



**ESCUELA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

# **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE**

**PROYECTO DE FIN DE CARRERA PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**Autor:**

**César Fernando Íñiguez Pineda  
Servio Mauricio Íñiguez Pineda**

**Director:**

**Ing. Byron Maza Chalán**

**Diciembre 2008**

**LOJA – ECUADOR**



## CERTIFICACIÓN

Loja, Septiembre del 2008.

Ing. Byron Paúl Maza

DOCENTE DE LA CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES DE LA UNIVERSIDAD  
TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

Que la tesis titulada “Diseño e implementación de un transmisor y receptor digital” presentada por los señores César Fernando Íñiguez Pineda y Servio Mauricio Íñiguez Pineda; cumple con los requisitos metodológicos y con los aspectos de forma y fondos exigidos en las Normas Generales previas a la obtención del Título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, vigentes en la Universidad Técnica Particular de Loja y de manera especial en la Escuela de Electrónica y Telecomunicaciones, por lo que luego de haberla revisado minuciosamente autorizo su presentación, sustentación y defensa.

Ing. Byron Paúl Maza

**DIRECTOR DE TESIS**



## CESIÓN DE DERECHOS

Yo, César Fernando Íñiguez Pineda, declaro conocer y aceptar la disposición del Art.67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja, que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de las investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

.....

César Fernando Íñiguez Pineda  
TESISTA

Yo, Servio Mauricio Íñiguez Pineda, declaro conocer y aceptar la disposición del Art.67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja, que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de las investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

.....

Servio Mauricio Íñiguez Pineda  
TESISTA



## **AUTORÍA**

Las opiniones, análisis, diseños, conclusiones y recomendaciones que se encuentran en el presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad de los autores.



## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Escuela de Electrónica y Telecomunicaciones por habernos dado la oportunidad de iniciarnos en nuestra formación profesional, a todos los profesores que con su altura profesional y humana dejaron enseñanzas marcadas en nuestras vidas, a la Leda. Lady Sanmartín por su aguda y atención amable, y en especial a los Ingenieros Byron Maza Director de Tesis por su colaboración y dedicación en el desarrollo de nuestro proyecto de fin de carrera y al Ing. Marco Morocho por su entrega en nuestra formación profesional y humana.



## INTRODUCCIÓN

El presente proyecto, está dirigido en dar un aporte en la construcción de sistemas de radiofrecuencia digital, concretamente, el proyecto consiste en el diseño e implementación de un sistema de comunicación inalámbrico de baja potencia, para la transmisión de datos de la más diversa procedencia (mandos de control, telemetría de baja potencia, sistemas de ingreso de contraseña para automatismos remotos (RKE), sistemas de automatización de alarma, sensores inalámbricos, etc.), de tal forma de tener un sistema modular para diferentes aplicaciones, en base a microcontroladores.

Las comunicaciones inalámbricas de corto alcance en base a microcontroladores, se facilitan en la actualidad gracias a la alta integración de la electrónica actual, que permite la implementación de proyectos específicos en tiempos cortos, porque el diseño óptimo de RF que es lo que podría retardar los proyectos, lo realizan las empresas con sus diseños embebidos. La variedad de marcas de microcontroladores abundan, hay los dispositivos que trabajan en una sola vía y los de dos vías, los que no cumplen con un protocolo estándar (propietarios) y los que cumplen un protocolo estándar.

Entre las diferentes alternativas de herramientas para la implementación del proyecto, se ha decidido trabajar con los rPICs de Microchip, por la mayor documentación y herramientas disponibles en la Internet; en comparación con algunos de sus competidores como los de las empresas: Analog Devices, Freescale, Texas Instruments, Maxim, Infineon, Cypress, etc. Los módulos de Microchip a pesar de ser más limitados en sus características que los de otras empresas, son suficientes para alcanzar los objetivos planteados.

El desarrollo de la memoria presenta: la delimitación del problema, el manejo del módulo transmisor y receptor, la programación de los microcontroladores, cuatro aplicaciones concretas que hemos dado para validar los objetivos planteados; mandos de control para activar tres relés; adquisición de datos en un computador de la variación de voltaje de un potenciómetro; comunicación a través de la interface serial RS-232 de forma simplex, para control de un servomotor y el control de la velocidad de un motor DC.



## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE

---



Para la implementación, se han usado los módulos transmisor y receptor de Microchip, adicional a éstos, se han fabricado una placa por dónde se introduce las señales a transmitir y otra con un microcontrolador PIC12F675 que hace la interpretación de los datos del receptor. En la programación se hace una combinación tanto del lenguaje Basic como Ensamblador, para implementar un protocolo de comunicación de tipo asíncrono.

Por último, las gráficas citadas en las cuales no se hace referencia son de propiedad de los autores.



## OBJETIVOS

### General

Desarrollar e implementar un sistema de comunicación inalámbrico de corta distancia, para el envío de datos digitales, capaz que se pueda adaptar a cuatro modos de operación para la transmisión y recepción de: tres bits, una señal analógica, datos con estándar RS-232 y un tren de pulsos.

### Específicos

1. Encontrar la tecnología de microcontroladores adecuada, para la transmisión y recepción en radiofrecuencia, que conserven en el proyecto: un bajo costo, bajo consumo de potencia y un tamaño reducido.
2. Diseñar y construir el hardware necesario de un transmisor y un receptor digital para los cuatro modos de operación.
3. Desarrollar el software que soporte la operación del transmisor y el receptor digital para los cuatro modos de operación.
4. Desarrollar e implementar en los microcontroladores una trama de comunicación.
5. Asegurarse que las herramientas utilizadas sean las que garanticen en el proyecto implementado: un bajo costo, bajo consumo de potencia y un tamaño reducido.
6. Iniciar el estudio de la utilización de tecnologías inalámbricas de baja potencia en la U.T.P.L y compartir las experiencias adquiridas.





## DEDICATORIA

A mis padres y hermanos por su apoyo brindado en mi proceso de formación profesional.

De forma especial a mi esposa por incentivarme en la culminación de mi carrera profesional.

A mis dos hijas que son mi fuente de inspiración.

César Íñiguez Pinza

A mis padres que me regalaron un trozo de sus vidas para que exista y me dieron la oportunidad de disimular mis limitaciones con estudios universitarios.

Servio Íñiguez Pinza



## CONTENIDO

Certificación.....	I
Cesión de derechos.....	II
Autoría del tema de proyecto de fin de carrera.....	III
Agradecimientos.....	IV
Introducción.....	V
Objetivos.....	VII
Dedicatoria.....	VIII
Contenido.....	IX
Lista de tablas.....	XII
Lista de figuras.....	XIII
<b>CAPITULO I Delimitación del proyecto</b> .....	1
1.1 Definición del problema.....	1
1.2 Elección de Tecnología.....	1
1.2.1 Dispositivos utilizados.....	2
1.3 Esquema final.....	6
1.3.1 El Transmisor.....	8
1.3.2 El Receptor.....	10
1.4 Herramientas utilizadas para la programación y simulación .....	11
<b>CAPITULO II. Manejo de los módulos</b> .....	13
2.1 Manejo del rPIC12F675K.....	13
2.1.1 Registros de configuración.....	13



2.1.2 Calibración de oscilador interno.....	14
2.1.2.1 Recalibración del oscilador interno del rfPIC12F675K.....	16
2.2 Manejo del rfRXD0420.....	19
2.2.1 Filtrado luego del detector RSSI.....	21
2.2.2 Voltaje de referencia.....	22
<b>CAPITULO III. PROGRAMACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL TRANSMISOR Y RECEPTOR.....</b>	<b>23</b>
3.1 Diseño del hardware del transmisor y receptor.....	23
3.2 Diseño del software del transmisor y receptor.....	27
3.2.1 Configuraciones generales y elección de Modo de Operación.....	27
3.2.2 Modo1.....	29
3.2.2.1 Modo 1 para el Transmisor.....	29
3.2.2.3 Trama del Modo 1.....	29
3.2.2.3 Modo 1 para el Receptor.....	31
3.2.2.4 Simulación del Modo 1.....	34
3.2.2.5 Pruebas en hardware del Modo1.....	36
3.2.3 Modo 2.....	37
3.2.3.1 Modo 2 para el Transmisor.....	37
3.2.3.2 Trama del Modo 2.....	38
3.2.3.3 Modo 2 para el Receptor.....	39
3.2.3.4 Simulación del Modo 2.....	40
3.2.3.5 Pruebas en hardware del Modo2.....	43
3.2.4 Modo 3.....	44
3.2.4.1 Modo 3 para el Transmisor.....	44
3.2.4.3 Trama del Modo 3.....	45
3.2.4.3 Modo 3 para el Receptor.....	47
3.2.4.4 Simulación del Modo 3.....	47
3.2.4.5 Pruebas en hardware del Modo3.....	49
3.2.5 Modo 4.....	49
3.2.5.1 Modo 4 para el Transmisor.....	50
3.2.5.2 Modo 4 para el Receptor.....	50



3.5.3 Prueba en hardware del Modo4.....	50
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	52
REFERENCIAS.....	58
BIBLIOGRAFÍA.....	59
ANEXO A.....	60
ANEXO B.....	62
ANEXO C.....	71
ANEXO D.....	75
ANEXO E.....	87
ANEXO F.....	92
ANEXO G.....	93



## LISTA DE TABLAS

Tabla I.1	Dispositivos de Microchip para la transmisión .....	3
Tabla I.2	Dispositivos de Microchip para la recepción.....	3
Tabla I.3	Descripción de las características del módulo transmisor.....	5
Tabla I.4	Descripción de las características del módulo receptor.....	5
Tabla I.5	Modos de operación del transmisor.....	9
Tabla I.6	Modos de operación del receptor.....	11
Tabla II.1	Registros usados para configurar tanto el microcontrolador del transmisor como el receptor.....	13
Tabla II.2	Registro OSCCAL.....	14
Tabla II.3	Variación de la frecuencia del oscilador interno respecto a la variación del registro OSCCAL.....	18
Tabla III.1	Lista de elementos del circuito adicional transmisor.....	24
Tabla III.2	Lista de elementos del circuito adicional del receptor.....	26
Tabla III.3	Descripción de los pórtricos utilizados para el microcontrolador del transmisor y del receptor en el Modo 1.....	32



## LISTA DE FIGURAS

Figura I.1.	Representación del rfPIC.....	3
Figura I.2	a) Módulo transmisor b) Módulo receptor.....	4
Figura I.3	Diagrama de flujo de la configuración de los Modos de operación.	7
Figura I.4	Esquema general del proyecto a) Dispositivo transmisor y b) Dispositivo Receptor.....	8
Figura I.5	Distribución de los pines del rfPIC12F675K.....	10
Figura I.6	Distribución de los pines del PIC12F675.....	11
Figura II.1	Lectura de un microcontrolador PIC12F675.....	15
Figura II.2	Algunas instrucciones para el PIC12F675.....	16
Figura II.3	Selección del oscilador interno con clock de salida.....	17
Figura II.4	Forma de onda de CLKOUT inicial del rfPIC12F675K.....	17
Figura II.5	Forma de onda del CLKOUT definitivo.....	18
Figura II.6	Ruido recibido por el módulo receptor.....	19
Figura II.7	Señal recibida de la transmisión de 1Hz.....	20
Figura II.8	Decisión cerca del final del periodo de la señal en el filtro pasa-bajos del RSSI.....	21
Figura III.1	Dispositivos finales a) transmisor, b) receptor.....	27
Figura III.2	Trama para el Modo 1 generada por el transmisor.....	31
Figura III.3	Diagrama de flujo del proceso de autenticación de la trama del Modo 1 y extracción de la información.....	33
Figura III.4	Simulación del Modo 1.....	34
Figura III.5	Lectura del osciloscopio en Modo 1.....	35
Figura III.6	Terminal virtual en Modo 1.....	35
Figura III.7	Dispositivos para la aplicación de mandos de control a) Transmisor y b) receptor.....	36
Figura III.8	Diagrama de funcionamiento del módulo A/D.....	37
Figura III.9	Trama del Modo 2.....	39
Figura III.10	Simulación del Modo 2.....	40
Figura III.11	Mediciones de la simulación.....	42
Figura III.12	Dispositivos para la aplicación de telemetría de baja potencia. a) Transmisor y b) receptor.....	43
Figura III.13	Panel Frontal de visualización de la señal recibida.....	43



**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN  
TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE**

---



Figura III.14	Diagrama de flujo del Modo 3 del transmisor.....	45
Figura III.15	Trama del Modo 3.....	46
Figura III.16	Simulación del Modo 3.....	48
Figura III.17	Medición de la simulación a) Trama de comunicación, b) Preámbulo U y caracter A, c) Retransmisión de los datos.....	48
Figura III.18	Dispositivos para el control de un servomotor a) transmisor y b) receptor.....	49
Figura III.19	Dispositivos para la transmisión de un tren de pulsos, a) transmisor y b) receptor.....	51



## CAPITULO I

### DELIMITACIÓN DEL PROYECTO

#### 1.1 Definición del problema

En aplicaciones como: transmisión de mandos de control, telemetría de baja potencia, sistemas de ingreso de contraseña para automatismos remotos (RKE), sistemas de automatización de alarma, sensores inalámbricos, etc.; el uso de cables no es operativo por la movilidad, comodidad y estética que requieren éstas aplicaciones; además existen dispositivos que hacen la transmisión de datos con ciertos protocolos, como el RS-232, dónde sería bueno mejorar su alcance a través de una comunicación inalámbrica.

El objetivo del proyecto, es el diseño y la implementación de un transmisor y un receptor digital de corto alcance con cuatro modos de operación, para el envío de señales de mandos de control; datos de baja velocidad entre dos equipos con interface RS-232 de forma simplex; el envío de 10 bits originados de la conversión análogo a digital (aplicada a sensores inalámbricos) y la transmisión de una señal digital externa modulada por ancho de pulso; además que al final queden plantillas de programación para aplicaciones específicas.

Las restricciones para la elaboración del proyecto son: tener a la finalización del mismo un bajo costo, bajo consumo de potencia y tamaño reducido; además de que con los cuatro modos de operación dejar estrategias a seguir para aplicaciones específicas que no cubra el mercado.

#### 1.2 Elección de Tecnología

Se tiene dos opciones de tecnologías para la transmisión inalámbricas:

- i) **Infrarrojos:** Sólo permiten comunicaciones para pequeñas distancias; los puntos de conexión deben ser siempre visibles; el campo de aplicación es limitado; su uso aún es muy extendido.





- ii) **Radiofrecuencia:** Permite comunicaciones de corto y medio alcance; puede atravesar obstáculos y paredes; el campo de aplicación es muy grande.

La transmisión en radiofrecuencia es más apropiada por la variedad de aplicaciones y mayor alcance comparada con infrarrojo, dos puntos que se adaptan más a los requerimientos.

Para llevar a cabo el presente trabajo, se ha tomado en cuenta varias tecnologías de transmisión digitales de corto alcance con radio frecuencia presentes en el mercado. Algunas de éstas se muestran en el ANEXO A.

En lo que se refiere a la fabricación de microcontroladores, Microchip en los últimos años se ha colocado entre las empresas que lideran el mercado, debido en buena parte a una apropiada difusión de: libros, compiladores, programadores y más recursos en la Internet; por otro lado la gran comunidad de técnicos en microcontroladores PICs que comparten sus experiencias en foros, la hacen por este lado atractiva a las demás posibilidades; por tal motivo son los rPICs de ésta empresa de microcontroladores los que se han utilizado para el desarrollo del proyecto.

### 1.2.1 Dispositivos utilizados

El rPIC es un circuito integrado de Microchip, el cual lleva un microcontrolador (gama enana) y un transmisor de RF en el mismo encapsulado; tanto la parte del microcontrolador como la del transmisor, aunque se encuentren en el mismo encapsulado, son independientes internamente, es decir los datos a transmitir que entrega el microcontrolador a través de sus puertos de entrada-salida y la señal de control, son ingresados a los pines de entrada del transmisor de forma externa como se muestra en la Figura I.1.

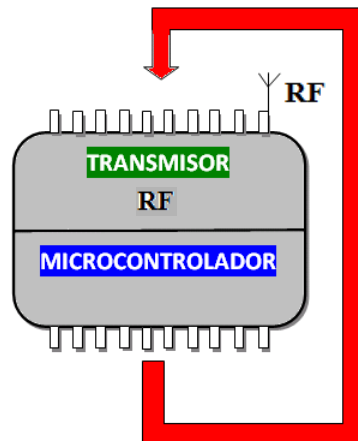


Figura I.1. Representación del rPIC

Los rPICs que existen en el mercado para diferentes rangos de frecuencia, se muestran en la tabla I.1. En el ANEXO G se muestran las regulaciones para dos de las bandas utilizadas en los rPICs.

Tabla I.1 Dispositivos de Microchip para la transmisión.

<b>Microcontrolador</b>	<b>Banda (MHz)</b>	<b>Modulación</b>	<b>Velocidad Max. (Kbps)</b>	<b>Encapsulado</b>
rfPIC12C509AG	310 a 480	ASK	40	18 SOIC
rfPIC12C509AF	310 a 480	ASK/FSK	40	20 TSSOP
rfPIC12F675K	290 a 350	ASK/FSK	40	20 SSOP
rfPIC12F675F	380 a 450	ASK/FSK	40	20 SSOP
rfPIC12F675H	850 a 930	ASK/FSK	40	20 SSOP
rfHCS362G	310 a 440	ASK	3	18 SOIC
rfHCS362F	310 a 440	ASK/FSK	3	20 SSOP

Así mismo, Microchip ha lanzado al mercado circuitos integrados para la recepción, con su respectivo rango de frecuencias de operación, éstos se muestran en la Tabla I.2.

Tabla I.2 Dispositivos de Microchip para la recepción.

<b>Microcontrolador</b>	<b>Banda (MHz)</b>	<b>Modulación</b>	<b>Velocidad (Kbps)</b>	<b>Encapsulado</b>
rfRXD0420	300 a 450	ASK/FSK/FM	Hasta 80	32 LQFP
rfRXD0920	800 a 930	ASK/FSK/FM	Hasta 80	32 LQFP



## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE

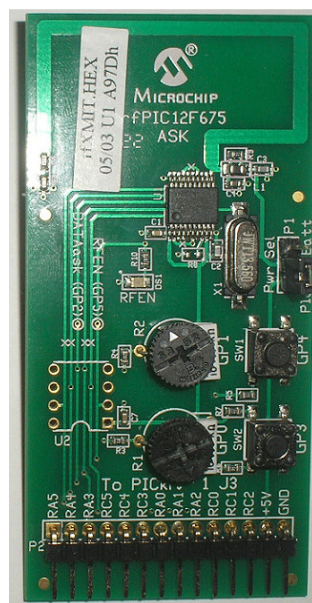


El rPIC y el receptor que se ha usado en el presente trabajo son: el rPIC12F675K y el rRXD0420, respectivamente. Un resumen de otras características del rPIC12F675K se muestra en el ANEXO B y del receptor rRXD0420 en el ANEXO C.

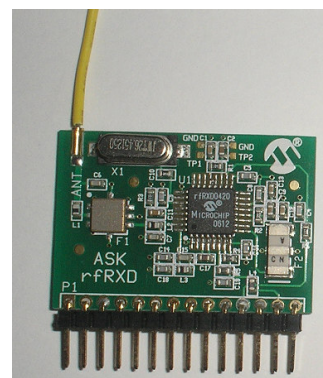
Tanto los rPICs, como los dispositivos receptores, necesitan varios elementos externos para: configurar su frecuencia de operación, potencia, tipo de modulación (ASK, FSK), etc.; armar estos circuitos toma tiempo por varias razones:

- Varios de estos elementos externos son difíciles de encontrar en el mercado local.
- El diseño de radiofrecuencia conlleva complicaciones, por los siguientes aspectos: acople de impedancias, diseño de filtros, capacitancias parásitas, elementos con parámetros distribuidos, etc.

Microchip, ofrece también módulos transmisores y receptores; dónde el módulo transmisor consiste en una placa de circuito electrónico, que incluye: el rPIC, todos los componentes externos y una antena de lazo embebida; el módulo receptor de igual forma es una placa de circuito electrónico que incluye el dispositivo rRXD0420 y sus componentes externos. Estos módulos se muestran en la Figura I.2.



(a)



(b)

Figura I.2. a) Módulo transmisor b) Módulo receptor



## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE



Los módulos vienen con características fijas, determinadas por las conexiones del circuito y los componentes externos, éstas características se resumen en la Tabla I.3 y Tabla I.4.

Se han utilizado en el presente trabajo éstos módulos por las siguientes razones: reducen el tiempo de implementación, los circuitos integrados vienen embebidos, las líneas de circuito son las óptimas para evitar las señales espurias y evitan las dificultades antes mencionadas.

Tabla I.3 Descripción de las características del módulo transmisor.

<b>DESCRIPCIÓN DE LA PARTE</b>	AC164102
<b>MICROCONTROLADOR EMBEBIDO</b>	12F675
<b>FRECUENCIA DE OPERACIÓN</b>	315MHz
<b>POTENCIA</b>	10dBm
<b>MODULACIÓN</b>	ASK
<b>ANTENA DE LAZO</b>	Embebida

Tabla I.4 Descripción de las características del módulo receptor.

<b>DESCRIPCIÓN DE LA PARTE</b>	AC164104
<b>MICROCONTROLADOR EMBEBIDO</b>	Ninguno
<b>FRECUENCIA DE OPERACIÓN</b>	315MHz
<b>MODULACIÓN</b>	ASK
<b>SENSIBILIDAD</b>	-106 dBm
<b>NIVEL DE ENTRADA MÁXIMO DE RF</b>	10 dBm
<b>BER</b>	$\leq 3 \times 10^{-3}$
<b>ANTENA</b>	Externa.
<b>VOLTAJE DE REFERENCIA DEL COMPARADOR</b>	Dinámico



Adicional al módulo transmisor (figura I.2.a) se ha fabricado una placa adicional, que unida a éste módulo conforman el dispositivo transmisor; de igual manera sucede con el dispositivo Receptor. Los módulos tienen un conector, con el cual se puede acceder a los pines del rfPIC12F675K y del rfRXD0420 (esto se detalla en la figura B.5 del ANEXOS B y la figura C.5 del ANEXO C, que muestran los circuitos esquemáticos de los módulos), y unir los módulos con su respectiva placa adicional.

Las placas adicionales tienen la función de ayudar al manejo del dispositivo e incluir otros circuitos como el MAX232, que sirve para la comunicación serial. Además cabe observar, que el módulo receptor sólo realiza la demodulación de la señal ASK y no posee un microcontrolador, por lo que en la placa adicional del dispositivo receptor, se incluye un PIC12F675, para el procesamiento de la señal demodulada.

### 1.3 Esquema final

El rfPIC12F675K tiene 6 pórtilos de entrada – salida (GP0-GP5), de éstos, dos son ocupados para las funciones de transmisión, los cuales ya están definidos por el circuito del módulo; GP5 para activar la transmisión y GP2 para la salida de datos hacia el transmisor, esto se puede observar en el circuito esquemático del módulo transmisor ASK, que se muestra en el ANEXO B. Los cuatro restantes pórtilos, son usados para la interacción con el usuario; esto es posible gracias a la utilización del Oscilador y Master Clear, internos; ya que con esto se ahorran tres pórtilos. Como el rfPIC12F675K y el microcontrolador 12F675, tienen seis pórtilos, se han diseñado el transmisor y el receptor, de tal forma que se pueda sacar el mayor provecho de éstos, con el costo de complicar la operación del dispositivo final.

Considerando lo anterior, se han diseñado cuatro modos de operación, tanto para el transmisor y su correspondiente para el receptor, los cuales son configurados con los pórtilos destinados a éste fin, que se los ha nombrado: CONTROL1 (GP3), CONTROL2 (GP0) y CONTROL3 (GP1). La lógica de funcionamiento del transmisor y del receptor con sus cuatro modos de operación, se muestra en el diagrama de flujo de la Figura I.3; con ésta lógica jerárquica los pórtilos que hacen de Control 2 y 3, pueden ser usados con otros fines mientras no



se los necesite como de Control, así por ejemplo GP1 puede ser usado como CONTROL3, entrada digital ó analógica; en los siguientes subtemas se detalla la disposición de los pines en los microcontroladores.

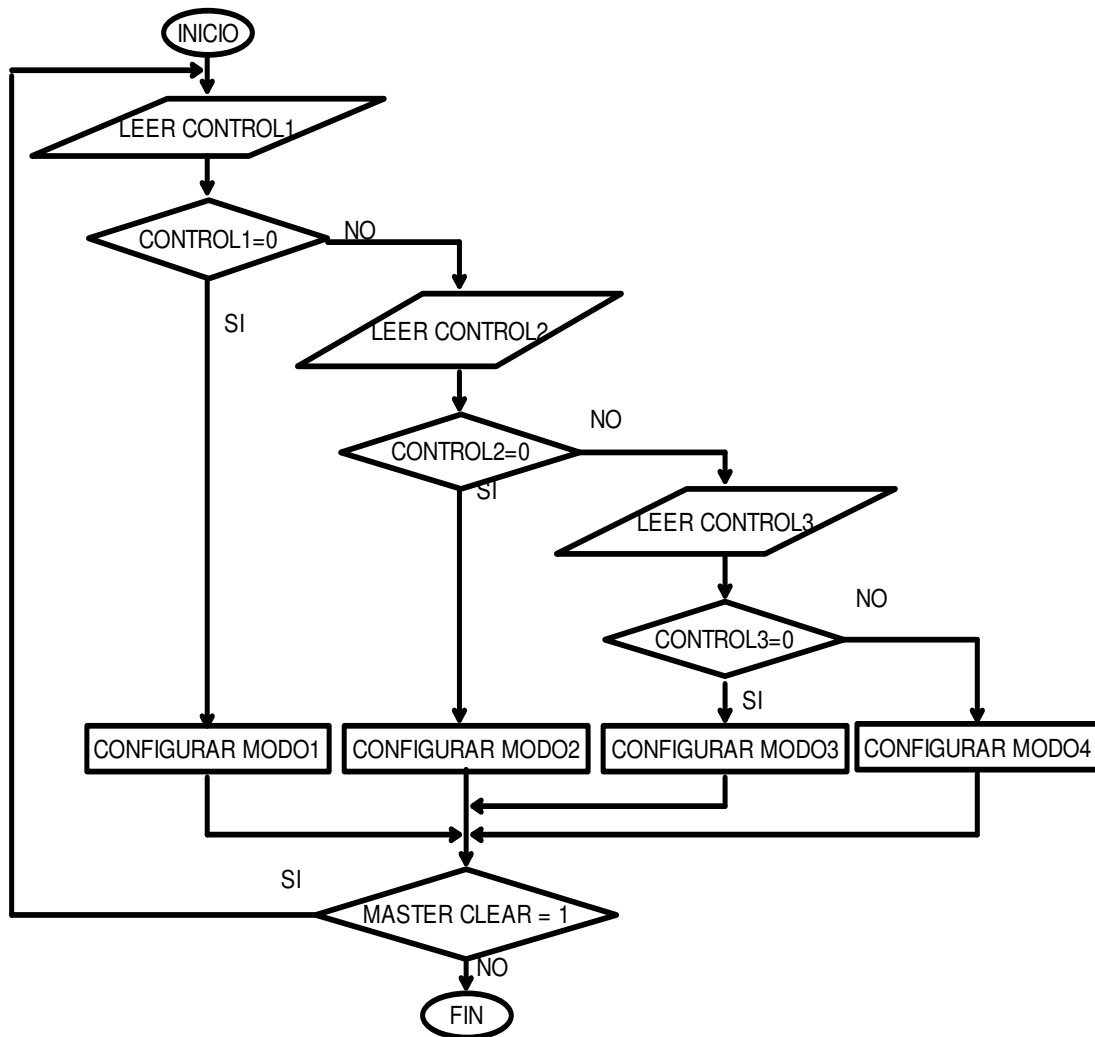


Figura I.3. Diagrama de flujo de la configuración de los Modos de operación.

