuevo teléfono móvil que soporta el protocolo ZigBee. Este es solo un prototipo pero lo que esta claro es que ZigBee en muy poco tiempo revolucionará también el mundo del móvil y con el gran desembolso que están haciendo las empresas está claro que ya mismo ZigBee será conocido no solo por gente dedicada al mundo de la tecnología de la comunicación sino por todas las personas dedicadas y no dedicadas a este tema.

Finalizado el trabajo, se espera que sirva de guía para futuras aplicaciones y que se le saque el mayor provecho posible.

Las conclusiones a nivel personal de este proyecto principalmente son, que me ha servido para conocer nuevas tecnologías en cuanto a redes inalámbricas se refiere, conocer un poco más lo que me espera en el mundo laboral y como se plantean los problemas en este, manejar nuevas herramientas tanto software, como hardware que quizás algún día necesite volver a manejarlas, y como notas negativas la mayor dificultad durante estos meses ha sido la familiarización con todas las cosas nuevas que iban apareciendo a medida que se desarrollaba el proyecto y de las que a veces existía demasiada poca información al respecto, principalmente debido a que todo lo relacionado con ZigBee, ya que es relativamente bastante nuevo, pero el cual ha sido un bonito reto.





---

## **CAPITULO XVI.**

### **AGRADECIMIENTOS**

Me gustaría agradecer sobre todo a mi familia especialmente a mi madre que siempre me ha estado apoyando y dándome ánimos en los momentos difíciles, también a mi novia que tanto ha aguantado durante estos cinco años de carrera mis agobios y que me ha aportado la paciencia suficiente para terminar este ciclo de mi vida.

También agradecerle a todos mis amigos Pablo que en paz descanse, Manu, Juan Carlos, David, Eu, Ale y todos los que han estado cerca de mí siempre, y a todos los compañeros y amigos de la escuela con los que he compartido momentos inolvidables.

Tengo que agradecer al Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computares de la Universidad de Sevilla, en las personas de Francisco Gómez Rodríguez, Ángel Jiménez Fernández y Daniel Cascado Caballero, el entusiasmo, la entrega, toda la ayuda y consejos prestados de forma desinteresada.