

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ALARMA ACTIVADA POR
DISTANCIA**

**ROLANDO AUGUSTO MEJÍA BALLESTEROS
EDWIN HARRISON QUIROGA HERNÁNDEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2008**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ALARMA ACTIVADA POR
DISTANCIA**

**ROLANDO AUGUSTO MEJÍA BALLESTEROS
EDWIN HARRISON QUIROGA HERNÁNDEZ**

Proyecto de grado para optar por el título de Ingeniero Electrónico

Director

**JOSE ALEJANDRO AMAYA PALACIO
INGENIERO ELECTRICISTA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2008

A Dios quien me dio fuerzas para no desfallecer durante este proceso de aprendizaje.

A mis padres quienes siempre creyeron en mí y me alentaron durante el proceso de aprendizaje.

A mi tía Teresa y la Sra. Ángela quienes me brindaron un hogar lejos de mi casa

A mi tío José por consejos confianza y apoyo desinteresado.

Rolando Augusto Mejía Ballesteros

*A Dios por darme fuerza para seguir
creyendo en lo que quiero y puedo hacer.*

*A mi Madre Elpidia por su comprensión,
paciencia e incondicional apoyo, a mis
hermanos por creer en mí, por ellos todo este
esfuerzo.*

*A mi Tía Gladis quien me brindó su ayuda
para que este logro fuese posible.*

*A mis demás familiares quienes siempre
estuvieron a mi lado apoyándome y
colaborándome.*

*A mis compañeros y amigos que me han
brindado su colaboración y apoyo en este
proceso de vital importancia.*

Edwin Harrison Quiroga Hernández

AGRADECIMIENTOS

Los Autores de este proyecto damos nuestro especial agradecimiento a nuestros profesores por todas las enseñanzas impartidas durante nuestra formación profesional, a nuestro director de proyecto José Alejandro Amaya Palacio por su apoyo y colaboración en todo momento.

A nuestros amigos y compañeros quienes estuvieron con nosotros durante este largo proceso de aprendizaje.

A nuestros familiares quienes nos apoyaron y confiaron en nosotros para que culmináramos satisfactoriamente este proyecto.

Los autores

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. TECNOLOGÍAS PARA LA ADQUISICIÓN DE INFORMACIÓN	2
1.1 <i>TRANSPONDER</i>	2
1.2 <i>BLUETOOTH</i>	3
1.3 <i>TRANSCEIVER</i>	3
2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	7
2.1 MÓDULO INTERFAZ	8
2.2 MÓDULO TRANSMISOR / RECEPTOR	10
3. <i>SOFTWARE</i>	18
3.1 <i>SMARTRF® STUDIO</i>	18
3.2 <i>KEIL UVISION2</i>	19
3.3 <i>FLASH PROGRAMMER</i>	22
3.4 ALGORITMO DE PROGRAMACIÓN PARA LA TRANSMISIÓN.	23
3.5 ALGORITMO DE PROGRAMACIÓN PARA LA RECEPCIÓN	23
4. RESULTADOS DE PRUEBAS REALIZADAS	25
OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES	33
RECOMENDACIONES	35
BIBLIOGRAFÍA	36
ANEXOS	39

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Algunas bandas de frecuencia electromagnética (EM)	4
Tabla 2 . Parámetros de operación del CC1010	5
Tabla 3. Funciones lógicas	8
Tabla 4. Valores de los componentes	11
Tabla 5. Valores de los componentes del filtro	13
Tabla 6. Capacitancias de carga del oscilador	14
Tabla 7. Potencias medidas a 10cm	25
Tabla 8. Potencias medidas a 3m	26
Tabla 9. Potencias medidas a 7m	26
Tabla 10. Potencias medidas a diferentes distancias	26
Tabla 11. Distancia medida variando la potencia del TX sin antena y con una sensibilidad de -105dBm	27
Tabla 12. Características del dispositivo final	32

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama de pines del CC1010	6
Figura 2 Diseño de módulos	7
Figura 3. Diagrama lógico	9
Figura 4. Interfaz paralela	9
Figura 5. Componentes externos	11
Figura 6. Configuración de entrada/salida	12
Figura 7. Filtro LC	13
Figura 8. Oscilador Principal	14
Figura 9. Frecuencia vs corriente de alimentación	15
Figura 10. Circuito medidor del nivel de potencia	16
Figura 11. Potencia vs. Voltaje	17
Figura 12. Ventana de configuración de parámetros de RF	19
Figura 13. Ventana de software de programación Keil uvision2	20
Figura 14. Acceso al flash programmer desde el Keil Uvision2	22
Figura 15. Caracterización con TX = -20dBm y RSSI = -105dBm	28
Figura 16. Caracterización con TX = -20dBm y RSSI = -75dBm	29
Figura 17. Caracterización con TX = -12dBm y RSSI = -75dBm	30
Figura 18. Caracterización con TX = -5dBm y RSSI = -75dBm	31

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Esquemático del modulo de RF	39
Anexo B. Esquemático del modulo de la interfaz	40
Anexo C. Negativos del diseño del PCB de RF, capas TOP y BOTTOM	41
Anexo D. Negativos del diseño del PCB de RF, capas TOP y BOTTOM	42
Anexo E. Foto del prototipo del diseño final	43
Anexo F. Programa para la transmisión	44
Anexo G. Programa para la recepción	47

RESUMEN

TITULO: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ALARMA ACTIVADA POR DISTANCIA** *

AUTORES: **MEJIA BALLESTEROS, Rolando Augusto**
QUIROGA HERNÁNDEZ, Edwin Harrison**

PALABRAS CLAVES: **Diseño, implementación, alarma, activada, distancia**

DESCRIPCIÓN:

Este proyecto implementa un prototipo capaz de emitir una señal de alerta cuando dos dispositivos se distancian entre si un rango determinado, esta señal de apagará cuando estos dispositivos ingresen de nuevo en el rango de cobertura. Por su tamaño y consumo de potencia el circuito integrado base para la elaboración de este proyecto es el *transceiver* CC1010 de *Chipcon*®. El diseño consta de tres componentes: el modulo TX es el encargado de enviar la señal codificada, el modulo RX recibe la señal y procesarla, este módulo tiene dos parámetros para la activación de la alarma, primero mide la potencia de la señal recibida y la compara con un umbral preestablecido si esta medición está por debajo de ese rango se activará la alarma, si pasa esta primera prueba sigue a un segundo filtro el cual consiste en la comparación del código recibido con el que tiene grabado el receptor, si es diferente se activará la alarma de lo contrario permanecerá apagada. El módulo de interfaz se encarga de programar el microcontrolador de los módulos TX y RX. El *software* de programación es gratuito en su versión simplificada y consta de tres programas de desarrollo cada uno con una función específica, *Keil Uvision2* es el editor y compilador, *SmartRF Studio* facilita la selección de los parámetros de RF, *Flash programming utility* utilizado para subir los datos al microcontrolador.

Realizadas las pruebas al prototipo se comprobó su aplicabilidad en una distancia máxima de 12 metros, sin embargo puede ser programado hasta una distancia de 120 metros, dependiendo del tipo de alimentación que se le conecte al dispositivo.

*Proyecto de grado

**Universidad Industrial de Santander, Ingeniería Electrónica. Director Jose Alejandro Amaya Palacio

SUMMARY

TITLE: **DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AN ACTIVATED ALARM FOR DISTANCE ***

AUTHORS: **MEJÍA ARCHERS, Rolando Augusto**
QUIROGA HERNÁNDEZ, Edwin Harrison **

KEY WORDS: **design, implementation, alarms, activated, distances**

DESCRIPTION:

This project implements a prototype able to emit a sign of alert when two devices are distanced among if a certain range, this sign of it will turn off when these devices enter again in the covering range. For their size and consumption of power the circuit integrated base for the elaboration of this project is the transceiver CC1010 of Chipcon®. The design consists of three components: the one modulates TX it is the one in charge of sending the coded sign, the one modulates RX receives the sign and to process it, this module has two parameters for the activation of the alarm, first it measures the power of the received sign and it compares it with a preset threshold if this mensuration is below that range the alarm it will be activated, if it passes this first test it continues to a second filter which consists on the comparison of the code received with the one that has engraving the receiver, if it is different the alarm will be activated otherwise it will remain out. The interface module takes charge of programming the microcontrolador of the modules TX and RX. The programming software is gratuitous in its simplified version and it consists of three development programs each one with a specific function, Keil Uvision2 is the editor and compiler, SmartRF Studio it facilitates the selection of the parameters of RF, Flash programming utility used to go up the data to the microcontrolador.

Carried out the tests to the prototype were proven their applicability in a maximum distance of 12 meters, however it can be programmed until a distance of 120 meters, depending on the feeding type that is connected to the device.

* Grade project

** Industrial University of Santander. Electronic Engineering. Managing José Alejandro Amaya Palacio

INTRODUCCIÓN

La tendencia humana a generar ambientes más confortables, se ve plasmada en el desarrollo de sistemas de transmisión y recepción inalámbrica que facilitan la comunicación y adquisición de datos, por ello la industria ha creado una rama especializada en la fabricación de dispositivos que cumplan con estas características, encontrando en el mercado una gran cantidad de aplicaciones que satisfacen este tipo de necesidades. Los avances en sistemas de identificación han permitido el desarrollo de tecnologías cada vez más económicas, diminutas y de bajo consumo de potencia, entre los sistemas de identificación se encuentra el código de barras, los *transponder* (*transmisor respondedor*), identificadores ópticos, dactilares etc. cada uno se ha desarrollado de acuerdo a su necesidad. Actualmente los sistemas *RFID* (*identificación por radiofrecuencia*) permiten la identificación de personas animales u objetos de manera inalámbrica gracias al desarrollo de *IC* (*Circuitos Integrados*) como el *transceiver* (llamado así por la combinación de sus funciones de transmisor / receptor) que junto con un sistema de control permite la comunicación o transferencia de datos del portador del dispositivo a un receptor a corta distancia y viceversa, permitiendo al *transceiver* tomar decisiones de manera autónoma de acuerdo a los datos recibidos.

El documento contiene información general de los avances tecnológicos que permiten la identificación inalámbrica de objetos aledaños, criterios de selección de la tecnología utilizada, se describe detalladamente las características del *IC CC1010* que es el dispositivo seleccionado, el diseño y construcción de cada una de las etapas del hardware, información del software implementado para la programación del microcontrolador y pruebas de campo.

1. TECNOLOGÍAS PARA LA ADQUISICIÓN DE INFORMACIÓN

Hay diversas tecnologías en los sistemas de comunicación cada vez más sofisticados y eficaces en la identificación y rastreo para la seguridad de las personas y sus pertenencias, este fue el punto de partida para el desarrollo del proyecto; aplicaciones como el código de barras y RFID utilizan tecnologías de transmisión y recepción de información de bajo consumo de potencia [2].

Este proyecto se desarrolló con RFID ya que permite la adquisición, almacenamiento y procesamiento de datos remotos. El propósito fundamental de esta tecnología es transmitir y recibir la identidad de un objeto (similar a un número de serie único) mediante ondas de radio [1].

Existen diferentes tipos de dispositivos que cumplen estas funciones, sin embargo, el prototipo diseñado para este proyecto requiere de tres criterios básicos para su desarrollo que son: el costo, el tamaño –se necesita que sea portátil- y por último el consumo de potencia, una vez expuestos estos requerimientos se hace una debida selección de la tecnología a implementar.

1.1 TRANSPONDER

El modo de funcionamiento de un *Transponder* es simple, la etiqueta *RFID* que contiene los datos de identificación del objeto al que se encuentra adherido genera una señal de radiofrecuencia con dichos datos, esta señal puede ser captada por un lector *RFID*, el cual se encarga de leer la información y transmitirla en formato digital a la aplicación específica que utiliza *RFID* [2]. La ventaja que presenta esta tecnología es la utilización de

una etiqueta muy pequeña que puede funcionar sin fuente de alimentación pero su desventaja es que esta etiqueta *RFID* necesita ser excitada por un campo magnético considerable que solo puede ser generado sacrificando consumo de potencia y tamaño.

