

INTERFAZ PILOTO PARA LA INTEGRACIÓN DE BLUETOOTH Y RADIO MÓVILES



Trabajo de Grado

Cristian Diego González Hurtado

Carlos Enrique Polanco Herrera

Director: **Víctor Manuel Quintero Flórez**

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Telecomunicaciones
GRIAL – Grupo de Radio e Inalámbricas
Popayán, Enero de 2009

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|----------|
| INTRODUCCION | 1 |
| 1 MARCO TEORICO | 3 |
| 1.1 BLUETOOTH..... | 3 |
| 1.1.1 <i>Características Generales Bluetooth.....</i> | 3 |
| 1.1.1.1 Bandas de Frecuencia Operación | 5 |
| 1.1.1.2 Técnica de transmisión..... | 5 |
| 1.1.1.3 Definición del canal | 7 |
| 1.1.1.4 Definición de la trama..... | 8 |
| 1.1.1.5 Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN) | 12 |
| 1.1.1.6 Definición del enlace físico..... | 14 |
| 1.1.1.7 Esquema de modulación..... | 15 |
| 1.1.2 <i>Pila de protocolos de Bluetooth.....</i> | 16 |
| 1.1.3 <i>Descripción de los niveles y protocolos de la tecnología Bluetooth.....</i> | 17 |
| 1.1.3.1 Nivel de banda base e interfaz de radio..... | 17 |
| 1.1.3.2 Protocolo de Gestión de Enlace (LMP, <i>Link Manager Protocol</i>)..... | 17 |
| 1.1.3.3 Interfaz Controladora de Host (HCI, <i>Host Controller Interface</i>)..... | 17 |
| 1.1.3.4 Protocolo de Adaptación y Control del Enlace Lógico (L2CAP, <i>Logical Link Control and Adaptation Protocol</i>)..... | 18 |
| 1.1.3.5 Protocolo de Descubrimiento de Servicios (SDP, <i>Service Discovery Protocol</i>)..... | 18 |
| 1.1.3.6 Nivel de Comunicación de Radio Frecuencia (RFCOMM, <i>Radio Frequency Communication</i>)..... | 19 |
| 1.2 SISTEMAS DE RADIO..... | 19 |
| 1.2.1 <i>Elementos de un sistema de radio.....</i> | 19 |
| 1.2.1.1 Fuente de señal | 20 |
| 1.2.1.2 Transductor de entrada..... | 21 |
| 1.2.1.3 Amplificadores..... | 21 |
| 1.2.1.4 Oscilador de RF..... | 21 |
| 1.2.1.5 Modulador..... | 21 |
| 1.2.1.6 Antena transmisora / receptora..... | 21 |
| 1.2.1.7 Oscilador local..... | 22 |
| 1.2.1.8 Mezclador..... | 22 |
| 1.2.1.9 Detector..... | 22 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1.2.1.10 | Dispositivo de salida..... | 22 |
| 1.2.1.11 | Control..... | 22 |
| 1.2.2 | <i>Tipos de sistemas de comunicación móvil terrestres.....</i> | 22 |
| 1.2.3 | <i>Sistemas convencionales de radio.....</i> | 23 |
| 1.2.4 | <i>Sistemas Troncales (Trunking System).....</i> | 23 |
| 1.2.5 | <i>Parámetros importantes de un radio móvil.....</i> | 24 |
| 1.2.5.1 | Selectividad..... | 24 |
| 1.2.5.2 | Sensitividad..... | 24 |
| 1.2.5.3 | Rango dinámico..... | 24 |
| 1.2.5.4 | Ancho de banda y potencia de transmisión..... | 25 |
| 1.2.6 | <i>Otras tecnologías móviles y radio móviles.....</i> | 25 |
| 1.2.7 | <i>Otras tecnologías de redes inalámbricas de área personal.....</i> | 25 |
| 1.3 | MICROPROCESADOR / MICROCONTROLADOR..... | 26 |
| 1.3.1 | <i>Microprocesador.....</i> | 26 |
| 1.3.1.1 | Unidad Lógico Aritmética (ALU, <i>Aritmetic Logic Unit</i>)..... | 27 |
| 1.3.1.2 | Sección de registro..... | 27 |
| 1.3.1.3 | Sección de control y temporización..... | 27 |
| 1.3.2 | <i>Microcontrolador.....</i> | 27 |
| 1.3.2.1 | Entrada / Salida (I/O, <i>Input/Output</i>)..... | 28 |
| 1.3.2.2 | Unidad de Procesamiento Central (CPU, <i>Central Processor Unit</i>)..... | 28 |
| 1.3.2.3 | Memoria..... | 28 |
| 1.3.2.4 | Características de un microcontrolador..... | 28 |
| 2 | DESCRIPCIÓN DE LA INTERFAZ PILOTO PARA LA INTEGRACIÓN DE BLUETOOTH Y RADIO MÓVILES.. | 31 |
| 2.1 | GENERALIDADES..... | 31 |
| 2.2 | DIAGRAMA EN BLOQUES DEL SISTEMA GENERAL..... | 31 |
| 2.2.1 | <i>Bloque Bluetooth esclavo.....</i> | 33 |
| 2.2.2 | <i>Bloque Bluetooth maestro.....</i> | 34 |
| 2.2.3 | <i>Bloque radio móvil PDC.....</i> | 35 |
| 2.2.4 | <i>Bloque radio móvil EC.....</i> | 36 |
| 2.2.5 | <i>Bloque central.....</i> | 36 |
| 2.3 | PROCESO DE COMUNICACIÓN..... | 36 |
| 2.3.1 | <i>Fase 1 Módulo maestro.....</i> | 37 |
| 2.3.2 | <i>Fase 2 Bloque radio móvil.....</i> | 40 |
| 2.3.3 | <i>Fase 3 Bloque estación central.....</i> | 41 |
| 2.3.4 | <i>Diagramas de flujo rutinas y eventos.....</i> | 41 |
| 2.3.4.1 | Diagrama general de secuencia..... | 41 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 2.3.4.2 | Diagrama de flujo del punto de control..... | 43 |
| 2.3.4.3 | Diagrama de flujo de la estación central. | 45 |
| 3 | PROTOCOLO DE COMUNICACIONES..... | 47 |
| 3.1 | GENERALIDADES..... | 47 |
| 3.2 | PROTOCOLO IMPLEMENTADO..... | 48 |
| 3.3 | SECUENCIA DE COMUNICACIÓN..... | 50 |
| 3.3.1 | <i>Comunicación móvil – punto de control.</i> | <i>50</i> |
| 3.3.2 | <i>Comunicación punto de control – estación central.....</i> | <i>51</i> |
| 4 | PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO | 52 |
| 4.1 | DESCRIPCIÓN DE DISPOSITIVOS..... | 52 |
| 4.1.1 | <i>Adaptador LM 058.....</i> | <i>52</i> |
| 4.1.2 | <i>Radio Motorola PRO3100.....</i> | <i>53</i> |
| 4.1.3 | <i>PIC 16F877.....</i> | <i>54</i> |
| 4.2 | DESCRIPCIÓN DE HERRAMIENTAS SOFTWARE..... | 55 |
| 4.2.1 | <i>Proteus.....</i> | <i>55</i> |
| 4.2.2 | <i>Virtual Serial Port Driver.....</i> | <i>56</i> |
| 4.2.3 | <i>HyperTerminal.....</i> | <i>56</i> |
| 4.2.4 | <i>Compilador C para PICs.....</i> | <i>57</i> |
| 4.2.5 | <i>EPICWIN.....</i> | <i>57</i> |
| 4.2.6 | <i>PHP y MYSQL.....</i> | <i>58</i> |
| 4.3 | CONFIGURACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS LM 058..... | 60 |
| 4.4 | CARACTERIZACION DEL RADIO MÓVIL PRO3100..... | 62 |
| 4.4.1 | <i>Desviación de frecuencia (Δf).....</i> | <i>63</i> |
| 4.4.2 | <i>Calculo del ancho de banda B teórico.....</i> | <i>64</i> |
| 4.4.3 | <i>Potencia transmitida y reflejada.....</i> | <i>65</i> |
| 4.4.4 | <i>Sensibilidad.....</i> | <i>65</i> |
| 4.5 | ENLACE LM 058 – LM 058 CON HYPERTERMINAL..... | 67 |
| 4.6 | ENLACE MÓVIL - PC CON HYPERTERMINAL..... | 69 |
| 4.6.1 | <i>Simulación.....</i> | <i>69</i> |
| 4.6.2 | <i>Implementación hardware.....</i> | <i>72</i> |
| 4.7 | ENLACE PUNTO DE CONTROL – PC CON HYPERTERMINAL..... | 75 |
| 4.7.1 | <i>Simulación.....</i> | <i>75</i> |
| 4.7.2 | <i>Implementación hardware.....</i> | <i>77</i> |
| 4.8 | ENLACE MÓVIL – PUNTO DE CONTROL..... | 78 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 4.8.1 | Simulación..... | 78 |
| 4.8.2 | Implementación hardware..... | 80 |
| 4.9 | ENLACE PUNTO DE CONTROL - ESTACION CENTRAL..... | 81 |
| 4.9.1 | Simulación..... | 81 |
| 4.9.2 | Implementación hardware..... | 86 |
| 4.9.2.1 | Etapa reductora | 87 |
| 4.9.2.2 | Adaptador Impedancia Tx..... | 87 |
| 4.9.2.3 | MAX232..... | 88 |
| 4.9.2.4 | Adaptador Impedancia RX..... | 88 |
| 4.9.2.5 | Bloqueo DC..... | 88 |
| 4.9.2.6 | Amplificador..... | 89 |
| 4.9.2.7 | Regenerador e inversor de pulsos..... | 89 |
| 4.9.2.8 | RS232 PC / LM 058..... | 90 |
| 4.10 | MEDIDA DE LA TASA DE ERROR DE BIT (BER, BIT ERROR RATE) | 90 |
| 4.11 | DIAGRAMA ELECTRICO DE LAS INTERFACES..... | 90 |
| 5 | CONCLUSIONES..... | 93 |
| | BIBLIOGRAFIA | 95 |
| | ACRONIMOS | 98 |

INDICE DE TABLAS

| | | |
|---------|---|----|
| TABLA 1 | DISTRIBUCIÓN DE BANDAS BLUETOOTH..... | 4 |
| TABLA 2 | CLASES DE BLUETOOTH | 5 |
| TABLA 3 | ESQUEMAS DE MODULACIÓN | 15 |
| TABLA 4 | LOCALIZACIÓN PROTOCOLOS BLUETOOTH EN UN SISTEMA DE COMUNICACIONES | 16 |
| TABLA 5 | CARACTERÍSTICAS DE LOS MICROCONTROLADORES..... | 30 |
| TABLA 6 | LONGITUD DE LOS CAMPOS DE LA TRAMA DE INFORMACIÓN | 49 |
| TABLA 7 | CONFIGURACIÓN DEL RADIO MOTOROLA PRO3100..... | 53 |
| TABLA 8 | DESVIACIÓN DE FRECUENCIA VS VOLTAJE | 64 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1 TÉCNICA DE TRANSMISIÓN | 6 |
| FIGURA 2 SALTO DE FRECUENCIA/DUPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE TIEMPO. | 7 |
| FIGURA 3 TRAMA BLUETOOTH..... | 9 |
| FIGURA 4 PICORED | 13 |
| FIGURA 5 RED DISPERSA | 14 |
| FIGURA 6 NIVEL DE PROTOCOLOS DE BLUETOOTH | 16 |
| FIGURA 7 DIAGRAMA DE LOS COMPONENTES Y BLOQUES DE UN TRANSCEPTOR | 20 |
| FIGURA 8 BLOQUES PRINCIPALES DE UN MICROPROCESADOR | 26 |
| FIGURA 9 DIAGRAMA EN BLOQUES DEL MICROCONTROLADOR. | 28 |
| FIGURA 10 DIAGRAMA GENERAL Y BLOQUES PRINCIPALES DEL SISTEMA GENERAL | 32 |
| FIGURA 11 DIAGRAMA BLOQUE BLUETOOTH ESCLAVO | 34 |
| FIGURA 12 DIAGRAMA BLOQUE BLUETOOTH MAESTRO..... | 35 |
| FIGURA 13 BLOQUE RADIO MÓVIL PDC | 36 |
| FIGURA 14 FASES DEL PROCESO DE COMUNICACIÓN | 37 |
| FIGURA 15 UNIDADES FUNCIONALES EN LA FASE 1 MÓDULO MAESTRO..... | 38 |
| FIGURA 16 DIAGRAMA DE SECUENCIA DE COMUNICACIÓN PARA LOS BLOQUE BLUETOOTH | 39 |
| FIGURA 17 SISTEMA GENERAL DE COMUNICACIONES | 40 |
| FIGURA 18 DIAGRAMA SECUENCIAL GENERAL DEL SISTEMA | 42 |
| FIGURA 19 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PUNTO DE CONTROL | 44 |
| FIGURA 20 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA CENTRAL..... | 45 |
| FIGURA 21 BLOQUES DEL SISTEMA..... | 47 |
| FIGURA 22 CAMPOS TRAMA DE INFORMACIÓN | 49 |
| FIGURA 23 SECUENCIA DE COMUNICACIÓN PUNTO DE CONTROL – OBJETO MÓVIL | 50 |
| FIGURA 24 SECUENCIA DE COMUNICACIÓN PUNTO DE CONTROL – ESTACIÓN CENTRAL | 51 |
| FIGURA 25 ADAPTADOR LM 058 | 52 |
| FIGURA 26 RADIO MOTOROLA PRO3100 | 53 |
| FIGURA 27 CONFIGURACIÓN PINES RADIO MOTOROLA PRO3100..... | 54 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 28 PIC 16F877..... | 54 |
| FIGURA 29 ENTORNO PHP | 58 |
| FIGURA 30 CONFIGURACIÓN PUERTO HYPERTERMINAL | 60 |
| FIGURA 31 MONTAJE PARA EL CÁLCULO DE LA DESVIACIÓN DE FRECUENCIA ΔF | 63 |
| FIGURA 32 DESVIACIÓN DE FRECUENCIA VS VOLTAJE DE ENTRADA..... | 64 |
| FIGURA 33 MONTAJE PARA EL VALOR DE LA POTENCIA Y ROE | 65 |
| FIGURA 34 MONTAJE PARA EL VALOR DE SENSIBILIDAD | 66 |
| FIGURA 35 CREACIÓN DE SESIÓN HYPERTERMINAL | 67 |
| FIGURA 36 SELECCIÓN DEL PUERTO PARA COMUNICACIÓN | 68 |
| FIGURA 37 CONFIGURACIÓN PUERTO HYPERTERMINAL | 68 |
| FIGURA 38 CONFIRMACIÓN DE ENLACE HACIENDO USO DE HYPERTERMINAL | 69 |
| FIGURA 39 ESQUEMA DE SIMULACIÓN ENLACE MÓVIL – PC CON HYPERTERMINAL..... | 70 |
| FIGURA 40 CONFIGURACIÓN PUERTO SERIE PROTEUS..... | 70 |
| FIGURA 41 CONFIGURACIÓN PUERTO HYPERTERMINAL | 71 |
| FIGURA 42 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO SIMULACIÓN ENLACE MÓVIL - PC | 72 |
| FIGURA 43 CONEXIÓN DIRECTA PIC TRANSMISOR - PC | 73 |
| FIGURA 44 RESULTADO DE RECEPCIÓN CLAVE HYPERTERMINAL | 73 |
| FIGURA 45 PIC TRANSMISOR CON LM 058 | 74 |
| FIGURA 46 LM 058 COMO RECEPTOR..... | 74 |
| FIGURA 47 ESQUEMA DE SIMULACIÓN COMUNICACIÓN PUNTO DE CONTROL –PC CON HYPERTERMINAL..... | 76 |
| FIGURA 48 RESULTADO SIMULACIÓN COMUNICACIÓN PUNTO DE CONTROL – PC CON HYPERTERMINAL..... | 76 |
| FIGURA 49 CONEXIÓN HARDWARE PUNTO DE CONTROL - PC | 77 |
| FIGURA 50 RESULTADO EN EL DESPLIEGUE PUNTO DE CONTROL | 78 |
| FIGURA 51 ESQUEMA DE SIMULACIÓN COMUNICACIÓN OBJETO MÓVIL - PUNTO DE CONTROL..... | 79 |
| FIGURA 52 RESULTADO SIMULACIÓN COMUNICACIÓN OBJETO MÓVIL – PUNTO DE CONTROL..... | 80 |
| FIGURA 53 IMPLEMENTACIÓN HARDWARE COMUNICACIÓN OBJETO MÓVIL – PUNTO DE CONTROL | 81 |
| FIGURA 54 ESQUEMA DE SIMULACIÓN COMUNICACIÓN PUNTO DE CONTROL – ESTACIÓN CENTRAL..... | 82 |
| FIGURA 55 CREACIÓN DE PUERTOS VIRTUALES..... | 83 |
| FIGURA 56 CONFIGURACIÓN COMPONENTE P1 | 83 |
| FIGURA 57 CONFIGURACIÓN COMPONENTE P2 | 84 |
| FIGURA 58 CONFIGURACIÓN SESIÓN HYPERTERMINAL PUERTO 5..... | 84 |
| FIGURA 59 CONFIGURACIÓN SESIÓN HYPERTERMINAL PUERTO 6..... | 85 |
| FIGURA 60 INICIO SIMULACIÓN COMUNICACIÓN PUNTO DE CONTROL – ESTACIÓN CENTRAL | 85 |
| FIGURA 61 RESULTADO SIMULACIÓN COMUNICACIÓN PUNTO DE CONTROL - ESTACIÓN CENTRAL | 86 |
| FIGURA 62 ETAPAS HARDWARE DE LA COMUNICACIÓN PUNTO DE CONTROL – ESTACIÓN CENTRAL..... | 87 |

| | |
|---|----|
| FIGURA 63 ETAPA REDUCTORA | 87 |
| FIGURA 64 ADAPTADOR DE IMPEDANCIA TX..... | 88 |
| FIGURA 65 BLOQUEO DC..... | 89 |
| FIGURA 66 ETAPA DE AMPLIFICACIÓN..... | 89 |
| FIGURA 67 REGENERADOR E INVERSOR DE PULSOS..... | 89 |
| FIGURA 68 DIAGRAMA ELÉCTRICO PDC..... | 91 |
| FIGURA 69 DIAGRAMA ELÉCTRICO EC..... | 91 |
| FIGURA 70 DIAGRAMA ELÉCTRICO OBJETO MÓVIL | 92 |

INTRODUCCION

En Colombia los sistemas radio móvil son utilizados en diferentes áreas, como son: transporte (pasajeros, carga), seguridad (publica, privada), comunicación de grupos cerrados de usuarios, monitoreo y control, telemetría, localización, servicios de emergencia y médicos, etc. brindando servicios de comunicación de voz y datos.