El esquema general del proyecto se muestra en la figura I.4, dónde los módulos Transmisor y Receptor, se refieren a las placas de Microchip anteriormente mencionadas. El dispositivo transmisor, tiene cuatro tipos de entradas, para los modos de operación respectivos, éstas entradas son: tres bits, una señal analógica, señal con el estándar RS-232 y un tren de pulsos como señal externa; éstas señales son distribuidas en el circuito de acondicionamiento, de manera que se usen los cuatro pines disponibles del rPIC12F675K para varias funciones; finalmente entran los datos al módulo de microchip para ser procesados en el microcontrolador y ser transmitidos. En la recepción, el rRXD0420 demodula



la señal recibida y la entrega al microcontrolador PIC12F675, dónde la información es interpretada y dirigida al circuito de acondicionamiento, para la salida de los datos en el modo de operación que corresponda.

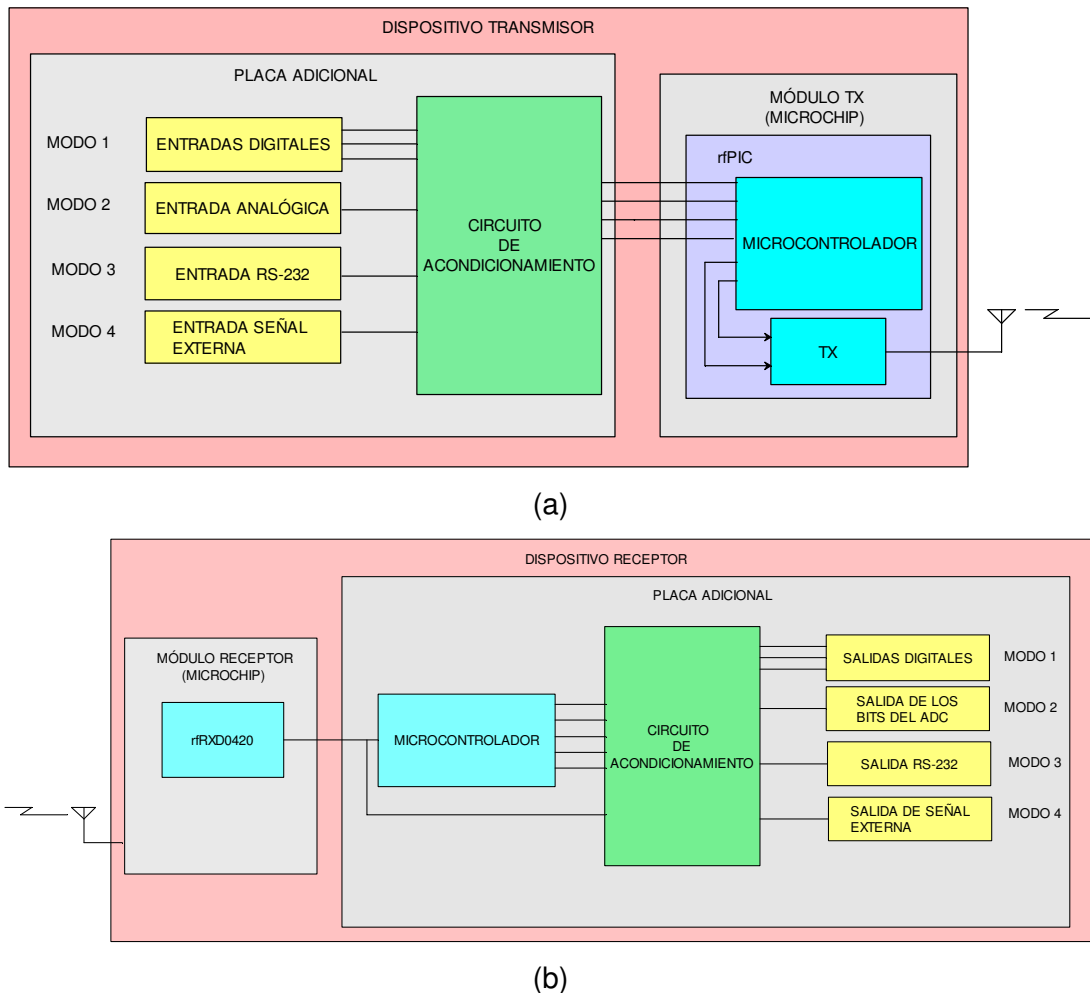


Figura I.4 Esquema general del proyecto a) Dispositivo transmisor y b) Dispositivo Receptor.

### 1.3.1 El Transmisor

Los pórtricos para el transmisor han sido elegidos según sus características y la función que van a cumplir, por ejemplo hay que tomar en cuenta el Pin 4 del rfPIC12F675K, que puede ser configurado sólo como entrada (GP3), no tiene la posibilidad de usarlo como un canal para el ADC, por lo tanto se lo usa como entrada de propósito general. El manejo de los modos de operación del transmisor, la característica de cada modo y los pórtricos utilizados se muestran en la Tabla I.5, dónde 0 y 1 son los estados lógicos TTL y X puede ser cualquier valor.



## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE



- El modo 1 ha sido destinado a la transmisión de mandos de control; se configura con control1 (GP3) en bajo, mientras que los demás pines de control pueden tomar cualquier valor; los pines de entradas digitales serán GP0, GP1 y GP4.
- En el modo 2 se ha propuesto el envío de los bits originados de la conversión de una señal analógica; la configuración está dada con el Control1 y Control2, con estados alto y bajo respectivamente; la señal analógica se aplica en GP4 (AN3) y el voltaje de referencia en GP1 (AN1).
- En el modo 3 se ha planteado la comunicación serial entre dos dispositivos a través de la interface RS232; se configura con Control1 y Control2, en alto y Control3 en bajo; por GP4 se ingresa los datos a transmitir.
- El modo 4 de operación ha sido destinado para la transmisión de una señal externa, la que ingresa directamente al pín de datos del Módulo TX ( $DATA_{ASK}$ ); en este caso ningún pín del microcontrolador es utilizado, por lo que el microcontrolador pasa a una rutina en la que se encuentra sin ningún trabajo, solamente se configura GP2 como entrada (ya que está eléctricamente conectada a  $DATA_{ASK}$ ), es decir en alta impedancia, para que no sufra ningún daño ni ocasione problemas a la señal externa; éste modo se configura con todos los bits de control en alto.

En todos los casos GP2 es por dónde salen los datos al módulo transmisor y GP5 el pin que activa la transmisión.

Tabla I.5 Modos de operación del transmisor.

MODO	GP1 (CONTROL3)	GP0 (CONTROL2)	GP3 (CONTROL1)	CARACTERISTICAS
1	X	X	0	3 entradas digitales: GP0 (bit1), GP1(bit2), GP4(bit3) <sup>1</sup>
2	X	0	1	1 entrada analógica: AN1 (Vref), AN3 (entrada Analógica.) <sup>1</sup>
3	0	1	1	1 entrada RS232 por GP4 <sup>1</sup>
4	1	1	1	1 entrada externa (PWM) directo al transmisor a $DATA_{ASK}$

<sup>1</sup> La ubicación de estos pines se los puede observar en la Hoja de datos del rPIC12F675.





La distribución de los pórtilos del rPIC12F675K es mostrada en la Figura I.5, d6nde se observan las funciones que tienen cada una de las entradas, dependiendo del modo de operaci6n del Dispositivo Transmisor.

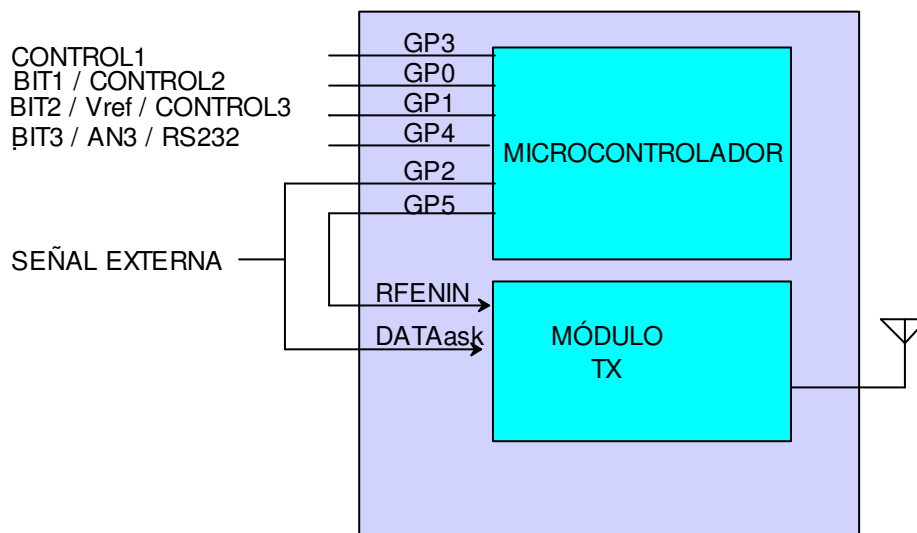


Figura I.5 Distribuci6n de los p6rtiles del rPIC12F675K

### 1.3.2 El Receptor

En el caso del dispositivo receptor, se tienen los modos de configuraci6n correspondientes al transmisor, con otras caracteristicas en sus p6rtiles. La Tabla I.6 muestra la configuraci6n de los modos, sus caracteristicas y p6rtiles utilizados; d6nde 0 y 1, son los estados l6gicos TTL y X puede ser cualquier valor; aqu6 se puede apreciar que el p6rtile GP3 en todos los modos del receptor se lo ha utilizado como bit de control.

Los pines de control para la configuraci6n de los cuatro modos en el receptor, son los mismos que en el transmisor; GP2 es el p6rtile, por d6nde se recibe los datos del receptor (rRXD0420) en todos los modos; las funciones de los p6rtiles en cada modo se especifican a continuaci6n:

- En el modo 1, los p6rtiles: GP0, GP1 y GP4 son los pines por d6nde salen los tres bits de datos.
- En el modo 2 y en el modo 3, se usa el pin GP5 para la salida de los datos con el est6ndar RS232.



- Finalmente en el modo 4, no se hace uso de ningún pín del microcontrolador; la señal externa recibida es extraída directamente del módulo receptor (rfRXD0420).

Tabla I.6 Modos de operación del receptor.

MODO	GP1 (CONTROL3)	GP0 (CONTROL2)	GP3 (CONTROL1)	CARACTERISITICAS
1	X	X	0	3 salidas digitales: GP0 (bit1), GP1(bit2), GP4(bit3) <sup>2</sup>
2	X	0	1	Salidas de datos con protocolo RS232 por GP5
3	0	1	1	1 salida RS232 por GP5 <sup>2</sup>
4	1	1	1	1 salida externa (PWM) directa del módulo receptor.

La Distribución de los pines del PIC12F675, usado en el dispositivo receptor se muestra en la Figura I.6, donde se observan las funciones que pueden tener cada una de las salidas, dependiendo del modo de operación del Dispositivo Receptor.

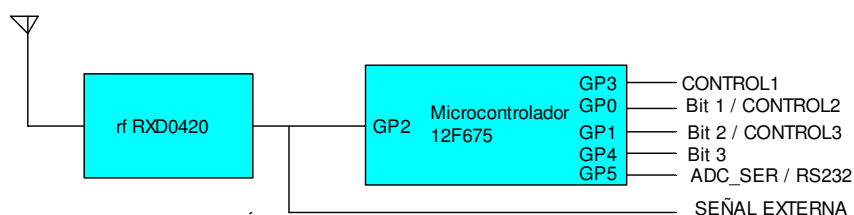


Figura I.6 Distribución de los pines del PIC12F675.

#### 1.4 Herramientas utilizadas para la programación y simulación

Para el presente trabajo, como primer prototipo se ha programado en Ensamblador por las ventajas que trae, como: el ahorro del espacio de memoria (a pesar que no se prevé usar más de 1 Kbyte en el rfPIC12F675K); mayor velocidad, puesto que es una ventaja determinante en el procesamiento del microcontrolador y

<sup>2</sup> La ubicación de estos pines se los puede observar en la Hoja de datos del PIC12F675



## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE

---



que no sea ésta el cuello de botella, en cuanto a la velocidad de transmisión máxima (40 Kbps) que establecen los módulos; y la flexibilidad que da al poder desarrollar una trama que se ajusta a proyectos de comunicación inalámbrica específica.

A pesar de la eficiencia del lenguaje ensamblador, especialmente por el ahorro de energía (no existe redundancia en instrucciones), se ha optado probar un lenguaje de alto nivel en algunas subrutinas, a través de BASIC, principalmente para la definición de las tramas, que es lo que lleva más tiempo en Ensamblador (se debe tener un cálculo exacto de los tiempos producidos por cada instrucción, para que no se genere desincronizaciones), sin embargo se ha utilizado rutinas en lenguaje Ensamblador para tener un equilibrio entre tiempo de realización y eficiencia. De esta forma se ha igualado y mejorado el funcionamiento del prototipo primario, basándose en los conocimientos adquiridos sobre el manejo de registros, configuraciones, y características en general de éste microcontrolador.

Como programa editor se ha usado el MPLAB de Microchip, que viene incluido en el kit de los rfPICs, instalándole a éste el compilador PicBasic Pro (pbp 2.44 versión demo) para Basic, que la podemos encontrar en la página [www.mecanique.co.uk](http://www.mecanique.co.uk). Para las simulaciones se ha utilizado el Proteus ISIS 7 versión demo.

Una vez adquirido el Kit de entrenamiento de los rfPICs, se ha hecho uso de su programador, el PICKit 1. El software utilizado para visualizar la recepción de la señal analógica, ha sido LabVIEW 7.1.

Tomando en cuenta que los rfPICs son una tecnología nueva, especialmente en nuestro medio, llevó tiempo el estudio y la ejercitación en ésta, es por eso que se muestra en el siguiente capítulo las experiencias más relevantes e importantes retomadas del manejo de éstos dispositivos.



## CAPITULO II

### MANEJO DE LOS MÓDULOS

#### 2.1 Manejo del rfPIC12F675K

##### 2.1.1 Registros de configuración

En el transmisor y el receptor se ha utilizado un mismo tipo de microcontrolador, el PIC12F675 (el rfPIC lleva dentro un microcontrolador 12F675), por ser de un bajo costo y pequeño. Ya que se trata del mismo tipo de microcontrolador, la configuración de los registros es similar, los registros principales se muestran en la Tabla II.1.

Tabla II.1 Registros usados para configurar tanto el Microcontrolador del transmisor como el receptor.

DESCRIPCIÓN	NOMBRE
Registro de Control del Comparador	CMCON
Registro de selección Analógico	ANSEL
Registro Triestado	TRISIO
Registro de calibración de oscilador	OSCCAL

En ambos microcontroladores, se han deshabilitado los módulos comparadores y de conversión analógico / digital (excepto en el modo 2), a través de los registros CMCON y ANSEL respectivamente, para usar entradas y salidas digitales; los pines de entrada y salida se configuran en el registro TRISIO con las necesidades de cada dispositivo. El registro OSCCAL, sirve para calibrar el oscilador interno del microcontrolador.

Las características y descripción de todos estos registros, se muestran en la hoja de datos del rfPIC12F675 o del PIC12F675. La programación de estos registros se muestran en el ANEXO D, en dónde se encuentra la programación tanto del rfPIC12F675K en el transmisor y del PIC12F675 en del receptor. Puesto que los pines disponibles de ambos microcontroladores son escasos, se ha optado por utilizar el oscilador interno de 4MHz, que tiene un factor de calibración de  $\pm 1\%$ .



Se debe tener mucho cuidado al trabajar con ésta clase de microcontroladores, ya que vienen de fábrica con un valor de calibración, éste valor es distinto en cada microcontrolador para ésta familia. Si se pierde por accidente éste valor de calibración y se coloca cualquier otro en su lugar, el microcontrolador podría no funcionar correctamente, especialmente para tareas dónde se necesite tener precisión en la sincronización, como es el caso de éste trabajo.

Lo más recomendable antes de utilizar un microcontrolador 12F675 o similar, es leer el dispositivo, ya que en la última dirección de la memoria de programa, la 3FF, se almacena de fábrica el valor de calibración, ésta debe ser copiada si por accidente se llegara a borrar.

Si el valor de calibración se llega a borrar, sin tener un respaldo de éste (lo que ha sucedido en éste proyecto), se llega a tener problemas con la sincronización, es por ésta razón que se ha realizado la recalibración del rfPIC12F675K, lo cual se describe en el subtema correspondiente.

### 2.1.2 Calibración del oscilador interno

En la hoja de datos del rfPIC12F675 o del PIC12F675, se muestran los tipos de osciladores con los que puede trabajar éste microcontrolador; se ha puesto atención en el oscilador interno y su configuración, que es con el cual se ha trabajado.

El registro OSCCAL se ubica en el banco 1 de la memoria de datos, éste se muestra en la Tabla II.2, dónde los dos primeros bits no se los utiliza.

Tabla II.2 Registro OSCCAL.

R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	U-0	U-0
CAL5 bit7	CAL4	CAL3	CAL2	CAL1	CAL0	—	— bit0

Si leemos varios microcontroladores, los dos primeros valores hexadecimales del registro 3FF son siempre los mismos, como se ha constatado en la lectura hecha a un microcontrolador, éste valor es 34, seguido por el valor de calibración de cada microcontrolador, en este caso 44, como muestra la Figura II.1.



## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE

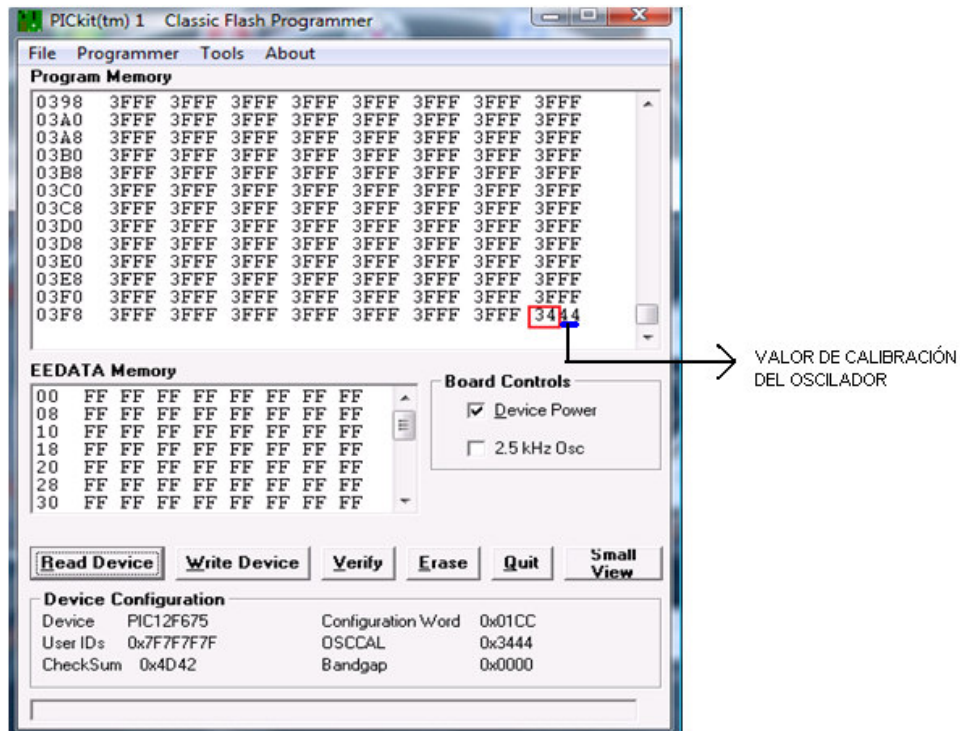


Figura II.1. Lectura de un microcontrolador PIC12F675.

La hoja de datos del rPIC12F675, muestra una rutina para calibrar el oscilador interno, que se ve a continuación:

```
bsf    STATUS, RP0
call   3FFh
movwf  OSCCAL
bcf    STATUS, RP0
```

En la rutina mostrada, primero se ubica en el banco de memoria 1, llama a una subrutina ubicada en la dirección 3FF, carga el valor del acumulador en el registro OSCCAL, para finalmente volver al banco 0.

Está claro que en la dirección 3FF, como se trata de la memoria de programa, está ubicado un código de instrucción en lenguaje máquina y un literal que en este caso viene a ser el valor de calibración; la instrucción tiene un valor en hexadecimal de 34 (110100), que si revisamos el set de instrucciones del microcontrolador, equivale a la instrucción RETLW, como muestra la Figura II.2, dónde x puede ser cualquier valor y k es un literal; ésta instrucción regresa al



programa de calibración pero con un valor literal (en este caso 44) cargado en el registro W, que luego se carga en OSCCAL.

LITERAL AND CONTROL OPERATIONS								
ADDLW	k	Add literal and W	1	11	111x	kkkk	kkkk	C,DC,Z
ANDLW	k	AND literal with W	1	11	1001	kkkk	kkkk	Z
CALL	k	Call subroutine	2	10	0kkk	kkkk	kkkk	
CLRWDT	-	Clear Watchdog Timer	1	00	0000	0110	0100	$\overline{TO,PD}$
GOTO	k	Go to address	2	10	1kkk	kkkk	kkkk	
IORLW	k	Inclusive OR literal with W	1	11	1000	kkkk	kkkk	Z
MOVLW	k	Move literal to W	1	11	00xx	kkkk	kkkk	
RETFIE	-	Return from interrupt	2	00	0000	0000	1001	
RETLW	k	Return with literal in W	2	11	01xx	kkkk	kkkk	
RETURN	-	Return from Subroutine	2	00	0000	0000	1000	
SLEEP	-	Go into Standby mode	1	00	0000	0110	0011	$\overline{TO,PD}$
SUBLW	k	Subtract W from literal	1	11	110x	kkkk	kkkk	C,DC,Z
XORLW	k	Exclusive OR literal with W	1	11	1010	kkkk	kkkk	Z

Figura II.2. Algunas instrucciones para el PIC12F675 [1].

En el caso de que se haya perdido el valor de calibración (por borrado Full), se lo debe recuperar, por algún método de medición, para luego colocarlo directamente en el registro OSCCAL, en el caso de Basic de la siguiente manera:

**OSCCAL= %01111000**

### 2.1.2.1 Recalibración del oscilador interno del rPIC12F675K

Para recalibrar el oscilador interno, se deben realizar varias pruebas, variando el registro OSCCAL de un programa y midiendo mediante un osciloscopio la señal generada por el oscilador interno, hasta acercarse al valor deseado.

El rPIC12F675K, posee un pin por el cual se puede extraer la señal derivada de su oscilador interno; ésta es la misma señal del oscilador dividida por cuatro (ciclo de instrucción), a éste pin se lo encuentra con algunos nombres ya que tiene varias funciones (GP4/AN3/T1G/OSC2/CLKOUT). CLKOUT es como se le nombra a la función de salida del clock interno (clocó/4). Para configurar ésta función se utilizan los registros de *Configuración de Palabra*, sea desde el programador o desde el programa mismo. Si se desea configurar desde el programador, se debe elegir la función del oscilador interno y clockout, dependiendo del programador, en este caso se lo ha configurado desde MPLAB, como muestra la Figura II.3

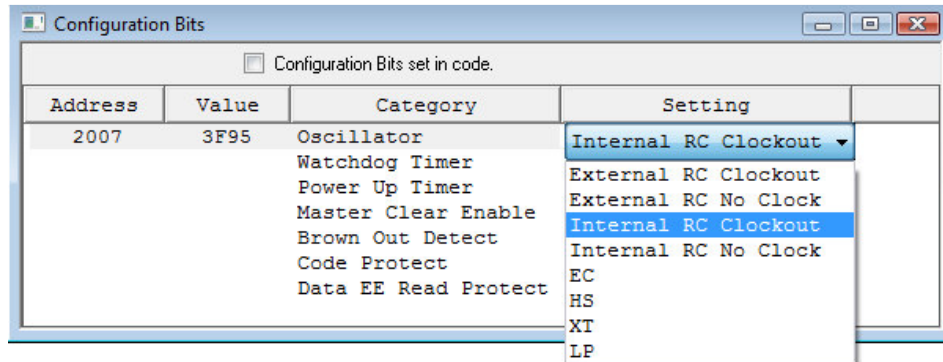


Figura II.3 Selección del oscilador interno con clock de salida.

La *Configuración de Palabra*, también se la puede seleccionar desde el propio programa, añadiendo la siguiente instrucción al inicio del éste:

```
__CONFIG __CPD_OFF & __CP_OFF & __BODEN_OFF & __MCLRE_OFF & __PWRTE_OFF & __WDT_OFF & INTRC_OSC_CLKOUT
```

La parte verde indica que el microcontrolador opera con su propio reloj y habilita la función CLKOUT. Una vez programado el rPIC12F675K, se ha procedido a medir el CLKOUT con la ayuda de un osciloscopio. Como se ha trabajado con el módulo AC164102, para la medición se ha tomado el pin RA4, que corresponde al CLKOUT, la conexión del pin RA4 con el rPIC12F675K se puede observar en el circuito esquemático del módulo transmisor, que se encuentra en el ANEXO B.

La señal inicial medida se muestra en la Figura II.4, que está totalmente descalibrada, pues la frecuencia del CLKOUT es 1,25 MHz y por lo tanto 5 MHz de frecuencia de oscilador interno.

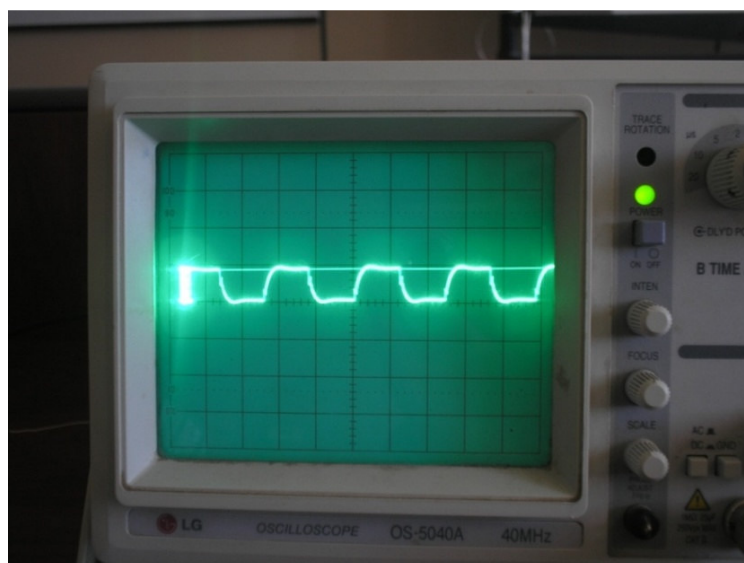


Figura II.4 Forma de onda de CLKOUT inicial del rPIC12F675K





Se han realizado pruebas variando el registro OSCCAL, teniendo los valores máximo, medio y mínimo del oscilador interno; éstos se muestran en la Tabla II.3.

Tabla II.3 Variación de la frecuencia del oscilador interno respecto a la variación del registro OSCCAL.

Frecuencia Máxima	0xFF	≈5MHz
Frecuencia Media	0x80	≈4MHz
Frecuencia Baja	0x00	≈2,86MHz

Se puede apreciar que hay un rango de frecuencia de 2.86 MHz a 5 MHz en el cual se puede mover el oscilador interno. Se debe tomar en cuenta que el registro OSCCAL no considera los dos bits menos significativos, como muestra la Figura II.1, por lo que se prueba con valores hexadecimales múltiplos de cuatro (sin los dos bits menos significativos).

En este caso, el valor del oscilador interno que se ha estado buscando ha coincidido con el valor intermedio del registro OSCCAL (0x80), para el cual el periodo del CLKOUT es de 1us ( $f = 1\text{MHz}$ ), por lo tanto una frecuencia de oscilación interna de 4MHZ. La forma de onda del CLKOUT definitivo se muestra en la Figura II.5; con 0.5  $\mu\text{s}$  de división del tiempo y 3V de amplitud, pues las pruebas se han realizado en el módulo transmisor alimentado con una batería de 3V.