1.2 BLUETOOTH

Es la norma que define un *Standard* global de comunicación inalámbrica, que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes equipos mediante un enlace por radiofrecuencia, la tecnología *Bluetooth* comprende *hardware*, *software* y requerimientos de inter-operabilidad. *Bluetooth* cumple con las características de tamaño pero no en consumo de potencia [22] y costo.

1.3 TRANSCEIVER

Es un sistema diseñado para transmitir y recibir información de forma inalámbrica esta tecnología cumple con las características de tamaño y consumo de potencia, costo y su fácil adquisición, además permite escoger la frecuencia de transmisión para poder trabajar en la banda *ISM (Industrial Scientific Medical)*. La tabla 1 muestra la distribución del espectro de frecuencia y se resalta la banda UHF donde esta el rango de frecuencias en la que opera del dispositivo seleccionado.

Tabla 1. Algunas bandas de frecuencia electromagnética (EM)

Región del espectro EM		Frecuencia
VLF	Frecuencia muy baja	10 KHz- 30KHz
LF	Frecuencia baja	30 KHz- 300KHz
MF	Frecuencia media	300 KHz- 3 MHz
HF	Frecuencia alta	3 MHz- 30MHz
VHF	Frecuencia muy alta	30 MHz- 300 MHz
UHF	Frecuencia ultra alta	300 MHz- 1 GHz
UW	Microondas	1 GHz –300 GHz

Fuente. Ministerio de comunicaciones [14]

Chipcon® es una empresa especializada en diseño de *RF-ICs (Radio Frequency- Integrated Circuits)* de bajo consumo de potencia. Dentro de los productos que ofrece *Chipcon®* se encuentra el *IC (Integrated Circuit) CC1010*, este *transceiver* opera en un rango de frecuencia de 300MHz a 1GHz, con una fuente de alimentación de 3V y lleva incorporado un microcontrolador 8051 de *Intel®*, además cuenta con un *software* de programación gratuito y un *kit* de desarrollo el cual contiene planos para su implementación.

Por las facilidades de adquisición del *Software* y planos de construcción anteriormente mencionados este *IC* es el más apropiado para el desarrollo de este proyecto. Actualmente *TI® (Texas Instrument)* especialistas en el desarrollo de sistemas analógicos y microcontroladores de bajo consumo de potencia ha adquirido a *Chipcon®* [11]. Una descripción más detallada de las ventajas de este dispositivo se pueden ver en la tabla 2.

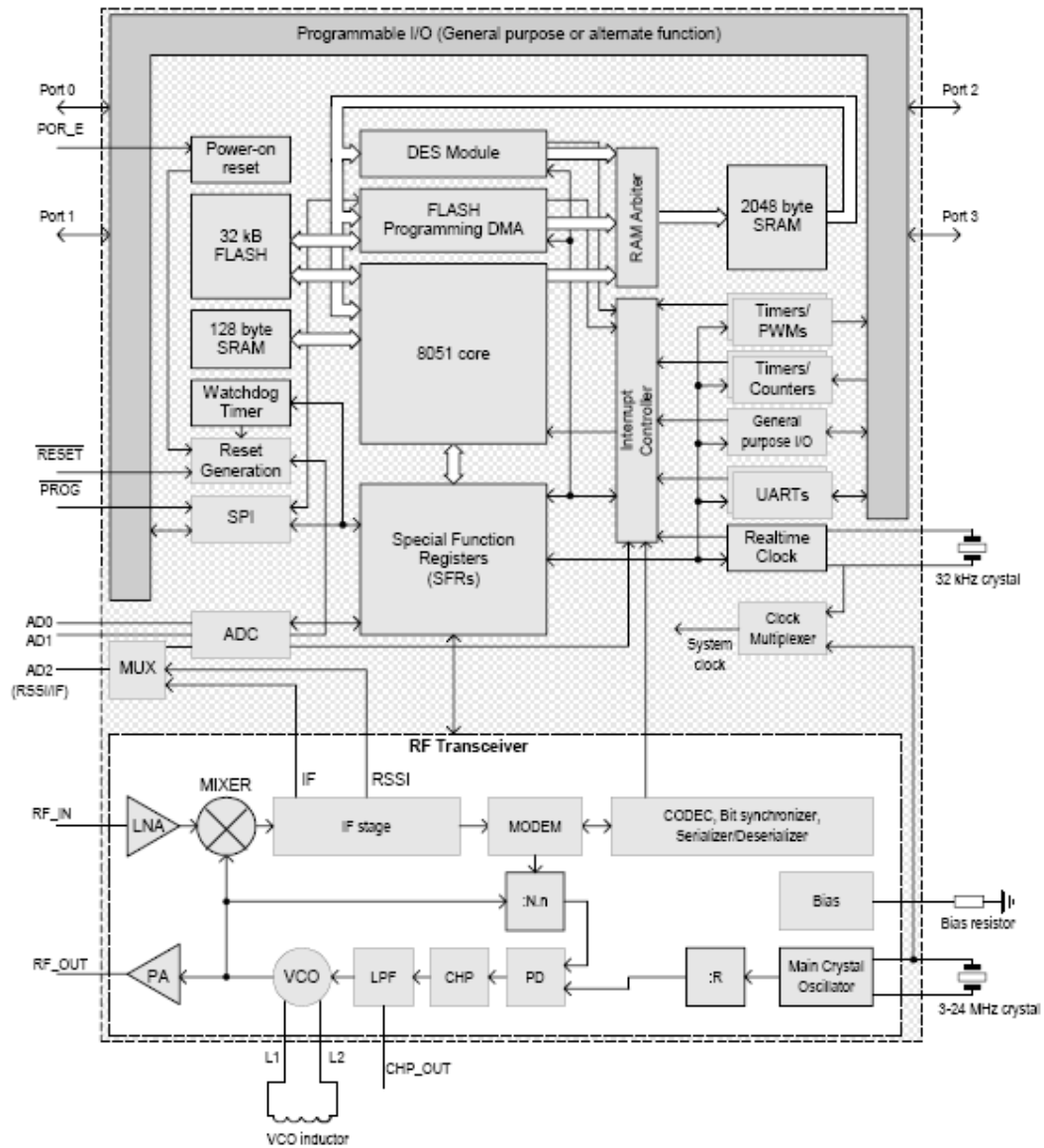
Tabla 2. Parámetros de operación del CC1010

Frecuencia de trabajo	desde 300MHz hasta 1000MHz
Oscilador de cristal	de 3 a 24MHz
Consumo de corriente	9.1mA en RX
Sensibilidad	típicamente -107dbm
Potencia de salida programable	-20dBm hasta +10dBm
Tasa de transmisión	hasta 78.6kbit/s
Voltaje de alimentación	2.7 - 3.6V.
Temperatura operacional	de -40 a 85°C
Necesita muy pocos componentes externos	
<i>RSSI (Received Signal Strength Indicator)</i>	
32 kB de Flash programable	
Un microcontrolador incorporado el 8051 de INTEL.	
26 pines de propósito general configurables como entras o salidas	

Fuente. *Data sheet* CC1010

El diagrama estructural de la arquitectura de este dispositivo (figura 1) nos muestra todas las herramientas de las que se disponen al integrarse la capacidad de un microcontrolador 8051 con un dispositivo inalámbrico para generar infinidad de aplicaciones como la elaborada en este proyecto donde van de la mano funcionalidad, consumo de potencia, tamaño y costo.

Figura 1. Diagrama de pines del CC1010

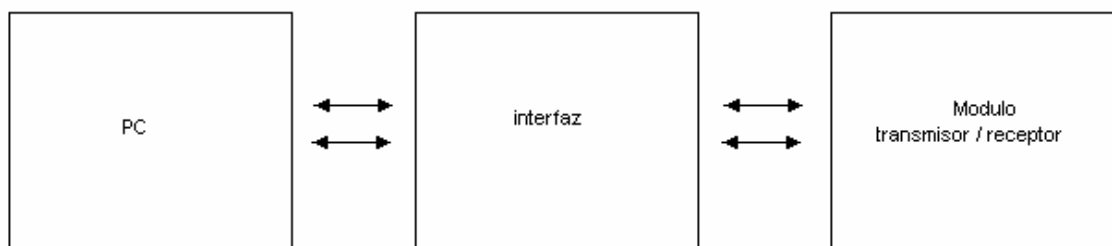


Fuente. Data sheet Chipcon®

2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

El desarrollo físico de este dispositivo consta de dos partes, una implementada para la comunicación entre al *PC (Personal Computer)* y *CC1010* que es la interfaz paralela y la segunda es la construcción del transmisor / receptor (figura 2). Para la construcción de los módulos se hizo una adaptación de los diseños presentados por *Chipcon®* eliminando algunos componentes los cuales no eran necesarios para el desarrollo de este dispositivo, pero que si representaban un incremento en el costo de construcción, la implementación de la tarjeta genera un ahorro del 90% del valor comercial del *kit* de desarrollo, para las personas interesadas este kit ofrece una verdadera herramienta de trabajo la cual consta de una interfaz serial, diodos *leds* indicadores de fallo, potenciómetros reguladores de potencia y frecuencia entre otras, para el desarrollo de aplicaciones que solo estarían limitadas por la creatividad del diseñador.

Figura 2 Diseño de módulos



Fuente. Autores del proyecto

2.1 MÓDULO INTERFAZ

La interfaz realiza la conversión de voltajes de las señales *TTL* (Transistor-Transistor.logic) a *CMOS* (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) y viceversa, a través del *IC 74LVC4245A* de *Texas Instrument* [13]. Su implementación es bastante sencilla solo requiere de una fuente de 5V que se toma del puerto del *PC* y una alimentación de 3V en este caso se tomo de la misma alimentación del *IC CC1010*. La tabla 3 muestra las funciones y valores lógicos necesarios para la comunicación entre el *PC* y el *transceiver*.

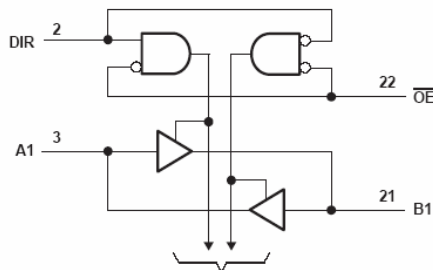
Tabla 3. Funciones lógicas

ENTRADAS		OPERACIÓN
OE	DIR	
L	L	Datos de B a A
L	H	Datos de A a B
H	X	Incomunicación

Fuente. *Data sheet 74LVC4245A*

La función *OE* debe estar siempre en cero digital para establecer la comunicación mientras que la función *Dir* indica el sentido hacia donde circulan los datos como se observa en la figura 3, si esta función se encuentra en cero digital la comunicación va del *transceiver* al computador por el contrario si esta en uno digital entonces la comunicación ira en sentido contrario.

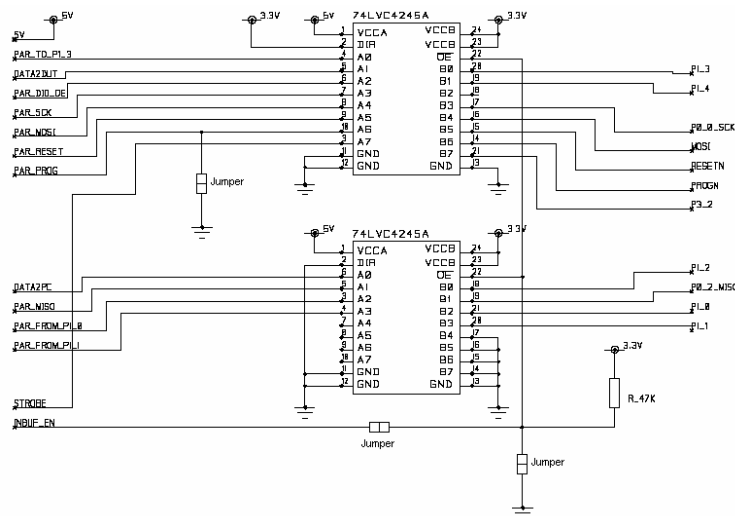
Figura 3. Diagrama lógico



Fuente. *Data sheet 74LVC4245A*

Debido a la cantidad de pines disponibles es necesario utilizar dos IC 74LVC4245A para este modulo, uno se utiliza para la comunicación del PC al CC1010 y el otro de este al PC como se muestra en la figura 4.