En las áreas del transporte y seguridad, las capacidades de los radio móviles no son aprovechadas completamente, limitándose a su función básica, comunicación de voz, debido a la falta de desarrollo y comercialización de aplicaciones que brinden servicios diferentes sobre estos sistemas.

Bluetooth es una tecnología inalámbrica que ha incursionado a nivel mundial y en Colombia con gran fuerza, gracias a la comercialización que realizan las empresas de telefonía móvil, al ofrecer equipos celulares que cuentan con esta tecnología, así como también la introducción de periféricos para computadores, como por ejemplo, teclados inalámbricos, ratones, cámaras web, chips USB-Bluetooth, etc. basados en esta tecnología y que permite la conexión de estos periféricos con el computador sin necesidad de cables.

De esta forma se planteó el desarrollo de una interfaz piloto de que permita la interconexión de un radio de dos vías convencional de comunicación móvil con dispositivos Bluetooth para ampliar las posibilidades de comunicación de los radios y permitir el desarrollo de nuevas aplicaciones software y servicios que utilicen las características de comunicación de los dispositivos Bluetooth actuales y los radio móviles convencionales.

En principio y haciendo uso de la interfaz piloto en uno de los extremos del sistema radio móvil, se desea enviar un código de verificación desde el equipo transmisor radio móvil hasta el equipo receptor radio móvil. La interfaz piloto estará formada por los módulos Bluetooth y se hará uso de equipos radios móviles con puertos propietarios, los cuales pueden ser adaptados para procesar señales de información. El código transmitido será visualizado para su correspondiente verificación en un despliegue ubicado en la interfaz. En un entorno practico este código almacenado en un dispositivo transmisor con soporte Bluetooth, el cual se encuentra dentro de un móvil, permitirá el reconocimiento del mismo en una base de datos, la cual brinda información sobre el móvil, multas de transito, perdida, hurto.

Este documento está dividido en 5 capítulos. El primer capítulo presenta la descripción teórica de las tecnologías involucradas en el desarrollo del trabajo de grado como son Bluetooth, sistemas radio, microcontroladores y microprocesadores. En el capitulo dos se hace una descripción de los componentes principales de la interfaz piloto para la integración de Bluetooth y radio móviles. Para el desarrollo de la interfaz piloto para la integración de Bluetooth y radio móviles se diseño e implemento un protocolo de comunicaciones. Las características de este protocolo se describen en el capítulo 3. El capitulo 4 muestra cronológicamente las pruebas software y hardware diseñadas e implementadas en el desarrollo de la interfaz piloto. Finalmente, el capitulo 5 presenta las conclusiones obtenidas en el desarrollo del trabajo de grado.

1 MARCO TEORICO

En el desarrollo de este trabajo de grado existen varios aspectos teóricos que son importantes. En el marco teórico se realizará una breve descripción de la tecnología Bluetooth, los sistemas radios móviles, las características más importantes de los microprocesadores y microcontroladores, su aporte al desarrollo de la interfaz piloto para la integración de Bluetooth y radio móviles.

1.1 BLUETOOTH

En 1994 la compañía Ericsson quería eliminar los cables entre los dispositivos móviles que fabricaba y sus accesorios, para ello inició la investigación de una interfaz radio de baja potencia y bajo costo, de esta forma surgió el Grupo de Interés Especial (SIG, *Special Interest Group*) en el año 1998 con las compañías Ericsson, IBM, Intel, Nokia y Toshiba. Este grupo ha sido el encargado del desarrollo del estándar Bluetooth desde entonces [1].

1.1.1 Características Generales Bluetooth

Bluetooth es una especificación para comunicaciones inalámbricas de voz y datos para Dispositivos de Corto Alcance (SRD, *Short Range Device*) que funciona en la banda de 2.4 Ghz a 2.4835 Ghz que se divide en 79 canales de 1Mhz y es de libre uso en la mayoría de los países del mundo (con algunas excepciones como Japón, Francia y España donde se define una banda más pequeña, 23 canales de RF con un

espaciamiento de 1 Mhz). Su objetivo principal es reemplazar los cables de conexión entre los diferentes dispositivos móviles y fijos, además de permitir la comunicación de varios dispositivos en Redes de Área Personal (PAN, *Personal Area Network*).

Los principios que se deben cumplir para que sistemas con tecnología Bluetooth operen correctamente son:

- Los sistemas deben funcionar en cualquier parte del mundo. En Japón, Francia y España se define unas bandas más pequeñas por regulaciones internas de estos países. La asignación de bandas de frecuencia Bluetooth se observa en la tabla 1[1].

Tabla 1 Distribución de bandas Bluetooth

| PAIS | BANDA (Mhz) | FRECUENCIA DE CANAL (Mhz) | # CANAL |
|-------------------------|-----------------|---------------------------|---------------|
| Europa y Estados Unidos | 2400 – 2483.5 | $f=2402 + k$ | $k=0\dots,78$ |
| Japón | 2471 – 2497 | $f=2473 + k$ | $k=0\dots,22$ |
| España | 2445 – 2475 | $f=2449 + k$ | $k=0\dots,22$ |
| Francia | 2446.5 – 2483.5 | $f=2454 + k$ | $k=0\dots,22$ |

- El transmisor de radio debe consumir poca energía debido a que se usará en dispositivos móviles que utilizan baterías.
- Los sistemas deben soportar la transmisión de voz y datos [2].

Existen 3 clases diferentes de dispositivos Bluetooth según su nivel de potencia en antena. Estas clases se muestran en la tabla 2 [3] [4].

Tabla 2 Clases de Bluetooth

| Clase | Potencia máxima permitida (mW) | Potencia máxima permitida (dBm) | Rango (metros) |
|----------------|---------------------------------------|--|-----------------------|
| Clase 1 | 100 | 20 | ~100 |
| Clase 2 | 2.5 | 4 | ~10 |
| Clase 3 | 1 | 0 | ~1 |

1.1.1.1 Bandas de Frecuencia Operación

La tecnología Bluetooth opera en la banda de radiofrecuencia libre comprendida entre 2.4 Ghz y 2.4835 Ghz también llamada la banda de aplicaciones Industriales, Científicas y Medicas (ISM, *Industrial Scientific and Medical*), se ha definido una banda de guarda superior de 3.5 Mhz y una inferior de 2 Mhz. La banda ISM de 2.4 Ghz es de uso global excepto en los países ya mencionados.

1.1.1.2 Técnica de transmisión

Bluetooth emplea la técnica de transmisión de Espectro Ensanchado por Salto de Frecuencia (FHSS, *Frequency Hopping Spread Spectrum*) para evitar las interferencias que se producen al utilizar una banda de uso libre. En esta técnica se transmite una parte de la información en una determinada frecuencia durante un intervalo de tiempo llamado “*dwell time*”, inferior a 400ms, para el caso de Bluetooth es de 625us. Transcurrido este tiempo se cambia de canal y se continúa la comunicación en la nueva frecuencia. De esta manera cada paquete de información se va transmitiendo en una frecuencia distinta durante un intervalo muy corto de tiempo. Esta técnica utiliza la banda de los 2.4Ghz, con 79 canales cada uno con un ancho de banda de 1Mhz, como se observa en la figura 1.

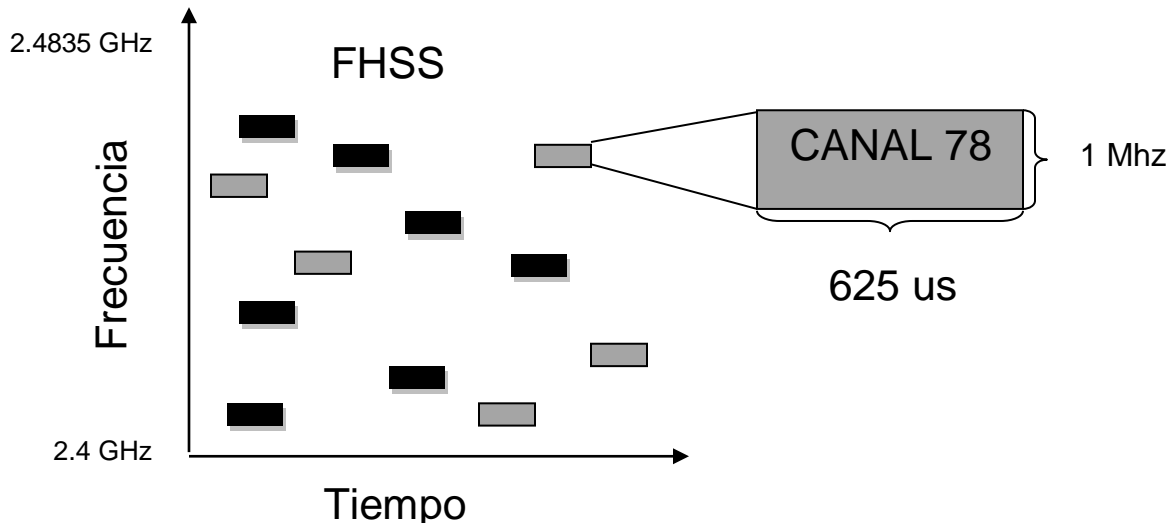


Figura 1 Técnica de transmisión

El orden de los saltos en frecuencia se determina según la Secuencia Seudo Aleatoria (PN, *Pseudo Number Sequence*) que es generada a partir de la dirección y el reloj del maestro y es almacenada en unas tablas, que tanto el transmisor como el receptor conocen. Si se mantiene la sincronización en los saltos de frecuencias se consigue que, aunque en el tiempo se cambie de canal físico, a nivel lógico se mantenga un solo canal por el que se realiza la comunicación.

Esta técnica de transmisión presenta las siguientes ventajas:

- Las señales en espectro ensanchado son altamente resistentes al ruido y a la interferencia de banda estrecha, son difíciles de interceptar.
- Una transmisión de este tipo suena como un ruido de corta duración, excepto para el receptor que conoce la secuencia usada por el transmisor con lo cual puede decodificar los datos enviados.
- Las transmisiones en espectro ensanchado pueden compartir una banda de frecuencia con muchos tipos de transmisiones convencionales con mínima interferencia.

1.1.1.3 Definición del canal

Bluetooth utiliza el esquema Salto de Frecuencia/ Duplexación por División de Tiempo (FH/TDD, *Frequency Hopping/ Time Division Duplex*) (Figura 2). El canal básico tiene un ancho de banda de 1 Mhz. Un intervalo de tiempo t tiene una duración de $625\mu s$. Durante cada intervalo de tiempo se utiliza un canal de frecuencia distinta., Para determinar el número total de saltos en un segundo se utiliza la siguiente formula.

$$Tasa\ de\ saltos = \frac{1salto}{625us} = 1600saltos/s \quad (1)$$

Esto da una frecuencia de saltos de 1600 saltos por segundo, en la que un dispositivo ocupa un intervalo y una frecuencia para transmitir y un intervalo y una frecuencia distintos para recibir. De esta forma los enlaces de subida (UL, *Uplink*) y bajada (DL, *Downlink*) usan diferentes frecuencias en diferentes intervalos de tiempo, como lo muestra la figura 2 en la que en las frecuencias f_k y f_{k+2} transmite el maestro y en la frecuencia f_{k+1} recibe.

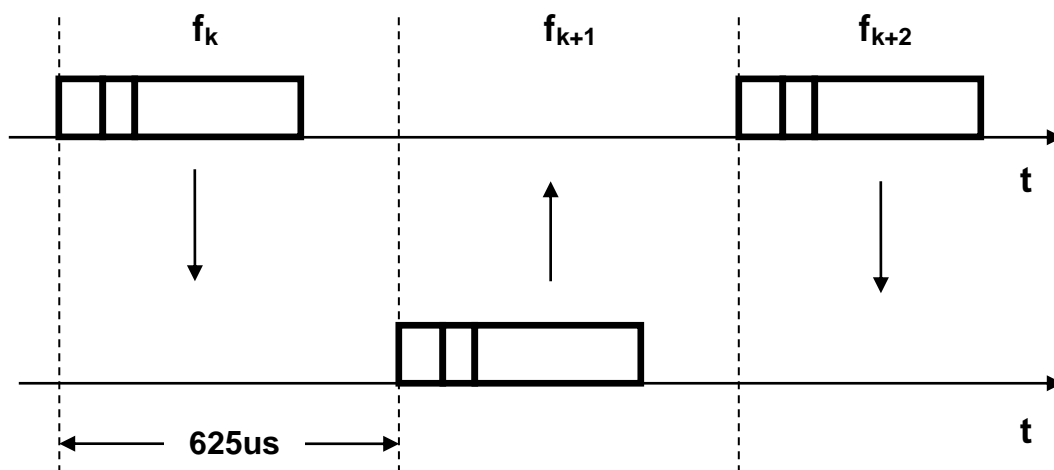


Figura 2 Salto de frecuencia/Duplexación por división de tiempo.

1.1.1.4 Definición de la trama.

Cada trama comienza con un código de acceso de 72-bits que se obtiene de la identidad del maestro y es único para el canal (Figura 3). Sobre la red de área personal se comparan las señales de llegada con el código de acceso. Si las dos no coinciden, la trama es considerada no válida sobre el canal y el resto del contenido es ignorado. Además de identificar la trama, el código de acceso también es usado para sincronización y compensación (offset). En Bluetooth, la secuencia pseudoaleatoria queda fijada por la identidad de la unidad maestra de la red de área personal (un código único para cada equipo) y la señal de reloj, por lo que, para que una unidad esclava pueda sincronizarse con una unidad maestra, ésta primera debe añadir un ajuste a su propio reloj (offset) y así compartir la misma secuencia de salto de frecuencia. Existen tres tipos de código de acceso:

- Código de acceso al canal: Este código se incluye en todos los paquetes transmitidos sobre la red Bluetooth e identifica la red personal a la que pertenecen los paquetes.
- Código de acceso al dispositivo: Este código lo usa el maestro para llamar a un esclavo. Además, este código tiene propósitos de señalización.
- Código de acceso de petición: Este código se usa cuando un dispositivo desea descubrir otros dispositivos. Existen dos clases, general para descubrir todos los dispositivos en un rango y dedicado si se necesita descubrir un dispositivo con características específicas.

Seguido del código de acceso está el encabezado que contiene información sobre el reconocimiento del paquete importante para el control. Contiene 3 bits de dirección, 4 bits para el tipo de paquete, 1 bit de control de flujo de bits, 2 bits para esquema de Solicitud de Retransmisión Automática (ARQ, *Automatic Retransmission Query*) y 8 bits de Verificación de Error de Encabezado (HEC, *Header Error Check*). El encabezado tiene una longitud fija de 54-bits. La carga útil o los datos de información pueden o no seguir después del encabezado. La longitud de la carga útil puede variar de 0 a 2745 bits. La

carga útil puede contener voz, datos o ambos. Si contiene datos, también tendrá un encabezado de datos dentro de la Carga Útil (PH, *Payload Header*) [4].

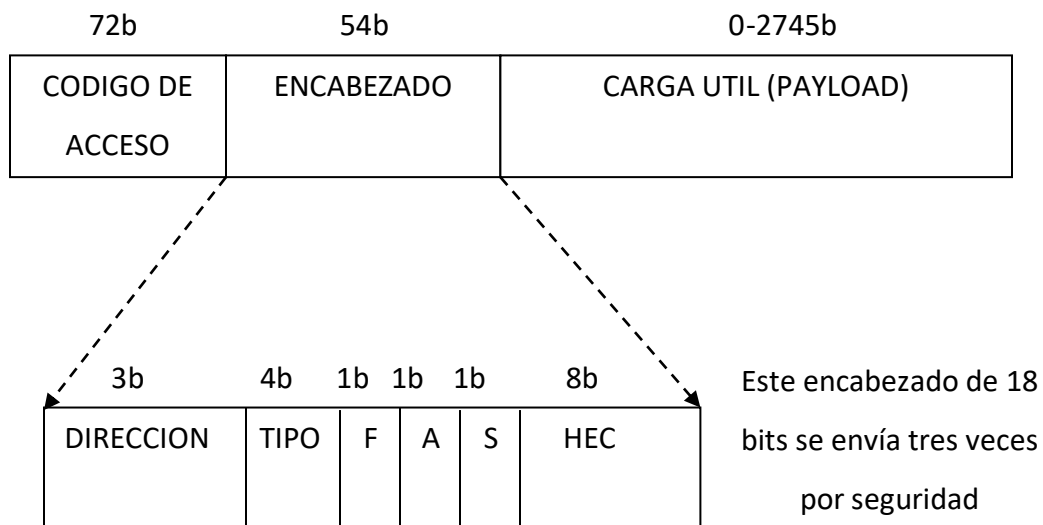


Figura 3 Trama Bluetooth

- **DIRECCION:** Este campo indica la dirección de destino del esclavo en una transmisión maestro-esclavo, o la dirección de origen del esclavo en una transmisión esclavo-maestro. Está compuesto de 3 bits los cuales permiten identificar un máximo de 8 esclavos.
- **TIPO:** Especifica el tipo de paquete. Existen 16 tipos de paquetes que se relacionan con el transporte lógico que emplean. Estos transportes lógicos pueden ser:
 - Sincrónico Orientado a Conexión (SCO, *Synchronous Connection-Oriented*), son transportes lógicos punto a punto sobre una red de área personal entre un maestro y un esclavo, transporta voz o datos sincrónicos. El maestro mantiene el sincronismo reservando intervalos en periodos regulares de tiempo.
 - Sincrónico Orientado a Conexión Extendido (eSCO, *Extended Synchronous Connection-Oriented*), son transportes lógicos punto a punto y además de los

intervalos de tiempo reservados pueden contener una ventana de retransmisión después de estos intervalos.

- Asíncrono Orientado a Conexión (ACL, *Asynchronous Connection-Oriented*), son transportes lógicos punto a punto y en los intervalos de tiempo no reservados, el maestro puede establecer enlaces ACL en un intervalo básico.

Para estos tipos de transporte se definen 16 clases de paquetes con los 4 bits:

- 0000-0011 son paquetes de control y ocupan un intervalo de tiempo.
 - 0100-1001 son paquetes que ocupan un intervalo de tiempo.
 - 1010-1101 son paquetes que ocupan 3 intervalos de tiempo.
 - 1110-1111 son paquetes que ocupan 5 intervalos de tiempo.
- F: Control de flujo.

El bit de control de flujo es usado para controlar el flujo de paquetes sobre transporte lógicos ACL. Cuando el buffer del receptor se encuentra lleno, F toma el valor de cero ($F=0$) para detener la transmisión desde el otro dispositivo temporalmente, esta detención solo afecta a paquetes ACL. Cuando el buffer del receptor puede aceptar datos, F toma el valor de uno ($F=1$) lo que permite al otro dispositivo continuar transmitiendo.

- A: ARQN Reconocimiento.