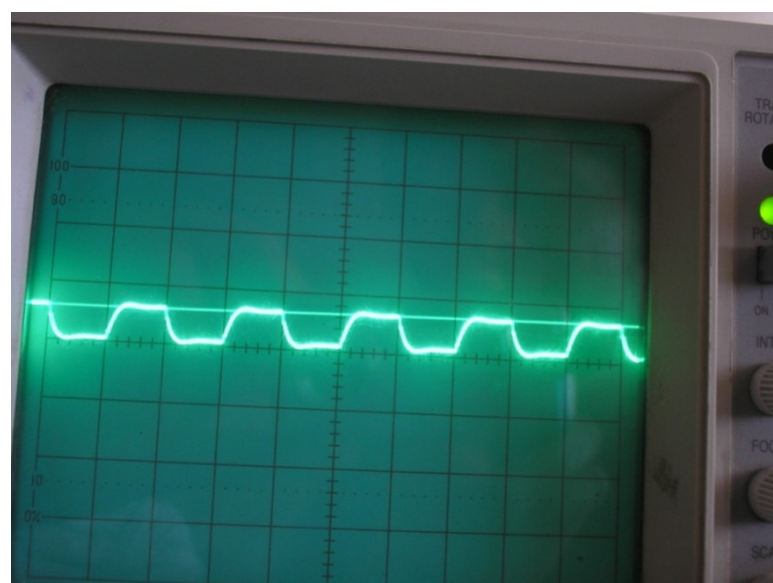


Figura II.5 Forma de onda del CLKOUT definitivo.



## 2.2 Manejo del rfRXD0420

El uso de éste dispositivo es muy sencillo, ya que sólo se utilizan tres pines de su conector, estos son: el GND, +5V para la alimentación y el RC1 por dónde se extrae la señal demodulada; éstos se pueden observar en la figura del circuito esquemático que se muestra en el ANEXO C.

Para entender su funcionamiento y familiarizarse con el mismo, se han realizado pruebas de laboratorio.

Primero con la ayuda del osciloscopio, se ha medido la salida RC1 del módulo receptor, sin realizar ninguna transmisión con el rfPIC12F675K, el resultado se muestra en la Figura II.6.

Se puede observar que el módulo receptor está recibiendo señales ruidosas del medio, debido a su sensibilidad, pues la configuración del voltaje de referencia de su comparador es dinámico, esto nos ha dado una pauta para el diseño que se ha realizado; tomando en cuenta éste fenómeno se ha implementado una trama en la que consta un preámbulo y un encabezamiento antes del envío de la información, para que el microcontrolador que se ha añadido al dispositivo receptor, pueda discriminar de forma correcta entre las señales transmitidas por el rfPIC12F675K y el ruido del medio.

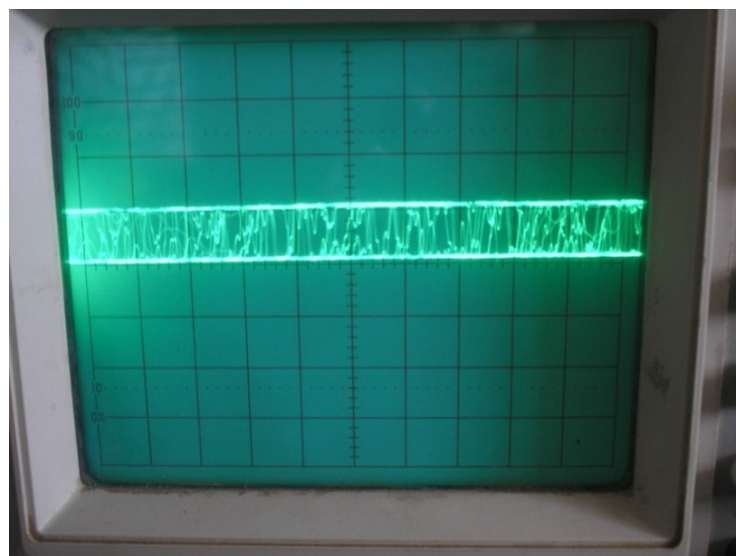


Figura II.6 Ruido recibido por el módulo receptor.



Hay que también tomar en cuenta que otros dispositivos que utilicen el canal, pueden causar la activación del receptor en el caso que el transmisor esté apagado. Si el transmisor estuviera encendido y existiera otro dispositivo utilizando el canal, esto causaría interferencia, o eliminaría nuestra señal. Éste es otro motivo para realizar la trama de comunicación que garantice su buen funcionamiento, es decir que recepte sólo lo transmitido.

Se ha realizado la transmisión con el rPIC12F675K, de una señal constante para observar la señal recibida; como primer caso se ha transmitido un 1 lógico, teniendo en la salida del receptor una señal de 5V (1 lógico). Luego al probar la transmisión del estado 0 constante, en el receptor se ha obtenido una señal similar al ruido recibido cuando no existe transmisión.

Con la transmisión de una señal digital periódica a una frecuencia de 1Hz, se han obtenido resultados similares a los anteriores, éstos se muestran en la Figura II.7.



Figura II.7 Señal recibida de la transmisión de 1Hz.

Se puede observar que no existe una recepción equivalente a lo transmitido, éste fenómeno se debe a la limitación del ancho de banda que impone el receptor, y está definido por las características del módulo (las cuales dependen de los componentes externos del rRXD0420), específicamente en la etapa de filtrado luego del detector RSSI y del comparador del rRXD0420, que se describe a continuación.



### 2.2.1 Filtrado luego del detector RSSI (Indicador de Nivel de Señal Recibida)

Éste es un filtro pasa bajos RC, formado por la impedancia de salida del RSSI de  $36\text{ k}\Omega$  y el capacitor  $C1$  ( $1800\text{pF}$ ); éstos elementos se observan en el esquemático de la figura C.3 del ANEXO C; los cuales determinan una constante de tiempo  $RC = \tau = 64.8\mu\text{s}$ , a partir de esto se realiza el siguiente análisis.

Para seleccionar la constante de tiempo, hay que tomar en cuenta el período de la señal a ser transmitida y el instante en el que se desea que se haga la discriminación de la señal, pero en este caso la constante de tiempo ya está dada y por lo tanto se debe de limitar el periodo de la señal a ser transmitida. En la Figura II.8 se muestra cómo se realiza la decisión y el tiempo en la que lo hace, ésta se ha tomado de la hoja de datos del rRXD0420; hay que tomar en cuenta que aquí se muestra el periodo de la señal como el tiempo de un estado.

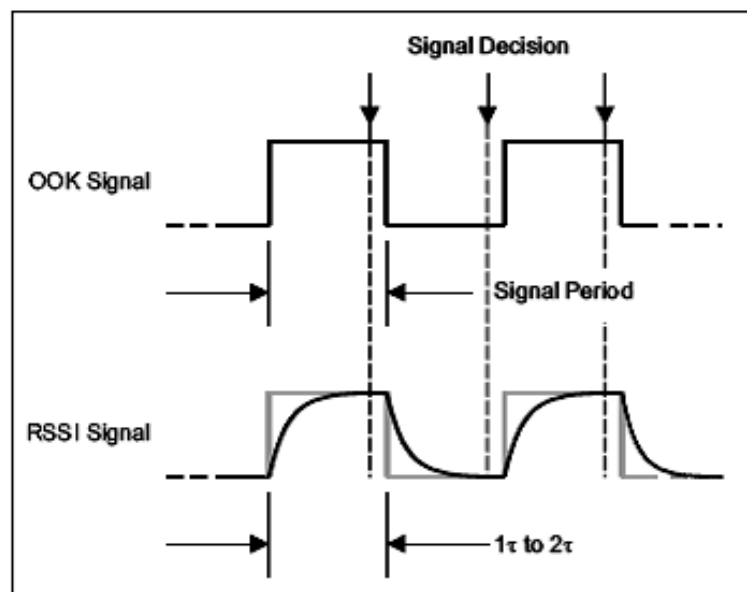


Figura II. 8 Decisión cerca del final del periodo de la señal en el filtro pasa-bajos del RSSI. [2]

El fabricante recomienda que para que exista una óptima sensibilidad del receptor con una razonable distorsión de pulso, se debe tener un tiempo de estado de entre 1 y 2 constantes de tiempo RC, esto es entre  $64.8\mu\text{s}$  y  $129.6\mu\text{s}$ , o lo que es igual una frecuencia de  $3.9\text{KHz}$  a  $7.7\text{KHz}$  (tomando en cuenta una señal digital periódica que tenga igual tiempo en alto y en bajo).



Por otra parte la hoja de datos del rRXD0420, indica que si seleccionamos la constante de tiempo del filtro RC muy pequeña respecto al periodo de la señal, es poco eficiente el filtrado del ruido; éste es el fenómeno que ocurre en el experimento anterior que se mostró. Si se selecciona demasiado grande la constante de tiempo, los pulsos de los datos podrían alargarse causando interferencia de inter-símbolo.

### 2.2.2 Voltaje de referencia

El voltaje de referencia se lo usa en el comparador, para la discriminación de unos y ceros de acuerdo a la señal RSSI. El módulo receptor utiliza un voltaje de referencia dinámico, el cual tiene una principal ventaja frente al voltaje estático, el incremento de la sensibilidad del receptor a costa del incremento del ruido, por lo que es importante la implementación de un algoritmo en un microcontrolador para distinguir entre el ruido y la señal que se debe validar.

El voltaje de referencia dinámico, se lo usa cuando se tiene una señal a transmitir con paridad entre el número de unos y ceros, esto se tomó muy en cuenta a la hora del diseño de las tramas de los diferentes modos de operación.

El voltaje dinámico, se deriva del promediado de la señal recibida con un filtro pasa-bajos, formado por R1 y C2 (circuitos en el ANEXO C) para luego ingresar al comparador por OPA-.

La constante del filtro R1C2, depende de la relación de unos y ceros, como del equilibrio entre estabilidad y tiempo de reacción del receptor; hay más detalles en la hoja de datos del rRXD0420.



## CAPITULO III

### PROGRAMACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL TRANSMISOR Y RECEPTOR

#### 3.1 Diseño del hardware del Transmisor y Receptor

El dispositivo transmisor final, consta del módulo transmisor de Microchip, que se describió en el Capítulo I y de un circuito adicional que contiene los elementos para la operación de los cuatro modos. El circuito adicional se muestra en la lámina del diagrama esquemático, dónde el conector P1 tiene 14 pines, conformados por los conectores SIL12 y SIL2, que unen el módulo transmisor de Microchip con el circuito adicional y su función es alimentar el módulo transmisor e ingresar los datos de los diferentes modos al rPIC12F675K, se pueden ver los pódicos del rPIC12F675K y su correspondencia en el conector P2 del módulo transmisor en la figura B.5 del ANEXOS B.

El conector J1 sirve para la interfaz con el usuario, es decir son las entradas de control y datos de los modos que se definieron en el esquema general del capítulo I, además por éste conector se puede alimentar al dispositivo transmisor desde un tercer circuito que lo opere; otra opción de alimentación del dispositivo es el conector USB tipo B.

Para la comunicación serial del modo 3, se ha utilizado: el conector DB-9, el circuito integrado MAX232 y un jumper que une la salida TTL del MAX232 con el conector P1. Las funciones de otros elementos, su nombre y descripción se muestran en la tabla III.1.

De igual forma para el dispositivo receptor final, se ha utilizado el módulo receptor de Microchip y un circuito adicional para la operación de los modos, éste circuito adicional se muestra en la lámina del circuito esquemático.

Similar al circuito adicional del dispositivo transmisor, el conector J1 sirve como interfaz con el usuario, a diferencia de que los pines 2 y 3 pueden ser de entrada (control) ó salidas (bits de modo1). Se puede apreciar que éste conector, está organizado conforme al esquema general planteado en el capítulo I; además



## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE



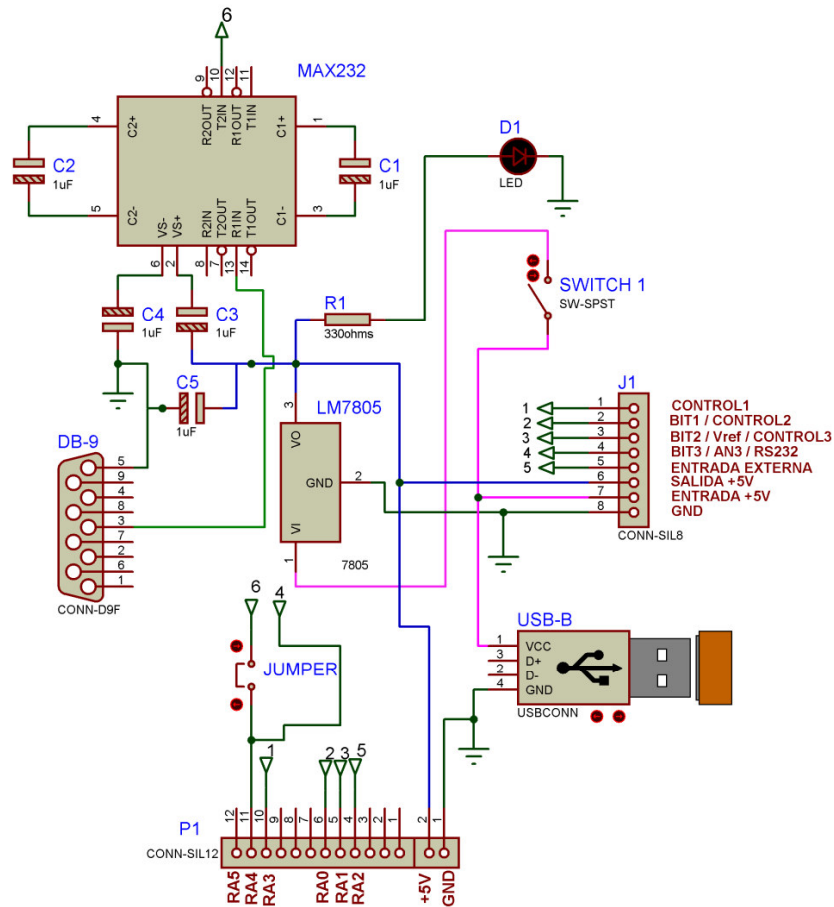
por éste conector se puede alimentar al dispositivo receptor desde un tercer circuito que lo opere; otra opción de alimentación es el conector USB tipo B.

Tabla III.1 Lista de elementos del circuito adicional transmisor.

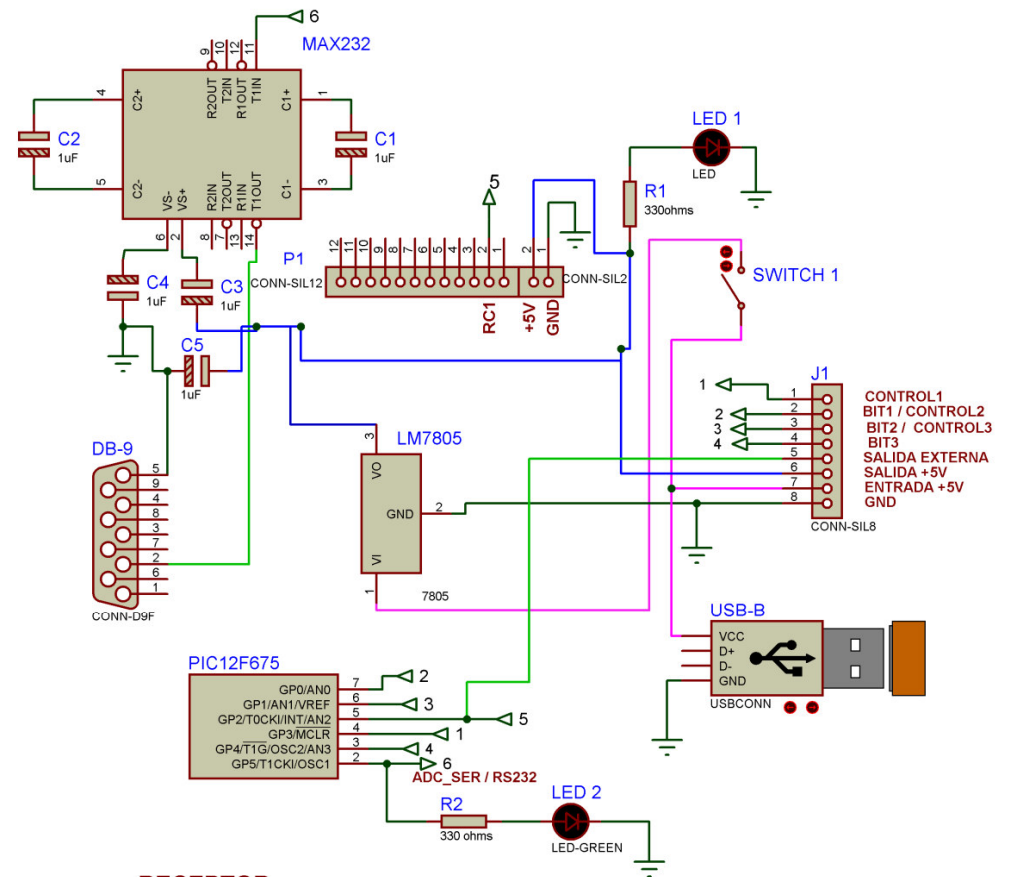
Ítem	Descripción	Función	Nombre	Valor
1	Resistor	Control de corriente del led D1	R1	330 $\Omega$ x ¼ W
2	Capacitores	Configuración del MAX232	C1-C5	1 $\mu$ F x 50 V
3	Led rojo	Muestra el estado del dispositivo (encendido, apagado)	D1	1 A
4	Regulador de voltaje de + 5 V	Regula el voltaje de alimentación del dispositivo	LM7805	7805PI
5	Circuito integrado MAX232	Transforma los valores de voltaje del interfaz RS-232 a TTL	MAX232	MAX232CPE
6	Conector SIL8	Interfaz con el usuario	J1	
7	Conector SIL12 y SIL2	Comunicación con el rfPIC12F675K	P1	
8	Conector USB tipo B hembra	Alimentación	USB-B	
9	Conector DB-9 hembra	Comunicación serial en el modo 3	DB-9	
10	Jumper	Conectar la información serial del MAX232 con el rfPIC12F675K	JUMPER	
11	Switch	Encendido del dispositivo	SWITCH 1	

El conector P1 en el dispositivo receptor es de 14 pines, éste une el módulo receptor de Microchip con su respectivo circuito adicional y su función es alimentar el módulo receptor y extraer la señal demodulada por el pin RC1.

Para la comunicación serial del modo 3 y modo 2 se han utilizado: el conector DB-9 y el circuito integrado MAX232 cuya señal de entrada TTL la toma del pínico GP5 del PIC12F675. Las funciones de otros elementos, su nombre y descripción se muestran en la tabla III.2.



**TRANSMISOR**



**RECEPTOR**

**TÍTULO:** TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL

**CONTENIDO:** Diagrama del circuito adicional del Transmisor y Receptor

**REVISADO:** Ing. Byron Maza

**DISEÑO:** César Iñiguez y Servio Iñiguez

**FECHA:** 20/08/2008

**NÚMERO:** 1/1

**ESCALA:** SI( ) NO(X)







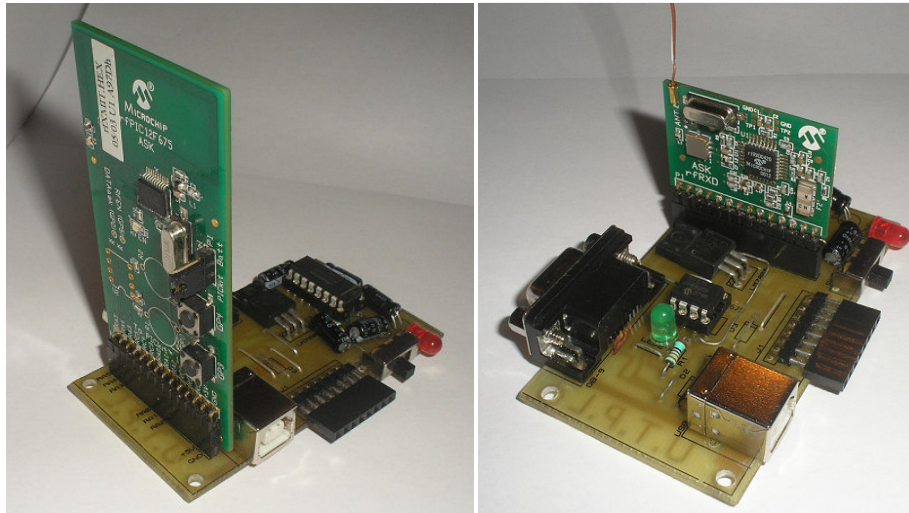
## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE



Tabla III.2 Lista de elementos del circuito adicional del receptor.

Item	Descripción	FUNCIÓN	Nombre	Valor
1	Resistencia	Control de corriente del LED 1 y LED 2 respectivamente	R1,R2	330 $\Omega$ x 1/4 W
2	Capacitores	Configuración del MAX232	C1-C5	1 $\mu$ F x 50 V
3	Led rojo	Muestra el estado del dispositivo (encendido, apagado)	LED1	1 A
4	Led verde	Muestra cuando el receptor se encuentra autenticando el encabezamiento.	LED2	1 A
5	Regulador de voltaje de + 5 V	Regula el voltaje de alimentación del dispositivo	LM7805	7805PI
6	Circuito integrado MAX232	Transforma los voltajes TTL a los usados por el interfaz RS-232	MAX232	MAX232CPE
7	Microcontrolador PIC12F675	Procesa los datos de la trama recibida	PIC12F675	PIC12F675
8	Conector SIL8	Interfaz con el usuario	J1	
9	Conector SIL12 y SIL2	Comunicación y alimentación del módulo receptor	P1	
10	Conector USB tipo B hembra	Alimentación	USB-B	
11	Conector DB-9 hembra	Comunicación serial en el modo 2 y 3	DB-9	
12	Switch	Encendido del dispositivo	SWITCH 1	

Los dispositivos transmisor y receptor finales se muestran en la figura III.1. Las PCBs de los circuitos adicionales se encuentran en el ANEXO E y los costos de los elementos empleados en estos circuitos en el ANEXO F, cabe mencionar que no ha interesado examinar la factibilidad en la fabricación de los dispositivos, porque no se puede comparar el prototipo con productos fabricados en serie.



(a)

(b)

Figura III.1 Dispositivos finales a) transmisor, b) receptor

## 3.2 Diseño del software del Transmisor y Receptor

### 3.2.1 Configuraciones generales y elección del Modo de Operación

La programación del rPIC12F675K para el transmisor y el PIC12F675 para el receptor, se describen en los siguientes subtemas, con los parámetros que se han tomado en cuenta en los cuatro modos de operación, tanto para el transmisor como para el receptor.

Antes de la operación de los modos, se han inicializado todas las variables y registros, para que las entradas sean digitales de Control (1,2 y 3), y a través de éstos hacer la elección de la subrutina del modo correspondiente; en el ANEXO D se muestra la programación para el transmisor y el receptor, además se ven las subrutinas de toma de decisión, que se basan en la lógica jerárquica que se detalló en el capítulo I, para la elección de la subrutina del modo correspondiente.

Algo muy importante en la programación que se ha realizado, es la combinación del lenguaje Ensamblador y Basic, y su interacción. El programa está montado sobre Basic y es Ensamblador el que es añadido con el uso de las instrucciones que se muestran abajo:

ASM ; Abrir sección de código Ensamblador  
ENDASM ; Cerrar sección de código Ensamblador



Saltar a una subrutina de Basic desde Ensamblador, resulta un poco difícil, pues cada código funciona de forma independiente.

Revisando las características del compilador PBP, se ha observado que éste al compilar entregaba un archivo en código Ensamblador, pues como se sabe el compilador transforma el código Basic a Ensamblador y éste a lenguaje máquina; entonces la idea ha sido deducir como entendería el archivo en Ensamblador (proveniente del programa en Basic) un salto dentro de sus subrutinas. La instrucción de salto entendida en Ensamblador es:

**GOTO?L**

Ésta instrucción aparece seguida por el nombre de la subrutina destino, éste nombre es el mismo descrito en Basic, pero antepuesto un guion bajo; por ejemplo, si en Basic se define una subrutina con el nombre MODO1, para saltar a ésta subrutina desde el código Ensamblador se debe escribir la instrucción de la siguiente forma:

**GOTO?L** \_MODO1

Con ésta instrucción, se ha podido de forma satisfactoria hacer la interacción de Ensamblador y Basic, para saltos a subrutinas.

Para el correcto funcionamiento del sistema, se debe tener sincronización entre el transmisor y el receptor, como se mencionó en el Capítulo I y además desarrollar el proyecto en código Ensamblador lleva mucho tiempo, por eso se ha optado utilizar una librería creada por microEngineering Labs, llamada *modedefs.bas*, que se usa para comunicación serial con interface RS232, con las instrucciones **SERIN** y **SEROUT**, para el envío y recepción de caracteres de tipo ASCII, esto ha ayudado a armar las tramas sin tener que calcular los tiempos entre sus elementos; las características para la transmisión de estos elementos se han establecido en:

- 2400bits/s.
- Sin paridad.
- 8 bits de datos.
- 1 de parada.



### 3.2.2 Modo1

Éste modo se configura cuando el bit de Control 1, el cual es GP3, se encuentra en estado bajo (0V), tanto en el transmisor como en el receptor; las características de la programación del transmisor y del receptor se describen independientemente a continuación.

#### 3.2.2.1 Modo1 para el Transmisor

Primero se configura los pórtricos GP0, GP1, GP4; que corresponden a las entradas de los bits (BIT1, BIT2 y BIT3), los cuales se colocan en una trama, se modulan y transmiten. También se configuran, GP2 y GP5 como salidas (hacia la entrada DATA<sub>ASK</sub> y RFENIN del transmisor respectivamente).

A continuación se lee el registro GPIO, que almacena los valores de los pórtricos y a éstos se les realiza una operación AND con el valor 00010011, para de ésta forma extraer sólo los datos de interés (GP0, GP1, GP4).

Para optimizar el consumo de energía, se transmite sólo cuando exista algún dato en alto en una de las entradas de los datos digitales, caso contrario se apaga la transmisión. Si existe algún dato en las entradas digitales, se procede a continuar con la transmisión y para esto se ha requerido el diseño de una trama.

#### 3.2.2.2 Trama del Modo1

Partiendo de las características de sensibilidad del módulo receptor mencionadas en los capítulos anteriores, se debe diseñar una trama, que discrimine entre señales transmitidas y el ruido del canal. Además ésta debe tener el número de unos y ceros parejos, para que exista un óptimo trabajo del comparador del rRXD0420; y el tiempo de bit recomendado debe ser de entre 64.8  $\mu$ s y 129.6  $\mu$ s.

Inicialmente se ha probado el envío de un preámbulo conformado por un carácter ASCII, seguido de los datos; se ha obtenido una recepción sin ruido, con



una transmisión activada, mientras que con una transmisión desactivada, el receptor ha recibido datos aleatorios del medio, esto se debe a que el receptor (utilizando la librería *modedefs.bas*) luego del bit de inicio, muestrea cada  $416\mu\text{s}$  el dato de cada bit del preámbulo; como se tiene ruido, es altamente probable que el receptor valide el preámbulo.

Estos inconvenientes, se han ido superando al ir aumentando más caracteres en el preámbulo, sin embargo se sigue recibiendo bits no enviados. Por lo que finalmente se ha optado por una trama mejorada que se muestra en la Figura III.2.