Figura 4. Interfaz paralela



Fuente. *Data sheet Chipcon®*

El *Jumper* del *Inbuf* debe estar conectado para que haya la comunicación de datos en ambas direcciones.

El *Jumper* del *Program* debe conectarse al momento de realizar la programación de la memoria flash y desconectarse para permitir el funcionamiento independiente del CC1010.

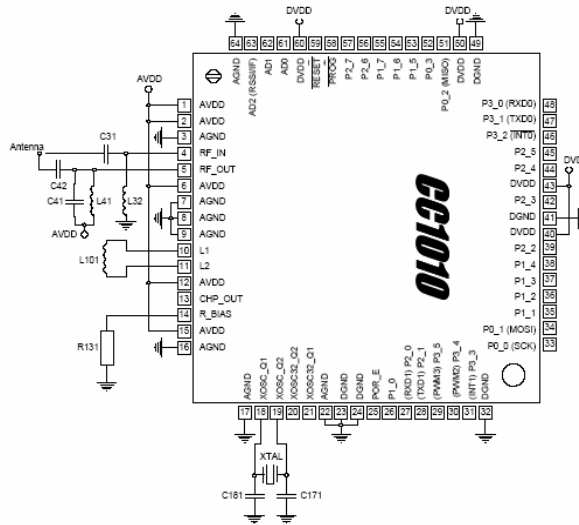
La función del *Reset* es iniciar el programa por medio de una señal externa aterrizando este pin.

2.2 MÓDULO TRANSMISOR / RECEPTOR

- Alimentación: Para el desarrollo del dispositivo fue necesario realizar un estudio de las consideraciones técnicas del *transceiver CC1010* que son importantes para el correcto funcionamiento y que ahora se mencionan:
- El dispositivo esta alimentado con una fuente de 3v, los pines de alimentación están conectados a capacitores de desacople con el fin de prevenir ruidos de alta frecuencia, la ubicación y el tamaño de los capacitores de desacople son fundamentales para prevenir fugas del oscilador local *LO (Local Oscillator)* y mantener la sensibilidad.
- Tierra: En general se realiza un plano de tierra para los módulos análogos y digitales respectivamente. El fabricante recomienda un plano de tierra común para ambos.
- Entrada y salida de *RF*: La entrada internamente esta conectada al *LNA (Low Noise Amplifier)*, la impedancia de la antena debe ser acoplada con la impedancia de entrada, este pin esta conectado por medio de una inductancia a tierra para la polarización del *LNA*. El pin de salida tiene una conexión interna a un *PA (power amplifier)*, la impedancia de la antena debe acoplar la impedancia de salida, (impedancia optima de carga) [15], este pin esta conectado a una inductancia a la alimentación para la polarización del *PA*.

Se necesitan muy pocos componentes para asegurar el acople de la impedancia óptima de carga, esta conexión se muestra en la figura 5, los valores de los componentes para la frecuencia a 433MHz se dan en la tabla 4, los valores de los componentes se encuentran utilizando el *software Smart Studio*.

Figura 5. Componentes externos



Fuente. Data sheet Chipcon®

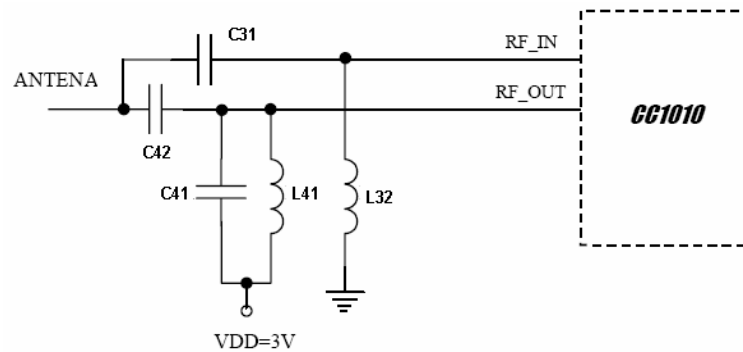
Tabla 4. Valores de los componentes

Item	componente
C31	10pF
C41	6.8pf
C171	8.2pF
C181	18pF
L32	6.8nH
L41	6.2nH
L101	27nH
R131	82KΩ
XTAL	14.7486 MHz

Fuente. Data sheet Chipcon®

- L32 y C31 son los encargados del acople de la impedancia de entrada, C41, L41, C42 son los encargados de la impedancia de salida (figura 6), aunque los componentes hacen parte de una misma red solo trabaja una opción simultáneamente transmite o recibe esto se logra por un *switch* interno.

Figura 6. Configuración de entrada/salida



Fuente. Data sheet Chipcon®

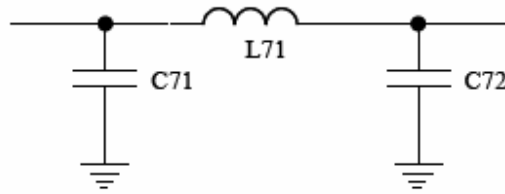
Se adicionó un filtro LC (*Inductor Capacitor*) pasa bajas (figura 7) para reducir las emisiones de armónicos e incrementar la sensibilidad en la recepción, este filtro esta entre la antena y el circuito de entrada/salida de radiofrecuencia. Las ecuaciones del filtro para la caída de 3db son:

$$\omega_c \approx 2\pi \cdot f_{RF} \cdot \left(\frac{1}{1-0.1333} \right)$$

$$L = \frac{35.6}{\omega_c}, C = \frac{0.067}{\omega_c}$$

Donde ω_c es la frecuencia de corte y f_{RF} es la frecuencia de transmisión.

Figura 7. Filtro LC



Fuente. *Data sheet Chipcon®*

Tabla 5. Valores de los componentes del filtro

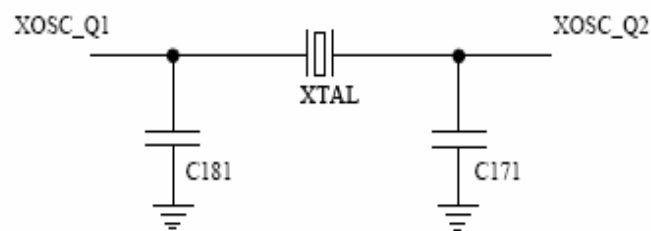
Item	Componente
C71	20 Pf
C72	20 pF
L71	12nH

Fuente. *Data sheet Chipcon®*

- RBIAS: En las especificaciones se recomienda conectar una resistencia de precisión de 1% de error de 82K para un correcto nivel de corriente de polarización.
- Osciladores: Se conectó un oscilador de 14.7456MHz (Oscilador Principal) entre los pines XOSC_Q1, XOSC_Q2 junto con dos capacitores de carga entre cada pin y tierra (ver figura 8), el sistema RF del *Transceiver* solo funciona con este cristal, la frecuencia del Oscilador Principal es referencia para la señal de reloj del microcontrolador y la tasa de transmisión de datos, las capacitancias de carga mencionadas anteriormente deben ser cuidadosamente seleccionadas y ubicadas para que oscilador funcione a la frecuencia deseada, la capacitancia vista por el cristal esta determinada por cada uno de los capacitores de carga más las capacitancias parásitas producidas en el diseño del PCB, estas capacitancias tienen una variación típica de 3 a 5pF por este hecho se le coloca un capacitor variable de

sintonía fina de 3 a 10pF. El *CC1010* tiene también la opción de instalar un segundo oscilador entre los pines del *RTC(Real Timer Control)* de igual forma dos capacitores de carga deben conectarse entre cada pin y tierra, este oscilador tiene dos funciones importantes la primera es generar interrupciones en un rango de 1 a 127sg y la segunda es remplazar al oscilador principal cuando se desee un ahorro de energía dado que el consumo de corriente es proporcional a la frecuencia de trabajo del oscilador principal (figura 9). El microcontrolador funciona con el oscilador principal o con el *RTC*, la selección del oscilador se hace por *software*.

Figura 8. Oscilador Principal



Fuente. *Data sheet Chipcon®*

La capacitancia total vista por el oscilador principal (ver tabla 6) esta determinada por la siguiente ecuación:

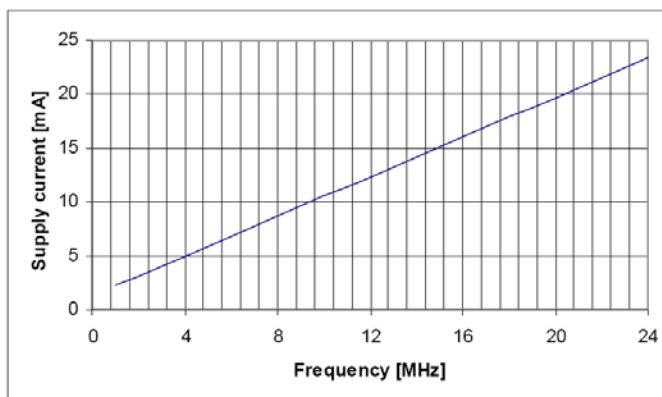
$$C_L = \frac{1}{\frac{1}{C_{171}} + \frac{1}{C_{181}}} + C_{\text{parasitic}}$$

Tabla 6. Capacitancias de carga del oscilador

Componente	$C_L=12\text{pF}$
C171	15pF
C181	15pF

Fuente. *Data sheet Chipcon®*

Figura 9. Frecuencia vs corriente de alimentación

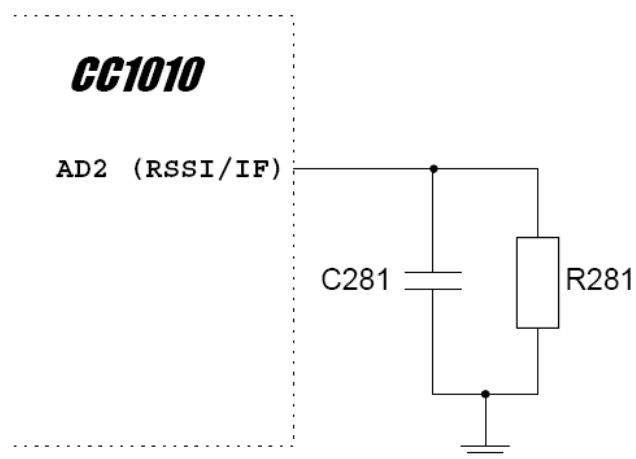


Fuente. *Data sheet Chipcon®*

- El CC1010 tiene 26 pines configurables como entradas y salidas de propósito general agrupados en 4 puertos que van del P0 al P3 las cuales pueden suministrar una corriente máxima de 2mA a excepción del pin P2.3 que puede suministrar hasta 8mA.
- L1, L2: Estos pines conectan internamente al *VCO (Voltage Controlled Oscillator)*, entre estos pines se conectó un inductor el cual determina el rango de sintonía del *VCO*. Es importante situar el inductor muy cerca de estos pines con el fin de reducir las inductancias parásitas.
- *AD2 (RSSI/IF)*: Este pin es la entrada analógica al *ADC (Analog to Digital Converter)* del canal 2, también se puede configurar como salida del indicador de potencia de la señal recibida *RSSI (Received Signal Strength Indicator)* o como salida *IF (Intermediate Frequency)*.
- *RSSI*: Es habilitado por *software* (refiérase al capítulo 4) una vez puesto en marcha se puede obtener una señal analógica en el pin *AD2(RSSI/IF)*,

consistente en una corriente de salida que es inversamente proporcional al nivel de señal de entrada, para que el CC1010 la reconozca y analicé esta corriente debe convertirse en voltaje usando una resistencia de carga (figura 10) adicional a esta se debe colocar en paralelo un capacitor que actuara como un filtro pasabajo de señal, una vez obtenido este voltaje este pin se configura como entrada de ADC para poder compararla con un valor preestablecido.