Este bit es usado para informar al origen de la transferencia positiva de la información ACK ($ARQN=1$) o negativa NAK ($ARQN=0$).

- S: SEQN Secuencia

El bit de secuencia proporciona un esquema de numeración secuencial para ordenar el flujo del paquete de datos. Para cada nuevo paquete transmitido que contiene datos de detección de errores de Código de Redundancia Cíclica (CRC,

Cyclic Redundancy Check) el bit de secuencia se invierte. Esto es necesario para filtrar las retransmisiones.

- HEC: Verificación de Errores de Encabezado.

Cada encabezado tiene un código de verificación de error de encabezado para comprobar su integridad. El HEC es inicializado con un valor de 8 bits, después de la inicialización se calcula el HEC para los diez bits del encabezado. En el receptor si el HEC no concuerda con el HEC del transmisor el paquete entero se descarta.

Bluetooth implementa 5 esquemas de detección de error que son:

1. HEC

Se usa solamente en el encabezado, su polinomio generador es:

$$g(D) = D^8 + D^7 + D^5 + D^2 + D + 1 \quad (2)$$

Si en el receptor el HEC no concuerda se descarta el paquete.

2. Código de Verificación de Redundancia Cíclica de 16 bits (CRC, *Cyclic Redundancy Check*)

Se usa para proteger la carga útil (*Payload*) y su polinomio generador es:

$$g(D) = D^{16} + D^{12} + D^5 + 1 \quad (3)$$

Si en el receptor el CRC no concuerda se utiliza un esquema de Solicitud de Retransmisión Automática (ARQ, *Automatic Repeat Request*) para solicitar el reenvío del paquete.

3. Corrección de Error hacia Adelante de Tasa 1/3 (*1/3 Rate Forward Error Correction*)

Consiste en enviar tres veces los datos a proteger. Se utiliza en enlaces con una probabilidad de error muy alta. También se implementa en el encabezado que se transmite tres veces. Este encabezado implementa HEC sobre sus 10 bits y FEC sobre todo el encabezado.

4. Corrección de Error hacia Adelante de tasa 2/3. (*2/3 Rate Forward Error Correction*)

Este es un código corto de Hamming y permite detectar 2 errores pero corregir un solo error. Por cada 2 bits de información se agrega un bit de control y se genera un código de salida de 3 bits.

5. Solicitud de Retransmisión Automática (ARQ, *Automatic Repeat Query*)

Cada paquete de carga útil contiene un CRC y cada paquete transmitido contiene un bit de reconocimiento positivo y negativo ARQN que indica el estado del paquete anterior recibido. Si hay un error en la verificación del CRC o se tiene una respuesta NAK (ARQN=0) se solicita la retransmisión del paquete.

1.1.1.5 Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN)

- Picored (Piconet):

Como se ha mencionado anteriormente, si un equipo se encuentra dentro del área de cobertura de otro, se puede establecer conexión entre ellos. En principio sólo son necesarias un par de unidades con las mismas características de hardware para establecer un enlace. Dos o más unidades Bluetooth que comparten un mismo canal forman una picored. Para regular el tráfico en el canal, una de las unidades participantes se convertirá en maestro, por definición, la unidad que establece la picored asume éste papel y todas las demás serán esclavas. Los participantes podrían intercambiar los papeles si una unidad esclava desea asumir el papel de maestro. Sin embargo sólo puede haber un maestro en la picored.

Bluetooth se ha diseñado para operar en un ambiente multiusuario. Los dispositivos pueden habilitarse para comunicarse entre sí e intercambiar datos de

una forma transparente al usuario. Hasta ocho usuarios o dispositivos pueden formar una picored. Dado que cada enlace es codificado y protegido contra interferencia y pérdida de enlace, Bluetooth puede considerarse una red inalámbrica de corto alcance y muy segura. El esquema de una picored se ve en la figura 4.

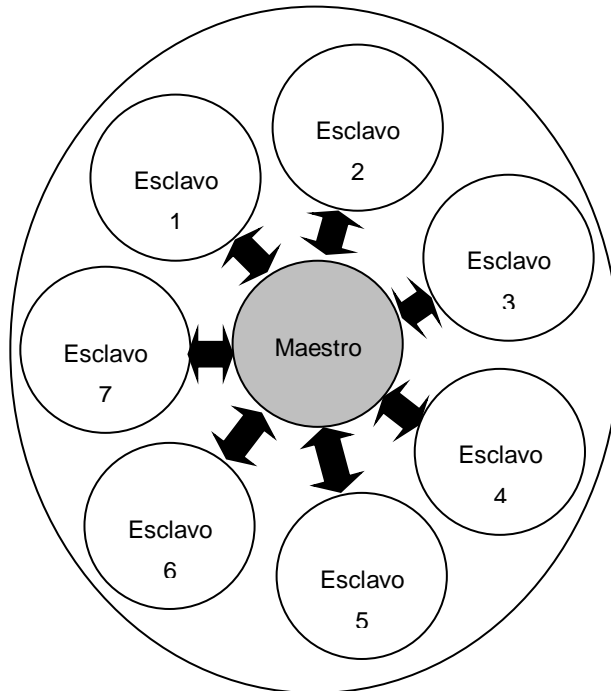


Figura 4 Picored

- Red dispersa (Scatternet):

Los equipos que comparten un mismo canal sólo pueden utilizar una parte de la capacidad de este. Teniendo en cuenta que el ancho de banda medio disponible es de unos 80 Mhz en Europa y USA (excepto en Japón, España y Francia), éste no puede ser utilizado eficientemente, cuando cada unidad ocupa una parte del mismo canal de salto de 1Mhz. Para solucionar éste problema se adoptó una solución de la que nace el concepto de red dispersa.

Las unidades que se encuentran en la misma área de cobertura pueden establecer potencialmente comunicaciones entre ellas. Sin embargo, sólo aquellas unidades que realmente quieran intercambiar información comparten un

mismo canal creando la picored. Éste hecho permite que se creen varias picoredes en áreas de cobertura superpuestas.

A un grupo de picoredes se le llama red dispersa (scatternet). El desempeño, en conjunto e individualmente de los usuarios de una red dispersa es mayor que el que tiene cada usuario cuando participa en un mismo canal de 1 Mhz. Además, estadísticamente se obtienen ganancias por multiplexación y rechazo de canales por salto. Debido a que individualmente cada picored tiene un salto de frecuencia diferente, diferentes picoredes pueden usar simultáneamente diferentes canales de salto. El esquema de una red dispersa se ve en la figura 5.

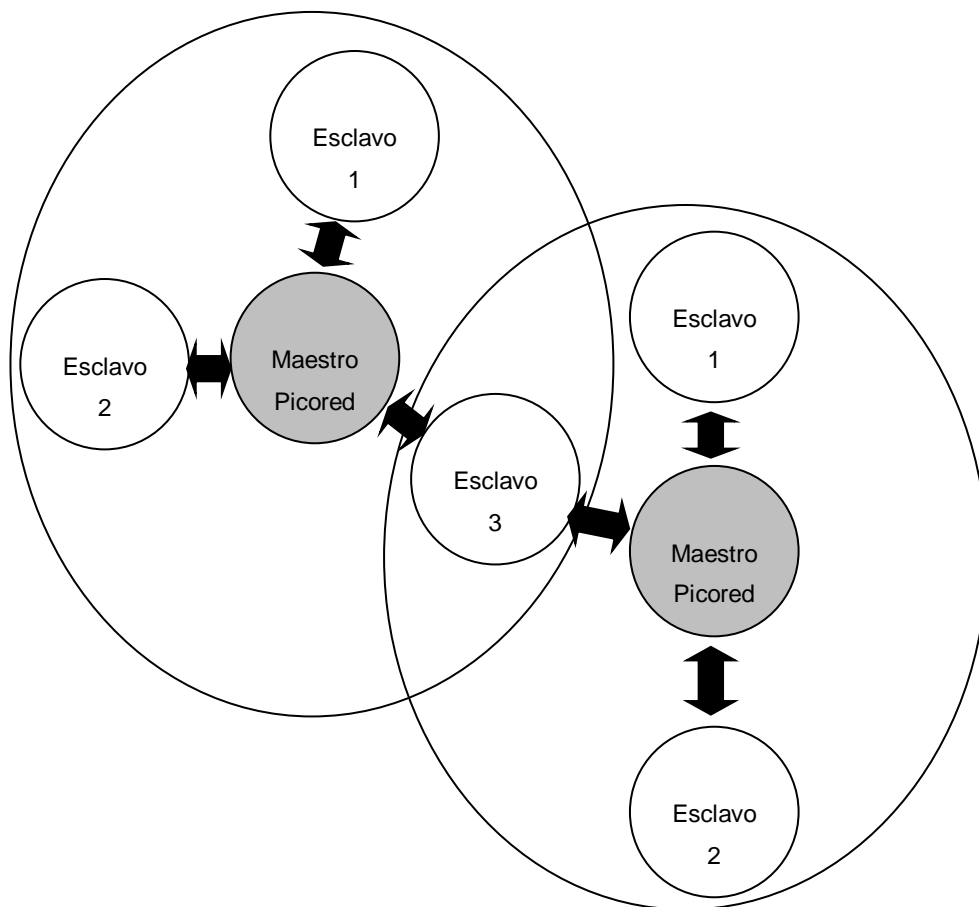


Figura 5 Red Dispersa

1.1.1.6 Definición del enlace físico

Dos tipos de enlace han sido definidos para soportar aplicaciones multimedia:

- Enlace Sincrónico Orientado a la Conexión (SCO, *Synchronous Connection Oriented*): Este es un enlace simétrico punto a punto entre un maestro y un esclavo sobre una piconet. El maestro mantiene el SCO mediante la reserva de intervalos de tiempo en periodos regulares de tiempo. El maestro puede soportar hasta tres enlaces SCO simultáneamente, mientras los esclavos dos o tres. Los enlaces SCO principalmente se usan para voz y los paquetes SCO nunca son retransmitidos
- Enlace de Conexión Asíncrono (ACL, *Asynchronous Connection Link*): Este es un enlace punto multipunto entre el maestro y todos los esclavos de una piconet. No se reservan intervalos de tiempo para un enlace ACL, el maestro puede establecer un enlace ACL sobre un intervalo básico con cualquier esclavo, de esta manera solo puede existir un enlace ACL. Para la mayoría de paquetes ACL se usa la retransmisión por lo cual son mayormente utilizados para transmisión de datos.

1.1.1.7 Esquema de modulación

Se definen dos técnicas de modulación: uno obligatorio, llamado transferencia básica, que usa modulación por Desplazamiento de Frecuencia Gaussiana (GFSK, *Gaussian Frequency Shift Keying*) para reducir la complejidad de los equipos transmisor/receptor. El otro modo de operación es opcional, llamado transferencia de datos mejorada, que usa Modulación por Desplazamiento de Fase (PSK, *Phase Shift Keying*) y cuenta con dos variantes, Modulación por Desplazamiento Diferencial de Fase en Cuadratura ($\pi/4$ DQPSK, *$\pi/4$ Differential Quadrature Phase Shift Keying*) y la Modulación por Desplazamiento Diferencial de 8 Fases (8DPSK, *8 Differential Phase Shift Keying*). En la tabla 3 aparecen las características de velocidad de transmisión de estos modos. El índice de modulación para Bluetooth toma valores entre 0.28 y 0.35.

Tabla 3 Esquemas de modulación

| Velocidad de símbolo (MS/s) | Modulación | Velocidad (Mbps) |
|-----------------------------|---------------|------------------|
| 1 | GFSK | 1 |
| 1 | $\pi/4$ DQPSK | 2 |
| 1 | 8DPSK | 3 |

1.1.2 Pila de protocolos de Bluetooth

En la figura 6 se muestra los niveles y protocolos de Bluetooth y en la tabla 4 su localización en un sistema de comunicación [5].

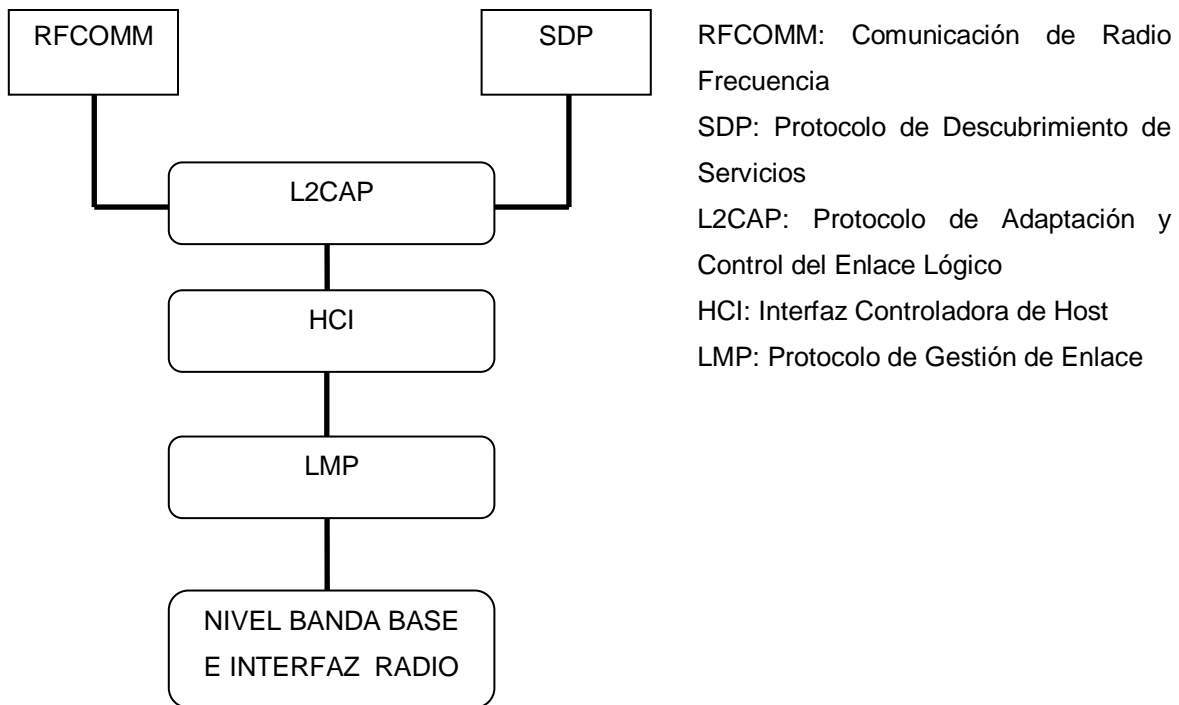


Figura 6 Nivel de protocolos de Bluetooth

Tabla 4 Localización protocolos Bluetooth en un sistema de comunicaciones

| NIVEL | LOCALIZACION |
|--------------------------------|-------------------------------|
| RFCOMM | PC SERVIDOR (SOFTWARE) |
| SDP | |
| L2CAP | |
| MANEJADOR DE HCI | |
| TRANSPORTE DE HCI | USB¹ / UART |
| CONTROLADOR DE HOST HCI | MODULO (FIRMWARE) |
| GESTOR DE ENLACE (LMP) | |
| BANDA BASE E INTERFAZ DE RADIO | |

¹ Bus Serial Universal (USB, Universal Serial Bus)

1.1.3 Descripción de los niveles y protocolos de la tecnología Bluetooth

1.1.3.1 Nivel de banda base e interfaz de radio.

Este nivel permite el intercambio de datos y voz en tiempo real mediante el enlace del Nivel de Control de Acceso (ACL, *Access Control Layer*) y el nivel físico por Radio Frecuencia (RF, *Radio Frequency*).

La banda base administra los canales físicos y los enlaces, además brinda servicios como detección y corrección de errores, borrado de datos, selección de salto y seguridad Bluetooth. La banda base también gestiona los enlaces asincrónicos y sincrónicos, realiza paginación y solicitud de paquetes para acceder y buscar dispositivos Bluetooth en el área de cobertura.

1.1.3.2 Protocolo de Gestión de Enlace (LMP, *Link Manager Protocol*).

Este nivel permite controlar el funcionamiento de los dispositivos en una red Bluetooth y proporciona servicios de gestión en los niveles inferiores de la arquitectura (nivel de banda base e interfaz radio).

1.1.3.3 Interfaz Controladora de Host (HCI, *Host Controller Interface*).

El nivel HCI se encuentra ubicado entre la etapa hardware (modulo Bluetooth) y software (host Bluetooth). Este nivel proporciona un nivel de acceso homogéneo para todos los módulos Bluetooth en banda base independientemente del fabricante, además, se encarga de detectar los dispositivos que se encuentren dentro del área de cobertura. Esta operación se denomina solicitud o *inquiry* y funciona así:

- El dispositivo origen (maestro) transmite paquetes de solicitud (*inquiry*) y espera alguna respuesta de otros dispositivos presentes en su zona de cobertura.
- Si los dispositivos destino (esclavos) están configurados en modo visible (*discoverable*) se encontrarán en estado de escaneo de solicitud (*inquiry_scan*) y en disposición de atender estas solicitudes. En este caso, cuando el dispositivo recibe una solicitud (*inquiry*) cambia a estado de respuesta de solicitud (*inquiry_response*) y envía una respuesta al host origen.

- Los dispositivos que estén configurados en modo no visible (*non discoverable*) se encontrarán en modo respuesta de solicitud (*inquiry_response*) y no responderán al host origen, permaneciendo ocultos.

El HCI se divide en tres secciones:

- Firmware HCI: Se localiza en el dispositivo hardware Bluetooth e implementa los comandos HCI para el hardware Bluetooth mediante el acceso a comandos de banda base, comandos de gestión de enlace, registros de control, eventos y estado del hardware.
- Capa de transporte de controlador de host: Comunica el Firmware y el manejador HCI. Puede utilizar varias capas, de las cuales Bluetooth define 3 inicialmente USB, UART y RS232.
- Manejador HCI (*HCI Driver*): Es la parte software y está localizada en el servidor. El servidor recibe notificaciones asincrónicas de los eventos HCI, estos eventos son usados para notificar al servidor cuando algo sucede. La función del manejador (*driver*) es determinar que tipo de evento ocurre.

1.1.3.4 Protocolo de Adaptación y Control del Enlace Lógico (L2CAP, *Logical Link Control and Adaptation Protocol*).

L2CAP se encarga de ofrecer una abstracción de los canales de comunicación a las aplicaciones y los servicios. Realiza la segmentación y ensamblaje de los datos de las aplicaciones y la multiplexación y demultiplexación de varios canales a través de un enlace lógico compartido.

1.1.3.5 Protocolo de Descubrimiento de Servicios (SDP, *Service Discovery Protocol*).

El Protocolo de Descubrimiento de Servicios (SDP, *Service Discovery Protocol*) permite a una aplicación cliente obtener información sobre servidores SDP disponibles en otros dispositivos Bluetooth cercanos, enumerar los servicios que ofrecen y las características de dichos servicios. Después de haber localizado/descubierto los servicios disponibles en

un dispositivo, el usuario puede elegir aquel de ellos que resulte más apropiado para el tipo de comunicación que se desea establecer.