El tiempo de guarda, sirve para separar tramas y ayudar a tener una sincronización continua entre transmisor y receptor, éste tiene un valor de 2.61ms. El preámbulo consta de un tren de pulsos de 10 bits, con duración de  $416,7\mu\text{s}$  cada uno; éste tren se lo ha realizado con la transmisión del carácter "U", a través de la instrucción **SEROUT**, cuya transmisión comprende un bit de inicio (0V) y el valor ASCII de U (0101010), transmitiéndose el bit menos significativo primero y finalizando con un bit de fin (1V), en total 10 bits; los bits de inicio de los caracteres ASCII del preámbulo y de los datos, están coloreados de celeste en la Figura III.2.

El siguiente elemento de la trama, es el carácter ASCII '00000000', que con su bit de inicio (0) forman 3.75ms que completa el encabezamiento, el cual ayudará a la correcta autenticación de la trama; Luego de éste, sigue un bit de inicio de 1,45ms, para finalmente enviar los datos de los 3 bits; de igual forma con la ayuda de la instrucción SEROUT, pero como ésta hace el envío de 8 bits de datos, 5 quedarían sin uso, desperdicio que se da por no tener más pódicos en el rPIC12F675K. Los tres bits de datos están resaltados con color amarillo en la Figura III.2, además se observa que los bits no utilizados se los ha seleccionado con ceros y unos alternados, para que ésta alternancia ayude al módulo receptor a tener una buena comparación, a través de un voltaje de referencia dinámico óptimo; estos bits se muestran pintados de color verde en la Figura III.2.

Podemos ver que los tiempos utilizados en la trama no están dentro del rango recomendado, pero aunque se pierde sensibilidad en el receptor, estos tiempos aseguran una sincronización entre los dos microcontroladores, ya que



recordemos que se está trabajando con clocks internos y éstos tienen una variación que es más notoria en el orden de los microsegundos. Las tramas de los demás modos son similares a ésta, pues se toma en cuenta los mismos parámetros de diseño.

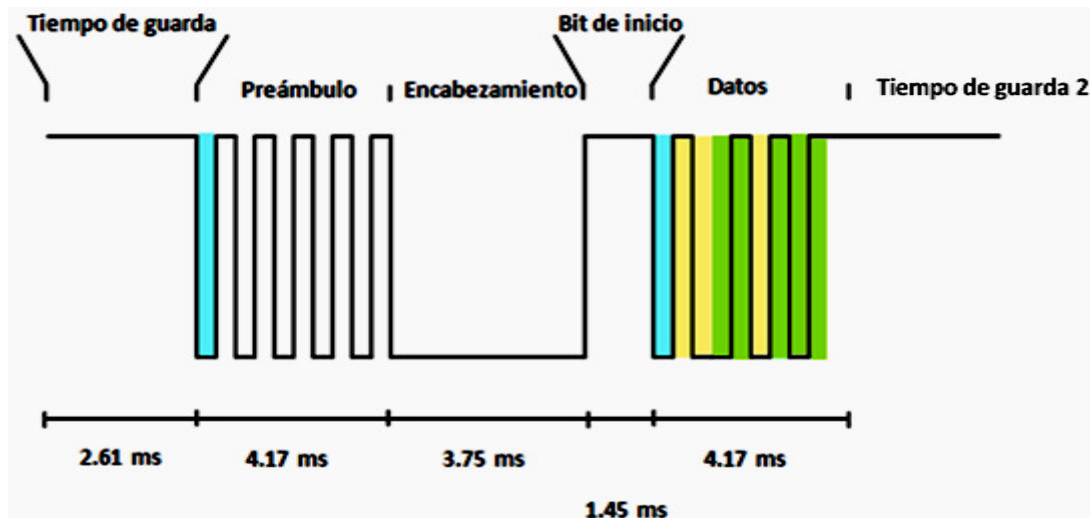


Figura III.2 Trama para el Modo 1 generada por el transmisor.

### 3.2.2.3 Modo1 para el Receptor

Para el modo 1 el receptor debe demodular, extraer la información de la trama y enviar a los pórtricos de salidas digitales ésta información. Como se ha mencionado, el circuito integrado rRXD0420 del módulo receptor no posee un microcontrolador, por lo que éste módulo sólo hace el proceso de demodulación de la señal recibida (En el ANEXO C se tiene una descripción más completa del rRXD0420). Por lo tanto se ha tenido que incluir para completar el procesamiento de la trama demodulada, un microcontrolador, en dónde se programa el algoritmo para la interpretación de los datos.

El microcontrolador que se ha usado en el receptor es el PIC12F675, similar al que incluye el rPIC12F675K del transmisor, se ha trabajado con éste porque al igual que el transmisor, el receptor utiliza seis pórtricos.

Los pórtricos utilizados tanto para el microcontrolador del transmisor como del receptor, su uso y configuración en el modo 1, se muestran en la Tabla III.3.



Tabla III.3. Descripción de los pórtricos utilizados para el microcontrolador del transmisor y del receptor en el Modo 1.

Pórtricos	Transmisor	Receptor
GP0	Entrada digital 1	Salida Digital 1
GP1	Entrada digital 2	Salida Digital 2
GP2	Salida de la trama (hacia la entrada DATA <sub>ASK</sub> del transmisor)	Entrada de la trama (señal demodulada por el módulo receptor)
GP3	Pin de control de modo	Pin de control de modo
GP4	Entrada digital 3	Salida Digital 3
GP5	Bit de activación de la transmisión (hacia la entrada RFENIN del transmisor)	

Como el rRXD0420 entrega la señal demodulada, se describe como se ha realizado la autenticación de la trama y la extracción de los datos que ingresan por GP2; un diagrama de flujo de éste proceso se muestra en la Figura III.3.

Si la entrada es 0 se da inicio a la lectura del preámbulo, se autentifica utilizando la instrucción **SERIN** (hace la recepción a través del estándar RS-232) para leer el caracter "U", para luego si es correcto continuar con la autenticación del encabezamiento. En el encabezamiento no se usa la instrucción **SERIN**, ya que con ésta se tiene una probabilidad grande de que sea autenticada por ruido, así que en ésta parte se utiliza el temporizador 0 del microcontrolador, para contar el tiempo que el microcontrolador debe leer el puerto y asegurarse que permanezca en estado bajo (encabezamiento).

Se configura un prescaler de 1:16, para que el clock del temporizador sea de 62.5KHz y se inicializa el temporizador en 30; como el TMR0 es de 8 bits, el conteo llega a 255, de ésta forma se tiene una temporización de 3.6ms (un poco menor que el encabezamiento, para evitar errores por variaciones de tiempo, producidos por los clocks de ambos microcontroladores, ésta disminución luego se recompensa con un pause de 1ms), como muestra la ecuación III.1



$$t = \frac{1}{f} (255 - t_0) \quad (III.1)$$

$$t = \frac{1}{62.5 \text{ KHz}} (255 - 30)$$

$$t = 3.6 \text{ ms}$$

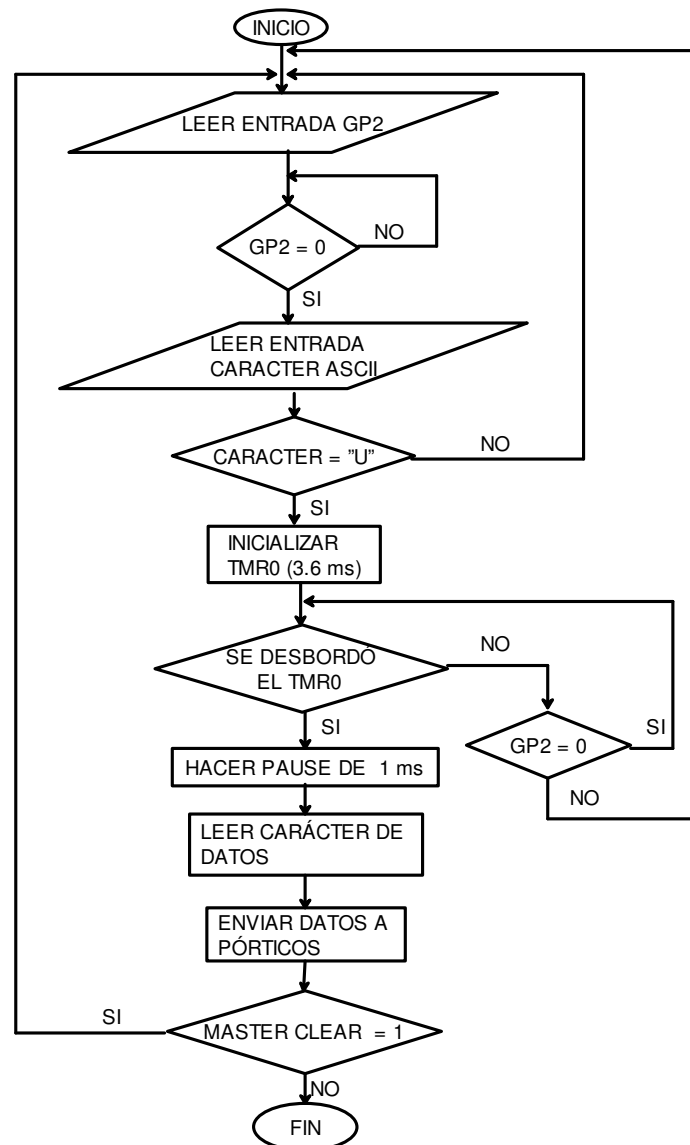


Figura III.3 Diagrama de flujo del proceso de autenticación de la trama del Modo 1 y extracción de la información

Mientras se espera el desbordamiento del temporizador, se lee el puerto GP2, para comprobar que el estado del puerto siga en bajo; si antes que se desborde el temporizador, existe un estado en alto, no se autentifica el encabezamiento y nuevamente regresa al inicio; si se desborda el temporizador y





no ha existido un estado en alto, se autentifica el encabezamiento y se procede a la lectura del caracter (después de 1ms) que contiene la información, luego a éste caracter se le extraen los bits de información (más detalles de la programación del modo 1 del dispositivo receptor se encuentra en el ANEXO D). La autenticación del preámbulo y del encabezamiento se la realiza de la misma manera en el modo 2 y modo 3.

### 3.2.2.4 Simulación del Modo1

Para las simulaciones se ha utilizado Proteus ISI 7 Versión de prueba; en la Figura III. 4 se muestra el circuito de simulación para el modo 1. Se puede observar que los pórtilos de los microcontroladores, se encuentran nombrados y conectados con los circuitos de selección de estados (switchs de la parte superior), para simular las entradas digitales y las de Control, y a los circuitos de visualización con leds para las salidas del receptor; en este caso se muestra la transmisión de los bits 1 y 2 en alto y el bit 3 en bajo, representados con puntos de color rojo para los estados altos y azul para los bajos, además se ve su correspondiente recepción en los leds D2, D3 y D4.

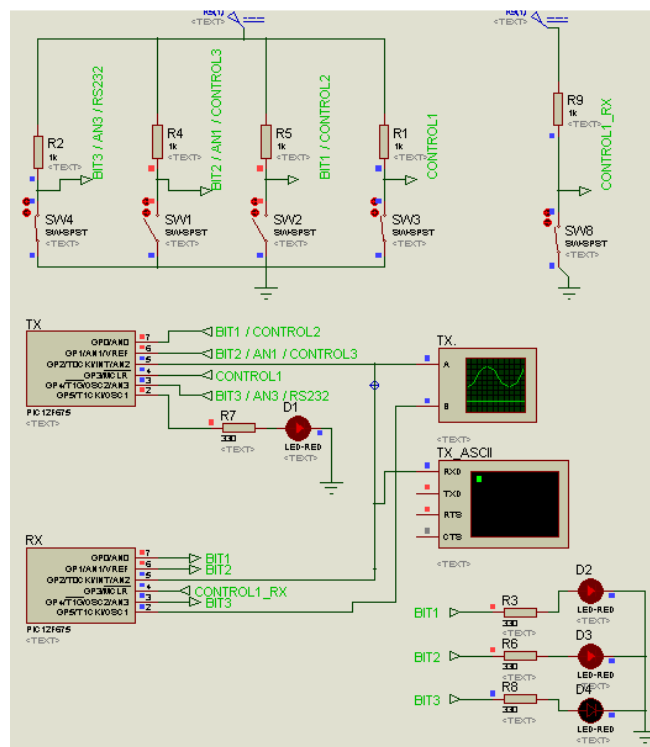


Figura III.4 Simulación del Modo 1.

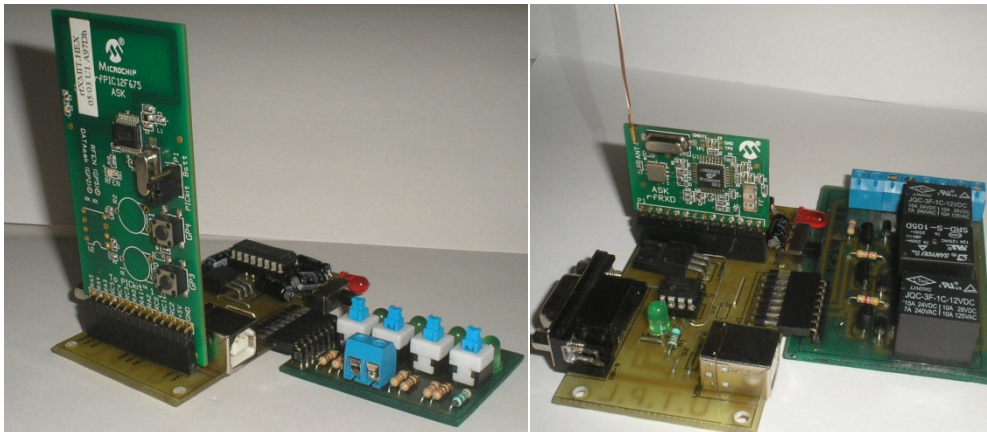




### 3.2.2.5 Pruebas en hardware del Modo1

Se ha propuesto cuatro aplicaciones, para confirmar el cumplimiento de los objetivos, para cada una se ha construido una placa, que es insertada en los módulos principales de transmisión y recepción, con su configuración respectiva.

Como primera aplicación se ha desarrollado placas para el envío de mandos de control a través de tres switches, para el control a distancia de relés, capaces de abrir o cerrar cualquier circuito que contenga una carga. En la figura III.7 se muestra la imagen de los dispositivos transmisor y receptor, con las placas de prueba.



(a)

(b)

Figura III.7 Dispositivos para la aplicación de mandos de control a) transmisor y b) receptor

Las pruebas realizadas han mostrado que se tiene un alcance de 15 metros, a partir de ahí, el BER aumenta y los relés quedan sin control por parte del transmisor.

En caso de que los dispositivos se quieran ocupar para ingresar por las entradas trenes de pulsos, la velocidad máxima de cada señal de entrada debe ser de 16 bps; puesto que cada trama en éste modo tarda 16.15 ms, entonces la frecuencia de las tramas será 61.92 Hz; ahora como se hace un muestreo antes de enviar la trama, entonces la frecuencia de 61.92 Hz equivaldría a la frecuencia de muestreo, por lo que la frecuencia de la señal de entrada (muestreada) debe ser menor ó igual a la mitad de la frecuencia de las tramas, según lo que establece el



Teorema de Nyquist, las pruebas hechas han mostrado que con 8 Hz (menor a  $61.92/2$  Hz) en las señales de entrada, no hay alteración en la recepción, o lo que es lo mismo 16 bps ( $8 \text{ Hz} \times 2 \text{ bits}$ ).

### 3.2.3 Modo2

Éste modo se configura cuando el bit de Control 1 se encuentra en estado alto (1V) y Control 2 en bajo, tanto para el transmisor como para el receptor; las características de la programación del trasmisor y del receptor en éste modo se describen independientemente a continuación.

#### 3.2.3.1 Modo2 para el Transmisor

Se configura el registro TRISIO, para establecer a GP: 0, 1, 3 y 4 como entradas, mientras que GP2 y GP5 como salidas (hacia el Transmisor). Luego se configura el pórtilo GP4 como entrada analógica (AN3), que corresponde al canal 3 del módulo conversor analógico digital.

El microcontrolador rPIC12F675K, tiene cuatro canales para entradas analógicas, con una resolución de 10 bits cada uno. El voltaje de referencia es seleccionable mediante la programación, ésta puede ser el voltaje de alimentación VDD ó el voltaje de entrada a un pin de referencia (VREF). En la Figura III.8 se muestra un diagrama de bloques del módulo A/D, con todos los bits de configuración que se ha utilizado para su funcionamiento. Estos bits se encuentran en los registros: ADCON0 y ANSEL.

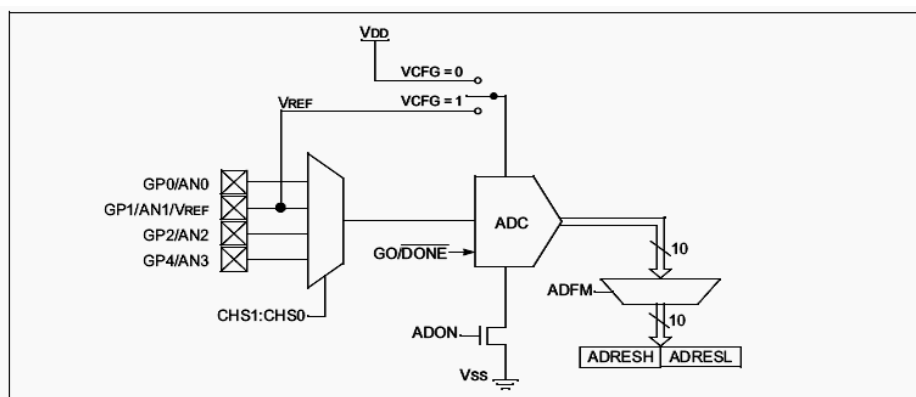


Figura III.8 Diagrama de funcionamiento del módulo A/D [1].



Para configurar las entradas analógicas y digitales, se utiliza los bits ANS3:ANS0 del registro ANSEL<3:0>. Se configura ANS3 como entrada analógica y ANS2, ANS1 y ANS0, como entradas y salidas digitales, utilizadas para la salida de datos ASK, entrada del voltaje de referencia y entrada de Control 1 respectivamente.

En el registro ANSEL también se encuentran los bits ADCS2-ADCS0, con los que se configura la frecuencia de conversión; éste se configura con el valor de 001, que según la tabla que presenta la hoja de datos del microcontrolador, selecciona un  $T_{AD}$  (constante de tiempo utilizada para la conversión) de  $8 \times T_{osc}$ , que para un oscilador de 4MHz, proporciona un  $T_{AD}$  igual a  $2\mu s$ , que es mayor al tiempo mínimo permitido ( $1,6\mu s$ ) según el fabricante. Ya que el ciclo de conversión demora  $11T_{AD}$ , el tiempo total de conversión es de  $22\mu s$ .

En el registro ANSEL también se encuentran los bits CHS1:CHS0, cuya combinación binaria escoge el canal a utilizar. Para más detalles de los registros remitirse a la hoja de datos del microcontrolador y para estudiar la programación de los mismos, revisar la programación del modo 2 del dispositivo transmisor, que se muestra en el ANEXO D. El registro ADRESL, contiene los 8 bits menos significativos provenientes de la conversión y ADRESH en sus dos bits menos significativos contiene los restantes dos bits de la conversión (más significativos). En éste modo la transmisión será ininterrumpida a diferencia del modo 1, el cual no transmitía cuando no existían entradas con niveles altos. Estos dos registros son transmitidos mediante una trama que se describe más adelante.

### 3.2.3.2 Trama del Modo2

Para el diseño de la trama se han tomado los mismos parámetros de diseño del modo 1, de tal manera que es idéntica la transmisión del preámbulo y el encabezamiento. La trama para el modo 2 se la describe en la Figura III.9.

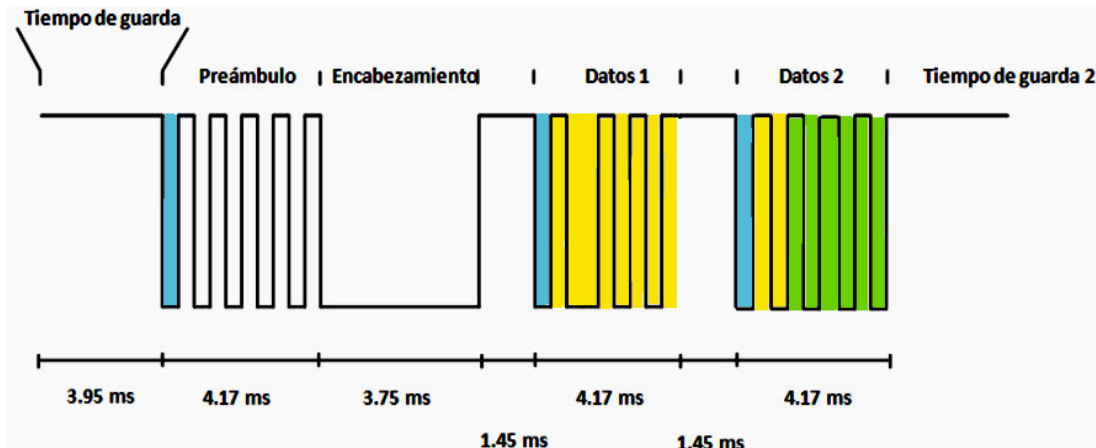


Figura III.9 Trama del Modo 2

El tiempo de guarda sirve para separar tramas, y ayudar a tener una sincronización continua entre transmisor y receptor, éste tiene un valor de 3.95ms. Se transmiten caracteres ASCII con la instrucción SEROUT, a través de la librería *modedefs.bas*, éstos con sus respectivos bits de inicio (color azul).

Los datos se envían en dos partes, los ocho bits menos significativos se envían primero en Datos1 y los dos restantes en Datos2, éstos se encuentran coloreados de amarillo. Como los bits utilizados en Dato2 son dos, los 6 bits restantes son añadidos con unos y ceros alternados, para el correcto funcionamiento del módulo receptor, los cuales se muestran de color verde. La programación de ésta trama se encuentra en el ANEXO D.

### 3.2.3.3 Modo2 para el Receptor

Para el modo 2, el receptor extrae la información de la trama y la envía de forma serial mediante un pòrtico del PIC, el cual estará conectado a un MAX232 (para que cumpla con los voltajes del estándar RS232) y de esta forma la información sea observada en un computador o por otro circuito que tenga éste estándar.

La lógica que tiene el modo 2 en el receptor es similar a la utilizada en el modo 1, a diferencia de que luego de la autenticación del encabezamiento, se leen dos caracteres, los cuales contienen la información proveniente de la conversión del



transmisor. El Dato1 y el Dato2, son almacenados en variables separadas, luego de que a Dato2 se le extrae los dos bits de interés, se retransmiten por el p rtico GP5 (GP5 est  conectado al MAX232), previo al envío del caracter "R", para que el dispositivo que lea esta información se sincronice con éste.

### 3.2.3.4 Simulación del Modo2

En la Figura III.10 se puede observar que los p rticos de los microcontroladores se encuentran nombrados y conectados con los circuitos de selección de estados, para configurar el modo. En el microcontrolador transmisor (TX), se observa la distribución de sus pines de la siguiente manera: por los p rticos GP3 y GP0 se ingresan los bits de Control 1 y 2 respectivamente; por GP2 se envía la trama (simula transmisión inalámbrica); por el p rtico AN1 se ingresa el voltaje de referencia para la conversión (5V); por AN3 se ingresa una señal analógica (de 0 hasta 5V) y finalmente GP5 simula la activación del transmisor.

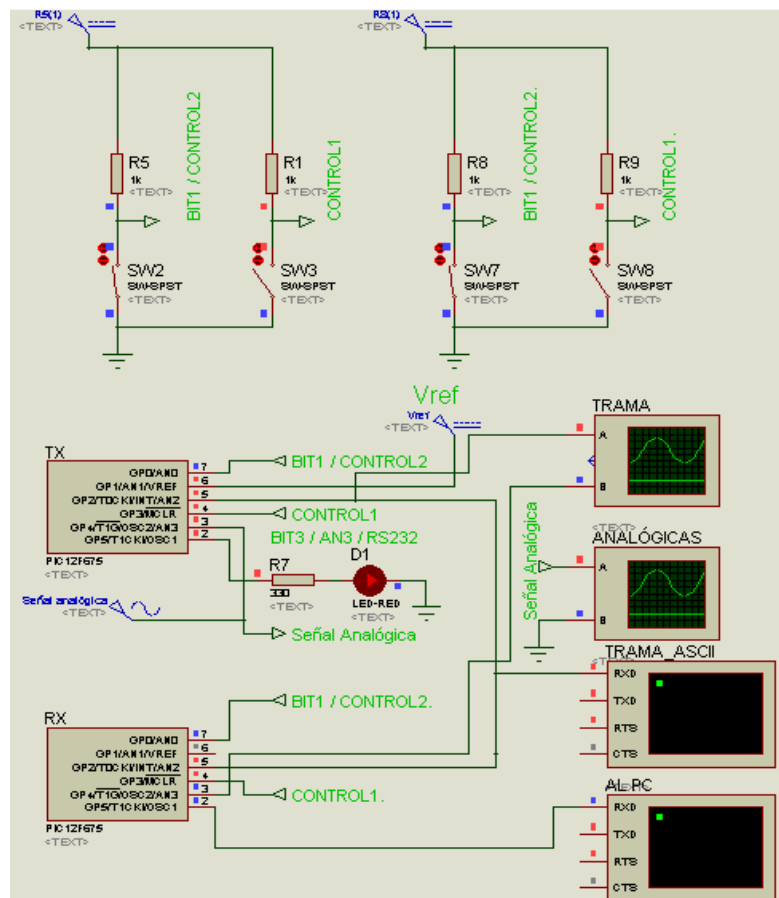


Figura III.10 Simulación del Modo 2.



Se observa que el microcontrolador del receptor (RX), usa el GP3 y GP0 como bits de Control 1 y 2 respectivamente; GP2 para recepción de la trama (inalámbrica); GP4 se lo utiliza como prueba para observar el instante en que el receptor realiza la temporización y autenticación de la trama; y finalmente GP5 retransmite la información a un terminal virtual que simula un computador (para lo cual se comunican serialmente con el protocolo RS232).

Se ha usado dos osciloscopios, uno para observar la trama y otro para la variación de la señal analógica; además dos terminales virtuales, uno para observar la representación ASCII de los elementos de la trama y otro para mostrar la retransmisión al PC. En la Figura III.11 se puede observar estos elementos cuando la simulación se encuentra corriendo.

En el osciloscopio de la Figura III.11 (a), se observa la correcta sincronización del encabezamiento de la trama y el tiempo durante el cual el receptor revisa el estado de la trama, autenticando la veracidad del encabezamiento.

El osciloscopio de la Figura III.11 (b), muestra la variación del voltaje analógico generado por una fuente, la cual ingresa al microcontrolador para su conversión a digital y su posterior transmisión.

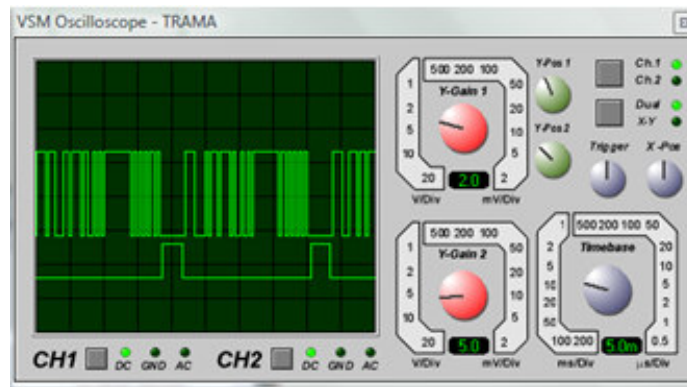
En el primer terminal virtual nombrado TRAMA\_ASCII de la Figura III.11 (c), se observa los caracteres ASCII utilizados en la trama, aquí se ve la "U", que es el Preámbulo, seguido por dos caracteres que son los datos, en ocasiones sólo aparece un caracter, debido a que el otro dato no tiene representación ASCII.