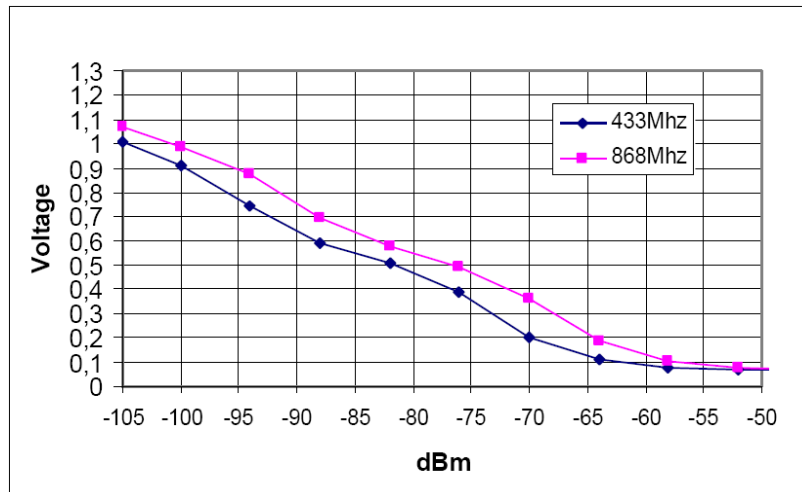
Figura 10. Circuito medidor del nivel de potencia



Fuente. *Data sheet Chipcon®*

El rango de voltajes del *RSSI* varia entre 0-1.2V cuando se usa un resistor de 27KΩ dando aproximadamente 50dB/V (figura11).

Figura 11. Potencia vs. Voltaje



Fuente. Data sheet Chipcon®

La potencia referida al pin de entrada $AD2(RSSI/IF)$ puede ser calculada utilizando la siguiente ecuación:

$$P = -48.8 V_{RSSI} - 57.2 \text{ [dBm]}$$

Los esquemáticos del modulo de RF y de la interfaz se encuentran en los anexos A y B. Después de todos los anteriores requerimientos de diseño se elaboró el PCB del módulo de interfaz y el módulo de RF estos diseños se encuentran en los anexos C y D. En el anexo E se puede ver una figura del prototipo final.

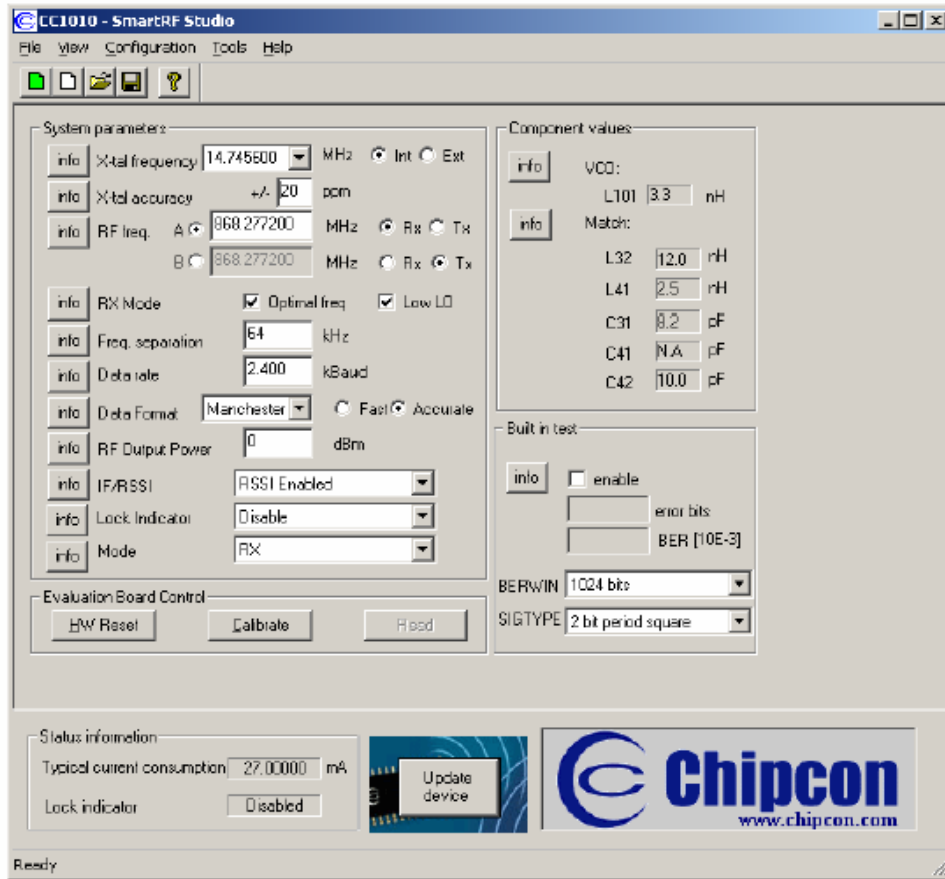
3. SOFTWARE

Chipcon® ofrece un software libre para la programación del microcontrolador y de esa forma implementarlo en cualquier aplicación que se desee realizar, con el fin de facilitar las tareas al usuario *Chipcon*® separa el proceso de programación en tres fases con un *software* independiente para cada una de las mismas.

3.1 SMARTRF® STUDIO

SmartRF® *Studio* tiene dos ventanas para la configuración de parámetros (figura 12), la primera es la ventana llamada *Normal*, a la cual se puede acceder con la tecla F2 o la opción *normal* en el menú *view*, aquí se pueden seleccionar los valores de *RF* tales como frecuencia del cristal, frecuencia de *TX*(*Transmitter*) o *RX*(*Receiver*), frecuencia de separación, tasa de transmisión de datos, tipo de codificación, potencia de salida, el *RSSI* o *IF*, una vez establecidos los valores de trabajo el *software* realiza un cálculo para indicar los valores de los componentes externos a agregar más apropiados para la transmisión a la frecuencia deseada. La segunda es la ventana de *Register* donde muestra en formato hexadecimal los valores calculados por *SmartRF*® *Studio* seleccionados en la ventana *Normal*.

Figura 12. Ventana de configuración de parámetros de RF



Fuente. SmartRF® Studio

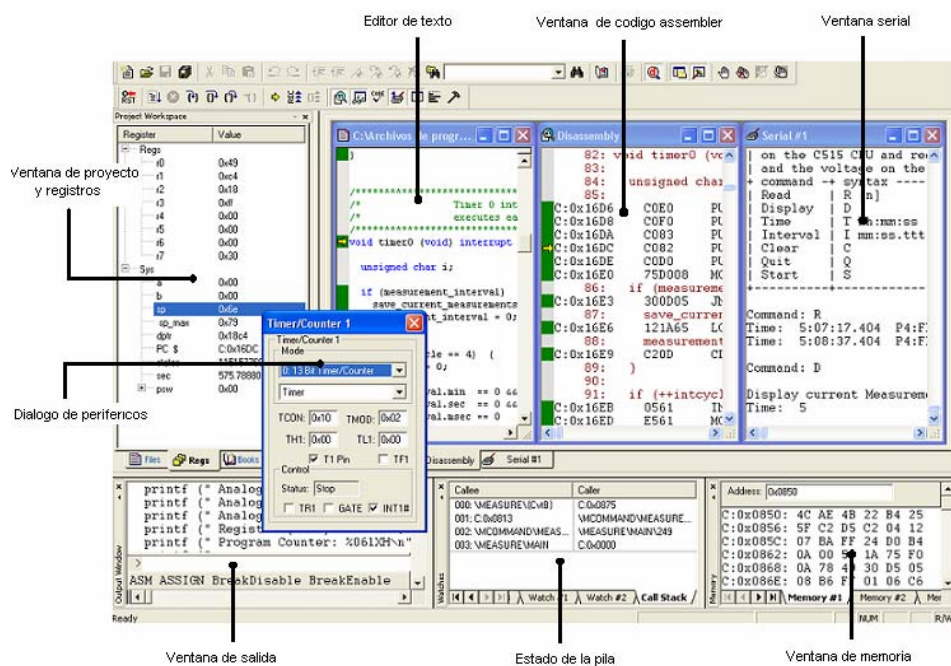
3.2 KEIL UVISION2

Keil uvision2 es una adaptación especial de Uvision2 (figura 13) software de Keil™ Elektronik GmbH., para aplicaciones de Chipcon® el cual esta especializado en el estándar 8051 para microcontroladores y soportado por las versiones de Windows 95, Windows 98, Windows NT, Windows 2000, Windows XP y Windows ME.

La versión gratuita del software del CC1010 esta diseñado para ser programado por el puerto paralelo y esta acotada a un máximo de 2kB de código objeto para su simulación, esto no implica que sea un impedimento para el código fuente que solo esta limitado por la capacidad de memoria del integrado [13]. Algunas de las herramientas para el desarrollo de algoritmos de programación que trae la versión completa son:

- *Code Banking Linker, Library Manager y RTX-51 Tiny Real-Time Operating System.*
- Generación de código Assembler

Figura 13. Ventana de software de programación *Keil uvision2*



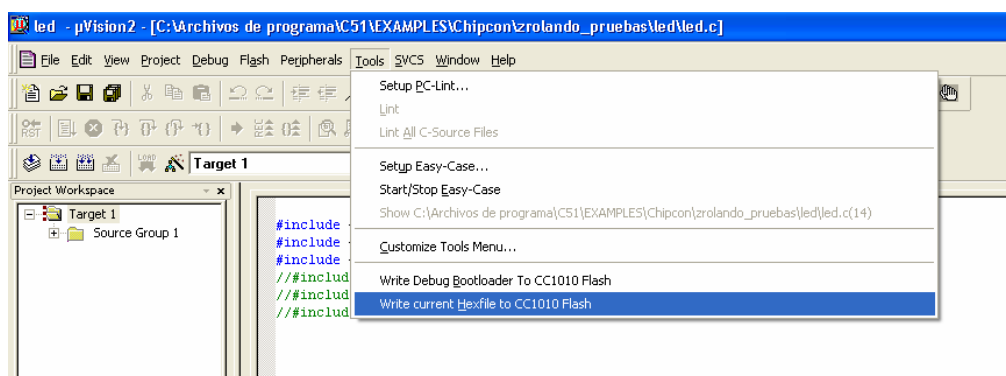
Fuente. *Keil uvision2*

- **Ventana de proyecto y registros.** En esta ventana se pueden ver todos los archivos adicionados al archivo principal necesarios para la compilación y el estado de los registros en la simulación.
- **Editor de texto.** Aquí se edita en lenguaje C el cuerpo del programa a simular que posteriormente se programará en el microcontrolador.
- **Ventana de código *Assembler*.** Muestra el proyecto en código *Assembler* generado por el compilador y permite el seguimiento paso a paso de la simulación.
- **Ventana Serial.** Cuando se desea que el programa muestre una serie de parámetros de salida en pantalla se hace un llamado a la ventana serial para su visualización.
- **Ventana de memoria.** Muestra los valores que se almacenan en las diferentes direcciones de la memoria del microcontrolador.
- **Estado de la pila.** Visualiza los cambios que se presentan en cada momento de la simulación.
- **Ventana de salida.** Muestra el chequeo de la sintaxis y semántica del programa principal y todos los programas adicionados, mostrando un informe completo de errores y advertencias o incoherencias y su ubicación en el programa.
- **Periféricos.** Esta ventana nos permite ver el estado actual de los puertos de entrada/salida, los *timers* y la entrada serial en la simulación.