1.1.3.6 Nivel de Comunicación de Radio Frecuencia (RFCOMM, *Radio Frequency Communication*).

El nivel de Comunicación de Radiofrecuencia (RFCOMM, *Radio Frequency Communication*) es un protocolo de emulación de línea serie basado en el estándar ETSI TS 07.10, específicamente emula puertos serie RS232 sobre el protocolo L2CAP.

Este protocolo emula las señales de control y datos RS-232 sobre la banda base e interfaz radio, proporcionando capacidades de transporte a los servicios de niveles superiores que utilizan un cable serie como mecanismo de transporte.

RFCOMM es un protocolo de transporte sencillo que soporta hasta 9 puertos serie RS-232 y permite hasta 60 conexiones simultáneas (canales RFCOMM) entre dos dispositivos Bluetooth.

1.2 SISTEMAS DE RADIO.

Los sistemas de radio permiten la transmisión de la información utilizando medios como el aire o el vacío. El sistema de radio, por medio de un proceso de modulación, modifica la amplitud, la frecuencia o la fase de una onda portadora de alta frecuencia en una cantidad proporcional al valor de la señal mensaje, para ser enviados por el aire hacia el destino donde se realizan los procesos inversos para extraer de la señal obtenida el mensaje [7].

1.2.1 Elementos de un sistema de radio.

En un sistema de radio se identifican dos bloques fundamentales que conforman el transceptor, el radio transmisor y el radio receptor. Estos componentes a su vez están divididos en bloques los cuales se encargan del procesamiento de la señal, como se aprecia en la figura 7.

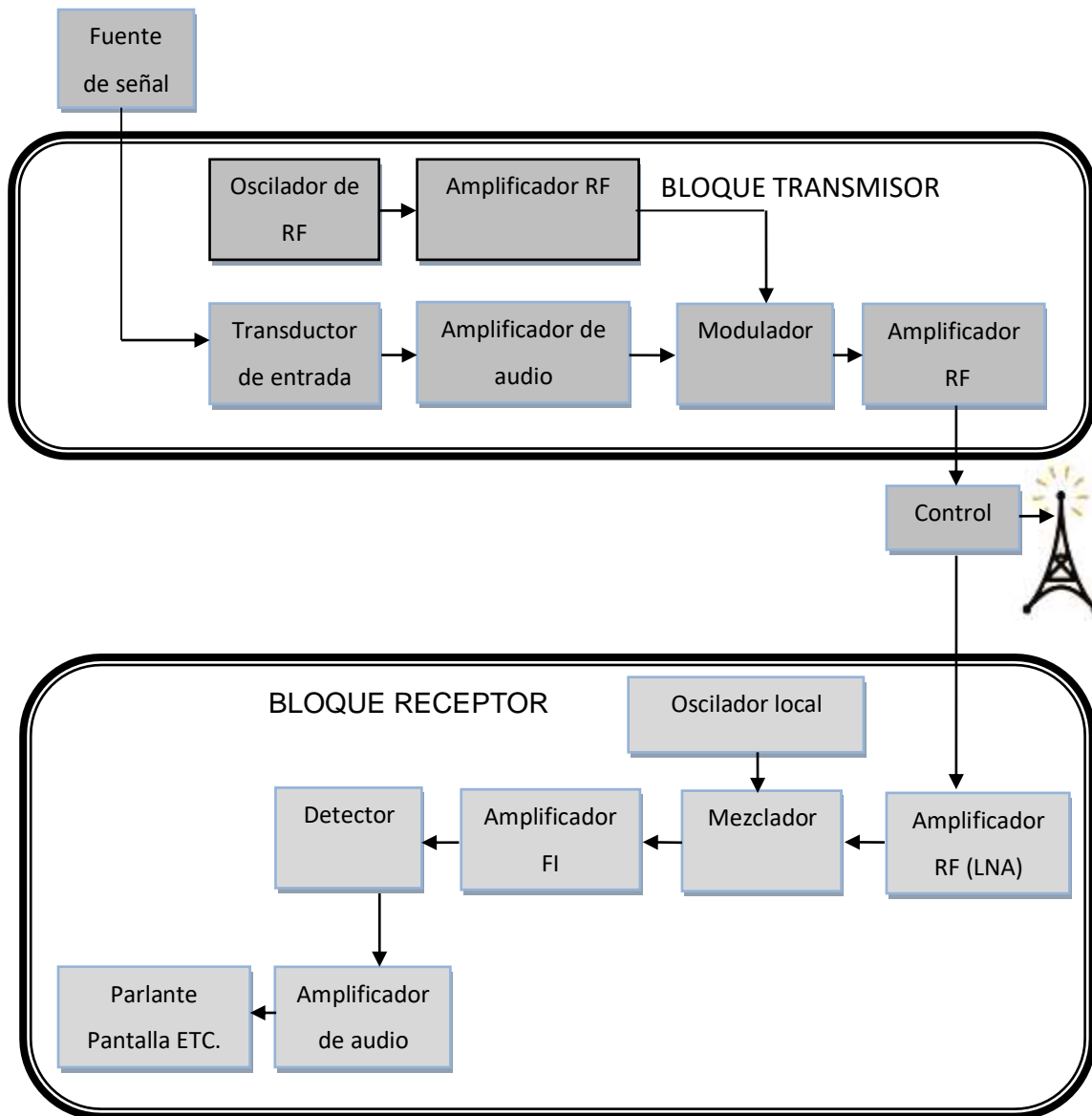


Figura 7 Diagrama de los componentes y bloques de un transceptor

En seguida se explica de manera general la funcionalidad que tiene cada bloque en el sistema transceptor [8][9].

1.2.1.1 Fuente de señal

Es la voz humana, la señal de audio o una señal digital que llega al sistema

1.2.1.2 Transductor de entrada.

Es cualquier dispositivo que transforme la información en una señal eléctrica, por ejemplo: un micrófono, una cámara de video, sensores de temperatura, humedad, presión, luminosidad, etc.

1.2.1.3 Amplificadores.

Los niveles de potencia de las señales que se procesan en los componentes radio transmisor y radio receptor deben ser acondicionados a niveles de potencias que deben estar por encima de un nivel de umbral que les permita ser procesadas por los bloques siguientes. En un sistema de radio se encuentran amplificadores de audio; que van acompañados de un filtro pasa bajo que limita el ancho de banda, amplificadores de Radio Frecuencia (RF, *Radio Frequency*), amplificadores de Frecuencia Intermedia (IF, *Intermediate Frequency*) y amplificadores de Bajo Ruido (LNA, *Low Noise Amplifier*).

1.2.1.4 Oscilador de RF.

En este bloque se establece el valor de frecuencia de portadora o un sub múltiplo de ella, con propiedades de alta exactitud y estabilidad, Generalmente se usa un cristal de cuarzo como oscilador y deben existir componentes o procedimientos que controlen las variaciones de frecuencia del cristal por variaciones de temperatura o deterioro del mismo.

1.2.1.5 Modulador.

En este bloque se realizan los procesos que permite variar los parámetros de la onda portadora con respecto a la onda moduladora o mensaje.

1.2.1.6 Antena transmisora / receptora.

La antena transmisora convierte la energía de radio frecuencia en una onda electromagnética con la polarización² deseada.

La onda que se propaga desde el transmisor induce un voltaje pequeño en la antena receptora. Las antenas pueden ser omnidireccionales para uso general o altamente direccional para comunicaciones punto a punto.

² Polarización: orientación del vector campo eléctrico

1.2.1.7 Oscilador local.

En este bloque se genera una frecuencia que difiere de la frecuencia de la señal entrante de radio frecuencia en un valor denominado frecuencia intermedia FI, es decir se genera una frecuencia $RF+FI$ o $RF-FI$. Un problema propio de un receptor superheterodino es que una señal de frecuencia $RF-FI$ también genera una componente de FI. El valor de esta frecuencia FX es inferior a RF en 2 FI y es llamada "frecuencia imagen" y la forma más usual de bloquearla es poniendo entre la antena un filtro que deje pasar RF pero que cancele FX. De esta forma el receptor debe estar en la capacidad de rechazar la frecuencia imagen. En los receptores domésticos de AM (Amplitud Modulada), la frecuencia es de 455 o 470 khz y en los receptores de radiodifusión en FM (Frecuencia Modulada) se utilizan frecuencias intermedias de 10.7Mhz.

1.2.1.8 Mezclador.

En este bloque se traslada la señal recibida en RF a la frecuencia intermedia FI simplemente.

1.2.1.9 Detector.

En este bloque se recupera la señal mensaje original a partir de la entrada de la señal de frecuencia intermedia.

1.2.1.10 Dispositivo de salida.

En este bloque se convierte la señal eléctrica a su forma original, ondas sonoras, imágenes, entre otros.

1.2.1.11 Control.

El bloque de control separa las señales de transmisión de las de recepción. Este bloque está compuesto por un conmutador o duplexor.

1.2.2 Tipos de sistemas de comunicación móvil terrestres.

Existen varios sistemas de comunicación móvil entre los que se encuentran [10]:

- El sistema Radio Móvil Especializado (SMR, *Specialized Mobile Radio*) o sistema Radio Móvil Privado (PMR, *Private Mobile Radio*) que son sistemas privados que

pertenecen a las empresas que han adquirido licencias para hacer uso del espectro radioeléctrico. SMR proporciona servicios de comunicación punto multipunto y multipunto punto por medio de una infraestructura radio móvil.

- El sistema Radio Móvil Mejorado Especializado (ESMR, *Enhanced Specialized Mobile Radio*) o el sistema Radio Móvil de Acceso Público (PAMR, *Public Access Mobile Radio*) son sistemas administrados por un operador de telecomunicaciones que ofrece servicios de radiocomunicación a empresas públicas, privadas, gobierno, organismos, etc.

1.2.3 Sistemas convencionales de radio.

Los sistemas convencionales de radio en la actualidad son utilizados principalmente para transmisión de voz y datos, contando con los siguientes modos de operación:

- Unidad a unidad: En este sistema los usuarios se comunican directamente.
- Sistema de despacho: En este sistema los usuarios se comunican con un despachador o control central, el cual envía los mensajes a todos los usuarios.
- Sistema con repetidora: La repetidora retransmite los mensajes de los usuarios a todo el sistema. La repetidora permite lograr una mayor cobertura.
- Sistema de área extendida: Este sistema utiliza repetidoras de largo alcance para establecer comunicaciones entre ciudades o áreas remotas [11].

1.2.4 Sistemas Troncales (*Trunking System*).

El sistema troncal brinda comunicación a grupos cerrados de usuarios, los cuales comparten un número limitado de canales. La diferencia más importante con respecto a los sistemas convencionales es que los sistemas troncales trabajan con un canal adicional de control a través del cual viaja la señalización [12].

Un sistema troncal está diseñado para manejar múltiples señales, asigna un canal de frecuencia libre (canal de tráfico) a los terminales que intervienen en la comunicación,

cuando finaliza la comunicación los terminales liberan el canal de tráfico permitiendo que otros utilicen ese canal. Los datos transmitidos pueden ser de voz (como en el sistema telefónico convencional) de datos, imágenes, vídeo o señales de control.

Existen sistemas troncales digitales y analógicos, la principal ventaja que presenta el sistema digital es su mayor eficiencia en la gestión del espectro radioeléctrico, en un solo canal de RF pueden obtenerse hasta cuatro comunicaciones de voz, además posee ventajas en calidad de voz, seguridad, comunicación de datos y compatibilidad con otras redes. Entre los sistemas analógicos se encuentran MPT1327, LTR (*Logic Trunked Radio*) y entre los digitales TETRA (Terrestrial Trunked Radio) y Proyecto 25 (*Project 25*).

1.2.5 Parámetros importantes de un radio móvil.

1.2.5.1 Selectividad.

Se define como la capacidad que tiene un receptor, para aceptar una banda de frecuencias y rechazar otra. Este parámetro permite a los equipos diferenciar la información deseada de las perturbaciones o señales de información que provienen de otras frecuencias y limitar el ruido en el receptor.

1.2.5.2 Sensitividad.

Es el nivel mínimo de señal de radiofrecuencia en la entrada del receptor que puede ser procesada por el mismo. La sensitividad de un receptor generalmente se indica en niveles de potencia (dBm). Un equipo más sensible que otro simplemente significa que el valor absoluto de la potencia en dBm de un equipo es mayor que el otro, lo que permite que el receptor de un equipo pueda captar señales más débiles.

1.2.5.3 Rango dinámico.

Es la diferencia entre el nivel máximo de potencia que sobrecarga el receptor y produce una distorsión y el mínimo nivel de potencia que puede identificar el receptor. En términos sencillos, el rango dinámico es el rango de potencia de entrada sobre el cual el receptor es útil.

1.2.5.4 Ancho de banda y potencia de transmisión.

En los equipos móviles existen dos parámetros de gran importancia, el ancho de banda y la potencia de transmisión:

El ancho de banda es el rango de frecuencias del espectro en el cual se concentra la mayor cantidad de componentes de frecuencia de una señal con un nivel apreciable o significativo.

Los sistemas de comunicación deben diseñarse utilizando de la forma más eficiente los parámetros de potencia de transmisión y el ancho de banda. En general, es difícil optimizar ambos recursos simultáneamente, pues en la mayoría de los canales de comunicación un recurso puede considerarse más importante o más escaso que otro. Se puede, por lo tanto, clasificar los canales en potencia y ancho de banda. El objetivo en el diseño de un sistema de comunicación es transmitir la información a la máxima velocidad con el mínimo de potencia y ancho de banda. La utilización óptima y eficiente de estos recursos es el principal objetivo en el diseño de los sistemas de comunicación prácticos.

1.2.6 Otras tecnologías móviles y radio móviles.

Las redes móviles se pueden clasificar por la generación (digital o análoga) o por la tecnología o estándar que utilizan y todas pertenecen al área de telecomunicaciones móviles, por ejemplo, el Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM, Global System for Mobile Communications) y sus evoluciones, Telecomunicaciones Inalámbricas Mejoradas Digitalmente (DECT, *Digital Enhanced Cordless Telecommunications*), Radio Troncalizado Terrestre (TETRA, *Terrestrial Trunked Radio*), los cuales son estándares que funcionan en la actualidad y ofrecen servicios de comunicación móvil.

1.2.7 Otras tecnologías de redes inalámbricas de área personal.

En las redes de área personal hay varias tecnologías que se destacan junto a Bluetooth, entre las que se encuentran: Identificación por Radiofrecuencia (RFID, *Radio Frequency Identification*) y ZigBee, que es una especificación para comunicación inalámbrica que

utiliza radios digitales de bajo consumo de energía y su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja velocidad de transmisión de datos.

1.3 MICROPROCESADOR / MICROCONTROLADOR.

1.3.1 Microprocesador.

Un microprocesador o Unidad Central de Procesamiento (CPU, *Central Process Unit*) es un dispositivo que contiene toda la circuitería lógica necesaria para llevar a cabo las funciones de [13]:

- Control y temporización
- Transferencia de datos hacia y desde la memoria y a los dispositivos de entrada y salida.
- Ejecución de instrucciones y comandos.
- Respuesta a las señales de control generadas en la entrada / salida tales como reinicio o interrupción.

El microprocesador lee y escribe datos en la memoria principal y en los dispositivos de entrada/salida. Estas transferencias se realizan a través de un conjunto de conductores que forman el bus de datos, el cual pueden ser de: 4, 8, 16, 32, 64 bits entre otros.

Existen microprocesadores que operan con frecuencias de reloj del orden de los Mhz y hasta Ghz. Se identifican tres bloques principales en un microprocesador como lo muestra la figura 8.



Figura 8 Bloques principales de un microprocesador

1.3.1.1 Unidad Lógica Aritmética (ALU, *Aritmetic Logic Unit*).

Efectúa operaciones aritméticas y lógicas, entre las que se encuentran: suma, resta, multiplicación, división, operaciones lógicas (OR, AND, EXOR), corrimiento, incremento y decremento.

1.3.1.2 Sección de registro.

Contiene varios registros, entre estos se destaca, el Contador del Programa (PC, *Program Counter*) el cual contiene la dirección de la siguiente instrucción que se extraerá de la memoria. Los demás registros son utilizados para almacenar instrucciones mientras estas son decodificadas, retener los datos que constituyen los operandos con los que trabaja la ALU y almacenar las direcciones donde se encuentran los datos en la memoria.

1.3.1.3 Sección de control y temporización.

Se encarga de decodificar las instrucciones que se van a ejecutar. Cuando el microprocesador lee una instrucción, el código de esa instrucción le llega a esta unidad. Esta unidad se encarga de interpretar ese código para identificar el tipo de instrucción a realizar y de asignar el tiempo de ejecución de las sentencias, el cual depende de la configuración del reloj interno del microprocesador.

1.3.2 Microcontrolador.

Un microcontrolador es un dispositivo que tiene integrado un microprocesador, un bloque de Entrada/Salida (I/O, *input/output*) y un bloque de memoria [14].

El Controlador de Interfaz Periférico (PIC, *Peripheral Interface Controller*), es un microcontrolador con un Conjunto de Instrucciones Reducido (RISC, *Reduced Instruction Set Computer*).

En la Figura 9 se visualiza el diagrama en bloques de un microcontrolador.

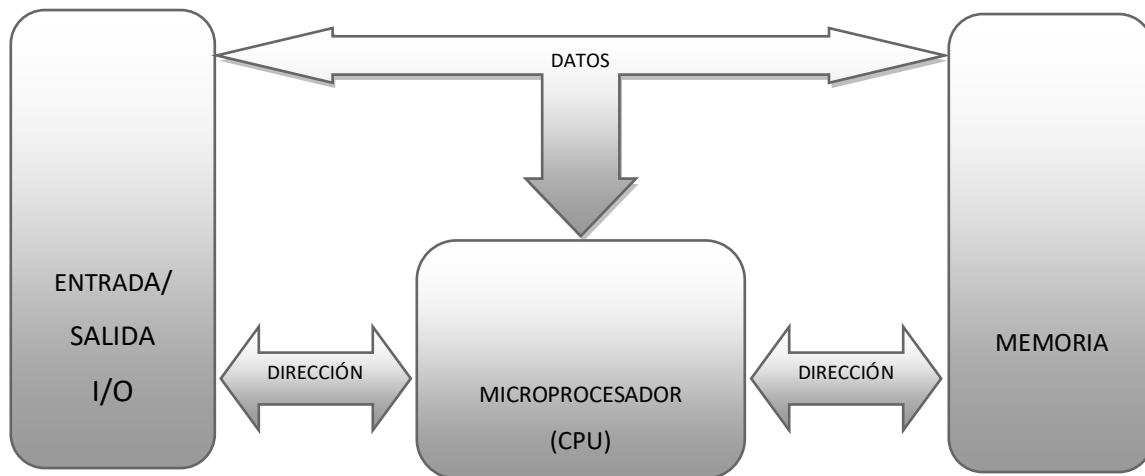


Figura 9 Diagrama en bloques del microcontrolador.