El segundo terminal virtual denominado "AL\_PC" de la figura III.11 (d), muestra la retransmisión de los datos realizados por el pórtilo GP5, en este caso se puede observar que la "U" se ha cambiado por "R", para la interpretación del PC o del circuito que realizará la lectura de los datos del conversor. Ciertos caracteres

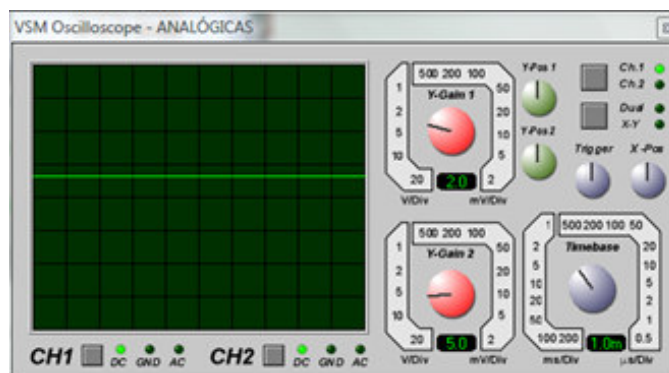




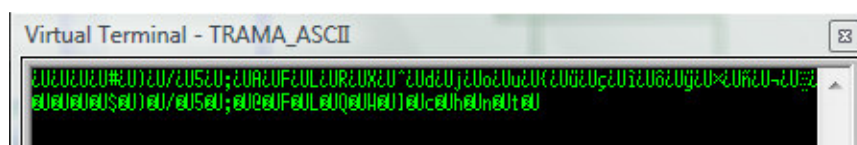
del terminal anterior no aparecen en la retransmisión, esto se debe a que en la retransmisión se eliminan los bits que se adicionaron en la transmisión del segundo caracter (Dato 2), y además los que quedan no tienen representación ASCII.



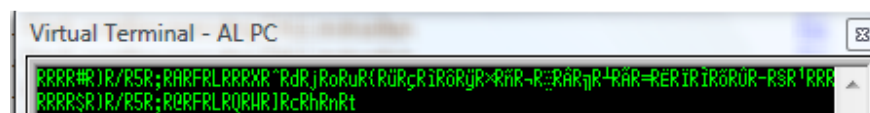
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura III.11 Mediciones de la simulación a) sincronización de la trama, b) Voltaje analógico a ser convertido, c) Caracteres ASCII de la trama y d) Retransmisión del receptor.

De esta forma se ha validado en simulación los parámetros de la trama y el buen funcionamiento del dispositivo transmisor y receptor en el modo 2.



### 3.2.3.5 Pruebas en hardware del Modo2

Una de las principales aplicaciones de los rPICs es la construcción de sensores inalámbricos, por eso en éste modo de operación se ha probado la transmisión de una señal analógica, como la de un sensor, a través de las variaciones de voltaje de un potenciómetro de 0 a 5 V, que simula la entrada de un sensor. Para aplicaciones específicas en el módulo transmisor, quedan listos los pines con las especificaciones ya expuestas por dónde se puede insertar el voltaje de un sensor y además el voltaje de referencia. En la figura III.12 se muestran las imágenes de los dispositivos para ésta aplicación.

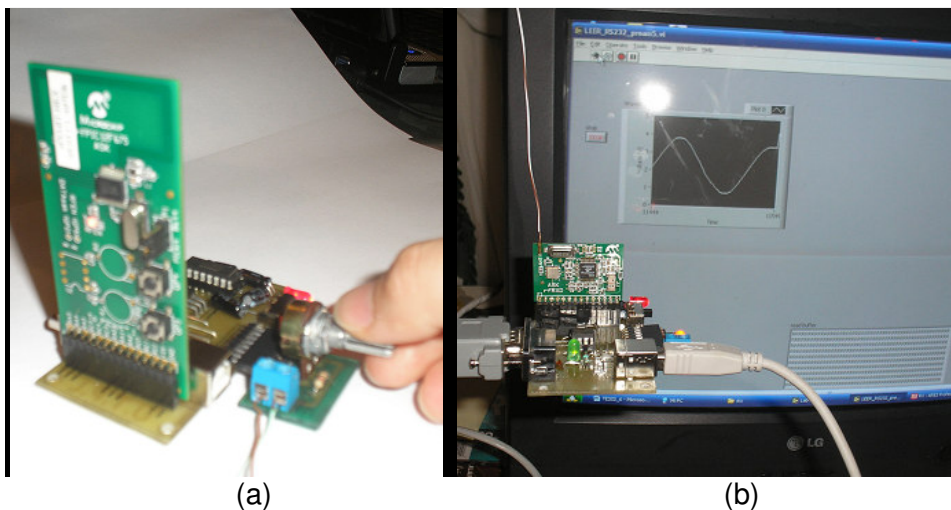


Figura III.12 Dispositivos para la aplicación de telemetría de baja potencia.  
a) Transmisor y b) receptor

En el receptor se procesa la señal recibida y se envía por el puerto serial al computador, para ser visualizado el nivel de voltaje a través de LabVIEW; en la figura III.13 se observa el diagrama frontal en LabVIEW para ésta aplicación.

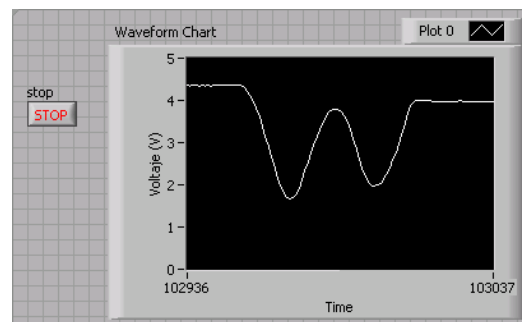


Figura III.13 Panel Frontal de visualización de la señal recibida



El alcance en éste modo de aplicación es de 15 metros y como el tiempo de trama, que equivale al tiempo en que refresca los datos para la transmisión es de 23.11 ms, entonces la velocidad de muestreo de la señal analógica para la transmisión debe ser de 43 Hz.

### 3.2.4 Modo3

Éste modo se configura cuando el bit de Control 1 y 2, se encuentran en estado alto (1V) y Control 3 en estado bajo, tanto para el transmisor como para el receptor. Su función es la transmisión y recepción serial inalámbrica usando el protocolo RS232; para éste modo se usan en las placas adicionales, el MAX232 y los conectores DB-9.

#### 3.2.4.1 Modo3 para el Transmisor

Inicialmente se ha pretendido que la señal del MAX232 entre directamente al transmisor, sin pasar por el microcontrolador del rPIC12F675K; igualmente en el receptor, que la salida del rRXD0420 pase directamente al MAX232; efectivamente la transmisión y la recepción se ha realizado correctamente, pero una vez que el transmisor se ha apagado o ha estado fuera de cobertura, el receptor ha empezado a tomar datos falsos debido al ruido del medio, es por esto que mejor se ha decidido utilizar la trama ya usada en los modos anteriores para que el receptor tenga mayor seguridad.

El diagrama de flujo de la lógica usada en el transmisor para éste modo se muestra en la Figura III.14. Primero con la instrucción SERIN se espera que exista una entrada de carácter (de un PC u otro circuito que maneje el protocolo RS232 a 9600bits/s), una vez recibido el carácter, lo almacena en una variable y transmite los elementos de la trama.

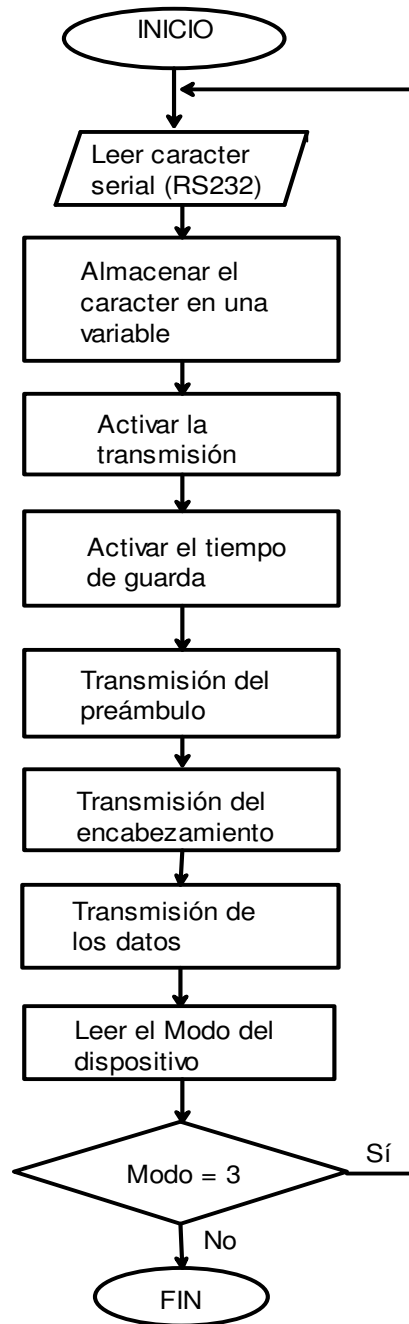


Figura III.14 Diagrama de flujo del Modo 3 del transmisor

### 3.2.4.2 Trama del Modo3

La trama para el modo 3 se la describe en la Figura III.15. Los tiempos de los elementos de la trama se deben tomar muy en cuenta, para saber el espaciado mínimo que se debe tener entre el envío de los caracteres desde el exterior del dispositivo. Toda la trama ocupa 17.54ms.

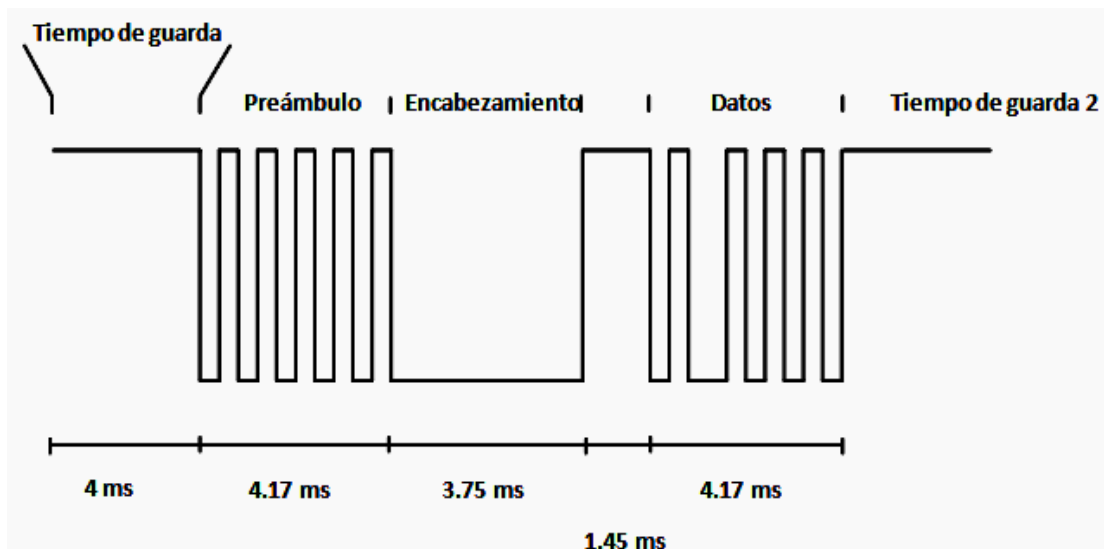


Figura III.15 Trama del Modo 3

En éste esquema de trama, el tiempo de guarda varía con respecto a la del modo 1, ya que en éste modo hay que tomar en cuenta un fenómeno que sucede en los modos anteriores, que afecta a la primera transmisión. Como el módulo receptor recibe ruido del medio, al iniciar la transmisión de la trama, el tiempo de guarda es tomado como parte de un dato y aunque no se autentifica su veracidad, se pierde la información de la primera transmisión; éste fenómeno se lo puede prevenir aumentando el tiempo de guarda, para el peor de los casos en el que el receptor se proponga a leer el primer bit de datos, éste tiempo debe ser tal que el receptor nuevamente regrese a leer el preámbulo. Si tomamos en cuenta que el receptor recibe a 2400bit/s, se demora 3.75ms en leer los 9 bits restantes, valor que se extrae de la ecuación III.2, y sirve como referencia para establecer un tiempo de guarda mayor a éste.

$$t = \frac{1}{2400 \frac{bits}{seg}} \times 9bits \quad (III.2)$$
$$t = 3.75ms$$

Éste hecho no se ha tomado en cuenta en los modos anteriores, ya que no preocupa que se pierda el primer dato, pues es tolerable esa pequeña probabilidad



de pérdida. Para el modo 3 es importante que no se pierda la primera transmisión, es por eso que el tiempo de guarda se ha establecido en 4,17ms.

El preámbulo y el encabezamiento se forman con la misma programación del modo 1, y para la transmisión de los datos, como se trata del mismo carácter recibido (8 bits), no se necesita aumentar bits, como en los modos anteriores. La programación de ésta trama se encuentra en el ANEXO D.

### **3.2.4.3 Modo3 para el Receptor**

Para el modo 3, el receptor debe demodular, extraer la información de la trama y enviarla de forma serial a un púrtico del PIC (el cual estará conectado a un MAX232), para que de esta forma sea recibida por otro dispositivo que tenga el estándar RS232. Luego que se ha autenticado el preámbulo y el encabezamiento, se procede a leer el dato a 2400 bits/s y a transmitirlo al MAX232 (GP5) a 9600bit/s; el mismo dato es transmitido por el púrtico GP4, para facilitar la utilización (se usa el conector J1, que se muestra en el ANEXO E) de aplicaciones dónde no se requiera los voltajes que entrega el MAX232.

### **3.2.4.4 Simulación del Modo3**

En la Figura III.16, se puede observar que los púrticos de los microcontroladores se encuentran nombrados y conectados con los circuitos de selección de estados, para la configuración del modo.

Se ha usado un osciloscopio para observar la trama, y tres terminales virtuales: uno para observar la representación ASCII de los elementos de la trama (TRAMA\_ASCII); otro para ingresar mediante teclado los caracteres a transmitir (TX\_ASCII), los cuales se dirigen a GP4 del transmisor; y el último para observar la transmisión al MAX232 desde GP5 del receptor (retransmisión). En la Figura III.16 se puede observar éstos elementos cuando la simulación se encuentra corriendo.



## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE

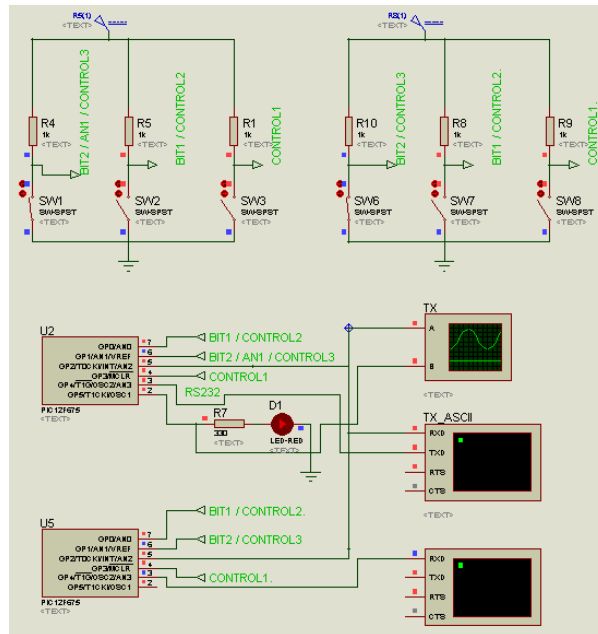
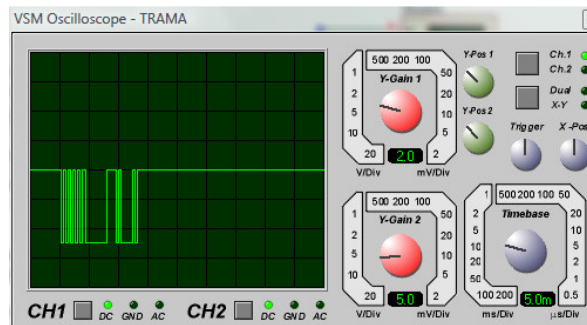


Figura III.16 Simulación del Modo 3.

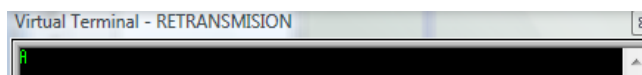
En la Figura III.17 al presionar la letra “A”, se observa: la trama en el osciloscopio; en el terminal virtual nombrado TRAMA\_ASCII el preámbulo U y el caracter A; y finalmente el caracter recibido por el terminal virtual nombrado RETRANSMISIÓN.



(a)



(b)



(c)

Figura III.17 Medición de la simulación a) Trama de comunicación, b) Preámbulo U y caracter A, c) Retransmisión de los datos.



### 3.2.4.5 Pruebas en hardware del Modo3

Para comprobar la comunicación a través del estándar RS-232, se ha construido una placa para la operación de un servomotor, ésta tiene la función de interpretar un código recibido por el módulo receptor. El transmisor a través de la interface RS-232 envía la letra "A" para que el servomotor gire  $11.25^{\circ}$  a la derecha y la letra "B" para que lo haga en sentido contrario, aparte de esto se puede visualizar en un computador los caracteres transmitidos. La trama es similar en todos los modos por lo que el alcance para ésta aplicación es de 15 metros y la velocidad con la que se abren los puertos seriales de los computadores debe ser de 9600 bps. La figura III.18 muestra los dispositivos transmisor y receptor completos para la aplicación.

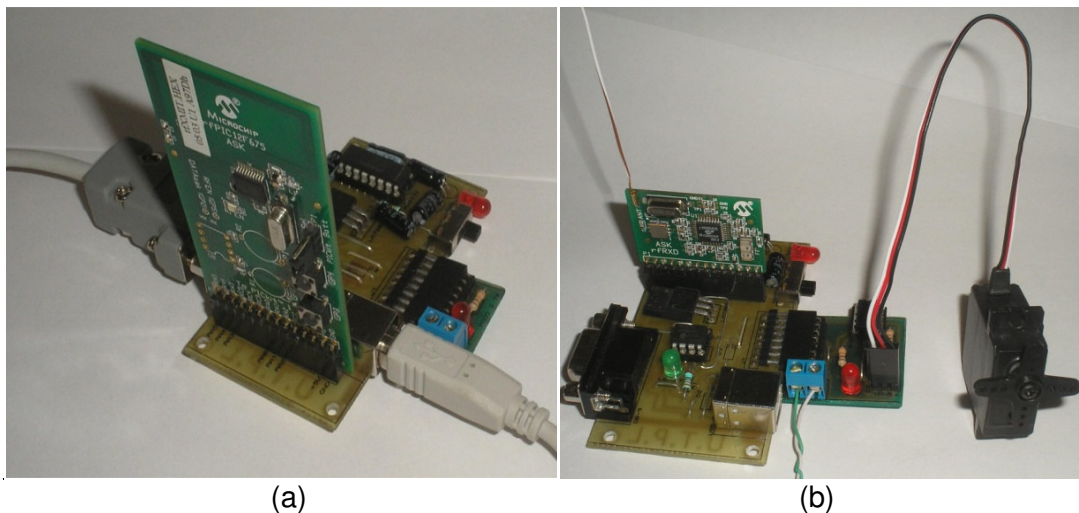


Figura III.18 Dispositivos para el control de un servomotor a) transmisor y b) receptor.

### 3.2.5 Modo4

Éste modo se configura cuando el bit de Control 1, 2 y 3 están en alto, tanto para el transmisor como el receptor. Su función es la transmisión y recepción de una señal digital externa, la que no recibe ningún tipo de procesamiento por parte de los microcontroladores, en consecuencia para éste modo se usan sólo, la parte transmisora del rPIC12F675K y el rRXD0420 del receptor, por lo que se ha realizado un bypass en los circuitos finales de los dispositivos receptor y transmisor, los cuales pueden ser accedidos por los pines: Señal Externa y Entrada Externa de





los conectores J1, en el receptor y transmisor respectivamente, mostrado en el ANEXO E.

### **3.2.5.1 Modo4 para el Transmisor**

Como ya se ha mencionado, GP2 del rPIC12F675K está conectado eléctricamente en el módulo transmisor con DATAASK, que es el pin por dónde ingresa la señal a transmitir, entonces la señal externa va a ingresar a DATAASK y GP2. En éste modo lo primero que se hace es configurar GP2 como entrada, para que no ocasione ningún problema a la señal externa; además se configura GP5 en alto (que de igual forma está conectado de forma permanente al pin RFENIN), para la activación de la transmisión permanente durante la operación de éste modo.

### **3.2.5.2 Modo4 para el Receptor**

En éste modo la señal demodulada pasa directamente a una salida del dispositivo receptor, sin pasar por el microcontrolador (Señal Externa).

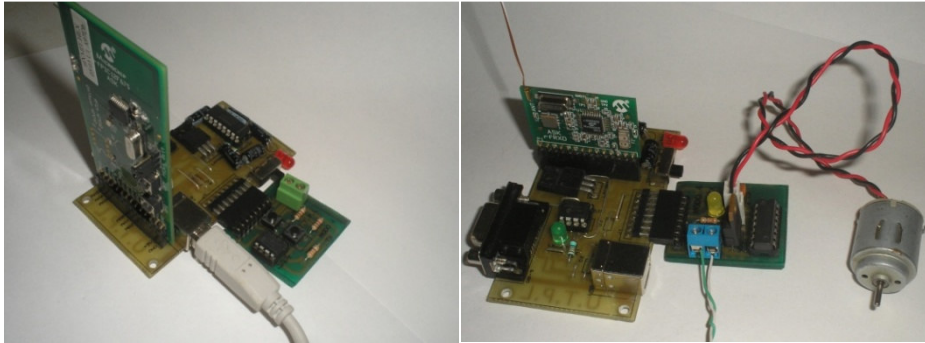
Como en éste modo, el microcontrolador no opera, entonces se procede en la programación a ponerlo en modo SLEEP, para que consuma la mínima cantidad de corriente; para esto se han habilitado las interrupciones necesarias, en especial la configurada con el registro IOC, que se produce por cambios en los pórtricos; es decir, cuando se configura en éste modo, el microcontrolador receptor pasa a dormir hasta ser despertado por un cambio en cualquiera de sus pórtricos, a excepción del GP2 (IOC2) que recibe cambios permanentes, ya que por éste ingresa la señal demodulada. Al despertar, el microcontrolador deshabilita éstas interrupciones y regresa a la subrutina de Decisión, para decidir el modo en que va a operar.

### **3.2.5.3 Prueba en hardware del Modo4**

Como última prueba se ha preparado un circuito impreso con un microcontrolador PIC12F675, para generar una señal modulada por ancho de pulso a una frecuencia de 8 Hz; ésta señal es transmitida al receptor, en dónde se la procesa y se la envía a la placa diseñada para el control de la velocidad de un



motor DC, tal como muestra la figura III.19. El alcance máxima al igual que en los casos anteriores es de 15 metros, a una frecuencia de 8 Hz.



(a)

(b)

Figura III.19 Dispositivos para la transmisión de un tren de pulsos, a) transmisor y b) receptor



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- Se han usado los módulos transmisor (AC164102) y receptor (AC164104) de Microchip, por las siguientes ventajas: reducen el tiempo de implementación, ya que incluyen los componentes externos del rfPIC12F675K y del rfRXD0420; las líneas de circuito son las óptimas para evitar las señales espurias; y evita conseguir algunos componentes como: capacitores, inductores, cristales, filtros que son escasos.
- Se ha diseñado y construido el hardware necesario, que conjuntamente con los módulos transmisores y receptores de Microchip, forman los dispositivos finales transmisor y receptor, digitales, con sus cuatro modos de operación.
- Se ha diseñado el software que soporta las operaciones del rfPIC12F675K y del PIC12F675, para los cuatro modos de operación del transmisor y del receptor respectivamente, con los cuales se hace la transmisión de mandos de control, señal analógica, datos a través de la interface RS-232 y una señal externa.
- En el rfPIC12F675K, con la utilización del Master Clear y oscilador, internos, se ha ahorrado tres pines, de los cuatro disponibles para propósitos generales, aun así éstos cuatro pines son muy limitados para realizar un dispositivo modular, por lo que se ha diseñado cuatro modos de operación, con los cuales se saca el mayor provecho a los cuatro pines disponibles.
- El rfPIC12F675K no cumple con un protocolo estándar, por lo que se ha implementado en el microcontrolador un algoritmo que fabrique una trama, para que de esta forma el microcontrolador receptor pueda discriminar el ruido del canal y la señal de datos transmitida.
- El receptor rfRXD0420, recibe señales de diferentes fuentes como el tercer armónico de la banda 88-108 MHz en FM, es una razón por la que es necesario



## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE

---



el uso de una trama de comunicación que permita hacer una correcta autenticación.

- Las tramas han sido diseñadas con paridad de unos y ceros, para el correcto funcionamiento del rRXD0420, puesto que éste necesita un voltaje de referencia dinámico para la discriminación de estados altos y bajos.
- La trama que se ha elaborado reduce la velocidad de los datos, porque en promedio un 28% de la longitud de la trama equivale a datos, sin embargo el uso de la misma es necesario para una correcta autenticación.
- El trabajo del rPIC12F675K, ha sido similar al PIC12F675 usado como el microcontrolador que interpreta los datos recibidos, puesto que maneja los mismos registros, librerías y arquitectura.
- Las pruebas hechas hasta los 15 metros en los cuatro modos de operación fueron satisfactorias, es decir se estableció la comunicación con un BER menor a  $3 \cdot 10^{-3}$ ; alcance que es pequeño comparado con los 10dBm de potencia que se tiene en el transmisor; se asume que el factor principal de éste resultado es la falta de precisión en el oscilador interno de los PIC12F675 (usado en el receptor) y por no garantizar la paridad de unos y ceros en las tramas de comunicación.
- Algunas especificaciones para los cuatro modos de operación en los dispositivos, son las siguientes:
  - ✓ En el primer modo la velocidad máxima de los tres bits de datos es de 16 bps.
  - ✓ En el modo para la transmisión de una señal analógica, la velocidad máxima de muestreo de dicha señal debe ser de 43 Hz.



## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE

---



- ✓ Para la comunicación de datos a través del estándar RS-232, la velocidad con la que se establece la comunicación es de 9600 bps y la frecuencia con la que se refrescan los datos deben ser de hasta 50 Hz.
  
- ✓ La velocidad máxima de los datos en el modo 4 debe ser de 15 Kbps
  
- Los dispositivos, transmisor y receptor son alimentados con 5 V y tienen un consumo de corriente promedio de 38 mA.
  
- En el proyecto, se ha limitado en trabajar con el microcontrolador del rfPIC12F675K a una frecuencia de 4 MHz, sin embargo se pueden utilizar microcontroladores de hasta 20 MHz con cristal externo, con el costo de sólo usar los módulos de comunicaciones de los rfPICs.
  
- Los rfPICs reducen los costos de aplicaciones específicas, a pesar que se requiere mayor especialización en la fabricación de la PCB, puesto que el encapsulado de éste y de su receptor rfRXD0420 son para montaje superficial.