3.3 FLASH PROGRAMMER

Este *software* permite la programación del *IC CC1010* a través del puerto paralelo, una vez creado en el *Keil Uvision2* el algoritmo de programación desde este mismo *software* se puede acceder al *Flash programmer* a través del *menu tool (write current_Hexfile to CC1010)* y subir el programa (figura 14), Ahora si se desea modificar algunas de las opciones del *Flash Programmer* o subir un archivo que ha sido gravado previamente es necesario abrirlo desde su icono de acceso.

Figura 14. Acceso al flash programmer desde el Keil Uvision2



Fuente. *Keil uvision2*

Flash programmer permite borrar, programar y verificar, además tiene la opción de leer lo que se encuentra grabado en el *IC 1010* y crear un archivo .Hex con la información obtenida del microcontrolador siempre y cuando el integrado no haya sido protegido contra lectura.

La ventana del *get from device* proporciona información acerca del tipo de dispositivo que se encuentra conectado y da la dirección de memoria donde ocurrió el error al programar o al verificar si lo hubiese, una vez seleccionadas las condiciones deseadas se procede a subir el programa mediante el botón *Do it*.

3.4 ALGORITMO DE PROGRAMACIÓN PARA LA TRANSMISIÓN.

El algoritmo de transmisión tiene la función de enviar un vector de datos que se encuentra previamente grabado en el receptor. Existen dos formas de seleccionar los parámetros de *RF*, una es mediante el *SmartRF® Studio* y la otra directamente en el editor de texto, los parámetros *RF* a seleccionar son: la potencia de transmisión, la frecuencia de la portadora, corriente de TX / RX, tipo de codificación y la tasa de transmisión de datos, como se muestra en la figura 12. El algoritmo de programación es bastante sencillo consta de un vector a transmitir mediante el *halRFSendPacket* que es una función incorporada en la librería de Chipcon para la transmisión automática de datos esto se hace de manera infinita como se puede ver en el anexo F. Además de los datos el *frame* transmitido lleva un preámbulo y un *byte* de sincronización, el preámbulo avisa sobre la presencia de datos y el *byte* de sincronización establece el inicio del *frame* de datos

3.5 ALGORITMO DE PROGRAMACIÓN PARA LA RECEPCIÓN

Chipcon® también ofrece una función para la recepción de datos automática llamada *halRFReceivePacket2*, esta función establece el tiempo de espera por el preámbulo, el puntero donde se guardaran los datos recibidos, la longitud máxima de los datos a recibir con un máximo de 253 *bytes*, y el puntero que indica la dirección donde se almacenará valor de la potencia de la señal recibida, el *halRFReceivePacket2* tiene como valor de retorno el número total de *bytes* recibidos este valor se compara con un valor almacenado en memoria si es igual la alarma permanece apagada, si es diferente la alarma se encenderá y solo se apagará con el interruptor de encendido o acercando nuevamente los dos dispositivos. Otra forma de activación de la alarma es mediante la potencia de la señal recibida para esto es necesario activar el *RSSI* el cual da una medición de la señal recibida,

para poner en marcha esta función es necesario hacer un llamado al *halRFReadRSSIlevel(RSSI_MODE_INIT)* para que inicie la medición y para obtener el valor medido se hace un llamado a *halRFReadRSSIlevel(RSSI_MODE_RUN)* cuyo valor de retorno es el valor de la potencia de la señal recibida, entonces si está por debajo del umbral establecido previamente por *software* activará la alarma y solo se apagará de la misma forma que se mencionó anteriormente (ver Anexo G).

4. RESULTADOS DE PRUEBAS REALIZADAS

Se realizaron pruebas de medición de potencia y rango de alcance al modulo TX con antena y sin antena con el fin de establecer las diferencias y alcances, además de lo mencionado el objetivo de los análisis sin antena fue establecer su funcionalidad, con el fin de suprimir el uso de la misma por cuestiones de tamaño.

Para realizar análisis al diseño se empleo el analizador de espectros del laboratorio de comunicaciones de la UIS como instrumento de medida registrando los siguientes valores:

Tabla 7. Potencias medidas a 10cm

	TX
Frecuencia [MHz]	433.6
Potencia [dBm]	- 40.2

Fuente. Autores del proyecto.

Esta prueba se realizó a una distancia de 10cm con antena entre el modulo TX y el analizador de espectro, a esta distancia no se percibe distorsión de armónicos que se puedan medir, se hizo de esta forma porque en estas condiciones se esperaba obtener la mayor magnitud de los posibles armónicos.

Tabla 8. Potencias medidas a 3m

	Con antena	Sin antena
Potencia [dBm]	- 62.3	- 75.9

Fuente. Autores del proyecto.

Tabla 9. Potencias medidas a 7m

	Con antena	Sin antena
Potencia [dBm]	- 61.2	- 78.2

Fuente. Autores del proyecto.

En otra prueba para medir la atenuación de la señal con el distanciamiento del dispositivo se registraron los siguientes datos, cabe aclarar el uso de la antena en este ensayo.

Tabla 10. Potencias medidas a diferentes distancias

Distancia [m]	1	2	3	4	5	6	7
Potencia [dBm]	- 61	- 59	- 62.3	- 61.6	- 61.6	- 59	- 61.2

Fuente. Autores del proyecto.

Otro de los análisis realizado fue la atenuación de potencia utilizando una pared como obstáculo entre el transmisor y el analizador de espectro, a una distancia aproximada de 2.17 metros la potencia detectada es -70.5dBm, esto nos da una atenuación alrededor de 10dBm.

Además de utilizar como instrumento de medición el analizador de espectros se realizaron pruebas variando la potencia de transmisión, con el mejor

receptor con el fin de eliminar el uso de la antena, los resultados obtenidos se pueden observar en la tabla 11. Las distancias logradas son demasiado cortas, de la misma forma el consumo de corriente a una potencia de transmisión de 10dBm es aproximadamente 47mA y la fuente de alimentación no es capaz de soportar esta demanda.

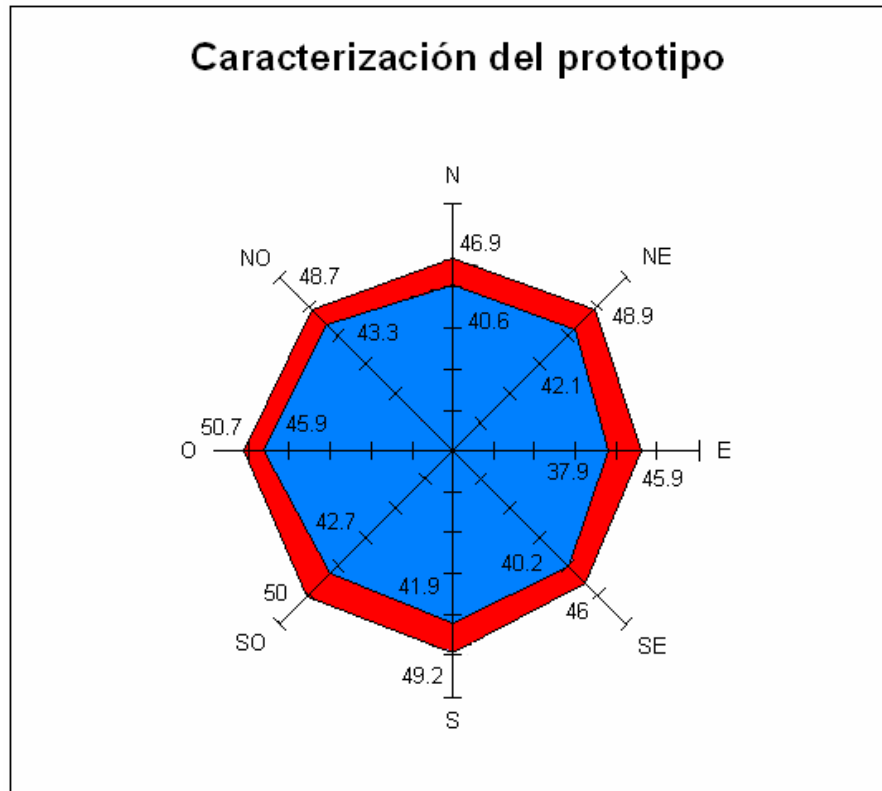
Tabla 11. Distancia medida variando la potencia del TX sin antena y con una sensibilidad de -105dBm

Potencia [dBm]	-20	-5	10
Distancia [m]	0.7	1	2.8

Fuente. Autores del proyecto.

En adelante las pruebas realizaron con antena debido a que no es posible eliminar esta del circuito. La caracterización del prototipo se realizó a campo abierto sin obstáculos entre el transmisor y el receptor, la siguiente prueba se realizó con la mínima potencia programable de transmisión del CC1010 -20dBm y el receptor se programó con un umbral de sensibilidad de -75dBm. La región de color rojo de la figura 15 representa el ciclo de histéresis de radiofrecuencia, representados en ésta, son magnitudes dadas en metros realizadas cada 45°, el error estimado en cada medición es de 4.5metros, este error se obtuvo midiendo el tramo en que el receptor perdía la señal intermitentemente. Estas pruebas se realizaron con dos pilas grandes capaces de soportar la carga del prototipo fácilmente manteniendo un voltaje de alimentación constante de 3V.

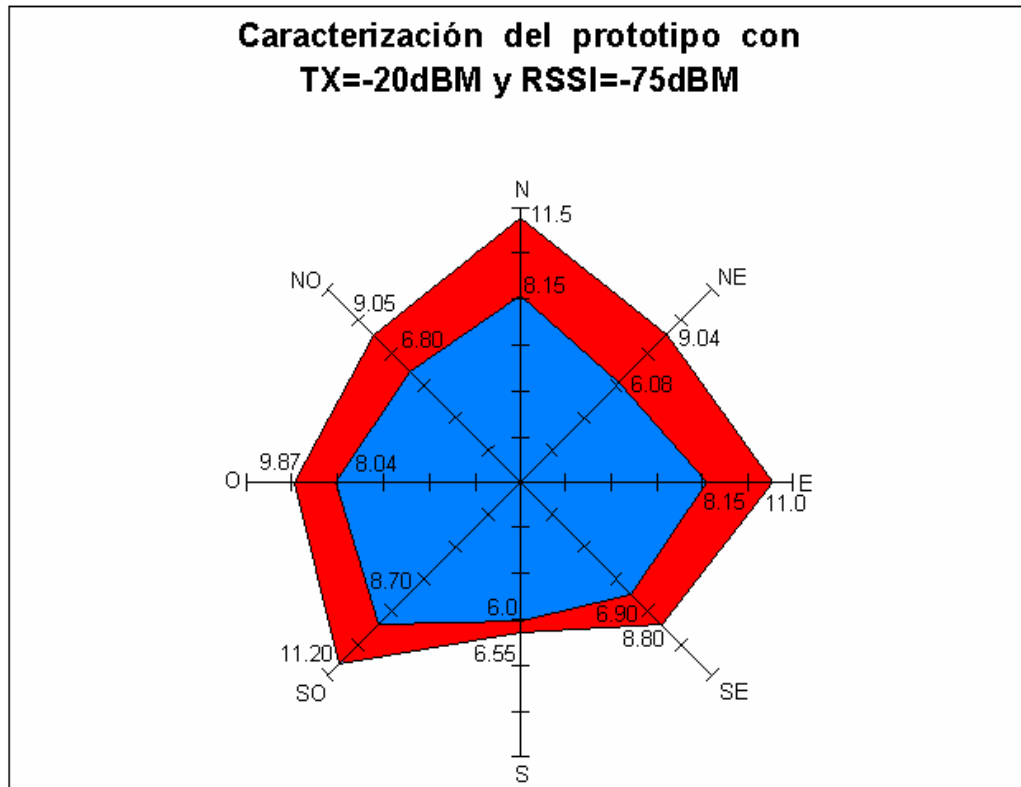
Figura 15. Caracterización con TX = -20dBm y RSSI = -105dBm



Fuente. Autores del proyecto.