1.3.2.1 Entrada / Salida (I/O, *Input/Output*).

Este bloque permite la conexión con periféricos o dispositivos externos al microcontrolador, facilitando la operación con señales digitales o analógicas.

1.3.2.2 Unidad de Procesamiento Central (CPU, *Central Processor Unit*).

En este bloque se realizan todos los cálculos y se lleva a cabo el procesamiento de los datos.

1.3.2.3 Memoria.

En este bloque se almacena o se guardan los datos y el código del programa. Existen varios tipos de memoria, entre los que se encuentran: Modulo de Memoria de Acceso Aleatorio (RAM, *Random Access Memory Module*), Memoria de Solo Lectura (ROM, *read only memory*), Memoria de Solo Lectura Borrable y Programable (EPROM, *Erasable Programmable Read Only memory*).

1.3.2.4 Características de un microcontrolador.

Las características técnicas de los microcontroladores pueden variar y adaptarse a las necesidades de cada proyecto electrónico que se desee desarrollar. En el mercado existen muchas ofertas de encapsulados con entradas / salidas, memoria y funciones especiales que son de utilidad en cualquier proyecto. En general los microcontroladores presentan las siguientes características.

1. Arquitectura Harvard: Los microcontroladores están basados en la arquitectura Harvard, las instrucciones y los datos se almacenan en espacios físicos de memoria separados, mejorando así el desempeño, debido a que se tiene acceso de forma simultánea a los datos y al código o programa.
2. Seguridad: Al estar separadas las áreas de datos y programa, no hay posibilidad de que este ejecute los datos como instrucciones.
3. Grupo de instrucciones: Para el desarrollo de programas se cuenta con un amplio número de instrucciones que permiten el manejo de los datos, puertos, funciones para la creación de ciclos y manejo de registros.
4. Velocidad: La velocidad de procesamiento de las instrucciones en un microcontrolador depende de la frecuencia del oscilador externo y del bus de datos que puede ser de: 8, 12, 14, 16, 32, 64 bits.
5. Manejo de niveles de entrada y salida estándar: Los microcontroladores manejan niveles de señal Lógica Transistor a Transistor (TTL, *Transistor-Transistor Logic*), Semiconductor de Óxido Metálico Complementario (CMOS, *Complementary Metal Oxide Semiconductor*) que son estándares en la mayoría de circuitos integrados o dispositivos de entrada / salida del mercado.
6. Tamaño: Los microcontroladores son encapsulados de pequeño tamaño y bajo costo.
7. Bajo consumo de energía: Los microcontroladores permiten una configuración en estado dormido (*sleep*) por programación, esto permite dejar el microcontrolador en un estado de bajo consumo de energía del cual se puede salir si existe una interrupción externa, un desbordamiento por interrupción de tiempo o recepción de datos por alguno de los puertos de comunicación.

En la tabla 5 se encuentran las principales características de los microcontroladores.

Tabla 5 Características de los microcontroladores.

| CARACTERISTICA | DESCRIPCION |
|---------------------------------------|---|
| Entradas salidas de propósito general | Permiten leer datos en los puertos del microcontrolador o escribir en ellos desde el interior del microcontrolador. |
| Temporizador / Contador | Arreglo sincrónico de circuitos lógicos que permiten contar los pulsos del oscilador (temporizador) o permite contar los pulsos externos en un pin del microcontrolador (contador). |
| Conversores | Existen conversores de señales analógicas a digitales o viceversa. |
| Puerto serie | Permite conexiones sincrónicas o asincrónicas de comunicación. |
| Puerto de comunicación | Puertos físicos que permiten la conexión de dispositivos externos al microcontrolador, Ethernet, puerto paralelo. |

2 DESCRIPCIÓN DE LA INTERFAZ PILOTO PARA LA INTEGRACIÓN DE BLUETOOTH Y RADIO MÓVILES.

2.1 GENERALIDADES.

En este capítulo se explica de forma detallada los bloques que componen la interfaz piloto para la integración de Bluetooth y los radios móviles así como sus funciones. Adicionalmente se describe el sistema general de comunicación en el que funciona la interfaz así como las características básicas de los equipos y elementos utilizados para su desarrollo.

2.2 DIAGRAMA EN BLOQUES DEL SISTEMA GENERAL.

Este sistema está compuesto por tres elementos principales que son: Objeto móvil, punto de control y estación central. El sistema se compone de los siguientes bloques: Un bloque Bluetooth esclavo, un bloque Bluetooth maestro, un bloque radio móvil PDC (Punto de Control), un bloque radio móvil EC (Estación Central) y un bloque central.

En la figura 10 se observa el sistema general y el diagrama en bloques del sistema de comunicaciones en el cual funciona la interfaz piloto para la integración de Bluetooth y radio móvil.

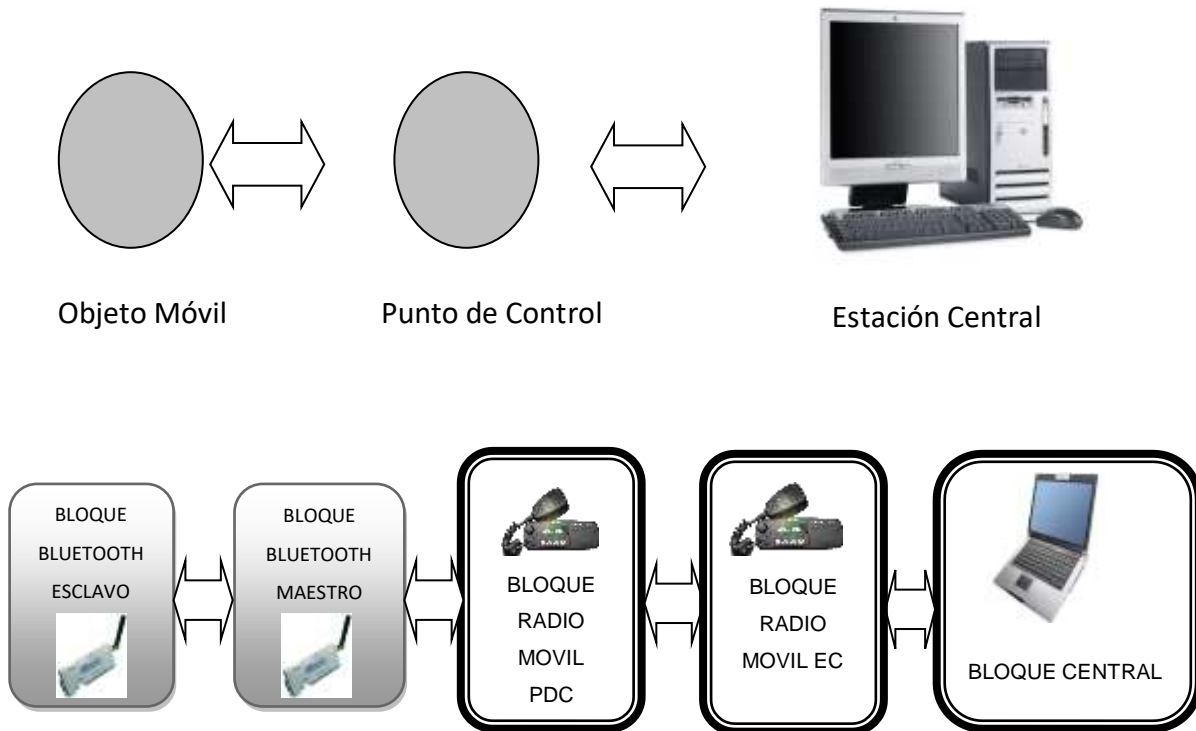


Figura 10 Diagrama General y bloques principales del sistema general

La descripción general de cada bloque y sus funciones son:

- Bloque Bluetooth esclavo: Este bloque es el encargado de transmitir el código de verificación desde el objeto móvil, el cual es cualquier objeto equipado con el dispositivo transceptor Bluetooth LM 058 (por ejemplo, un automóvil).
- Bloque Bluetooth maestro: Este bloque es el encargado de recibir el código de verificación desde el objeto móvil y transferirlo al bloque radio móvil PDC.
- Bloque radio móvil PDC (Punto de Control): Es el encargado de tomar las señales entregadas por el bloque Bluetooth maestro, adaptarlas y enviarlas vía radio al bloque radio móvil EC. Este bloque está formado por un radio móvil que tiene disponible un puerto que permite el ingreso de datos como por ejemplo el

puerto de accesorios de los radios Motorola y un microcontrolador encargado de facilitar la comunicación entre el dispositivo Bluetooth y el radio móvil.

- Bloque radio móvil EC: Es el encargado de recibir las señales del bloque radio móvil PDC y enviarlas al bloque central para su procesamiento. Este bloque consta de un radio móvil con las mismas características del radio móvil PDC. Cuenta con una etapa de control que identifica la trama enviada, extrae la información y la adapta para ser enviada al bloque central.
- Bloque central: Este bloque se compone de un computador que implementa una base de datos para verificar y enviar el estado del objeto móvil al bloque radio móvil EC.

Proceso de reconocimiento y conexión.

Cuando un objeto móvil se encuentra en el rango de cobertura del bloque Bluetooth maestro se inicia el proceso de reconocimiento y conexión entre los dispositivos esclavo y maestro. Cuando se establece la conexión entre estos bloques, el código de verificación llega al bloque Bluetooth maestro. Esta información es enviada al bloque radio móvil PDC por medio del puerto compatible del radio que hace posible esta comunicación. Esta información es transmitida al bloque radio móvil EC el cual está conectado mediante una interfaz serial a un computador que contiene una base de datos, en la cual se consulta el estado del objeto móvil y esta información se envía mediante el puerto serie del PC al bloque radio móvil EC, que lo transmite al bloque radio móvil PDC para que este se pueda visualizar en un despliegue en la interfaz.

2.2.1 Bloque Bluetooth esclavo.

Este bloque se encuentra en el objeto móvil y está formado por dos unidades, una unidad de control y acondicionamiento y una unidad Bluetooth como se ve en la figura 11.

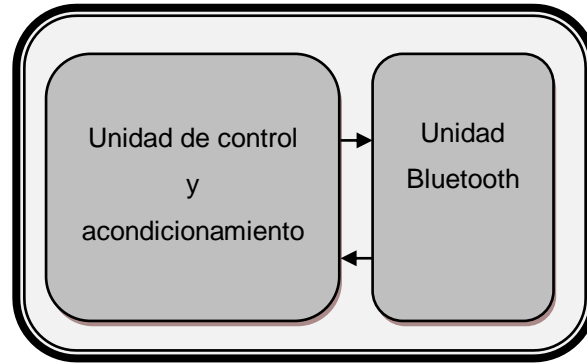


Figura 11 Diagrama bloque Bluetooth esclavo

- Unidad de control y acondicionamiento: Esta unidad está conformada por un microcontrolador 16f84A y es la encargada de generar las señales de control necesarias para enviar el código de verificación del objeto móvil por medio de la unidad Bluetooth LM 058.
- Unidad Bluetooth: Esta unidad está conformada por el dispositivo Bluetooth LM 058 configurado en modo esclavo. Esta unidad es la encargada de recibir los datos provenientes de la unidad de control y acondicionamiento y transmitirlos al bloque Bluetooth maestro.

2.2.2 Bloque Bluetooth maestro.

Este bloque se encuentra en los puntos de control, está formado por una unidad de control y acondicionamiento y una unidad Bluetooth como se ve en la figura 12, este bloque está conectado al puerto compatible de un radio móvil.

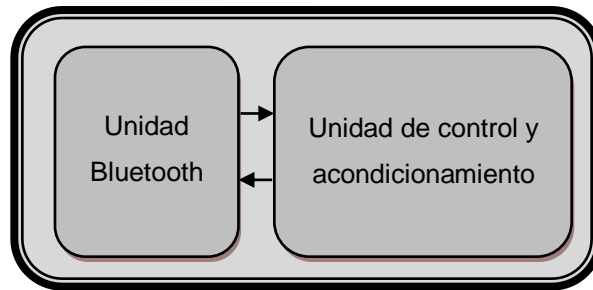


Figura 12 Diagrama bloque Bluetooth maestro

- **Unidad Bluetooth:** Esta unidad está conformada por un dispositivo LM 058 configurado como maestro y recibe la señal con el código de verificación proveniente del bloque Bluetooth esclavo y lo envía a la unidad de control y acondicionamiento.
- **Unidad de control y acondicionamiento:** Esta unidad está conformada por un microcontrolador 16F877 y es la encargada de recibir los datos de la unidad Bluetooth maestro, aceptar los dispositivos que se encuentran en la zona de cobertura, asignar un tiempo de procesamiento a cada uno de ellos, enviar los datos al bloque radio móvil PDC mediante un puerto del microcontrolador.

En esta unidad se adapta el nivel de la señal y se genera el retardo necesario en la transmisión para que el radio móvil transmita los datos (código de verificación) al bloque central.

2.2.3 Bloque radio móvil PDC.

Este bloque está formado por un radio móvil con un puerto compatible que permite obtener señales de entrada y salida mediante la configuración de sus pines. El radio móvil debe contar con pines configurables como son transmisión de audio, recepción de audio, tierra, Presione Para Hablar (PTT, *Push To Talk*), Silenciador de Portadora (CSQ, *Carrier Squelch*). Este bloque se encarga de recibir los datos del bloque Bluetooth maestro y enviarlos vía radio al bloque radio móvil EC.



Figura 13 Bloque radio móvil PDC

2.2.4 Bloque radio móvil EC.

Este bloque está formado por un radio móvil (ver figura 13) con las mismas características del bloque anterior y se encarga de recibir los datos provenientes del bloque radio móvil PDC para enviarlos al bloque central para su procesamiento, recibir el estado del objeto móvil (multa, robado, limpio o ausente) del bloque central y transmitirlo al bloque radio móvil PDC para su despliegue en una pantalla LCD.

2.2.5 Bloque central

Este bloque está formado por un computador que tiene implementada una base de datos. Este bloque se encarga de verificar el estado del móvil vinculado al código de verificación y enviar la información al bloque radio móvil estación central.

2.3 PROCESO DE COMUNICACIÓN.

En el proceso de comunicación se considera que dos dispositivos esclavos (ubicados en los móviles) no deben comunicarse entre si ya que el intercambio de información entre ellos no es necesaria, sin embargo el equipo maestro (punto de control) “escucha” a todos los equipos esclavos que se encuentran en la zona de cobertura del módulo Bluetooth maestro y realiza el proceso de transmisión de datos (código de verificación) con uno de ellos, esto se hace con el fin de evitar que todos los dispositivos esclavos envíen sus datos al tiempo generando confusión en el punto de control al combinar datos de distintos dispositivos esclavos. En este trabajo de grado se realizó la conexión con un único

esclavo ya que solo se adquirieron dos dispositivos Bluetooth seriales, pero la implementación software en los bloques funcionales cuenta con características que brindan soporte para la comunicación con varios objetos móviles.

Existen tres fases en el proceso de comunicación del sistema propuesto como se ve en la figura 14.

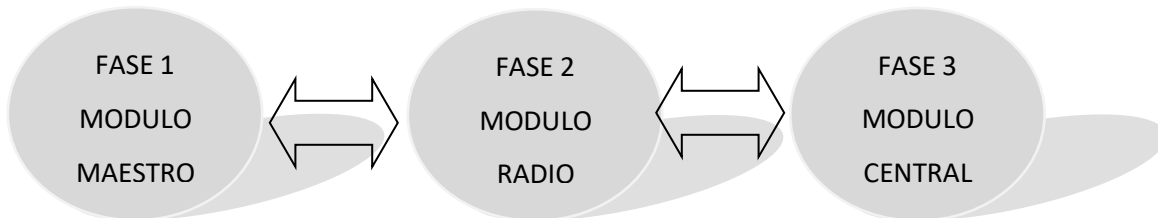


Figura 14 Fases del proceso de comunicación

2.3.1 Fase 1 Módulo maestro.

La fase 1 del proceso de comunicación es realizada entre los bloques Bluetooth maestro y esclavo, en estos bloques se encuentran los dispositivos Bluetooth LM 058 que se encargan de realizar la conexión antes de enviar la información que es el código de verificación.

En la figura 15 se observa las unidades involucradas en la fase 1.

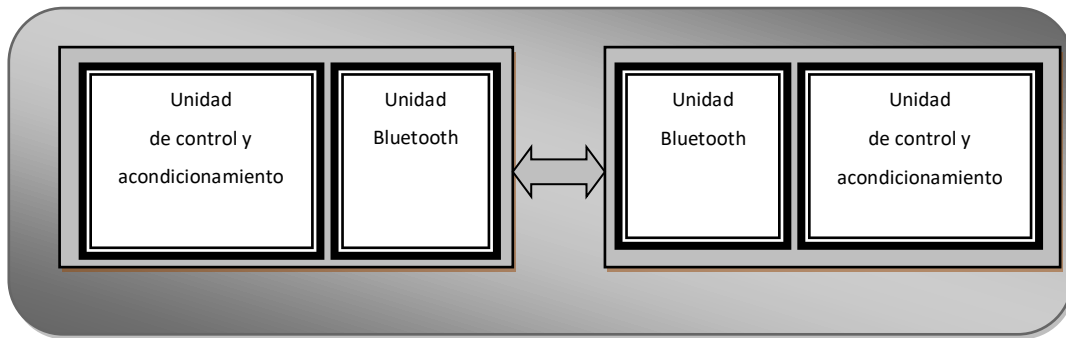


Figura 15 Unidades funcionales en la fase 1 módulo maestro

Existen procedimientos y modos específicos para la creación de la picored. Estos procedimientos se aplican a niveles diferentes de la arquitectura Bluetooth. Los procedimientos y modos que se pueden identificar son:

1. Procedimiento de búsqueda o detección: El procedimiento se lleva a cabo para detectar otros dispositivos Bluetooth que estén en el rango de alcance del dispositivo maestro. El dispositivo Bluetooth maestro realiza la búsqueda enviando activamente solicitudes de detección y los dispositivos Bluetooth que pueden ser detectados reciben la solicitud de búsqueda y responden a esta.

Hay que tener en cuenta que tanto el objeto móvil como el punto de control pueden estar conectados a otros dispositivos con tecnología Bluetooth dentro de la picored. En este trabajo de grado no se tiene en cuenta la conexión con estos dispositivos ya que no es importante enviar información entre los objetos móviles, dado que el proceso de verificación del código se hace en la estación central (un computador con una base de datos).