## Recomendaciones

- En el modo 4 la señal a transmitir ingresa directamente al transmisor del rfPIC12F675K, por lo tanto se debe tener cuidado en la correcta autenticación de la información, tomar en cuenta la frecuencia de la señal (recomendado 3.9KHz a 7.7KHz), y la relación de unos y ceros parejos para el correcto funcionamiento del receptor.
- El jumper del dispositivo transmisor sólo se lo debe utilizar en el modo 3 de operación.
- Los pines del rfPIC12F675K y del PIC12F675, tienen un nombre específico (“GPIO” seguido del número), a diferencia de otra familia de microcontroladores; de igual forma los registros que los gobiernan son distintos, por ejemplo TRISIO para configurar las entradas y salidas, GPIO dónde se almacenan los valores de los pórtilos. Esto hay que tomar muy en cuenta en la programación para quienes no están familiarizados con ésta familia de microcontroladores. Recuerde que el pin GPIO3 del rfPIC12F675 y del PIC12F675 sólo se lo puede utilizar como entrada.
- Los dispositivos transmisor y receptor fabricados tienen una salida de voltaje, la cual se la puede utilizar para alimentar un tercer circuito. La alimentación de estos dispositivos pueden ser mediante una fuente de poder o desde el puerto USB de una computadora, es por eso que se debe tener en cuenta, si se utiliza el USB, que ésta interfaz entrega máximo 100 mA.
- El buen funcionamiento de los dispositivos, depende de la exactitud del oscilador, para generar los tiempos de bit con precisión. Al trabajar con un rfPIC12F675K, si se usa un oscilador diferente de 4MHz, se debe especificar ésta frecuencia en el programa, ya que en lenguaje Basic las instrucciones SERIN y SEROUT toman por defecto una frecuencia de oscilación de 4MHz.
- Al adquirir un nuevo rfPIC12F675K o un PIC12F675, asegúrese de leer la dirección 3FF de la memoria de programa, para anotar el valor de calibración



## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE

---



del oscilador interno, si por accidente se llegara a perder. Éste valor es único para cada microcontrolador.

- Para aprovechar al máximo los seis pines del rPIC12F675K, se podría usar artificios electrónicos, como por ejemplo utilizar un teclado de 4x4 con un sólo pin del microcontrolador, éstos artificios se muestran en los documentos de Tips 'n Tricks de Microchip, para microcontroladores de 8 pines.
- Una de las ventajas del rPIC12F675K, es que posee un microcontrolador que acompaña al transmisor de RF, y su limitación es el número de pines. Si existiera una aplicación en la que no abastezca los artificios antes mencionados y necesariamente se requiera un microcontrolador con mayores prestaciones, se pueden ver otras opciones; como es el caso de unos módulos transmisor y receptor (sin microcontrolador) de la compañía canadiense LAIPAC, cuyos dispositivos son nombrados TLP434A y RLP434A, transmisor y receptor respectivamente, que se los puede también encontrar en nuestro mercado local. Estos dispositivos trabajan a una frecuencia ISM de 434 MHz, con modulación en ASK. Se puede en futuros trabajos realizar un estudio más profundo sobre la comparación de ésta y otras opciones con los rPICs, en cuanto a las normas que usan, su rendimiento, su calidad y sobre todo su precio, para tener varias opciones que se acoplen de mejor forma a un problema específico.
- Para transmisiones con mayor seguridad se pueden utilizar codificadores y decodificadores de Microchip, que utilizan el protocolo Keeloq, de la misma empresa; éstos son circuitos integrados que dan mayor seguridad a la comunicación. También existen codificadores con transmisor de radio incluido en el mismo encapsulado, similar al rPIC12F675 pero sin microcontrolador.
- A las tramas de los modos usados se les puede añadir más parámetros, como por ejemplo un campo de dirección. En estudios futuros se puede hacer un diseño de pequeñas redes en estrella con modo simplex de comunicación, un transmisor y varios receptores identificados con una dirección; los receptores sólo aceptarían los datos dirigidos a su dirección.



## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE

---



- Tomar en cuenta las variaciones de frecuencia del oscilador interno con respecto a la temperatura, que se muestran en la hoja de datos con todas las especificaciones eléctricas del rPIC12F675 [1].
- Los rPICs y su receptor rRXD0420 han sido diseñados por Microchip, en base al estándar de la ETSI EN 300 220, por lo tanto se encuentran clasificados dentro de los Short Range Devices (SRD); para profundizar en los métodos y parámetros de medición, las características técnicas y aplicaciones, revise ésta norma. Además el diseño más detallado empleado por Microchip sobre ésta norma, la regulación para Estados Unidos y Europa, parámetros de propagación, diseño de antenas, métodos de medidas, etc., pueden ser estudiados, con fines académicos para el grupo de radiocomunicaciones (emisores y receptores, antenas, propagación, etc.).
- Para no tener interferencia causado por otras transmisiones, asegurarse de que no existan otros dispositivos utilizando el canal.
- Para transmisiones con mayor velocidad, utilice otro tipo de tecnologías como: Bluetooth, ZigBee, Wifi, etc.





DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN  
TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE

---



**REFERENCIAS**

[1] Microchip, Data Sheet rfPIC12F675K/675F/675H, 2003  
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70091a.pdf>

[2] Microchip, Data Sheet rfRXD0420/0920, 2003  
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70090a.pdf>



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Microchip, 8-Pin Flash PIC Microcontrollers Tips'n Tricks, 2008  
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/chapter%201.pdf>
- [2] *Standard* ETSI EN 300 220-1 V2.1.1  
[www.rfm.com/company/etsi.pdf](http://www.rfm.com/company/etsi.pdf)
- [3] Farron L. Dacus, Design Methods for Control Class MicroRadio, Microchip Technology Inc.  
[http://www.microchip.com/stellent/groups/picmicro\\_sg/documents/devicedoc/en013956.pdf](http://www.microchip.com/stellent/groups/picmicro_sg/documents/devicedoc/en013956.pdf)
- [4] Farron L. Dacus, Jan Van Niekerk, Steven Bible,  
Integrated RF Subsystem and Circuit Design for Short-Range Radio,  
Technology Inc.  
[http://www.microchip.com/stellent/groups/picmicro\\_sg/documents/devicedoc/en013957.pdf](http://www.microchip.com/stellent/groups/picmicro_sg/documents/devicedoc/en013957.pdf)
- [5] Jan Van Niekerk, Farron L. Dacus, Steven Bible, Loop Antenna Basics and Regulatory Compliance for Short-Range Radio, Technology Inc.  
[http://www.microchip.com/stellent/groups/picmicro\\_sg/documents/devicedoc/en020982.pdf](http://www.microchip.com/stellent/groups/picmicro_sg/documents/devicedoc/en020982.pdf)
- [6] Ángulo José M<sup>a</sup>, Romero Susana, Ángulo Ignacio,  
MICROCONTROLADORES PIC. Diseño práctico de aplicaciones,  
McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, 2000.
- [7] Ángulo José M<sup>a</sup>, Ángulo Ignacio, MICROCONTROLADORES PIC,  
McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, 2003.



## ANEXO A

### TECNOLOGÍAS PARA COMUNICACIONES DE CORTO ALCANCE

1. **Analog Devices:** Ofrece varios transceptores que van desde 50 MHz hasta 1GHz, con velocidades de transmisión hasta 150kbps, una potencia de salida programable hasta +10dBm y una alta sensibilidad; con la familia ADF70xx, que permite un enlace a gran distancia.
2. **Freescale:** Freescale dispone de transmisores, el emisor MC33696 con modulación programable FSK y OOK, en las bandas programables de 304 a 915 MHz, que pueden ser controlados desde un microcontrolador vía SPI.
3. **Texas Instruments:** Ésta familia de Chipcon CC11xx aventaja en tecnología a la familia TRFxxx, con frecuencias de trabajo de 315/433/868/915 MHz y operación multicanal; todos ellos de muy bajo consumo, que se acoplan perfectamente con la familia de microcontroladores MSP430 con una comunicación SPI, alimentados de 1,8V a 3,6V. Con pocos componentes externos y con salida RSSI.

Ésta familia CC11xx mejora mucho en precio, pocos componentes externos, encapsulados muy pequeños, muy bajo consumo, incluye en el chip un potente manipulador de paquetes de datos que permite utilizar un microcontrolador externo muy económico, descargando a la CPU de todo éste trabajo. Además se le puede programar la frecuencia de trabajo, el tipo de modulación, la velocidad de transmisión, el formato de paquete de datos, la potencia de salida y el ancho de banda del receptor.

4. **Microchip:** Microchip tiene dispositivos tanto en la banda de 434 MHz como en 2,4 GHz. En UHF con dos dispositivos transmisores con 18 y 20 pines integrados en un microcontrolador de la familia PIC12Cxxx con EEPROM interna o los rFHCS362 con microcontrolador con Flash interna, así como emisores y receptores, algunos de ellos incorporan la tecnología KEELOQ® que se basa en codificación por salto de código, para autenticación, dedicado para



## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE

---



aplicaciones de control remoto de alta seguridad, como abre puertas. Keeloq es un proceso de cifrado, para la encriptación de la información del telecomando, ya sea por un medio de radiofrecuencia o por infrarrojos.

5. **Maxim:** Maxim ofrece una serie de productos RF en la banda ISM desde 300 hasta 900MHz, con diferencias importantes frente a otros, alta sensibilidad en recepción (-115dBm en modulación ASK y -110dBm en modulación FSK), potencias de salida hasta +13dBm y muy bajo consumo de energía (5,3mA en transmisión con +10dBm y 50% de ciclo de servicio y 5,2mA en recepción).



## ANEXO B

El siguiente es un resumen tomado del datasheet del módulo transmisor rfPIC12F675 [1].

### MICROCONTROLADOR rfPIC12F675

El rfPIC12F675 consta de un microcontrolador y de circuitos dentro para hacer la transmisión, como: moduladores, cristales y antenas de forma independiente; la figura B.1 muestra ésta separación de las dos unidades.

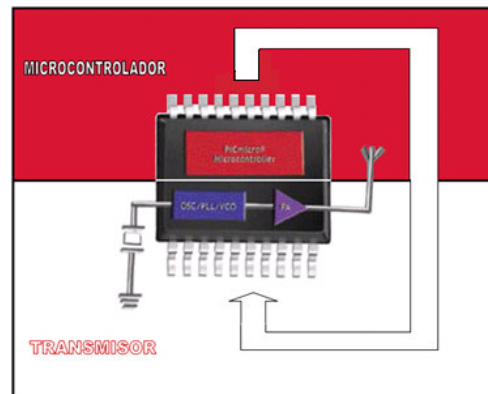


Figura. B.1. Esquema modular del rfPIC

Entre las principales aplicaciones inalámbricas están: control remoto, sistemas de alarma, telemetría de baja potencia, sensores inalámbricos, etc.

Las principales características del microcontrolador son:

- Repertorio de 35 instrucciones
- Velocidad de operación:
  - Oscilador interno de 4 MHz con factor de calibración del 1%
  - Oscilador externo de hasta 20 MHz
- 8 niveles de pila.
- Direccionamiento directo e indirecto.
- Memoria de programa Flash de 1024 x 14 palabras.
- Memoria de datos EEPROM de 128 bytes.
- Memoria de datos SRAM de 64 bytes.
- 6 pines de entrada / salida.



## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE



- Alta corriente para el manejo directo de los LEDs.
- Comparador analógico.
- Temporizador0 de 8 bits.
- Temporizador1 de 16 bits.
- Consumo de baja potencia:
  - 14 mA transmitiendo +6 dBm a 434 MHz
  - 4 mA transmitiendo – 15 dBm a 434 MHz
  - 500  $\mu$ A con un reloj de 4MHz
  - 0.6  $\mu$ A en modo SLEEP con el perro guardián activado
  - 0.1  $\mu$ A en modo standby
  - Rango de voltaje de operación de 2.0 a 5.5 V.
  - Rango de temperatura industrial

### Características del transmisor UHF ASK/FSK:

- Viene integrado un oscilador de cristal, VCO, filtro y un amplificador de potencia, para un mínimo de componentes externos.
- Velocidad de datos en ASK/FSK de 0 a 40 Kbps.
- Potencia de salida de + 10 dBm a – 12 dBm.
- Consumo de potencia del transmisor ajustable.
- Enganche de fase con referencia al cristal de cuarzo, que permite ser usado un receptor de banda angosta para maximizar el rango y la inmunidad a la interferencia.
- Frecuencia de cristal dividida por 4 disponible (REFCLK).
- Usada en aplicaciones conforme a los US FCC y regulaciones europeas.

Existen tres modelos de ésta familia, dependiendo de la frecuencia en que transmitan, como muestra la tabla B.1.

TABLA B.1. Familias de los rfPICs12F675

Device	Frequency	Modulation
rfPIC12F675K	290-350 MHz	ASK/FSK
rfPIC12F675F	380-450 MHz	ASK/FSK
rfPIC12F675H	850-930 MHz	ASK/FSK



## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE



El microcontrolador cuenta con 8 niveles de pila de Stack y dos bancos de direccionamiento, como se muestra en la figura B.2; la memoria de programa Flash tiene un tamaño de 1K (1024 x 14 palabras).

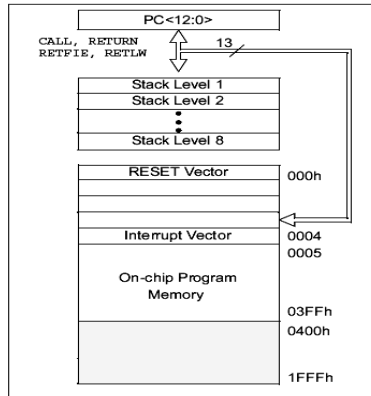


Figura. B.2. Memoria de programa y la pila de Stack

La memoria de datos SRAM de 64 bytes, está separada en dos bancos que los conforman el registro de propósito específico (SFR) y los de propósito general (GPR), como lo muestra la figura B.3.

File Address	File Address
Indirect addr. <sup>(1)</sup> 00h	Indirect addr. <sup>(1)</sup> 80h
TMR0 01h	OPTION_REG 81h
PCL 02h	PCL 82h
STATUS 03h	STATUS 83h
FSR 04h	FSR 84h
GPIO 05h	TRISIO 85h
06h	86h
07h	87h
08h	88h
09h	89h
PCLATH 0Ah	PCLATH 8Ah
INTCON 0Bh	INTCON 8Bh
PIR1 0Ch	PIE1 8Ch
0Dh	8Dh
TMR1L 0Eh	PCON 8Eh
TMR1H 0Fh	8Fh
T1CON 10h	OSCCAL 90h
11h	91h
12h	92h
13h	93h
14h	94h
15h	WPU 95h
16h	IOC 96h
17h	97h
18h	98h
CMCON 19h	VRCON 99h
1Ah	EEDATA 9Ah
1Bh	EEDR 9Bh
1Ch	EECON1 9Ch
1Dh	EECON2 <sup>(1)</sup> 9Dh
ADRESH 1Eh	ADRESL 9Eh
ADCON0 1Fh	ANSEL 9Fh
20h	A0h
General Purpose Registers 64 Bytes	accesses 20h-5Fh
5Fh	DFh
60h	E0h
7Fh	FFh
Bank 0	Bank 1

■ Unimplemented data memory locations, read as '0'.  
1: Not a physical register.

Figura. B.3. Memoria de datos SRAM del rPIC12F675



## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE



La figura B.4 muestra la arquitectura del rPIC12F675 en dónde se ve la parte del microcontrolador y la de RF en el mismo chip.

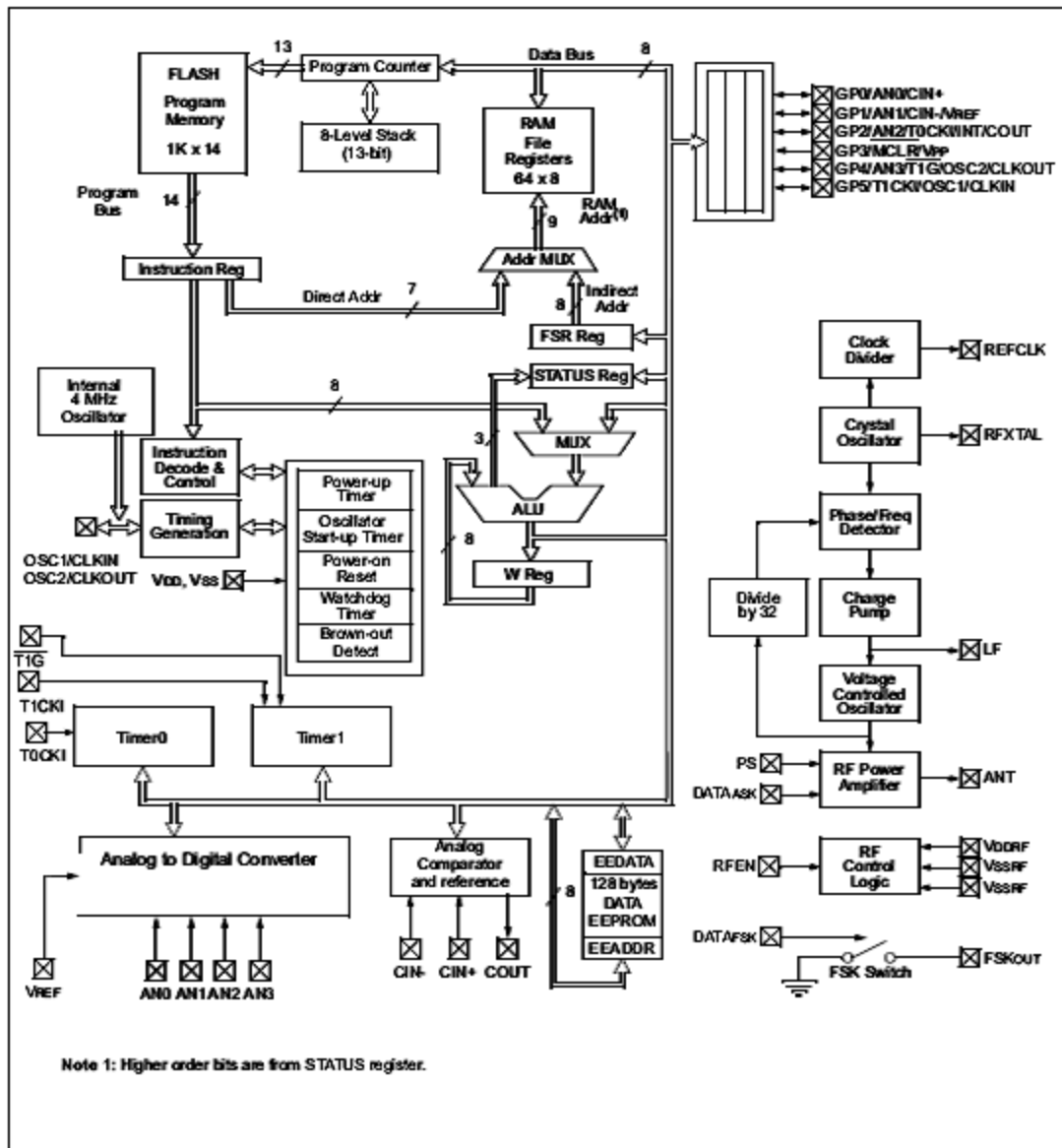


Figura. B.4. Arquitectura del rPIC12F675

La arquitectura del microcontrolador es idéntica a la de un PIC12F675, en dónde en términos generales se tiene los pórtilos de entrada-salida, los buses, memoria de programa, memorias de datos y la ALU, adicionalmente los módulos para los dos temporizadores, comparador analógico, convertidor análogo a digital y los registros para la escritura y lectura en la memoria de datos EEPROM.





El transmisor consiste de un oscilador de cristal, un PLL, un amplificador de potencia con salida de colector abierto y un módulo de control lógico. Un oscilador Colpitts genera la frecuencia de referencia; un VCO convierte el voltaje sobre el loop filter en frecuencia que luego es dividida por 32 y ésta comparada con la de referencia del cristal, si ésta no se ajusta al voltaje en el pin LF, irá cambiando hasta que la frecuencia sea enganchada; la salida del VCO es pasada por el amplificador de potencia para salir ésta señal por la antenna.

La unidad de transmisión para ponerla en funcionamiento es necesario hacerle llegar la señal de control, los datos en forma serial y una conexión a una antena. Los datos ingresan en DATAASK ó DATAFSK según lo que corresponda, y saldrá automáticamente en forma de ondas de radio frecuencia.

En la figura B.5 se muestra el diseño esquemático para el módulo transmisor del rPIC12F675K para transmisión en ASK.

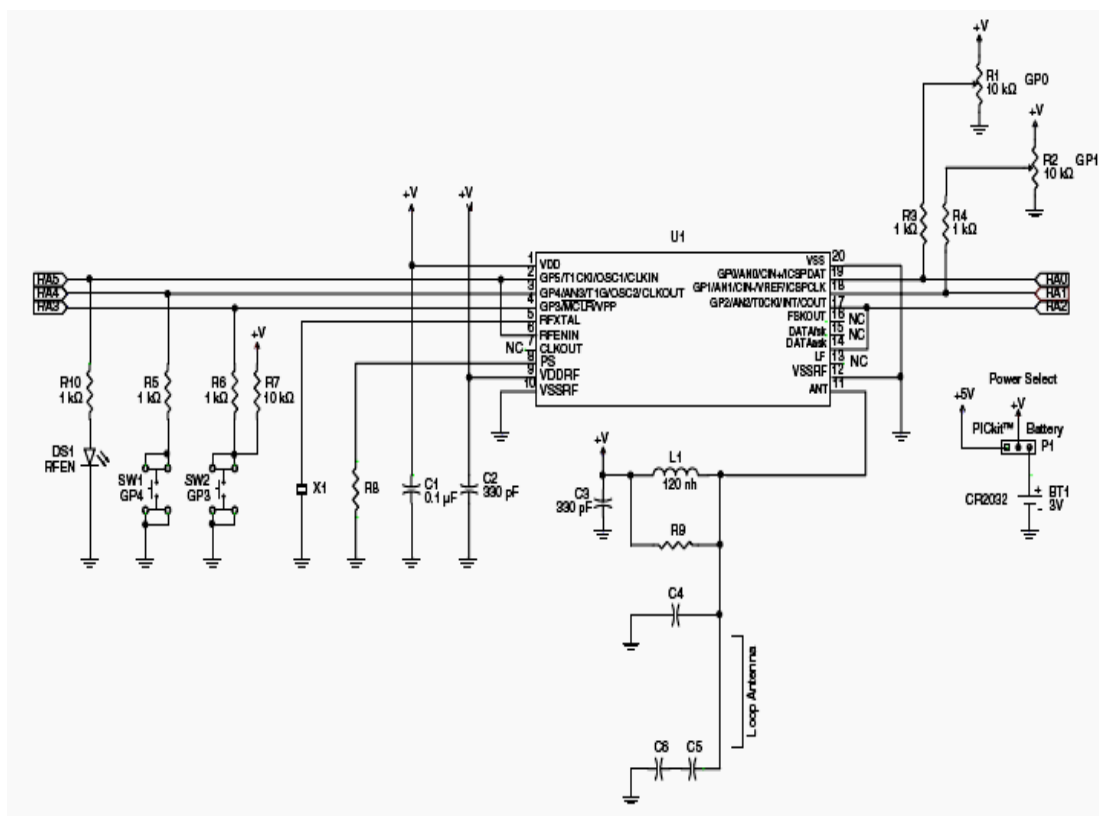


Figura. B.5. Esquemático del módulo transmisor en ASK



## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE



Los pines 1, 20 y 9, 12 son para alimentación y tierra del microcontrolador y el módulo de radiofrecuencia, respectivamente; por el pin 2 (GP5) sale el mando para activar la transmisión en RF, e ingresa al 6 (RFENEN); los pines 3, 4, 18 y 19 (GP4, GP3, GP1 y GP0) son los de entrada/salida, por el 5 (RFXTAL) es por dónde se conecta el cristal para generar la señal de referencia de la portadora de radiofrecuencia, que es el único del módulo por cuanto el microcontrolador opera con el reloj interno de 4 MHz.

Entre los componentes externos están: el cristal para colocar la frecuencia de transmisión, una fuente de energía, resistores, capacitores e inductores, para conseguir la máxima potencia en la antena. La señal de datos y la de control, son conectadas del microcontrolador a la unidad transmisora externamente, para una mayor flexibilidad.

El oscilador Colpitts es el que entrega la frecuencia al PLL; por el pin XTAL se introduce una señal interna o se coloca un oscilador de cuarzo, el valor del oscilador es multiplicado por 32 para obtener la frecuencia de transmisión como indica la fórmula:

$$f_{transmit} = f_{RFXTAL} * 32 \quad (B.1)$$

Con modulación ASK se conecta el cristal al pin RFXTAL y de ahí a tierra, también para mayor estabilidad en la frecuencia se coloca un capacitor en serie. El oscilador es habilitado cuando RFENEN es puesto en alto, lo que le toma 1 ms comenzar a oscilar.

En la modulación ASK los datos son transmitidos variando la potencia de salida, el pin DATAASK habilita la operación del amplificador de potencia, porque la señal de salida de RF es intercalada entre prendido y apagado; en éste modo los pines DATAFSK y FSKOUT son conectados a tierra.

Para transmitir en FSK se añade dos capacitores en FSKOUT (figura B.6); cuando DATAFSK está en alto, el pin FSKOUT está abierto (alta impedancia) lo que lleva a que el capacitor  $C_2$  sea indiferente en el circuito, por tanto la frecuencia



de referencia (la más alta) es cortada tan solo por  $C_1$ ; cuando DATAFSK está en bajo el pin FSKOUT se coloca en tierra, por lo que  $C_2$  y  $C_1$  se disponen en paralelo, de ahí que la frecuencia de oscilación disminuye; ambas frecuencias son multiplicadas por 32.

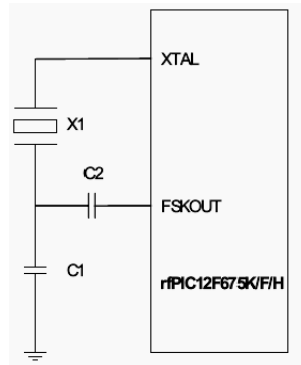


Figura. B.6. Modulación en FSK

La frecuencia de la señal que se emite por radio frecuencia es el promedio de ambas frecuencias. Otro parámetro importante es la desviación de la frecuencia central que se extrae por la fórmula:

$$\Delta f = \frac{f_{max} - f_{min}}{2} \quad (B.II)$$

Un posible circuito para la transmisión con modulación en FSK es el que se muestra en la figura B.7.

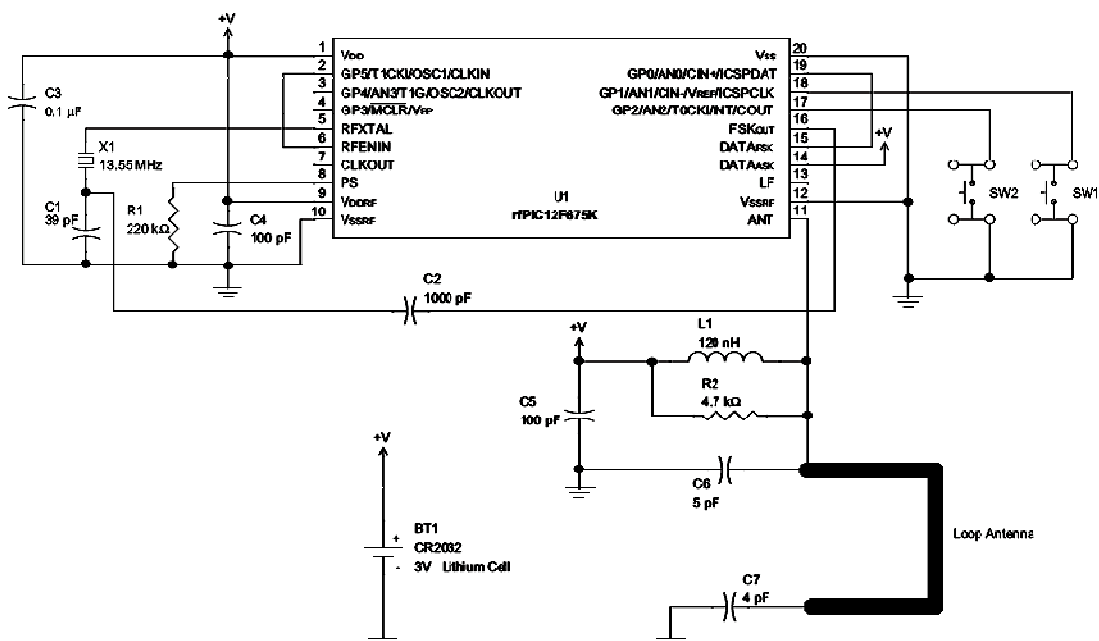


Figura. B.7. Esquemático del módulo transmisor en FSK



Por el pin CLKOUT puede salir una señal de reloj para sincronizar otros circuitos, como el microcontrolador que requiere de alta precisión en su reloj, ésta señal en el rfPIC12F75K y rfPIC12F75F es dividida por 4 en el interior.