La figura 16 muestra la prueba realizada usando una fuente de alimentación sencilla de 3V con la que se diseñó inicialmente (CR2032). En esta experiencia se programó el transmisor a una potencia de -20dBm y el receptor se le asignó un umbral de sensibilidad de -75dBm. Los valores representados son magnitudes dadas en metros realizadas cada 45°, el error estimado en cada medición es de 1.7 metros, este error se obtuvo midiendo el tramo en que el receptor perdía la señal intermitentemente.

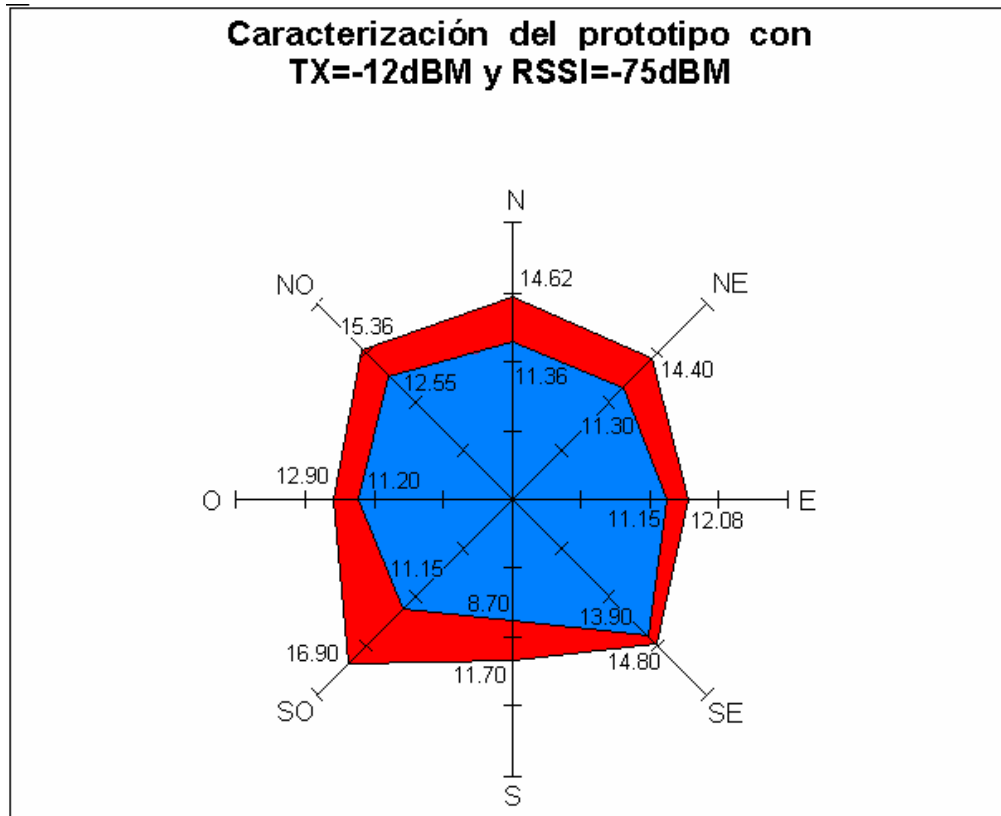
Figura 16. Caracterización con TX = -20dBm y RSSI = -75dBm



Fuente. Autores del proyecto.

En la figura 17 muestra la prueba realizada usando una fuente de alimentación sencilla de 3V con la que se diseñó inicialmente (CR2032). En esta experiencia se programó el transmisor a una potencia de -12dBm y el receptor se le asignó un umbral de sensibilidad de -75dBm. Los valores representados son magnitudes dadas en metros realizadas cada 45°, el error estimado en cada medición es de 1.7 metros, este error se obtuvo midiendo el tramo en que el receptor perdía la señal intermitentemente.

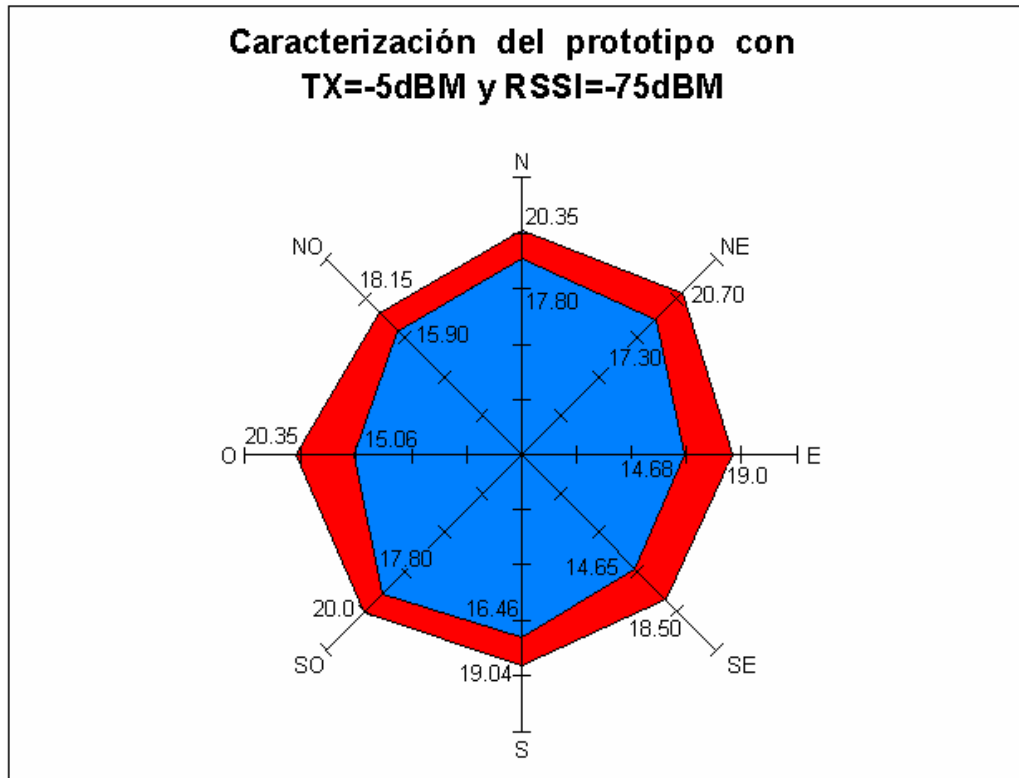
Figura 17. Caracterización con TX = -12dBm y RSSI = -75dBm



Fuente. Autores del proyecto.

La figura 18 muestra la prueba realizada usando una fuente de alimentación sencilla de 3V con la que se diseñó inicialmente (CR2032). En esta experiencia se programó el transmisor a una potencia de -5dBm y el receptor se le asignó un umbral de sensibilidad de -75dBm. Los valores representados son magnitudes dadas en metros realizadas cada 45°, el error estimado en cada medición es de 1.7 metros, este error se obtuvo midiendo el tramo en que el receptor perdía la señal intermitentemente.

Figura 18. Caracterización con TX = -5dBm y RSSI = -75dBm



Fuente. Autores del proyecto.

Los resultados que más se acomodan a los buscados son los arrojados en la figura 17, por ello se decidió optar como punto de trabajo esta selección de parámetros. La tabla 12 muestra todas las características del dispositivo final, donde las dimensiones no incluyen la antena.

Tabla 12. Características del dispositivo final

Corriente módulo TX [mA]	15.7
Corriente módulo RX [mA]	17.83
Voltaje de alimentación TX/RX [v]	3
Frecuencia de RF [MHz]	433.6
Tamaño del circuito [cm]	Largo: 4.7; Ancho: 4.6; Alto: 1.5
Tamaño de la caja [cm]	Largo: 6.3; Ancho: 5.4; Alto: 2.2

Fuente. Autores del proyecto.

OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES

- La potencia de transmisión dentro de un cuarto cerrado de 90 m² es prácticamente constante por consiguiente el receptor no encenderá la alarma.
- La potencia de transmisión es ajustable a través de *software*. El dispositivo está seleccionado para operar a -10dBm para obtener la máxima duración de la batería esta potencia es suficiente para obtener un radio de transmisión promedio de 12 m en campo abierto.
- Se seleccionó como dispositivo base el *Transceiver* CC1010 por su costo, consumo de corriente, tamaño y porque además viene con un microcontrolador incorporado.
- El *software* que ofrece *Chipcon® Keil Uvision2®* viene con librerías y funciones adaptadas y especializadas para la programación que enlazan el microcontrolador con el sistema *RF*.
- La detección de la distancia se realizó midiendo la potencia recibida de la señal transmitida; este criterio fue utilizado para la activación de la alarma.
- En el momento de la programación se requiere de una alimentación externa debido a que la batería con la que cuenta el módulo RF no soporta la carga de la Interfaz.

- Al configurar el *RSSI* con el umbral mínimo de nivel de señal en -105dBm el microcontrolador es engañado por el ruido de ambiente el cual genera esta potencia y asume como válido el nivel de entrada aún sin estar recibiendo señal del transmisor.
- La fuente de alimentación seleccionada es una pila CR2032 funcional para el voltaje requerido de 3V, además su ventaja comercial y tamaño permite su fácil adquisición.
- Las pruebas realizadas a campo abierto mostraron gran diferencia cuando el dispositivo es alimentado con dos pilas tipo A y con una pila CR2032, debido a la capacidad de suministro de energía de cada una de las fuentes.
- La pila aunque no da el mismo alcance obtenido con las pilas tipo A logra el objetivo de activar la señal de alarma a una distancia considerable.
- Se intentó reducir el tamaño de la antena con medidas por debajo de $\lambda/4$, doblándola en forma de espiral y ocultándola dentro de la caja, como resultado de esta prueba el alcance se redujo a sólo dos metros de distancia aproximadamente, finalmente se decidió dejar una antena monopolo con una longitud de $\lambda/4$.
- No fue posible establecer una distancia media en interiores, porque esta varia dependiendo del tipo de arquitectura, lo que se puede decir es que para un apartamento promedio de 200m² de un solo nivel no se activa la alarma.

RECOMENDACIONES

- *Chipcon*® ofrece un *software* interactivo entre el *PC* y el CC1010 a través de la interfaz serial ideal para simulaciones en futuras aplicaciones.
- Debe tenerse especial cuidado con una correcta alimentación del módulo *RF* y de la Interfaz para evitar daños en los circuitos integrados.
- Se recomienda utilizar el *SmartRF*® *Studio* para obtener los valores de Radio Frecuencia deseados.
- Abrir espacios para facilitar la importación de elementos electrónicos con el fin de buscar y trabajar en nuevas tecnologías.
- Considerar la importancia del idioma inglés como una herramienta fundamental en el desarrollo intelectual y profesional del estudiante.
- Incentivar en el estudiante la investigación de nuevas tecnologías, brindando espacios para la creación e innovación científica.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ARANGO PÉREZ, Eduardo Enrique y RODRÍGUEZ VIZCAÍNO, Jesús Alfredo. Prototipo de un Sistema Lector de *Transponder* de Baja Frecuencia. Diseño e Implementación. - Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. UIS

- [2] BEST. Steven R. Distance-Measurement Error Associated with Antenna Phase-Center Displacement in Time-Reference Radio Positioning Systems. IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol 46 Nro 2 de Abril de 2004.

- [3] DIRK Hähnel, BURGARD Wolfram, FOX Dieter, FISHKIN Ken y PHILIPOSE Matthai. *Mapping and localization with RFID technology. Conferencia Internacional de la IEEE sobre Robotica y Automatizacion*, New Orleans, LA. Abril de 2004.