2. Procedimiento de conexión: Este procedimiento permite que un dispositivo Bluetooth realice la conexión con otro siempre y cuando los dispositivos estén en modo visible. Este procedimiento es dirigido, lo que quiere decir que solo habrá respuesta del dispositivo Bluetooth hacia el que va destinado la paginación.
3. Modo conectado: Cuando el procedimiento de conexión se realiza correctamente, los dispositivos Bluetooth quedan conectados a un canal radio de la picored.

4. Estado de espera: Los dispositivos Bluetooth pueden estar conectados a una picored aún cuando su canal se encuentre en espera, y es en este estado en el cual el dispositivo puede entrar en el modo de ahorro de energía.
5. Procedimiento de intercambio de funciones: Por medio de este procedimiento dos dispositivos conectados a una picored pueden intercambiar funciones. Para realizar este procedimiento es necesario pasar del canal definido por el dispositivo maestro original al canal que define el nuevo dispositivo maestro.

Hay que tener en cuenta que los dos módulos adquiridos Bluetooth LM 058 de la empresa LM Technologies, realizan todos los procedimientos y modos anteriormente mencionados de manera transparente al usuario.

El LM 058 es un adaptador serial el cual facilita la conexión con otros dispositivos que cuentan con adaptadores seriales dado que tiene disponible un puerto serial estándar de 9 pines. El LM 058 permite la conexión punto a punto o multipunto (picored).

Cuando se establece la conexión entre los módulos Bluetooth se realiza el proceso de transmisión y recepción de datos enviados por los microcontroladores, los flujos de información para estos bloques se encuentran en la figura 16.

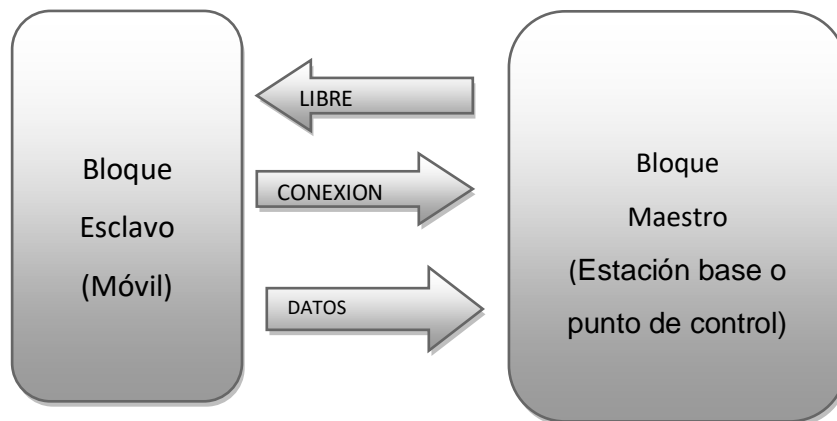


Figura 16 Diagrama de secuencia de comunicación para los bloques Bluetooth

En la figura 16 se observa el procedimiento de control de conexión del sistema, en el cual cuando un objeto móvil está en el área de cobertura del punto de control, recibe desde el

dispositivo maestro un mensaje de “libre”, indicándole al dispositivo que puede enviar el mensaje “solicitud de conexión”, con lo cual iniciará la transmisión de datos hacia el punto de control.

Cuando los datos (código de verificación) llegan al bloque Bluetooth maestro (fase 1) se realiza el procesamiento e implementación de la trama adaptándola a los niveles y retardos necesarios para ser enviada durante la fase 2.

2.3.2 Fase 2 Bloque radio móvil.

En esta fase se encuentran los radios móviles, se necesitan dos para realizar la comunicación. Uno funciona como bloque radio móvil PDC y el otro como bloque radio móvil EC como se ve en la figura 17. La información proveniente del bloque Bluetooth maestro de la fase 1 es enviada al radio móvil PDC, utilizando el puerto compatible del radio como entrada de datos al radio móvil, ver figura 17.

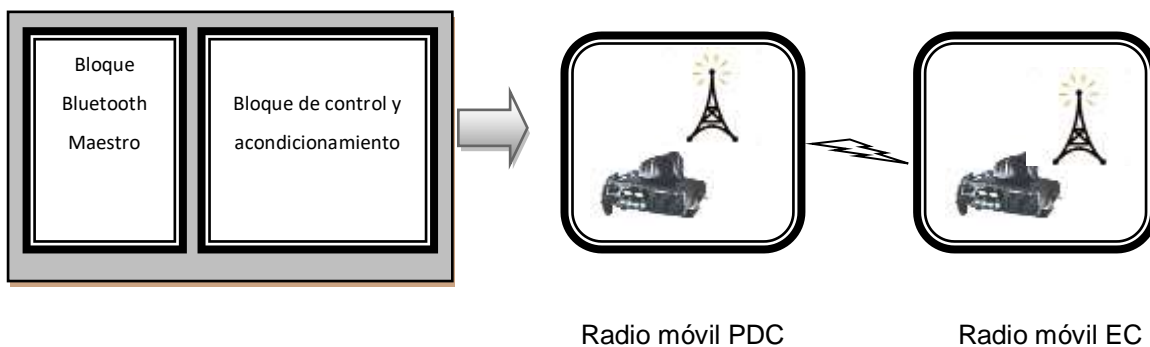


Figura 17 Sistema general de comunicaciones

El código de verificación es enviado desde el radio móvil PDC del punto de control al radio móvil EC por medio de un protocolo que implementa una trama con campos de información, identificación, detección de errores permitiendo que el sistema sea más estable y la información entregada a la fase 3 sea correcta.

2.3.3 Fase 3 Bloque estación central.

La información suministrada por la estación central de la fase 2 llega a la fase 3 para ser procesada y analizada, estos procedimientos los realiza un computador en el cual existe una base de datos con los códigos existentes y la información vinculada a los mismos.

En esta fase también se analiza la trama enviada desde el bloque radio móvil EC de la fase 2 y se verifica que no haya error en el código enviado (ejecución de los procedimientos configurados para la detección de errores). Si el dato es correcto la información vinculada al código de verificación es enviada hacia el PDC, si no lo es se espera retransmisión.

2.3.4 Diagramas de flujo rutinas y eventos.

El trabajo de grado tiene dos partes importantes: Desarrollo hardware y software. En el desarrollo software se muestran y explican los diagramas de secuencia del sistema, estos muestran el flujo de las rutinas y eventos que se llevan a cabo en la conexión del sistema básico de comunicaciones del piloto.

Se realiza el análisis de los siguientes diagramas de secuencia:

- Diagrama general de secuencia
- Diagrama de flujo del punto de control.
- Diagrama de flujo de la estación central.

2.3.4.1 Diagrama general de secuencia.

En la figura 18 se observa el diagrama de secuencia general de la aplicación.

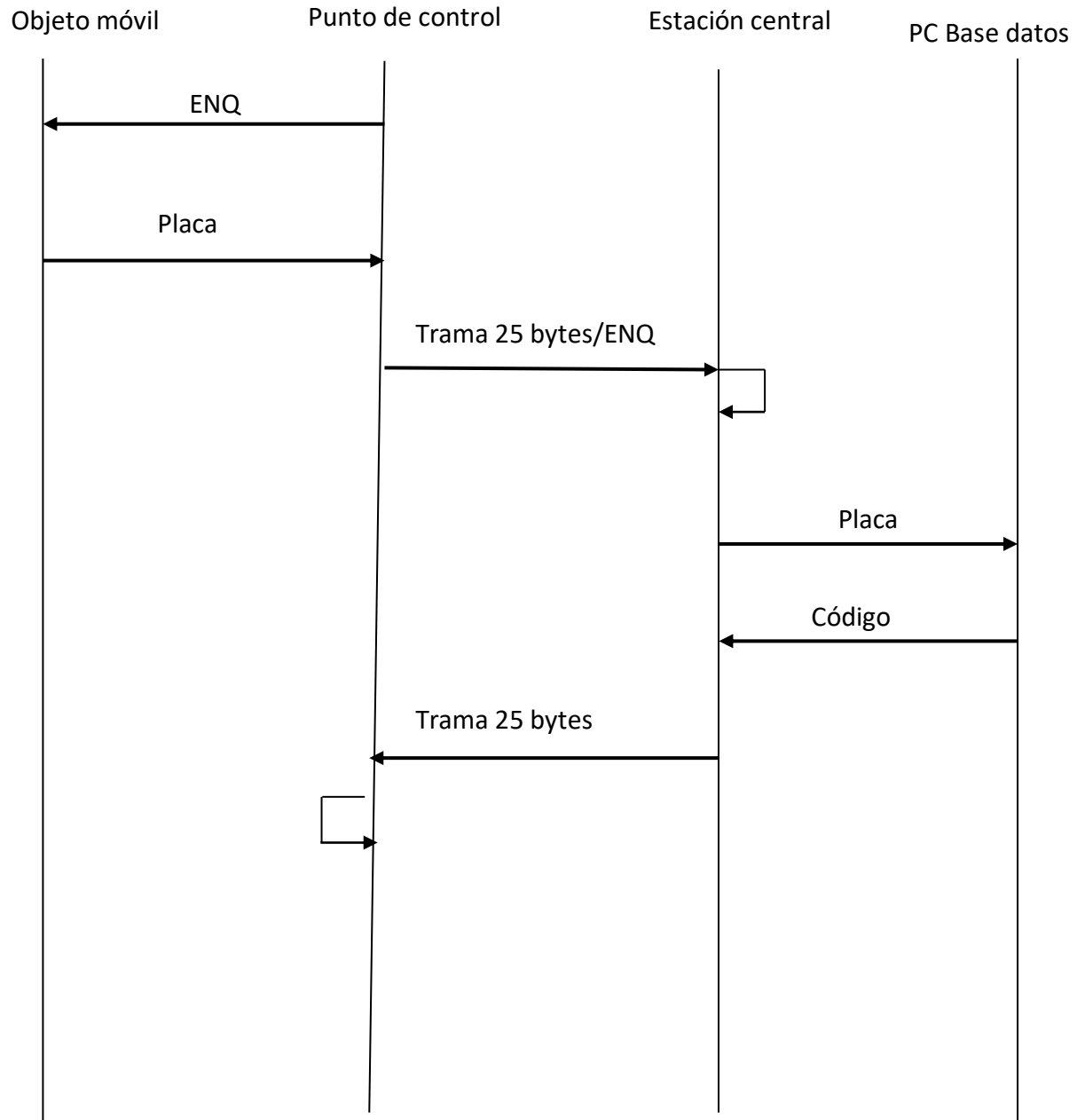


Figura 18 Diagrama secuencial general del sistema

En la figura 18 se observa el diagrama general de secuencia de la aplicación, en la que el punto de control envía una petición a los objetos móviles que estén en su rango de cobertura, el objeto móvil responde enviando un código de verificación del objeto móvil, esta es recibida por el punto de control el cual la inserta en una trama de información que se envía con una solicitud de conexión a la estación central. Si la estación central no

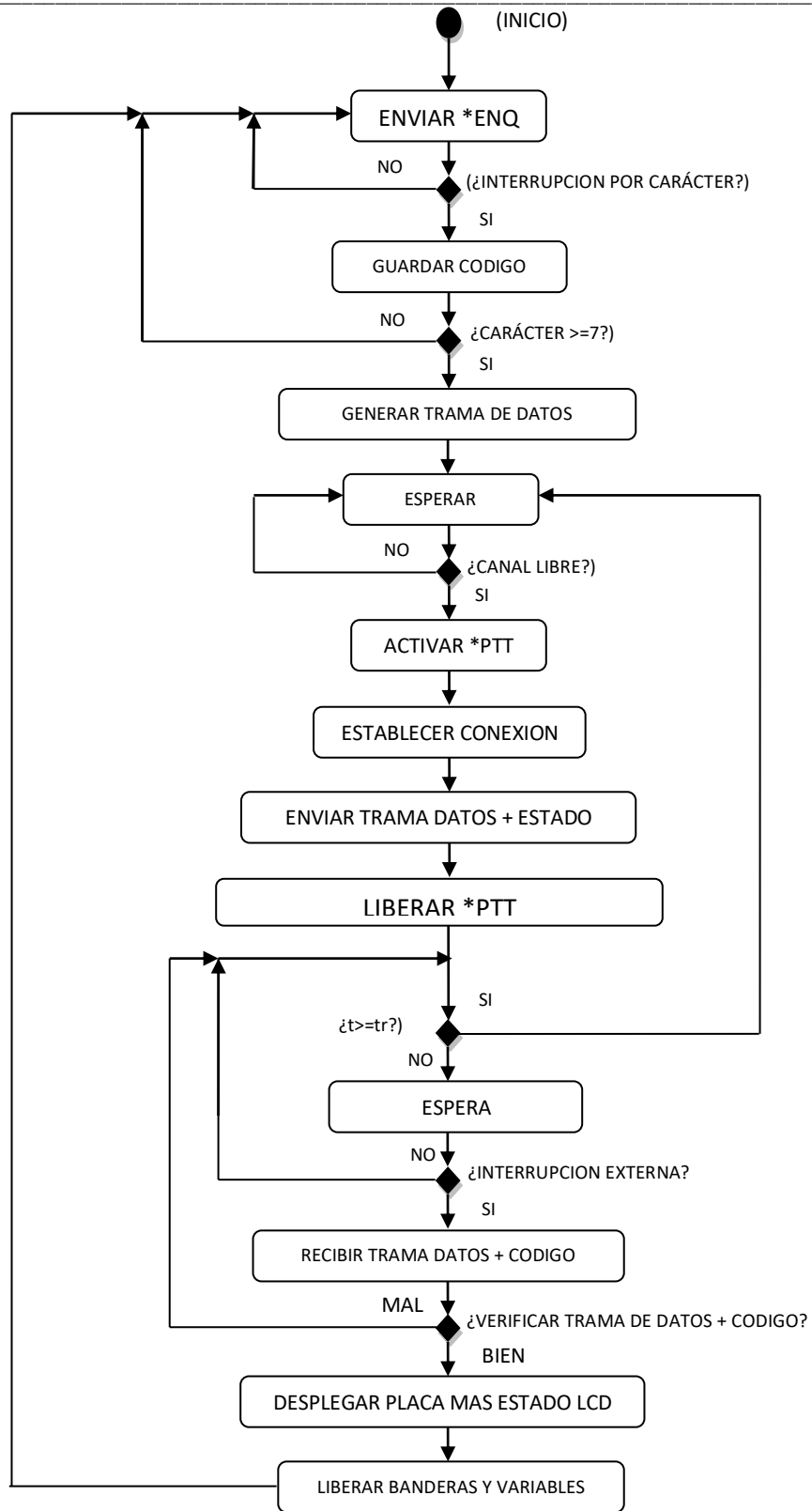
responde en un intervalo de tiempo, se retransmite la trama. Si la trama llega correctamente a la estación central esta extrae la placa y la envía al computador para el análisis en la base de datos. La base de datos responde con un código el cual es un carácter que identifica el estado del objeto móvil (multa = m, robado = r, infracción = i, l = limpio). La estación central identifica los datos correspondientes al carácter de código recibido y envía la trama al punto de control para el despliegue del estado del objeto móvil en este. Si el punto de control no recibe respuesta de la estación central en un tiempo determinado retransmite de nuevo la trama de información.

2.3.4.2 Diagrama de flujo del punto de control.

En la figura 19 se observa el diagrama de flujo que muestra el proceso de comunicación del punto de control.

El dispositivo maestro está constantemente enviando mensajes de estado libre hasta cuando un dispositivo esclavo solicita la conexión, esto se hace porque el dispositivo maestro está ubicado en el punto de control en el cual puede tener un soporte de energía adicional.

Cuando algún dispositivo esclavo responde al mensaje de estado libre del maestro se genera una interrupción en el dispositivo maestro que permite que esté preparado para recibir los datos (código de verificación), cuando los datos son adquiridos por el dispositivo maestro se verifican que sean correctos, si es así, se activa el PTT del radio móvil PDC y se envía la trama, después de esto se libera el PTT y pasa a un estado de espera de una interrupción externa. Si no llega una interrupción externa después de un tiempo t_1 se retransmite la trama hasta que llegue correctamente. Se verifica la trama y el código, si es correcta se despliega en el LCD y se libera las variables del sistema.



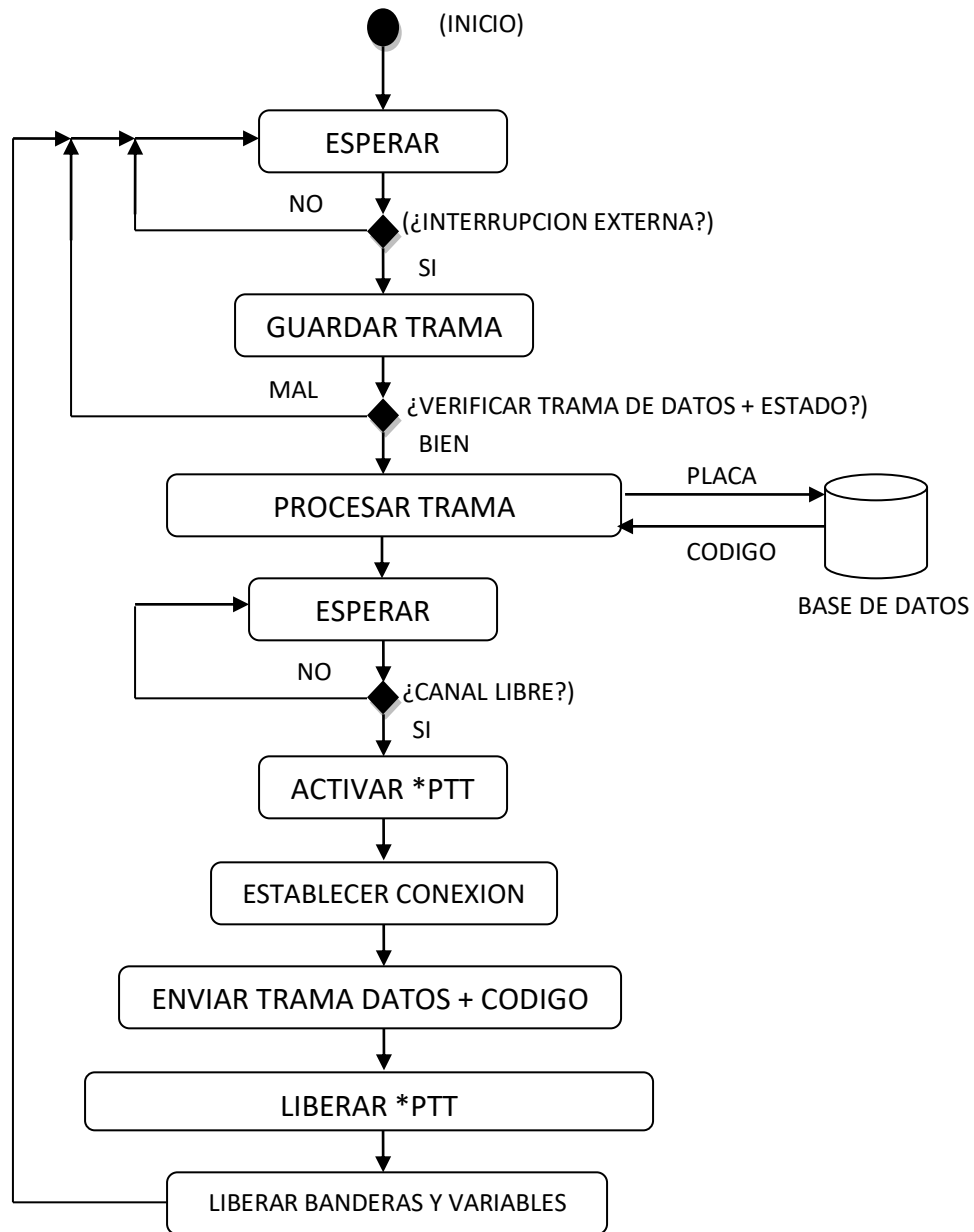
*PTT=PUSH TO TALK (PRESIONE PARA HABLAR)

*ENQ=ENQUIRY (PETICION)

Figura 19 Diagrama de flujo del punto de control

2.3.4.3 Diagrama de flujo de la estación central.

En la figura 20 se observa el diagrama de flujo que muestra el proceso de comunicación de la estación central.