Por el pin LF se tiene acceso a una parte interna del PLL, se puede añadir capacitancia aquí para reducir el ancho de banda del filtro PLL, con lo que se incrementa el ruido en la fase y se reducen las señales de reloj espurias. También es posible por éste pin hacer diagnóstico de la operación del módulo e incluso medir el tiempo en el que se engancha la fase en el PLL, con una punta de prueba de alta impedancia y baja capacitancia.

La salida del PLL entra en el amplificador de potencia y ésta señal sale por el pin 11 (Ant) de colector abierto a la antena. La impedancia de salida debe ser acoplada con la de carga para obtener la máxima potencia, de otra forma puede provocar señales espurias y armónicos no deseados.

La potencia de salida puede ser ajustada entre 5 etapas, desde +9 dBm a – 70 dBm, variando el voltaje sobre el pin 8 (PS) que es el selector de potencia, éste pin tiene internamente una fuente de corriente de  $8 \mu\text{A}$ , el voltaje cambia colocando diferentes valores de resistencia en el pin PS como muestra la figura B.8.

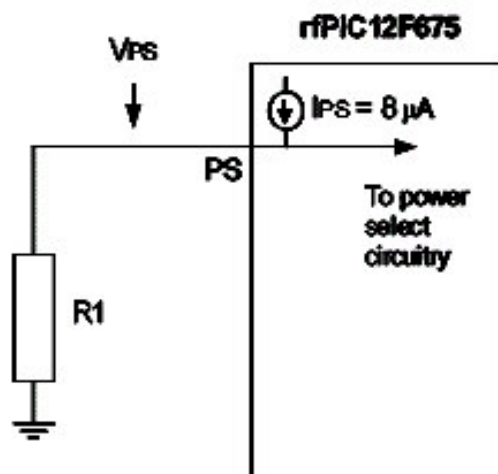


Figura. B.8. Selección de la potencia de transmisión



## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE



Los valores de  $R_1$  para los 5 pasos de potencia se muestran en la tabla B.2

Tabla B.2. Valores de  $R_1$  para la selección de la Potencia de transmisión

Power Step	Output Power (dBm)	PS Voltage (Volts)	R1 Resistance ( $\Omega$ )	RF Transmitter Current (mA)
4	9	1.6	open	10.7
3	2	0.8	100k <sup>(3)</sup>	6.5
2	-4	0.4	47k <sup>(3)</sup>	4.7
1	-12	0.2	22k <sup>(3)</sup>	3.5
0	-70	0.1	short	2.7

**Note** 1: Standard Operating Conditions,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $\text{RFEN} = 1$ ,  $V_{\text{DDRF}} = 3\text{V}$ ,  $f_{\text{TRANSMIT}} = 433.92\text{ MHz}$   
2: Typical values, for complete specifications see data sheet Section 13.0.  
3: R1 resistor variations plus I<sub>PS</sub> current supply variations must not exceed V<sub>PS</sub> step limits.

Cuando RFENEN está en alto se activa la operación del oscilador, e inmediatamente el PLL engancha la frecuencia de referencia del oscilador. Por el pin el LF es posible observar si es que el PLL ya se ha enganchado en la frecuencia deseada midiendo 0.8 V. La estabilización del PLL implica una demora de 150 microsegundos, luego de esto es habilitada la corriente por el pin PS y el amplificador de potencia. Cuando RFENEN se coloca en bajo el transmisor se pone en modo de Standby y tanto el oscilador como el amplificador son deshabilitados.

El rfPIC12F675 está diseñado para en bajo voltaje tener una señal de 1.85 V, si el voltaje de alimentación cae de éste valor, el amplificador de potencia se deshabilita para evitar transmisiones no controladas.



## ANEXO C

El siguiente es un resumen tomado del datasheet del módulo receptor rfRXD0420 [1].

### RECEPTOR rfRXD0420

Éste módulo es lanzado por Microchip para la recepción de los datos transmitidos por algunos rfPICs, no es programable, recibe la información la procesa y le entrega a un microcontrolador para la interpretación de los datos, entre las principales características se tienen:

- Viene en un encapsulado de 32 pines que trabaja con tecnología Bi-CMOS
- Es un convertidor con arquitectura superheterodina que consta de:
  - ✓ Un amplificador de bajo ruido (LNA) con ganancia seleccionable.
  - ✓ Un mezclador para conversión de radio frecuencias bajas a frecuencias intermedias, seguido por un preamplificador de IF.
  - ✓ Un Phased Locked Loop (PLL) integrado para generar una oscilación local, éste a su vez está compuesto de:
    - Oscilador de cristal.
    - Un detector de fase.
    - Un controlador de voltajes de alta frecuencia.
    - Un divisor entre 16.
  - ✓ Un generador RSSI
  - ✓ Un demodulador (DEMODO), que se integra de:
    - Un detector de fase (MIXER2) con amplificador, creando un detector de cuadratura.

El chip rfRXD0420 tiene 32 pines (figura C.1):



## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE

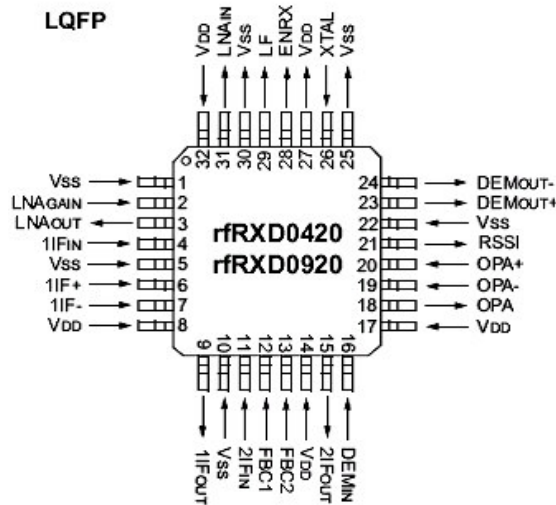


Figura. C.1. Chip rFRXD0420 del módulo receptor

La figura C.2 muestra la arquitectura interna que consta de: amplificadores de bajo ruido, mezcladores y etapas de comparación de la señal.

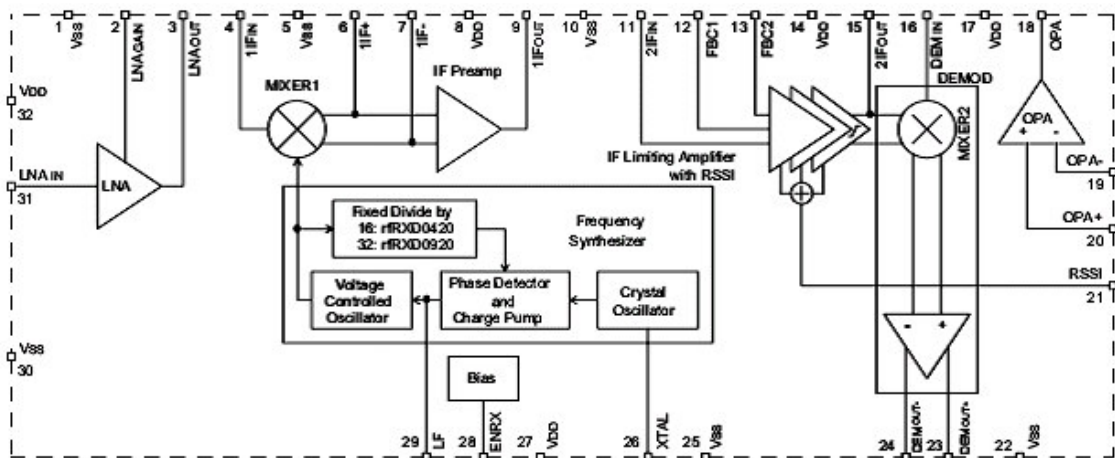


Figura. C.2. Arquitectura interna del chip rFRXD0420.

En el esquema completo de recepción que se muestra en la figura C.3, se ve los componentes externos. A la entrada del pin 29 (LF) se conectan los elementos: C10, C11 y R3, para determinar parámetros del PLL. La ganancia del amplificador de baja potencia se configura con los valores de los capacitores C15, C17 y C18 y el inductor L3, que van conectados al pin 3 (LNAOUT) y al 4 (1IFin). Hay también un filtro cerámico F2 para las frecuencias intermedias. Un filtro SAW es incluido entre la antena y la entrada al amplificador, para eliminar las señales entrantes indeseadas.



## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE

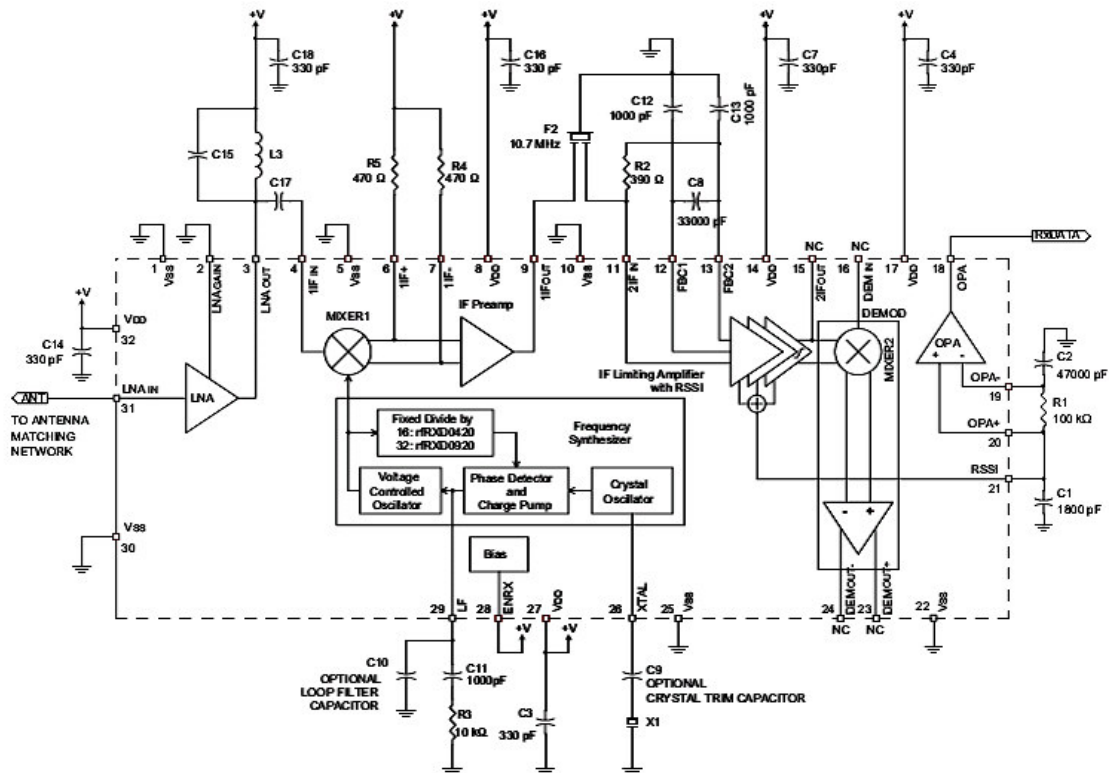


Figura C.3. Esquema del módulo receptor en ASK

En la recepción en ASK se utiliza el amplificador IF con el RSSI, que es un filtro detector que compara la señal de entrada con un voltaje de referencia para discriminar entre uno ó cero, además de ser un filtro pasa bajas. El voltaje de referencia puede ser dinámico ó estático según la señal de entrada sea uniforme ó no uniforme respectivamente. El voltaje de referencia dinámico se crea a través de un filtro pasa bajas que está compuesto por la C2 y R1 (figura C.3), cuya salida entra por OPA-, y por OPA+ entra la señal a discriminar, mientras que a la señal estática se la crea por medio de un divisor de voltaje antes de entrar al amplificador operacional.

La figura C.4 muestra la grafica de las entradas al amplificador operacional y la señal de salida por el pin 18 (OPA), cuando la salida del RSSI es un pico positivo, esto representa un uno lógico, por el contrario con un pico negativo se traduce un cero lógico.





## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE

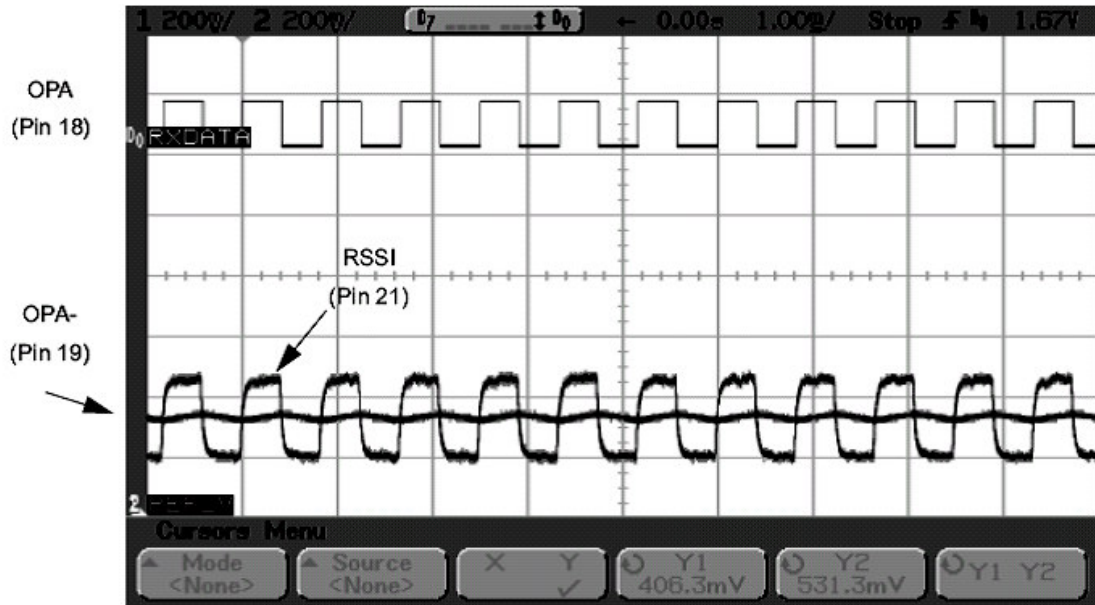


Figura C. 4. Comparación entre el voltaje de referencia y RSSI

El Circuito esquemático del módulo receptor comercializado y cuyo número de parte es AC164104, es el mostrado en la figura C.5.

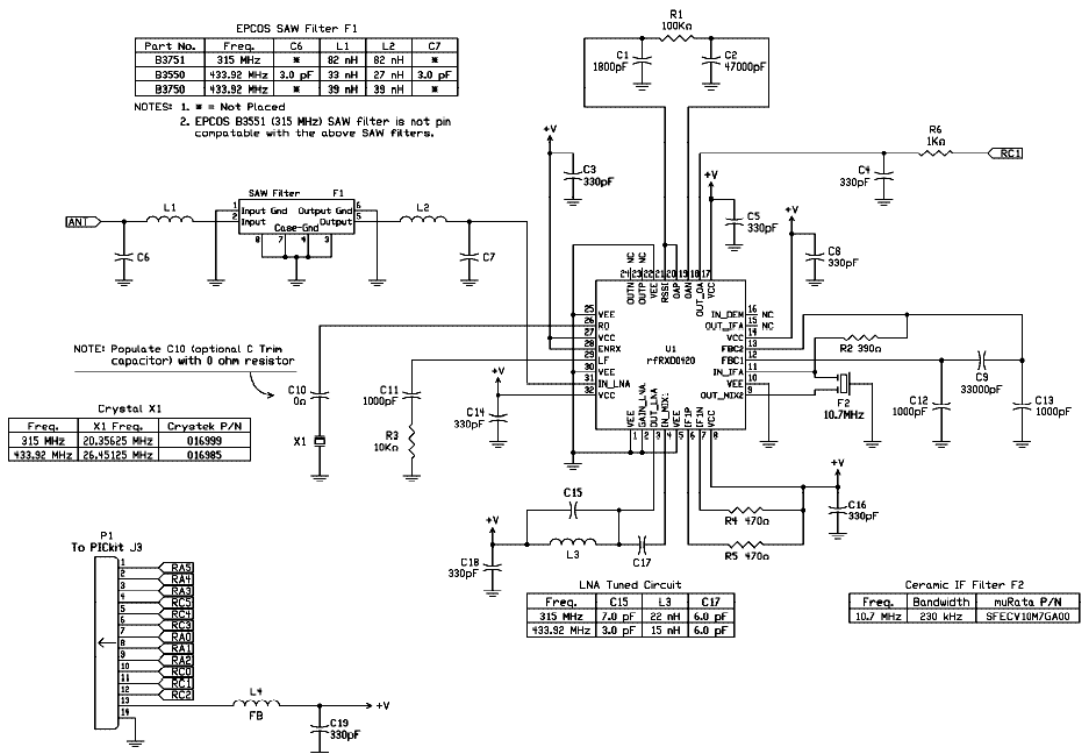


Figura C.5. Esquema del módulo receptor comercializado.



**ANEXO D  
CÓDIGO FUENTE**

**CÓDIGO FUENTE PARA EL rfPIC12F675K DEL DISPOSITIVO TRANSMISOR**

```

*****
'*  Nombre           : DISP_TX.BAS                               *
'*  Autor            : César Iñiguez, Servio Iñiguez            *
'*  Universidad      : Universidad Técnica Particular de Loja    *
'*  Proyecto        : Gestión Productiva 4                      *
'*  Lugar           : Loja-Ecuador                              *
'*  Fecha           : 01/08/2008                                *
'*  Descripción     : El presente programa se diseñó para el   *
'*                   rfPIC12F675K destinado a los 4 Modos de   *
'*                   Operación de Dispositivo Transmisor.     *
*****

;*****
;*                   CONFIGURACIONES GENERALES                 *
;*****

INCLUDE "modedefs.bas"           ;incluye modos de comunicación serial
;.....VARIABLES.....

sal_DATAask VAR gpio.2 ;Pin de salida de datos del microcontrolador
                    ;y entrada del transmisor

act_tx        VAR gpio.5 ;activación de la transmisión, pues en el
                    ;módulo AC164102 el pin GPIO.5 del
                    ;microcontrolador está conectado al pin
                    ;RFENIN del transmisor

datos        VAR byte ;datos a transmitir en el Modo 1 y 3
converL     VAR byte ;variable dónde se almacena los 8 bits menos
                    ;significativos provenientes de la
                    ;conversión A/D
converH     VAR byte ;variable dónde se almacena los 2 bits menos
                    ;significativos provenientes de la
                    ;conversión A/D

;.....REGISTROS.....
;Configuraciones iniciales de los pórtricos para iniciar la subrutina
;de toma de decisión

CMCON= %00000111 ;Apagar el comparador
ANSEL= %00000000 ;Seleccionar todo el puerto GPIO como
                    ; entradas y salidas digitales

OSCCAL= %10000000 ;Se calibra el clock interior (80h)para una
                    ;frecuencia de 4MHz (éste valor varía de
                    ;acuerdo al rfPIC)

```



## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE



```
TRISIO=  %00111111      ;Inicialmente se selecciona todos los pines
                        ;como entradas

GPIO=    %00000000      ;Se borra el archivo del puerto de E/S

datos=   %00000000      ;Se borra la variable datos

;*****
;*                               SUBROUTINA DE TOMA DE DECISIÓN                               *
;*****

DECISION:              ;Subrutina de toma de decisión para elegir
                        ;el Modo de Operación del Dispositivo
                        ;Transmisión.

ASM                    ;inicio de código Ensamblador
bsf      STATUS,RP0    ;banco 1
movlw   0x1B           ;00011011
movwf   TRISIO        ;GP2 y GP5 salidas, y el resto entradas
bcf     STATUS,RP0    ;Ubicarse en banco 0
btfss  GPIO,3         ;Si GP3 (CONTROL1) es 0 salta a MODO 1.
GOTO?L  _MODO1        ;Si es 1 va a leer CONTROL2

leer_CONTROL2:        ;Si GP0 (CONTROL2) es 0 saltar a MODO 2
btfss  GPIO,0         ;Si GP0 (CONTROL2) es 0 saltar a MODO 2
GOTO?L  _MODO2        ;Si es 1 va a leer CONTROL3

leer_CONTROL3:        ;Si GP1 (CONTROL3) es 0 saltar a MODO 3
btfss  GPIO,1         ;Si GP1 (CONTROL3) es 0 saltar a MODO 3
GOTO?L  _MODO3        ;Si es 1 salta a MODO 4
GOTO?L  _MODO4

ENDASM                ;Fin de código Ensamblador

;*****
;*                               SUBROUTINA DEL MODO 1                               *
;*****

MODO1:

ASM                    ;inicio de código Ensamblador
bsf     STATUS,RP0    ;banco 1
movlw   0x1B          ;cargar en W 00011011
movwf   TRISIO        ;Se configura GP2 y GP5 como salidas (hacia
                        ;la entrada RFENIN y DATAask de transmisor,
                        ;y el resto como entradas

movlw   0x00          ;todos los pórtilos configurados como
movwf   ANSEL         ;entradas y salidas digitales

bcf     STATUS,RP0    ;banco 0
movf    GPIO,0        ;Mover registro GPIO a W
andlw  0x13           ;AND entre W y 00010011, para extraer el
                        ;BIT1, BIT2 y BIT3
```



## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE



```

btfs STATUS,Z           ;Si no hay dato (Z=1)salta a apagar la
                        ;transmisión
goto cargar_dato        ;Si dato diferente de 0 salta a cargar el
                        ;dato
goto apag_tx

apag_tx:
bcf GPIO,5             ;Se apaga la transmisión (GP5=0)
GOTO?L _DECISION      ;Regresa a Subrutina de DECISION para leer
                        ;los bits de CONTROL y actualizar el Modo de
                        ;Operación

cargar_dato:
movwf _datos          ;Carga el valor de W en la variable datos
ENDASM                ;Fin de código Ensamblador

;.....TRAMA DEL MODO 1.....

TRAMA_M1:             ;Subrutina que arma la trama

HIGH act_tx           ;Se activa la transmisión

PAUSE 2               ;Tiempo de guarda

SEROUT SAL_DATAask,T2400,["U"] ;Se envía mediante el pin gpio.2 del
                        ;microcontrolador el caracter
                        ;U(preámbulo) a la entrada DATAask
                        ;del transmisor.

SEROUT SAL_DATAask,T2400,[00000000] ;Se envía el encabezamiento

datos=datos +168      ;Se selecciona los bits no usados con ceros
                        ;y unos alternados (10101000) para que el
                        ;módulo receptor opere de forma óptima pues
                        ;éste utiliza un voltaje de referencia
                        ;dinámico en el comparador (se necesita
                        ;proporcional número de unos que ceros)

PAUSE 1
SEROUT SAL_DATAask,T2400,[datos] ;Se transmite los datos del Modo 1

GOTO DECISION         ;Regresa a subrutina de DECISION para
                        ;actualizar la configuración del Dispositivo
                        ;Transmisor.

;*****
; SUBROUTINA DEL MODO 2 *
;*****

MODO2:
ASM                  ;inicio de código Ensamblador
bsf STATUS,RP0      ;banco 1
movlw 0x1B          ;00011011

```



## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE



```
movwf TRISIO           ;se configura GP2 y GP5 como salidas, el
                        ;resto como entradas
movlw 0x18             ;00011000
movwf ANSEL           ;00011000, clock de A/D FOSC/8 y seleccionar
                        ;ANS3
bcf INTCON,GIE        ;deshabilitar todas las interrupciones
bcf STATUS,RP0        ;banco 0
movlw 0xCD             ;11001101
movwf ADCON0          ;se configura voltaje de referencia Vref, se
                        ;selecciona Channel 03 (AN3), el módulo en
                        ;estado operación
bsf ADCON0,1          ;iniciar conversión
btfsc ADCON0,1        ;esperar mientras el bit de estado de
                        ;conversión
goto $-1              ;se coloque en 0 (indica fin de conversión)
nop

ENDASM                ;fin de código Ensamblador
converL=ADRESL        ;se almacena el registro ADRESL que contiene
                        ;los 8 bits menos significativos de la
                        ;conversión
converH=ADRESH        ;se almacena el registro ADRESH que contiene
                        ;los 2 bits más significativos de la
                        ;conversión
converH=converH+168  ;como éste registro sólo usa 2 bits, se
                        ;aumenta bits alternados para mejorar el
                        ;funcionamiento de la demodulación
                        ;(10101000)

;.....TRAMA DEL MODO 2.....

HIGH act_tx           ;Se activa la transmisión
PAUSE 3               ;tiempo de guarda

SEROUT SAL_DATAask,T2400,["U"] ;preámbulo
SEROUT SAL_DATAask,T2400,[00000000] ;encabezamiento
PAUSE 1

SEROUT sal_DATAask,T2400,[converL] ;Transmisión de primeros 8 bits
                        ;menos significativos de la
                        ;conversión
PAUSE 1
SEROUT sal_DATAask,T2400,[converH] ;Transmisión de los 2 bits más
                        ;significativos de la conversión

GOTO DECISION        ;Regresa a subrutina de DESICION
                        ;para actualizar la configuración
                        ;del Dispositivo Transmisor.
```



## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE



```
;*****
;                               SUBROUTINA DEL MODO 3                               *
;*****

MODO3:
HIGH  sal_DATAask           ;se activa el tiempo de guarda

SERIN  gpio.4,T9600,datos    ;se espera mientras llegue el
                               ;caracter serial, para luego
                               ;almacenarlo en la variable datos

HIGH  act_tx                ;se activa la transmisión

PAUSE  4                    ;se espera 4,17ms para evitar perder la
PAUSEUS 17                  ;primera transmisión.

SEROUT sal_DATAask,T2400,["U"]      ;se transmite el preámbulo
SEROUT sal_DATAask,T2400,[00000000] ;se transmite el
                               ;encabezamiento

PAUSE 1
SEROUT sal_DATAask,T2400,[datos]    ;se transmiten los datos

LOW    gpio.5                ;para que se la transmisión se realice
                               ;solo cuando exista un caracter de entrada

GOTO  DECISION              ;Regresa a subrutina de DECISION para
                               ;actualizar la configuración del Dispositivo
                               ;Transmisor.

;*****
;                               SUBROUTINA DEL MODO 4                               *
;*****

MODO4:
ASM                               ;inicio de lenguaje Ensamblador
bsf  STATUS,RP0                 ;banco 1
movlw 0x1F                      ;cargar en W 00011111
movwf TRISIO                    ;Se configura GP5 como salidas (hacia la
                               ;entrada que activa
                               ;el transmisor RFENIN) y GP2 como entrada
                               ;para que no cause problema
                               ;a la señal externa que tiene conexión con
                               ;éste pórtico.

bcf  STATUS,RP0                 ;banco 0
bsf  GPIO,5                     ;me mantiene activado permanentemente la
                               ;transmisión

ENDASM                           ;fin de lenguaje Ensamblador

GOTO  MODO4

END
```