- [4] FOSTER P. R. y BURBERRY R. A. Antenna Problems in RFID Systems. Publicacion de la IEE 1999.

- [5] HENRICI Dirk y MÜLLER Paul. Hash based Enhancement of Location Privacy for Radio-Frequency Identification Devices Using Varying Identifiers. Segunda conferencia anual de la IEEE sobre Pervasive Computing and Communications Workshops.

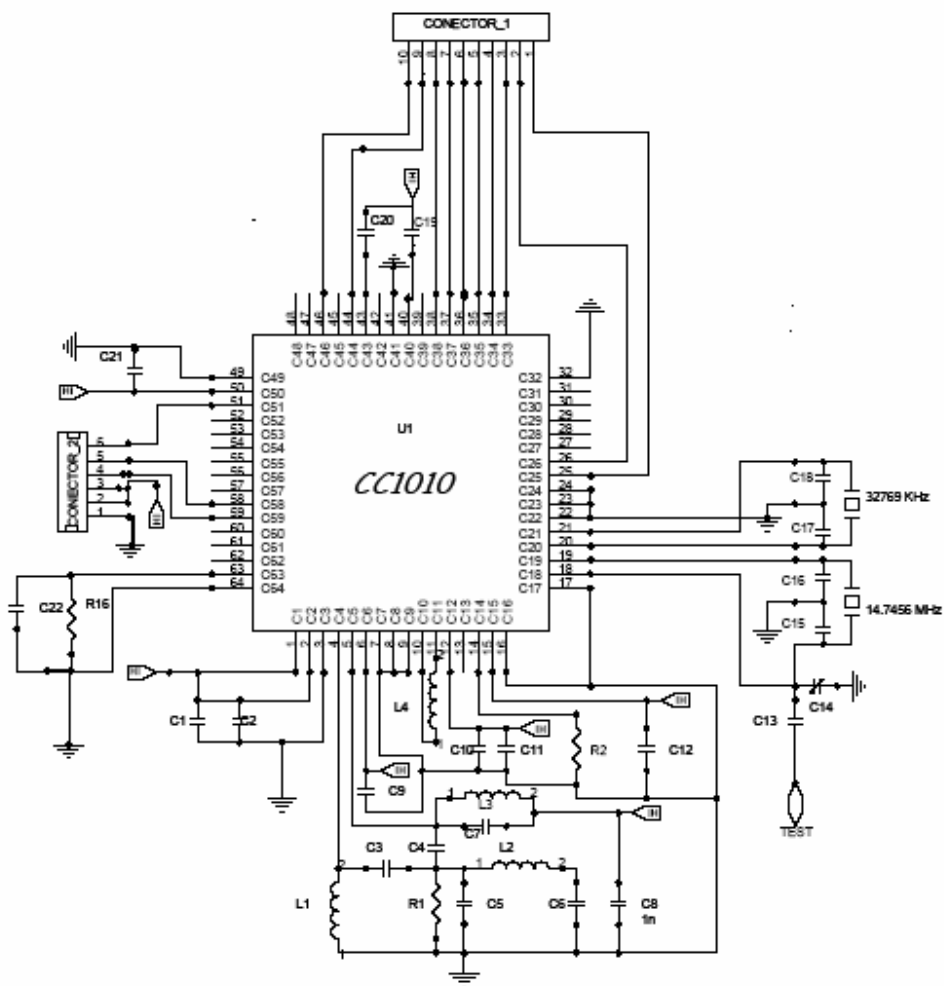
- [6] NI Lionel M., LIU Yunhao, LAU Yiu Cho y PATIL Abhishek P. LANDMARC: Indoor Location Sensing Using Active RFID. Primera

Conferencia internacional de la IEEE sobre "Pervasive Computing and Communications".

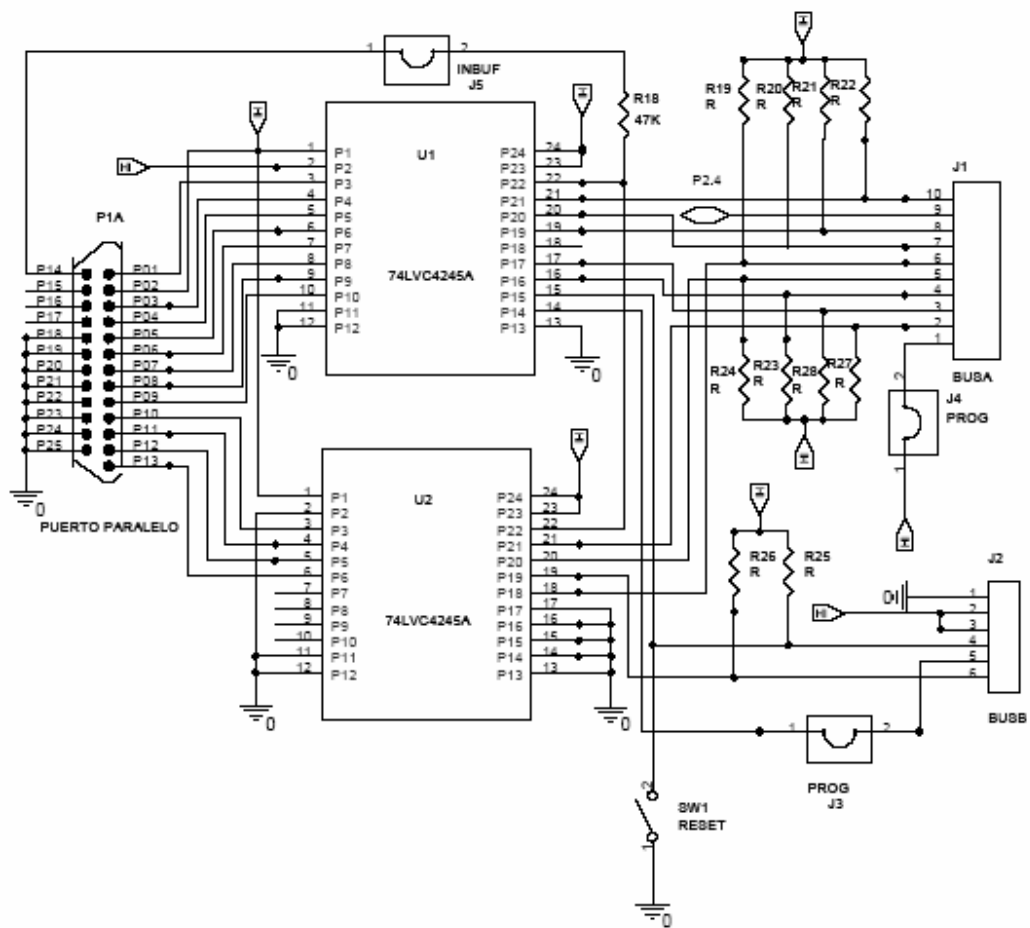
- [7] RAZA Nadeem, BRADSHAW Viv, HAGUE Matthew, Systems Integration Limited. APPLICATIONS OF RFID TECHNOLOGY. IEEE 1999.
- [8] TRAINOTTI Valentín. Medición de Ganancia de Antenas. Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas de Fuerzas Armadas CITEFA.
- [9] ZHOU Xiang y WANG Gang. Study on the influence of curving of tag antennas on performance of RFID system. IEEE 2004.
- [10] ZHU X. Y., CHAO H. Y., JIN J. M., MICHIELSSEN E. y CHEW W. C. Characterization of Mutual Coupling in a Multi-funtion Antenna System. IEEE 1999.
- [11] Data sheet CC1010, TI.
- [12] Data sheet CC1010IDE_user_manual.pdf
- [13] Data sheet 74LVC4245A, TI.
- [14] Ministerio de comunicaciones, Atribucion de Bandas de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico, 2004.
- [15] APPLICATION NOTE AN003 SRD ANTENNAS, 2001-03-14, CHIPCON AS.

- [16] CHIPCON AS, Manufactures of external components used with Chipcon RFICs, APPLICATION NOTE AN007, 2002-05-13.
- [17] Chipcon Products from Texas Instruments, Wireless audio using CC1010, APPLICATION NOTE AN026.
- [18] Chipcon Products from Texas Instruments, Low Power Systems Using the CC1010, APPLICATION NOTE AN017.
- [19] Chipcon Products from Texas Instruments, CC1010 Single Chip Very Low Power FR Transceiver with 8051-Compatible Microcontroller.
- [20] Crystal oscillator issues for CC1000 and CC1010, APPLICATION NOTE AN019, 2003-01-06. CHIPCON AS.
- [21] A 2.4GHz CMOS TRANSCEIVER FOR BLUETOOTH
- [22] CIDIC – UIS. [Http://cidicuis.tripod.com](http://cidicuis.tripod.com)
- [23] www.ti.com
- [24] www.chipcon.com
- [25] www.wikipedia.com

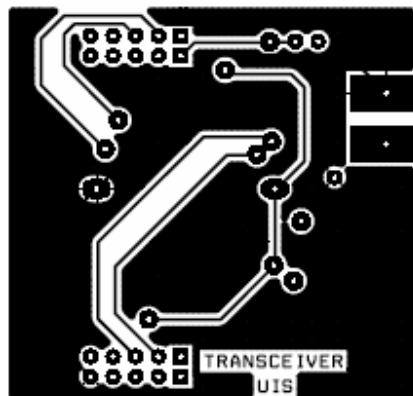
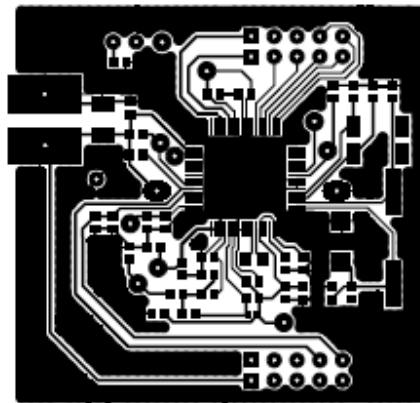
Anexo A. Esquemático del módulo de RF



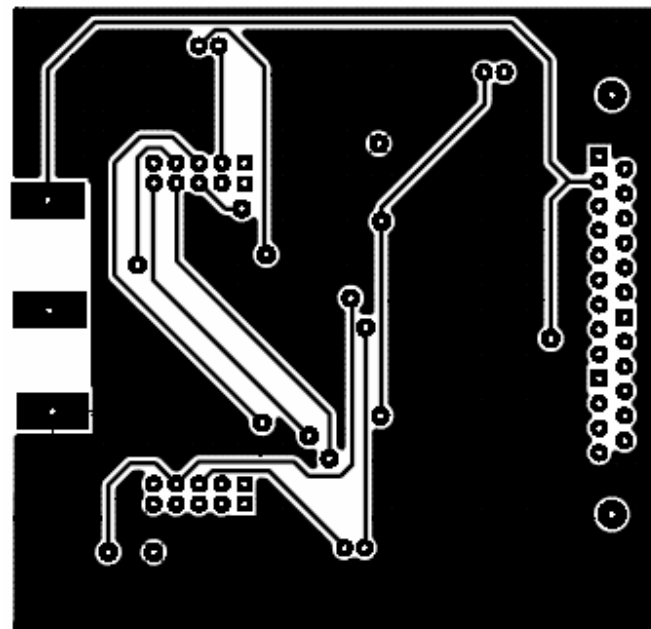
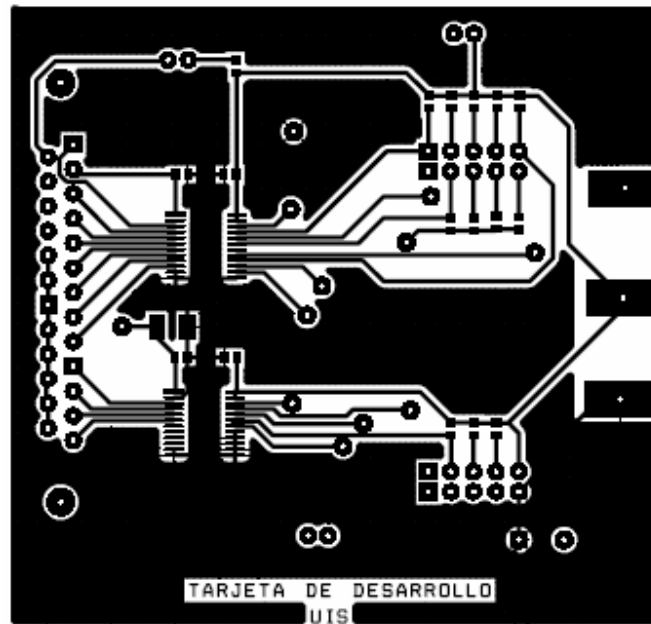
Anexo B. Esquemático del módulo de la interfaz