*PTT=PUSH TO TALK (PRESIONE PARA HABLAR)

Figura 20 Diagrama de flujo de la central

El microcontrolador de la estación central inicia esperando una interrupción externa que le indique la llegada de datos desde el radio móvil EC, cuando esta se activa se guarda la trama, se verifica, si esta correcta se extrae el código de verificación (placa) de la trama y se envía a la base de datos, sino está correcta se espera la llegada de otra trama correcta. La base de datos retorna un caracter que identifica el código de estado del objeto móvil. De esta forma se pasa a un ciclo de espera hasta recibir notificación de canal libre, cuando el canal esta libre se activa el PTT, se envía la trama de datos con el valor de campo de estado devuelto por por la base de datos hacia el radio móvil PDC y se libera el PTT. De esta forma se liberan las banderas y variables y se reinicia el sistema a la espera de otro dato.

3 PROTOCOLO DE COMUNICACIONES

3.1 GENERALIDADES

Un protocolo de Comunicación es el conjunto de reglas que especifican el intercambio de datos o comandos durante la comunicación entre las entidades que forman parte de una red. El protocolo permite la comunicación de los bloques que intervienen en el sistema desarrollado como se ve en la figura 21.

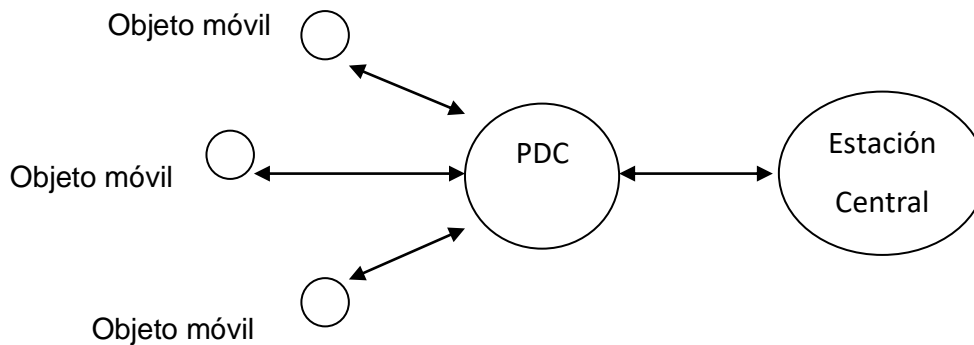


Figura 21 Bloques del sistema

La red debe permitir la comunicación de los siguientes bloques: objeto móvil – punto de control y punto de control - objeto móvil; comunicación punto de control - estación central y estación central - punto de control. Cada objeto móvil debe estar en capacidad de transmitir datos a su punto de control, y este a su vez debe transmitir y recibir datos hacia y desde la estación central. La estación central y los puntos de control transmiten y reciben la información en la misma frecuencia y por lo tanto la comunicación debe ser simplex a dos frecuencias, es decir no se puede transmitir y recibir información al mismo tiempo.

La red debe ser confiable, si existen errores en los datos se debe asegurar que la información llegue a su destino. Se desarrolló un protocolo de comunicaciones propio orientado a bit que permite la detección de errores, cuando se detectan se espera por la retransmisión de la información.

Los objetos móviles tienen un dispositivo LM 058, el PDC y las estación central están equipadas con un radio móvil y un dispositivo LM 058.

El protocolo de comunicaciones se encuentra dividido en dos niveles, un nivel físico que incluye el modulo de RF y el mecanismo para transmitir y recibir bits y un segundo nivel, en el cual se define la forma en que se va a transmitir los datos, es decir la estructura de la trama de información.

La comunicación del objeto móvil al punto de control se realiza por medio de los dispositivos Bluetooth LM 058, estos dispositivos están conectados al puerto serial de los PICS por medio de un integrado MAX232 que se encarga de realizar la adaptación o conversión de los niveles de voltaje.

3.2 PROTOCOLO IMPLEMENTADO.

El protocolo de comunicaciones implementado es de segundo nivel, consiste en una trama de bits, esta trama contiene la siguiente información:

- i. Campo preámbulo: El preámbulo es una serie de bits que indica el inicio de la trama.
- ii. Campo sincronización: La sincronización complementa la función del preámbulo y permite que el receptor identifique el inicio de la información útil.
- iii. Campo id_origen: El id_origen es el identificador del punto de control.

- iv. Campo código: El código es una serie de bits que permiten identificar al objeto móvil.
- v. Campo estado: El estado es una serie de bits que permite identificar en que estado se encuentra el objeto móvil (infracción, multa, robado, sin problemas).
- vi. Campo error: Este campo permite asegurar que los datos entregados finalmente en el destino sean los correctos.

En la figura 22 se puede ver el formato de la trama .

| | | | | | |
|-----------|----------------|-----------|--------|--------|-------|
| Preámbulo | Sincronización | Id origen | Código | Estado | Error |
|-----------|----------------|-----------|--------|--------|-------|

Figura 22 Campos trama de información

En la tabla 6 se visualiza la longitud de los campos de la trama de información.

Tabla 6 Longitud de los campos de la trama de información

| Campo | Preámbulo | Sincronización | Id_origen | Código | Estado | Error |
|-------------------|-----------|----------------|-----------|--------|--------|-------|
| Tamaño # bytes | 10 | 1 | 1 | 6 | 1 | 4 |

El funcionamiento del protocolo es el siguiente: cuando se transmiten los datos del punto de control a la estación central, en el punto de control se inicia un temporizador al mismo tiempo que se envía la trama de información, si el temporizador llega a cero y no se ha recibido una trama de información respuesta de la estación central entonces se retransmite nuevamente la trama de información del punto de control a la estación central.

3.3 SECUENCIA DE COMUNICACIÓN

3.3.1 Comunicación móvil – punto de control.

Los dispositivos LM 058 se encargan de realizar la comunicación Bluetooth de manera transparente al usuario, los PICS realizan el envío del código del móvil y el código de petición por medio del puerto serial RS232 del LM 058. La secuencia de comunicación es la siguiente:

- a. El PIC (16F877) por medio del puerto RS232 del punto de control envía un código de petición al adaptador LM 058 y este lo transmite por Bluetooth.
- b. El adaptador Bluetooth LM 058 del móvil dentro del rango de cobertura, recibe el código de petición transmitido por el punto de control y lo envía por el puerto serie al el PIC (16F877), el PIC responde transmitiendo una serie de caracteres alfanuméricos (6 bytes) por el puerto serie al dispositivo LM 058 y este ultimo lo transmite al punto de control por Bluetooth. Los caracteres enviados por el móvil se almacenan en el campo código dirección del protocolo para ser enviado a la estación central.

En la figura 23 se observa la secuencia de comunicación

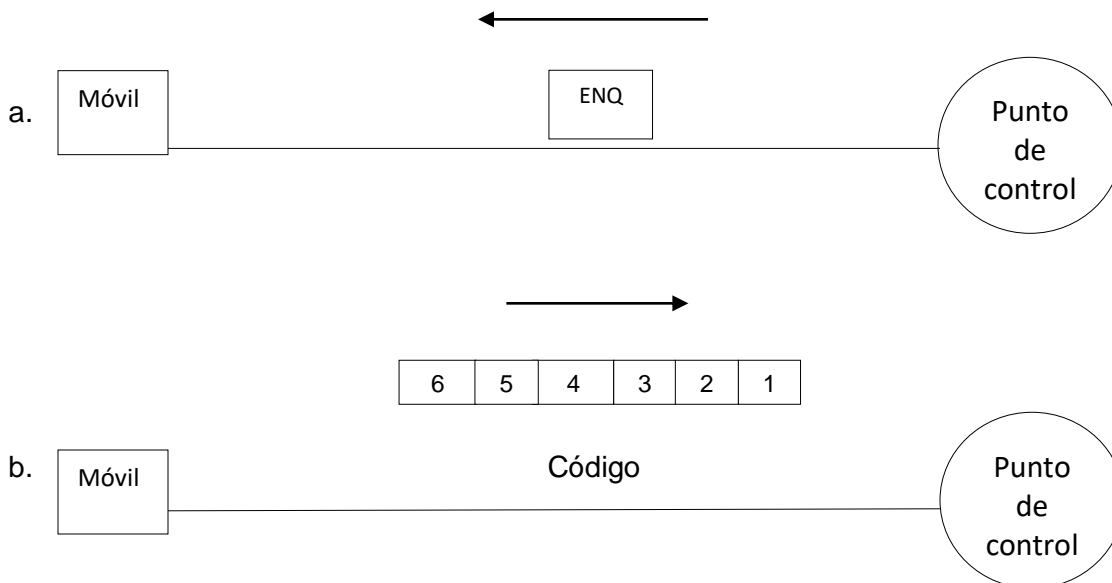


Figura 23 Secuencia de comunicación punto de control – objeto móvil

3.3.2 Comunicación punto de control – estación central.

En este caso la secuencia de comunicación es la siguiente:

- a. El punto de control envía la trama de información e inicializa un temporizador.
- b. Si el temporizador del punto de control llega a cero la trama se retransmite de nuevo.
- c. Si la trama de información llega con errores a la estación central, esta no envía respuesta al punto de control, con lo cual el temporizador del punto de control llegará a cero y por lo tanto se retransmitirá de nuevo la trama de información desde el punto de control hacia la estación central.
- d. Si la trama de información transmitida por el punto de control llega bien a la estación central esta envía la trama de información con el estado de la dirección.

En la figura 24 se observa la secuencia de comunicación

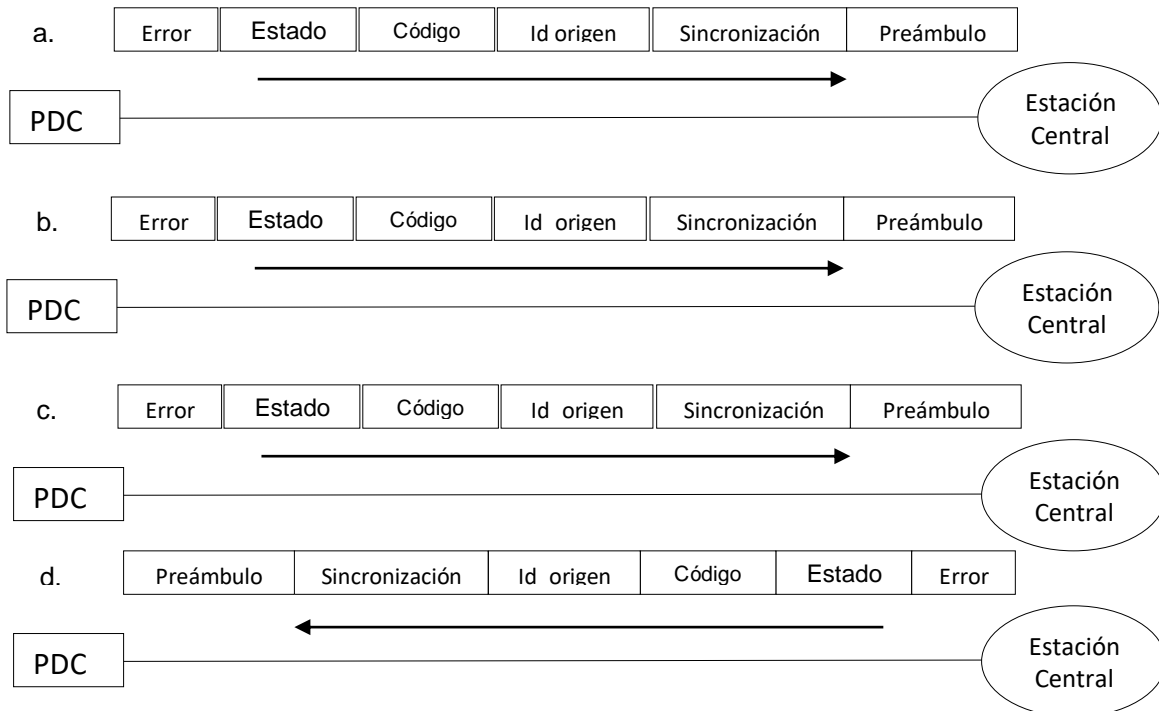


Figura 24 Secuencia de comunicación punto de control – estación central

4 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

4.1 DESCRIPCIÓN DE DISPOSITIVOS

4.1.1 Adaptador LM 058

El adaptador LM 058 de la empresa *LM Technologies* es un transceptor Bluetooth que permite la comunicación de forma inalámbrica entre dispositivos con puerto serie RS232 y conector DB9. Este adaptador permite la comunicación con otro adaptador Bluetooth con puerto serie o dispositivos con interfaces Bluetooth como computadores portátiles y teléfonos móviles. El LM 058 permite comunicaciones a una distancia de 100 metros y con una antena LM 057 hasta 600 metros. En la figura 25 se muestra el adaptador LM 058.



Figura 25 Adaptador LM 058

4.1.2 Radio Motorola PRO3100

El Motorola PRO3100 es un radio convencional de dos vías que permite comunicación de unidad a unidad, o con una estación central y adicionalmente cuenta con un puerto para su programación que cuenta con pines que permiten la transmisión y recepción de señales de voz y datos realizando la adaptación o interfaz correcta. En la figura 26 se observa el radio Motorola PRO3100.



Figura 26 Radio Motorola Pro3100

Para la implementación del piloto de la interfaz Bluetooth-radio móviles se utilizó la configuración que se muestra la tabla 7

Tabla 7 Configuración del radio Motorola Pro3100

| Potencia de transmisión (vatios, W) | Frecuencia de Transmisión (Mhz) | Frecuencia de Recepción (Mhz) |
|--|--|--|
| 20 | 150.2 | 151.168 |

En la figura 27 se visualizan los pines configurados del puerto del radio Pro3100 para la implementación de la interfaz piloto para la integración de Bluetooth y radio móviles

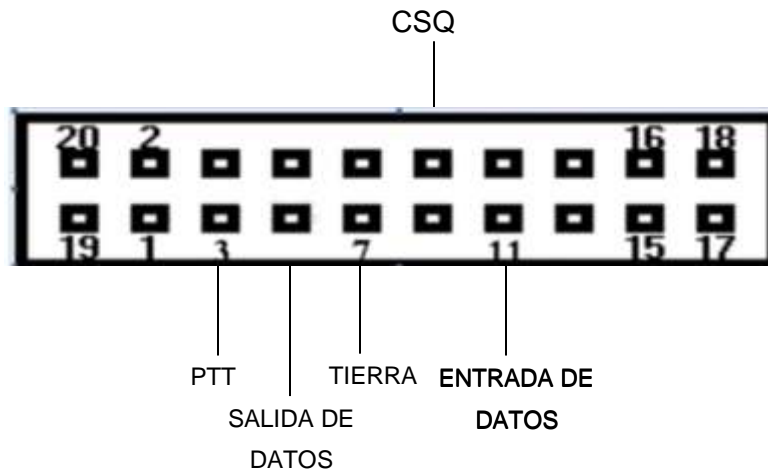


Figura 27 Configuración pines radio Motorola Pro3100

4.1.3 PIC 16F877

El PIC 16F877 es un microcontrolador que posee varias características que lo hacen un dispositivo muy versátil, eficiente y práctico para ser empleado en aplicaciones de bajo costo y procesamiento de información de complejidad intermedia. En la figura 28 se muestra la distribución general de pines del PIC 16F877.

Pin Diagram PDIP

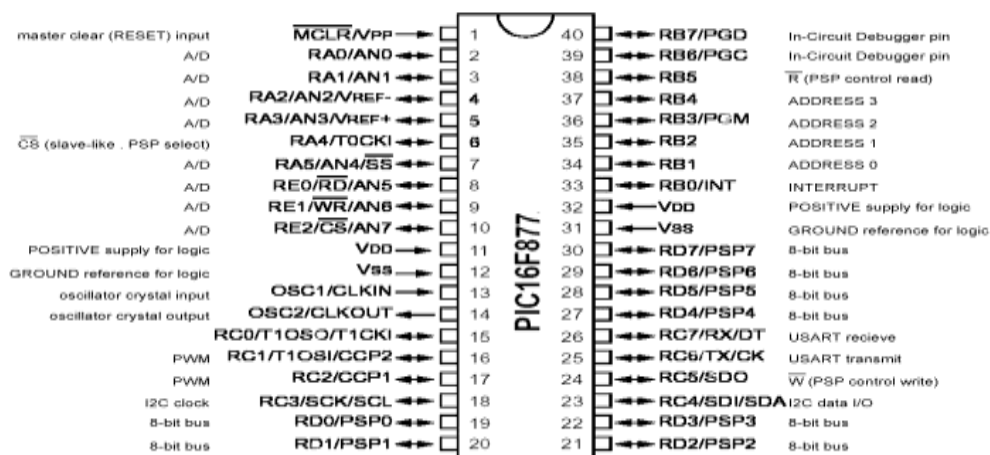


Figura 28 PIC 16F877

Algunas características importantes son:

- Soporta modo de comunicación serial.
- Amplia memoria para datos y programa, 8KB×14 bits de memoria flash de programa, 368 bytes de memoria de datos RAM y 256 bytes de memoria de datos EEPROM.
- Memoria reprogramable: Posee memoria flash. Este tipo de memoria se puede borrar electrónicamente (esto corresponde a la "F" en el modelo).
- Conjunto de instrucciones reducidas.
- Bajo consumo de corriente, menos de 0.6 mA a 3v y cristal a 4 Mhz, menos de 1µA corriente en modo en espera (modo de bajo consumo (SLEEP MODE)).
- Frecuencia de operación de 0 a 20 Mhz (200 nanosegundos de ciclo de instrucción)

4.2 DESCRIPCIÓN DE HERRAMIENTAS SOFTWARE

Para la simulación y programación de los dispositivos se utilizaron varias herramientas software de la cuales se hará una breve descripción.