### **CÓDIGO FUENTE PARA EL PIC12F675 DEL DISPOSITIVO RECEPTOR**

```

*****
;*  Nombre           : DISP_RX.BAS                               *
;*  Autor            : César Iñiguez, Servio Iñiguez           *
;*  Universidad      : Universidad Técnica Particular de Loja   *
;*  Proyecto        : Gestión Productiva 4                     *
;*  Lugar           : Loja-Ecuador                             *
;*  Fecha           : 01/08/2008                               *
;*  Descripción     : El presente programa se diseño para el  *
;*                  PIC12F675 destinado a los 4 Modos de      *
;*                  Operación de Dispositivo Receptor.       *
*****

;*****
;*                  CONFIGURACIONES GENERALES                 *
;*****

INCLUDE "modedefs.bas"           ;incluye modos de comunicación serial
;.....VARIABLE.....

ENT_TRAMA   VAR  gpio.2   ;Pin de entrada de la señal demodulador
                ;por el módulo receptor

datos      VAR  BYTE     ;información recibida de la trama.

PREAMBULO  VAR  BYTE     ;registro dónde se almacena un datos para
                ;ser analizado si se trata del preámbulo.

converL    VAR  BYTE     ;bits menos significativos
                ;provenientes de la conversión A/D

converH    VAR  BYTE     ;bits más significativos provenientes
                ;de la conversión A/D

;.....REGISTROS.....

CMCON=  %00000111   ;Apagar el comparador
ANSEL=  %00000000   ;Seleccionar todo el puerto GPIO como
                ;entradas y salidas digitales

OSCCAL=  %01011000   ;Se calibra el clock interior (58h)para una
                ;frecuencia de 4MHz.(éste valor funciona
                ;sólo para éste microcontrolador y es único)

TRISIO=%00111111   ;Inicialmente se selecciona todos los pines
                ;como entradas

gpio=  %00000000    ;Se borra el archivo del puerto de E/S
datos=%00000000    ;Se borra la variable datos

```



## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE



```

;*****
;*                               SUBROUTINA DE TOMA DE DECISIÓN                               *
;*****

```

### DECISION:

```

;Subrutina de toma de decisión para elegir el Modo
;de Operación del Dispositivo Transmisión.

```

```

TRISIO=      %0001100          ;solo GP3 y GP2 configuradas como
                               ;entradas
ASM          ;inicio de código Ensamblador
bcf          STATUS,RP0        ;Ubicarse en banco 0
btfss       GPIO,3            ;Si GP3 (CONTROL1) es 0 salta a MODO 1
GOTO?L      _MODO1            ;Si es 1 va a leer CONTROL2

leer_CONTROL2:
bsf         STATUS,RP0        ;banco 1
bsf         TRISIO,0          ;configurar GP0 como entrada para leer
                               ;modo

bcf         STATUS,RP0
btfss      GPIO,0            ;Si GP0 (CONTROL2) es 0 salta a MODO 2
GOTO?L      _MODO2            ;Si es 1 va a leer CONTROL3

leer_CONTROL3:
bsf         STATUS,RP0        ;banco 1
bsf         TRISIO,1          ;configurar GP1 como entrada para leer
                               ;modo

bcf         STATUS,RP0        ;banco 0
btfss      GPIO,1            ;Si GP1 (CONTROL3) es 0 salta a MODO 3
GOTO?L      _MODO3
GOTO?L      _MODO4            ;Si es 1 salta a MODO 4

ENDASM          ;Fin de código Ensamblador

```

```

;*****
;*                               SUBROUTINA DEL MODO 1                               *
;*****

```

### MODO1:

```

SERIN ENT_TRAMA,T2400,PREAMBULO ;recepción de preámbulo
IF PREAMBULO <>"U" THEN BORRAR  ;validación del preámbulo

```

### TEMPORIZAR:

```

TMR0=30          ;inicialización de timer0 en 30

OPTION_REG =%11000011 ;prescaler 1:16 y otros
                               ;características
                               ;(revise hoja de datos del
                               ;rfPIC12F675)

INTCON =      %10100000 ;habilitar interrupción por TMR0

ON INTERRUPT GOTO INTERRUP ;si existe interrupción ir a INTERRUP

```





## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE



```

PAUSEUS 810                                ;Espera 810us para que se sincronice
                                           ;con el inicio del encabezamiento

;.....
HIGH GPIO.5                                ;prueba de inicio de verificación
;.....

ENCABEZAMIENTO:

IF     GPIO.2 = 0 THEN ENCABEZAMIENTO      ;verificar si el
                                           ;encabezamiento continua en bajo hasta
                                           ;que se produzca la interrupción de
                                           ;desbordamiento del timer 0

GOTO BORRAR                                ;ir a borrar si el encabezamiento
                                           ;termina antes de tiempo

DISABLE                                    ;deshabilita interrupciones

INTERRUP:
;.....
LOW GPIO.5                                 ;prueba de fin de verificación
;.....

PAUSE 1                                    ; Espera 1s para que se sincronice con
                                           ;el caracter que contiene la
                                           ;información

SERIN ENT_TRAMA,T2400,datos                ;lee caracter que contiene la
                                           ;información y la almacena en la
                                           ;variable datos
datos = datos & %00010011                 ;se extrae los bits de información

ESCRIBIR:

TRISIO= %00001100                          ;configurar como salidas los pórtricos
                                           ;usados para el modo 1
GPIO= datos                                 ;escribir en los pórtricos los datos
                                           ;extraídos de la trama
GOTO DECISION                              ;Regresa a subrutina de DECISION para
                                           ;actualizar la configuración del
                                           ;Dispositivo Receptor.

BORRAR:
LOW GPIO.0 :LOW GPIO.1 :LOW GPIO.4 ;borrar las salidas del Modo 1

GOTO DECISION                              ;Regresa a subrutina de DECISION para
                                           ;actualizar la configuración del
                                           ;Dispositivo Transmisor.

;*****

```



## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE



```

;                               SUBROUTINA DEL MODO 2                               *
;*****

MODO2:

HIGH  GPIO.5                    ;iniciar comunicación con el PC
SERIN  ENT_TRAMA, T2400, PREAMBULO    ;Leer preámbulo
IF  PREAMBULO<>"U" THEN DECISION      ;validación del preámbulo

TEMPORIZAR_2:

TMR0=30                          ;inicialización de timer0 en 30

OPTION_REG  =%11000011           ;prescaler 1:16 y otros
                                ;características (revise hoja de datos
                                ;del rfPIC12F675)

INTCON = %10100000              ;habilitar interrupción por TMR0
ON INTERRUPT GOTO INTERRUP_2     ;si existe interrupción ir a
                                ;INTERRUP_2

PAUSEUS 780                      ; Espera 780us para que se sincronice
                                ;con el inicio del encabezamiento

;.....
HIGH  GPIO.4                    ;prueba de inicio de verificación
;.....

ENCABEZAMIENTO_2:
IF    GPIO.2 = 0 THEN ENCABEZAMIENTO_2    ;verificar si el
                                ;encabezamiento continua en bajo
                                ;hasta que se produzca la interrupción
                                ;de desbordamiento del TMR0
GOTO DECISION                    ;Regresa a subrutina de DECISION para
                                ;actualizar
                                ;la configuración del Dispositivo
                                ;Transmisor.

DISABLE                          ;deshabilita interrupciones
INTERRUP_2:

;.....
LOW   GPIO.4                    ;prueba de fin de verificación
;.....

PAUSE 1                          ; Espera 1s para que se sincronice con
                                ;el caracter que contiene la
                                ;información

SERIN  ENT_TRAMA, T2400, converL      ;leer los 8 bit menos
                                ;significativo provenientes de
                                ;convertor del transmisor y almacenar
                                ;en la variable converL

```



## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE



```

SERIN  ENT_TRAMA,T2400,converH          ;leer los bit más
                                           ;significativo provenientes de
                                           ;conversor del transmisor y almacenar
                                           ;en la variable converH
converH = converH & %00000011          ;se extrae los bits de
                                           ;información

;.....RETRANSMISIÓN DE LA INFORMACIÓN.....
ENVIAR_MAX232:

SEROUT  GPIO.5,T9600,["R"]              ;Para que el PC entienda dónde
                                           ;empieza la transmisión se envía
                                           ;el caracter R

PAUSEUS 10
SEROUT  GPIO.5,T9600,[converL]          ;se retransmite los 8 bits menos
                                           ;significativos de la conversión

PAUSEUS 10
SEROUT  GPIO.5,T9600,[converH]          ;se retransmite los 2 bits menos
                                           ;significativos de la conversión

PAUSEUS 10
GOTO  DECISION                          ;Regresa a subrutina de DECISION
                                           ;para actualiza la configuración
                                           ;del Dispositivo Transmisor.

;*****
;                               SUBROUTINA DEL MODO 3                *
;*****

MODO3:

TRISIO=  %0001111                      ;Solo GP5 y Gp4 se configuran
                                           ;como salidas
HIGH  GPIO.5                            ;evita que el PC revisar el
                                           ;primer datos erróneo

SERIN  ENT_TRAMA,T2400,PREAMBULO        ;recibir preámbulo
IF  PREAMBULO<>"U" THEN DECISION        ;autenticar preámbulo

TEMPORIZAR_3:

TMR0=30                                  ;inicializar TMR0

OPTION_REG =%11000011                   ;prescaler 1:16 y otros
                                           ;características
INTCON =  %10100000                     ;habilitar interrupción por TMR0
ON INTERRUPT GOTO INTERRUP_3            ;si existe interrupción ir a
                                           ;INTERRUP_2

PAUSEUS 810                              ;Espera 810us para que se
                                           ;sincronice con el inicio del
                                           ;encabezamiento

ENCABEZAMIENTO_3:

IF  GPIO.2 = 0 THEN ENCABEZAMIENTO_3 ;verificar si el
                                           ;encabezamiento continua en

```



## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE



```

; bajo hasta que se produzca la
; interrupción de desbordamiento
; del TMR0

GOTO DECISION ; Regresar a subrutina de DESICION
; para actualizar la configuración
; del Dispositivo Transmisor.

DISABLE ; deshabilitar interrupciones
INTERRUP_3:

PAUSE 1 ; Espera 1s para que se sincronice
; con el caracter que contiene la
; información

SERIN ENT_TRAMA, T2400, datos ; leer dato y almacenarlo en la
; variable datos

SEROUT GPIO.5, T9600, [datos] ; reenviar caracter a GP5 el cual
; está conectado al Max232

SEROUT GPIO.4, T2400, [datos] ; reenviar caracter a GP4 para
; aplicación con Servo Motor

GOTO DECISION ; Regresar a subrutina de DESICION
; para actualizar la configuración del
; Dispositivo Transmisor.

; *****
; SUBROUTINA DEL MODO 4 *
; *****

MODO4:

ASM ; inicio de lenguaje Ensamblador
bsf STATUS, RP0 ; banco 1
movlw 0xFF
movwf TRISIO ; configurar todos los pórtricos como
; entradas

bsf INTCON, GIE ; habilitar interrupciones globales
bsf INTCON, PEIE ; habilitar interrupciones periféricos
bsf INTCON, GPIE ; habilitar interrupciones por cambios
; en estado de GPIO

movlw 0x3B ; activar todos los pórtricos como
; interrupciones
movwf IOC ; por cambio de estado, menos GP2
; (entrada permanente)
; de señal demodulada

clrwdt ; refrescar perro guardián
sleep ; Entra en bajo consumo
bcf INTCON, GIE ; deshabilitar interrupciones globales
```



## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE

---



```
bcf INTCON, PEIE ;deshabilitar interrupciones
;periféricos
bcf INTCON, GPIE ;deshabilitar interrupciones por
;cambios en estado de GPIO

ENDASM

GOTO DECISION ;Regresar a subrutina de DECISION para
;actualizar la configuración del
;Dispositivo Transmisor.

END
```



## ANEXO E

### PLACAS DE CIRCUITOS IMPRESOS (PCBs)

En el presente anexo se muestran las imágenes utilizadas para la elaboración de la PCB del dispositivo transmisor y receptor.

#### TRANSMISOR

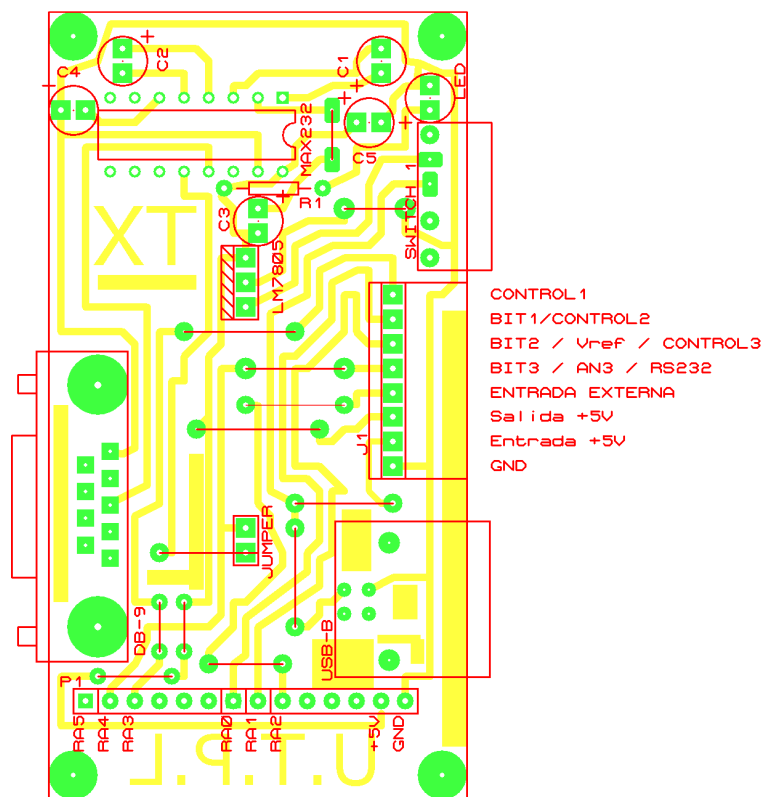


Figura E.1. Se muestra las rutas, el screen de los elementos y la descripción de los pines del conector J1, conforme se describió el esquema general del dispositivo transmisor en el Capítulo I.

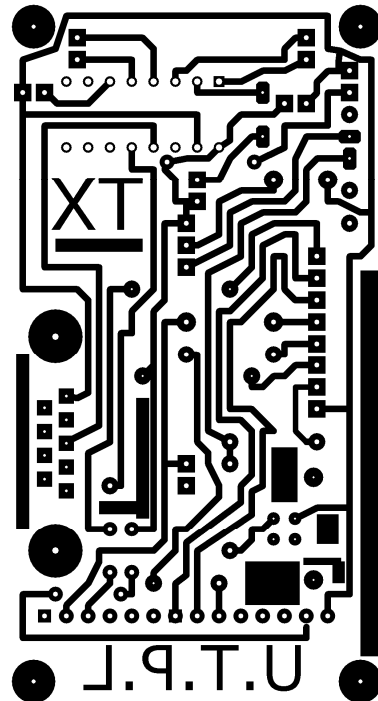


Figura E.2. Imagen utilizada para la elaboración de la PCB del dispositivo transmisor.

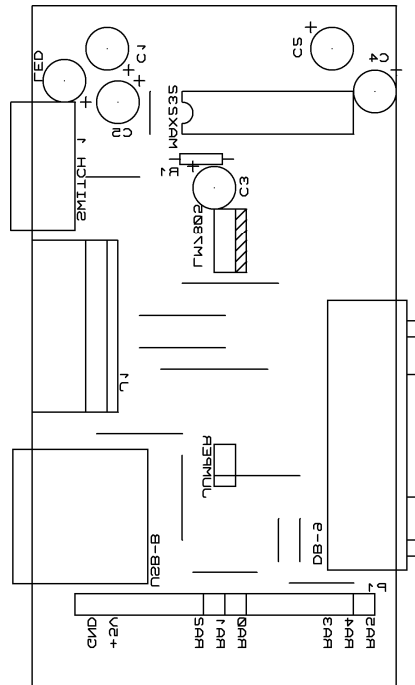
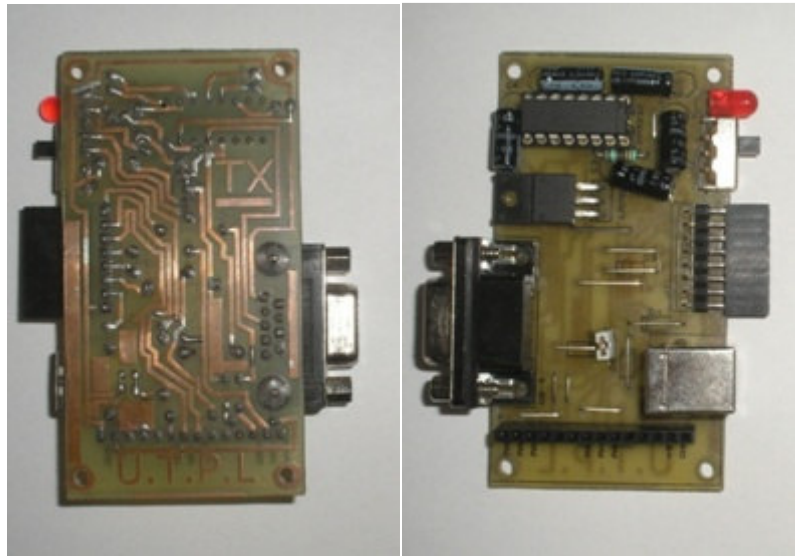


Figura E.3. Screen de los elementos del circuito, con la imagen invertida para la correcta colocación en la PCB final del dispositivo transmisor.



(a)

(b)

Figura E.4. Circuito adicional para el dispositivo transmisor a) Parte inferior  
b) Parte superior.

## RECEPTOR

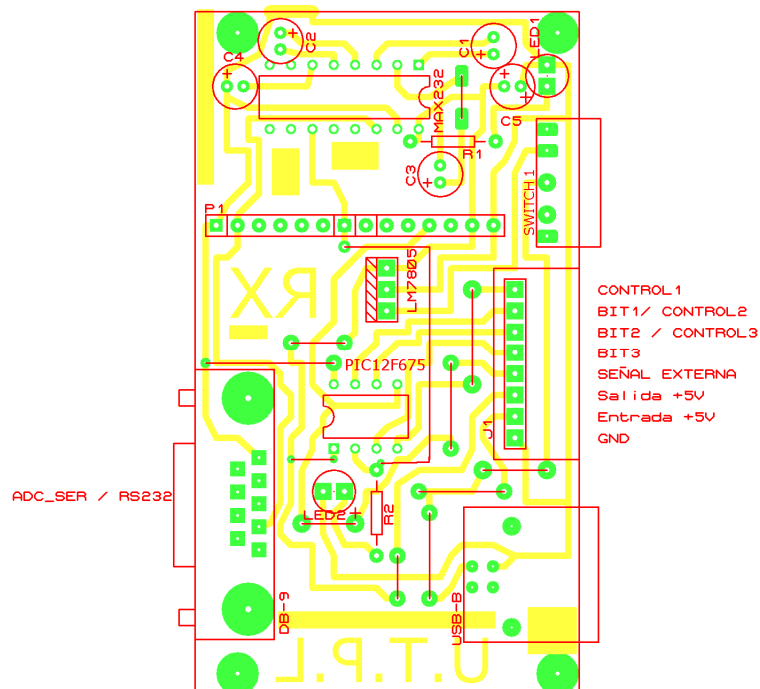


Figura E.5. Se muestra las rutas, el screen de los elementos y la descripción de los pines del conector J1, conforme se describió en el esquema general del dispositivo receptor en el Capítulo I.



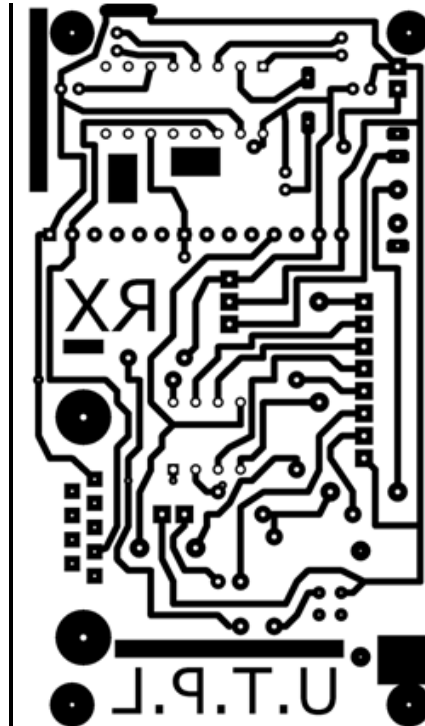


Figura E.6. Imagen utilizada para la elaboración de la PCB del dispositivo receptor.

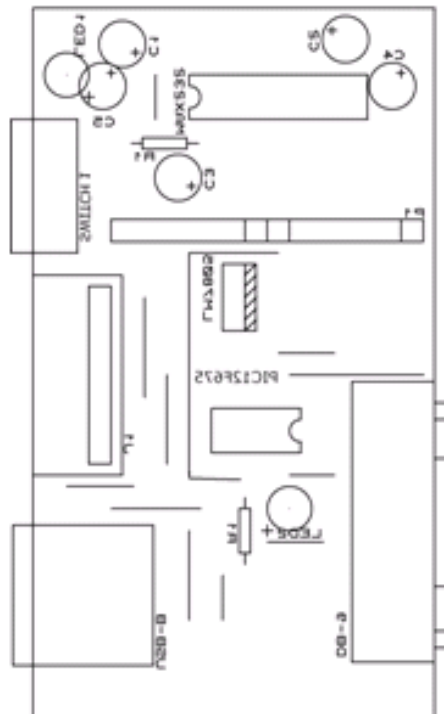
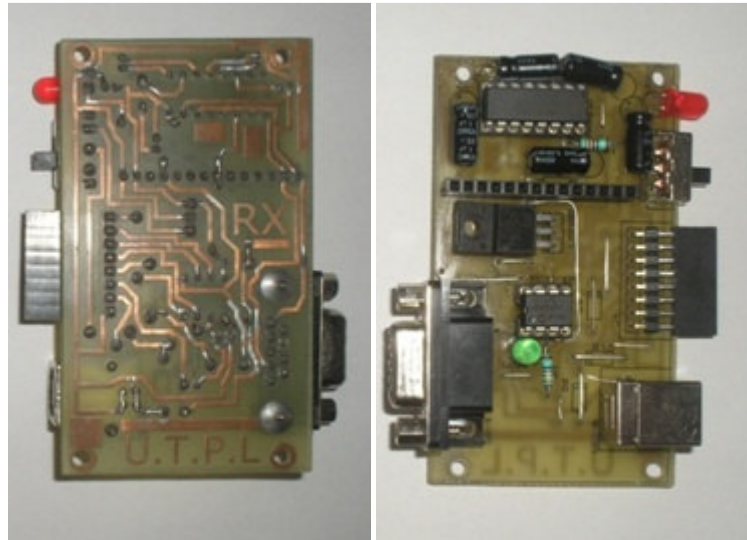


Figura E.7. Screen de los elementos del circuito, con la imagen invertida para la correcta colocación en la PCB final del dispositivo transmisor.



(a)

(b)

Figura E. 8. Circuito adicional para el dispositivo receptor a) Parte inferior  
b) Parte superior.



## ANEXO F

### COSTOS DEL PROYECTO

En ésta parte se contabilizan los costos que llevó implementar el proyecto, no con el fin de analizar la factibilidad, puesto que los módulos que se construyeron se tratan de prototipos que estarían muy lejos de competir con dispositivos pequeños para aplicaciones específicas, que venden las empresas, como por ejemplo los controles remotos para automatismos.

Los costos serán, los hechos en la construcción de los módulos transmisores y receptores, que es el objetivo principal de ésta tesis, sin las placas y los accesorios para las aplicaciones que sirven para comprobar lo realizado.

### LISTA DE MATERIALES

Unidades	Descripción	Costo \$
1	Módulo Transmisor AC164102	40
1	Módulo Receptor AC164104	40
6	Conectores DB-9	2.40
2	Switchs	0.60
10	Capacitores 0.1 $\mu$ F	1.00
3	Resistores 330 $\Omega$	0.15
3	LEDs	0.30
2	Reguladores de Voltaje 7805PI	1.00
2	Circuito Integrado MAX232	5.00
1	PIC 12F675	2.50
2	Regleta de conexión	1.00
2	Conector USB-B hembra	1.00
2	Cable USB	6.00
1	Jumper	0.10
1	Fibra de Vidrio 80 cm <sup>2</sup>	1.00
	Subtotal	102.05
	12 % IVA	12.246
	TOTAL	114.296



## ANEXO G

### REGULACIÓN

#### REGULACIÓN DE BANDAS UTILIZADAS POR LOS rfPICs INTERNACIONALMENTE

Regulación en las bandas ISM<1GHz en el mundo:

- USA/Canadá:
  - 260-470 MHz (FCC Part 15.231; 15.205)
  - 902-928 MHz (FCC Part 15.247; 15.249)
  
- EUROPA:
  - 433.050-434.790 MHz (ETSI EN300 220)
  - 863.0-870.0 MHz (ETSI EN300 220)
  
- JAPÓN:
  - 315 MHz (Aplicaciones de muy baja potencia)
  - 426-430,449,469 MHz (ARIB STD-T67)

#### REGULACIÓN DE BANDAS UTILIZADAS POR LOS rfPICs EN EL ECUADOR.

El cuadro de atribución de frecuencias en el Ecuador dispuesto por el CONATEL, en la banda que corresponde a nuestro proyecto, se muestra en la figura G.1.

En la figura G.2 se observa que en 315 MHz se autoriza los servicios: Fijo, Móvil y Móvil Satelital. Pero como el transmisor del rfPIC12F675K es de 10 mW, nos amparamos en el artículo 23 del Reglamento de Radiocomunicaciones (Resolución No. 556-21-CONATEL- 2000), que se menciona a continuación:



## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR DIGITAL DE CORTO ALCANCE



“**Artículo 23:** Sistemas que no Requieren Autorización.- Los usuarios del espectro radioeléctrico que operen equipos de radiocomunicaciones con potencias menores a 100 mW sin antenas directivas y que no correspondan a sistemas de última milla y los que operen al interior de locales, edificios y en general áreas privadas con potencias menores a 300 mW sin antenas exteriores, en cualquier tecnología, no requieren autorización del CONATEL. “.

### 300 MHz

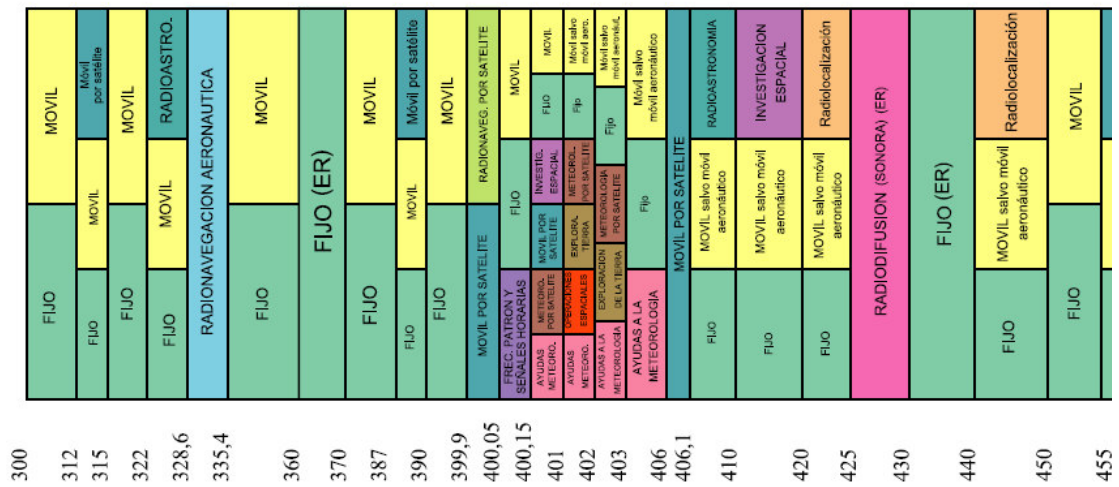


Figura G.1 Cuadro de atribución de frecuencias de 300 a 455 MHz

315 - 322 FIJO MÓVIL S5.254	315 - 322 FIJO MÓVIL S5.254	
430 - 440 RADIOLOCALIZACIÓN Aficionados S5.276 S5.278 S5.279 S5.281 S5.282	430 - 440 RADIOLOCALIZACIÓN Aficionados FIJO MÓVIL S5.276 S5.281 S5.282	EQA.100

Figura G.2 Servicios permitidos para las bandas de 315 a 322 MHz y de 430 a 440 MHz