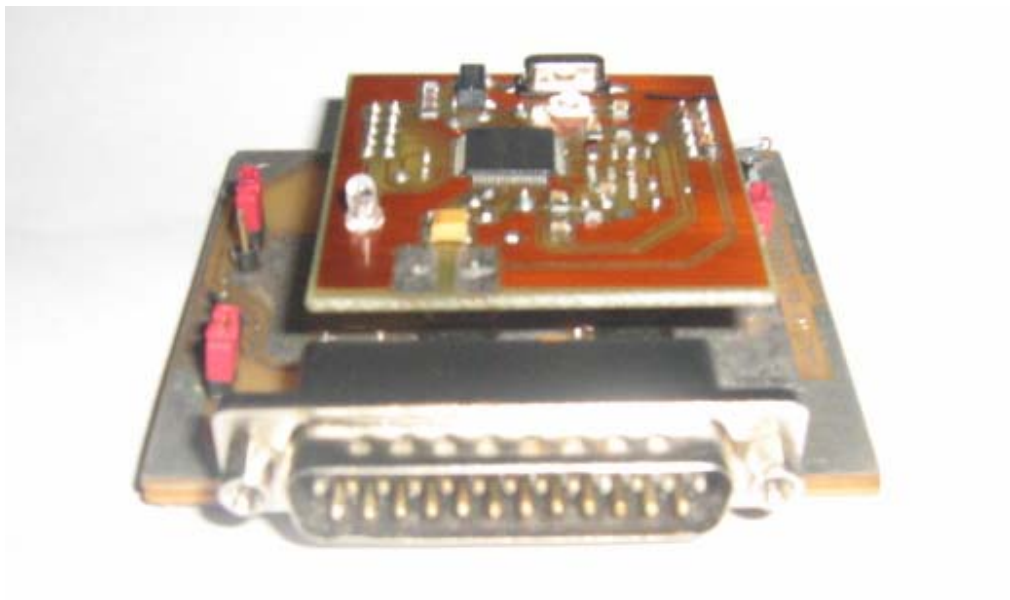
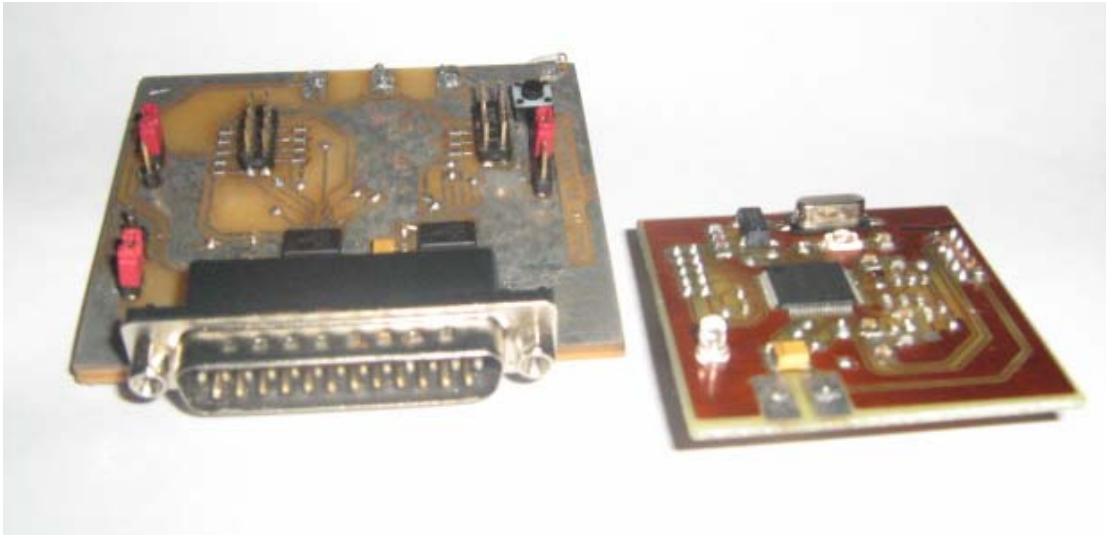
Anexo C. Negativos del diseño del *PCB* de *RF*, capas *TOP* y *BOTTOM*



Anexo D. Negativos del diseño del PCB de RF, capas *TOP* y BOTTOM



Anexo E. Foto del prototipo del diseño final



Anexo F. Programa para la transmisión

```
/* ***   ***   ****   *****
***   ***   ****   *****
***   ***   ****   ****
***   ***   ****   ****
***   ***   ****   *****
***   ***   ****   *****
***   ***   ****   ****
***   ***   ****   ****
*****   ****   *****
*****   ****   *****

*/
#include <chipcon/reg1010.h>
#include <chipcon/cc1010eb.h>
#include <chipcon/hal.h>
// Constantes
#define PREAMBULO 7
#define LONGITUD_VECTOR 10
// Tamaño del paquete a transmitir
byte vectortx[LONGITUD_VECTOR];
void main(void) {
    int n;
// Frecuencia del cristal principal: 14.745600 MHz
// Frecuencia A: 433 MHz Rx
// Frecuencia B: 433 MHz Tx
// RX Mode: Low side LO
// Frecuencia de separacion: 64 kHz
// Tasa de datos: 2.4 kBaud
```

```

// Formato de codificacion: Manchester
// Potencia de salida: -10 dBm
// IF/RSSI: RSSI Enabled

RF_RXTXPAIR_SETTINGS code RF_SETTINGS = {
    0x4B, 0x2F, 0x0E, // Modem 0, 1 and 2
    0x58, 0x00, 0x00, // Freq A
    0x41, 0xFC, 0x9C, // Freq B
    0x02, 0x80, // FSEP 1 and 0
    0x60, // PLL_RX
    0x48, // PLL_TX
    0x44, // CURRENT_RX
    0x81, // CURRENT_TX
    0x08, // FREND
    0x05, // PA_POW
    0xC0, // MATCH
    0x00, // PRESCALER
}
// Calibracion de datos
RF_RXTXPAIR_CALDATA xdata RF_CALDATA;
// dasabilita el watch dog
WDT_ENABLE(FALSE);
// seleccion para ahorro de energia
MEM_NO_WAIT_STATES();
FLASH_SET_POWER_MODE(FLASH_STANDBY_BETWEEN_READS);
// Punteros de almacenamiento de la calibración
haIRFCalib(&RF_SETTINGS, &RF_CALDATA);
PORTDIRBIT(2,4,POUT);
PORTBIT(2,4) = 0;
while (TRUE) {

```

```

// construcción de datos
for (n = 0; n < LONGITUD_VECTOR; n++) {
    vectortx[n] = n;
}
// Envio de datos
halRFSetRXTxOff(RF_TX, &RF_SETTINGS, &RF_CALDATA);
halRFSendPacket(PREAMBULO, &vectortx[0],
LONGITUD_VECTOR);
PORTBIT(2,4) = 1;
halWait(255, CC1010EB_CLKFREQ);
halWait(255, CC1010EB_CLKFREQ);
halWait(255, CC1010EB_CLKFREQ);
halWait(255, CC1010EB_CLKFREQ);
PORTBIT(2,4) = 0;
}
} //fin de programa

```

Anexo G. Programa para la recepción

```
/* ***   ***   ****   *****
***   ***   ****   *****
***   ***   ****   ****
***   ***   ****   ****
***   ***   ****   *****
***   ***   ****   *****
***   ***   ****   ****
***   ***   ****   ****
*****   ****   *****
*****   ****   *****

*///Librerias
#include <chipcon/reg1010.h>
#include <chipcon/cc1010eb.h>
#include <chipcon/hal.h>
#include <stdio.h>
// Constantes
#define LONGITUD_VECTOR 10
// Tamaño de codigo a recibir
byte vectorr[LONGITUD_VECTOR];
extern byte halRFReceivePacket2(byte timeOut, byte* packetData, byte
maxLength, char* rssiByte, word clkFreq);
// Umbral minimo de potencia para el RSSI
#define RSSI_LIM -75
// Inicio del programa
void main(void) {
    byte result;
    char rssi_val;
```

```

int k;
// Frecuencia del cristal principal: 14.745600 MHz
// Frecuencia A: 433 MHz Rx
// Frecuencia B: 433 MHz Tx
// RX Mode: Low side LO
// Frecuencia de separacion: 64 kHz
// Tasa de datos: 2.4 kBaud
// Formato de codificacion: Manchester
// Potencia de salida: -10 dBm
// IF/RSSI: RSSI Enabled
RF_RXTXPAIR_SETTINGS code RF_SETTINGS = {
    0x4B, 0x2F, 0x0E, // Modem 0, 1 and 2
    0x58, 0x00, 0x00, // Freq A
    0x41, 0xFC, 0x9C, // Freq B
    0x02, 0x80, // FSEP 1 and 0
    0x60, // PLL_RX
    0x48, // PLL_TX
    0x44, // CURRENT_RX
    0x81, // CURRENT_TX
    0x0A, // FREND
    0x02, // PA_POW
    0xC0, // MATCH
    0x00, // PRESCALER
};

```

```

// Calibración de datos
RF_RXTXPAIR_CALDATA xdata RF_CALDATA;
// Inicializacion del RSSI
halRFReadRSSIlevel(RSSI_MODE_INIT);
// Desabuilita el watch dog
WDT_ENABLE(FALSE);
// seleccion para ahorro de energia
MEM_NO_WAIT_STATES();
FLASH_SET_POWER_MODE(FLASH_STANDBY_BETWEEN_READS);
// Punteros de almacenamiento de la calibración
halRFCalib(&RF_SETTINGS, &RF_CALDATA);
// Inicializa el modo de recepción
halRFSetRxTxOff(RF_RX, &RF_SETTINGS, &RF_CALDATA);
//habilita el puerto 2,4 como salida
PORTDIRBIT(2,4,POUT);
PORTDIRBIT(1,3,POUT);
PORTBIT(1,3)=0;PORTBIT(2,4)=0;
// lazo infinito
while (TRUE) {
    PORTBIT(1,3)=0;
    for (k=1, k<20,k++){
    }
    PORTBIT(1,3)=1;
    for (k=1, k<10,k++){
    }
    // compara la potencia de la señal recibida
    if((rssi_val = halRFReadRSSIlevel(RSSI_MODE_RUN)) > RSSI_LIM){
    // guarda los datos recibidos en la variable resultado
    result = halRFReceivePacket2(500/10, &vectorrx[0],

```

```

        LONGITUD_VECTOR, 0, CC1010EB_CLKFREQ);
// compara la longitud de los datos recibidos
if (result == LONGITUD_VECTOR) {
    PORTBIT(2,4)=0;

    halWait(255, CC1010EB_CLKFREQ);
    halWait(255, CC1010EB_CLKFREQ);
    halWait(255, CC1010EB_CLKFREQ);
    halWait(255, CC1010EB_CLKFREQ);
}
else{
    PORTBIT(2,4)=1;
    PORTBIT(1,3)=1;
}
}
else {
    PORTBIT(2,4)=1;
    PORTBIT(1,3)=1;
}
}
} // fin del programa

```