4.2.1 Proteus

Proteus es una herramienta software que permite la realización completa de proyectos de construcción de equipos electrónicos en todas sus etapas: diseño, simulación, depuración y construcción. Se compone de cuatro elementos integrados entre sí:

- **ISIS:** Es una herramienta avanzada que permite la elaboración de esquemas electrónicos, incluye una librería con más de 6.000 modelos de dispositivos digitales y analógicos.
- **ARES:** Es la herramienta para la elaboración de tarjetas de circuito impreso (PCB, *Printed Circuit Board*) con posicionador automático de elementos y generación automática de pistas, que permite la generación de PCBs de hasta 16 niveles.
- **PROSPICE:** Es la herramienta de simulación de circuitos.

- **VSM:** Esta herramienta permite incluir en la simulación de circuitos los microcontroladores más conocidos del mercado. En el desarrollo del trabajo de grado proyecto esta herramienta fue muy importante ya que permitió simular el comportamiento del diseño hardware y software, simular dispositivos como despliegues (*displays*) y conexiones seriales antes de realizar el montaje hardware.

4.2.2 Virtual Serial Port Driver

Virtual Serial Port Driver es una utilidad que emula un número ilimitado de puertos serie RS232 conectados a través de cables virtuales null-modem utilizando un controlador especial. Los puertos virtuales creados por el programa se ven como puertos serie hardware reales para el sistema operativo o cualquier aplicación de Windows.

En el desarrollo del proyecto se utilizó esta herramienta para probar la implementación hardware y software de las etapas del sistema ya que permitió interactuar la aplicación de hyperterminal con los puertos serie de la herramienta proteus.

4.2.3 HyperTerminal

HyperTerminal es una aplicación que permite conectar el computador a sistemas remotos. Estos sistemas incluyen otros computadores, servidores, sitios Telnet, servicios en línea, o dispositivos. Para estas conexiones se requiere un módem o puertos seriales para configurar y establecer la conexión. En la conexión se deben establecer parámetros de configuración para la conexión que determinan la forma y velocidad de la conexión.

Esta aplicación se utilizó para configurar los dispositivos LM 058, pruebas para establecer comunicación directa entre los LM 058 de computador a computador y pruebas de comunicación de todas las interfaces seriales del sistema tanto a nivel de simulación con las herramientas Proteus y *Virtual Serie Port Driver* como implementación hardware con los microcontroladores, la conexión serial a la base de datos y a los dispositivos LM 058.

4.2.4 Compilador C para PICs

Para la programación de los microcontroladores PIC en lenguaje C es necesario utilizar un compilador de C. Dicho compilador genera archivos en formato Intel-hexadecimal que son necesarios para programar (utilizando un programador de PIC) microcontroladores de 6, 8, 18 ó 40 pines.

El PCW de CCS es un compilador de C que permite desarrollar todas y cada una de las fases que componen un proyecto, desde la edición hasta la compilación pasando por la depuración de errores. La última fase, a excepción de la depuración y retoques hardware finales es la programación de los PICs.

Al igual que un compilador de C, éste traduce el código C del archivo fuente (.C) a lenguaje máquina para los microcontroladores PIC, generando así un archivo en formato hexadecimal (.HEX).

La salida en HEX y los archivos de depuración son seleccionables y compatibles con emuladores y programadores populares incluyendo MPLAB IDE para depuración a nivel de fuente. PCW incluye un poderoso *IDE* bajo Windows. El compilador requiere Windows 95, 98, ME, NT4, 2000, XP, o Linux.

4.2.5 EPICWIN

Este es un programador económico y versátil de microcontroladores PIC, se configura fácilmente mediante conectores (jumpers) para programar, leer, verificar y editar los programas de la mayoría de microcontroladores de 8 pines, 18 pines y de 28 pines incluidos los de 40 pines en especial el PIC 16F877, el cual se programa usando un cable de puerto paralelo.

Características:

- Hardware simple para ser conectado al puerto paralelo
- Soporta cable de impresora
- Software interactivo para Windows 9X/NT/2000/XP

- Requiere una fuente de +15VDC, 500mA.

4.2.6 PHP y MYSQL

PHP (*PHP, Hypertext Pre-processor*) es un lenguaje de programación de estilo clásico, con variables, sentencias condicionales, bucles, funciones, no es un lenguaje de marcas como lo es HTML, XML o WML.

PHP se ejecuta en el servidor, por eso permite acceder a los recursos que tiene el servidor como por ejemplo una base de datos. El programa PHP es ejecutado en el servidor y el resultado enviado al navegador. El resultado es normalmente una página HTML como se ve en la figura 29.



Figura 29 Entorno PHP

Al ser PHP un lenguaje que se ejecuta en el servidor no es necesario que su navegador lo soporte, por lo tanto es independiente del navegador, sin embargo el servidor donde están alojadas las paginas debe soportar PHP.

PHP Serial Extensión es una extensión que nos permite manejar los puertos y las comunicaciones de los puertos serie directamente desde una aplicación PHP.

SQL, Lenguaje de Consulta Estructurado (SQL, *Structure Query Language*) es un lenguaje de programación de libre uso que permite trabajar con base de datos relacionales como MySQL, Oracle, etc. MySQL es un interprete de SQL, es un servidor de base de datos. MySQL permite crear base de datos y tablas, insertar datos, modificarlos,

eliminarlos, ordenarlos, hacer consultas y realizar muchas operaciones, etc., resumiendo: administrar bases de datos.

Se puede establecer comunicación con la base de datos en el servidor mediante instrucciones en la línea de comandos o embebidas en un lenguaje como PHP.

MySQL es un gestor de base de datos sencillo de usar. También es uno de los motores de base de datos más usados en Internet, la principal razón de esto es que es gratis para aplicaciones no comerciales.

Las características principales de MySQL son:

- Es un gestor de base de datos. Una base de datos es un conjunto de datos y un gestor de base de datos es una aplicación capaz de manejar este conjunto de datos de manera eficiente y cómoda.
- Es una base de datos relacional. Una base de datos relacional es un conjunto de datos que están almacenados en tablas entre las cuales se establecen unas relaciones para manejar los datos de una forma eficiente y segura. Para usar y gestionar una base de datos relacional se usa el lenguaje estándar de programación SQL.
- Es Open Source. El código fuente de MySQL se puede descargar y está accesible a cualquiera, por otra parte, usa la licencia publica general (GPL, General Public License) para aplicaciones no comerciales.
- Es una base de datos muy rápida, segura y fácil de usar. Gracias a la colaboración de muchos usuarios, la base de datos se ha ido mejorando optimizándose su velocidad de respuesta. Por eso es una de las bases de datos más utilizadas en Internet.

4.3 CONFIGURACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS LM 058

En el desarrollo de la interfaz piloto de integración Bluetooth-Radio móviles fue necesario comprobar la comunicación Bluetooth entre los dispositivos LM 058 para lo que se configuró y se estableció un enlace entre los dispositivos mediante el siguiente procedimiento:

1. Desconexión del cable de alimentación de los dos dispositivos LM 058.
2. Inicialización del programa Hyperterminal, creando una conexión con el puerto donde está conectado el dispositivo LM 058, configurando los parámetros del puerto de la siguiente manera:
 - a. Bits por segundo: 19200
 - b. Paridad: Ninguno
 - c. Bits de datos: 8
 - d. Bits de parada: 1
 - e. Control de flujo: Ninguno.

En la figura 30 se muestra la configuración correcta del puerto en hyperterminal.



Figura 30 Configuración puerto hyperterminal

3. Conexión del cable de alimentación de potencia al adaptador 1.
4. Ubicación del interruptor (*switch*) del adaptador 1 hacia el conector DB9.
5. Inicialización (*reset*) del dispositivo durante cinco segundos haciendo uso de un elemento de punta fina y delgada.
6. Conexión del adaptador al puerto serial.

7. Introducción de los siguientes comandos. Si el comando es aceptado la palabra OK aparece en la ventana del hyperterminal.
 - a. ATB?<ENTER>
 - i. Retorna la dirección hexadecimal de 12 dígitos del adaptador 1.
 - ii. Se escribe el número para recordarlo después.
 - b. ATZ0<ENTER> (Restaura las configuraciones de fabrica)
 - c. ATR0<ENTER> (Configura el adaptador como maestro)
 - d. ATO0<ENTER> (Conecta el adaptador a un dispositivo especificado por ATD)
 - e. ATP=1234<ENTER> (configura la clave de acceso)
8. Desconexión del adaptador 1 del puerto serial.
9. Desconexión de la alimentación del adaptador 1.
10. Conexión de la alimentación de potencia al adaptador 2.
11. Colocación del interruptor (switch) del adaptador 2 hacia el conector DB9.
12. Inicialización (*reset*) del dispositivo durante cinco segundo haciendo uso de un elemento de punta fina y delgada.
13. Conexión el adaptador en el puerto serial
14. Introducción de los siguientes comandos:
 - a. ATB?<ENTER>
 - i. Retorna la dirección hexadecimal de 12 dígitos del adaptador 2.
 - ii. Se escribe el número para recordarlo después.
 - b. ATZ0<ENTER>
 - c. ATR1<ENTER> (Configura el adaptador como esclavo)
 - d. ATP=1234<ENTER>
 - e. ATD=XXXXXXXXXXXX<ENTER> (Especifica la dirección de un único dispositivo para comunicarse). Donde XXXXXXXXXXXXX es la dirección de 12 dígitos del adaptador 1.
15. Desconexión del adaptador 2 del puerto serial.
16. Desconexión de la alimentación de potencia del adaptador 2.
17. Conexión de la alimentación de potencia al adaptador 1.
18. Conexión del adaptador 1 al puerto serial.
19. Se digitan los siguientes comandos.

ATD=XXXXXXXXXXXX<ENTER>

XXXXXXXXXXXX es la dirección de 12 dígitos del adaptador.

En este punto los adaptadores ya se encuentran configurados. Para verificar la comunicación entre los adaptadores se deben realizar los siguientes pasos:

- a. Conexión de la alimentación de potencia a los adaptadores.
- b. Si el led de los adaptadores Bluetooth deja de parpadear y se queda encendido los dispositivos están bien configurados y se encuentran interconectados.
- c. Conexión de los adaptadores a los puertos seriales respectivos. En la ventana del hyperterminal debe aparecer el mensaje de conectado.
- d. Los mensajes que se escriban en un terminal deben aparecer en la ventana del otro terminal.

4.4 CARACTERIZACION DEL RADIO MÓVIL PRO3100

Las pruebas realizadas al radio móvil se hacen con el fin de caracterizar y comprobar algunos parámetros importantes para el desarrollo de la interfaz piloto para la integración de Bluetooth y radio móviles. Entre los parámetros que se analizan están: La desviación en frecuencia (Δf), potencia transmitida, potencia reflejada, relación de ondas estacionarias y sensibilidad.

Los equipos utilizados fueron:

1. Analizador de espectro HP 8590 A
2. Generador de funciones Newtronics modelo 200 MSPC
3. Generador de radiofrecuencias RF HP8656B.
4. Osciloscopio Tectronix 2225.
5. Radio móvil Motorola pro 3100.
6. Vatímetro.

Se utilizaron conectores, atenuadores, cargas, cables y adaptadores BNC necesarios para realizar los montajes para realizar las pruebas necesarias.

4.4.1 Desviación de frecuencia (Δf)

El objetivo de esta prueba fue determinar la relación entre el voltaje de entrada y la desviación de frecuencia; para esta prueba se utilizaron los siguientes equipos:

- Analizador de espectro HP 8590 A.
- Generador de funciones Newtronics modelo 200 MSPC
- Vatímetro.
- Atenuador de 30 dB.
- Conectores para osciloscopio, generador de funciones, , analizador de espectro, conectores BNC.
- Carga de 50 Ω .

Procedimiento: La conexión que se realizó se indica en la figura 31. La salida del radio móvil fue conectada a la entrada del vatímetro, a la salida de este, se conectó un adaptador en T, al extremo contrario se conectó la carga de 50 Ω y en el otro extremo se conectó un atenuador de 30 dB con el fin de atenuar la potencia que tiene configurado el radio móvil Motorola pro 3100 y proteger el analizador de espectro.

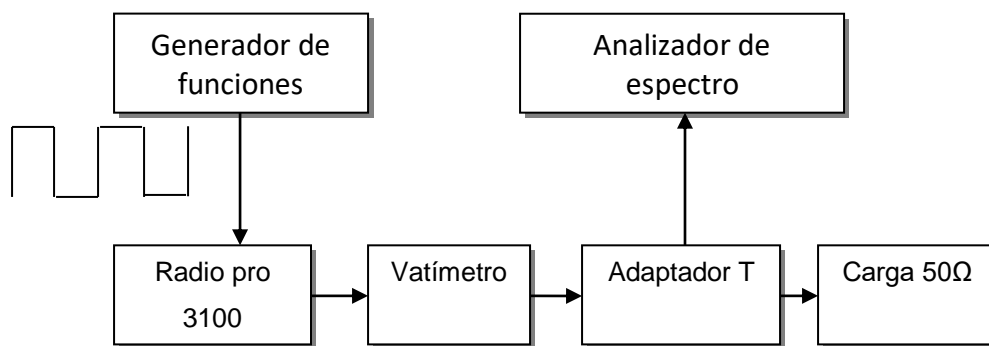


Figura 31 Montaje para el cálculo de la desviación de frecuencia Δf .

Luego se conectó a la entrada del puerto configurable del radio Motorola pro3100 el generador de funciones con una señal cuadrada bipolar con un nivel de voltaje de 50 mv pico a pico y una frecuencia de 300 Hz. El nivel de voltaje se varió desde 50 mv hasta 400 mv pico a pico y se encontró el valor de la desviación de frecuencia, valores consignados en la tabla 9. Los valores que aparecen en la tabla son el resultado del promedio de las medidas realizadas en cada caso lo que permite encontrar un valor de voltaje de entrada para el pin Tx del radio móvil y escoger el ancho de banda de trabajo.

Tabla 8 desviación de frecuencia vs voltaje

| Vin (mVPP) | FC - Δf (Mhz) | FC + Δf (Mhz) | 2 Δf (Khz) |
|------------|---------------|---------------|------------|
| 50 | | | ≈0 |
| 100 | 150.9629 | 150.96676 | 3.860 |
| 200 | 150.776882 | 150.785344 | 8.462 |
| 300 | 150.83769 | 150.846934 | 9.244 |
| 400 | 150.9070375 | 150.91975 | 12.713 |

En la figura 32 se observa la grafica de desviación de frecuencia Vs voltaje de entrada (Δf (Khz) vs Vin (Vpp (mV))) Esta gráfica muestra un comportamiento casi lineal que es el resultado esperado para las modulaciones FSK.

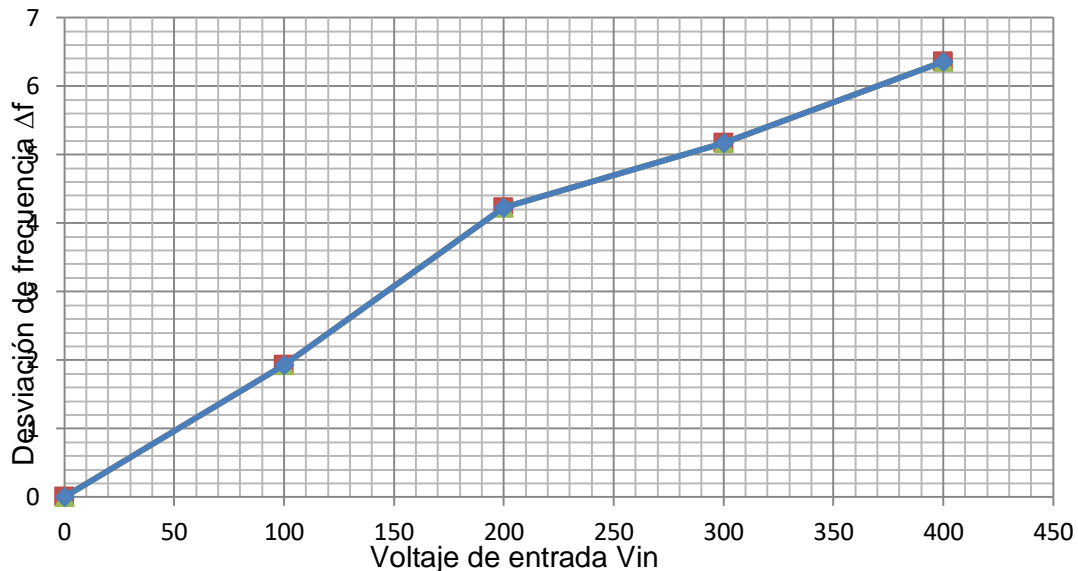


Figura 32 Desviación de frecuencia Vs voltaje de entrada

4.4.2 Cálculo del ancho de banda B teórico

El ancho de banda se calcula con los datos que se obtienen de la desviación de frecuencia con velocidad de transmisión de datos del sistema, aplicando la regla de Carson modificada para sistemas FSK:

$$B = 2 (\Delta f + R) \quad \Delta f = \text{Desviación de frecuencia} \quad R = \text{Velocidad de transmisión de datos.} \quad (4)$$

Por ejemplo para el caso con $\Delta f \approx 4.231$ KHz y $R = 0.333$ Kbps y $V_{inPP} = 200$ mV

$$B = 2 (4.231 + 0.333)$$

B= 9.128 Khz Teórico

La desviación estándar que genera el protocolo de comunicación en el radio móvil es de $\Delta f \approx 4.380$ Khz para un ancho de banda de B=9.426 Khz quedando un ancho de banda de 3.074 Khz para los canales de guarda.

4.4.3 Potencia transmitida y reflejada

El objetivo de esta prueba fue comprobar la adaptación que existe entre una carga de 50 Ω y el radio móvil PRO3100. Para la medida de la potencia transmitida y reflejada se realizó el montaje de la figura 33.

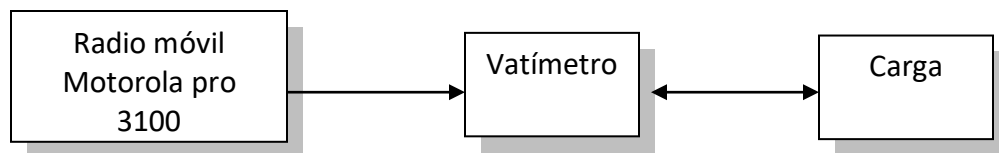


Figura 33 Montaje para el valor de la potencia y ROE

P = Potencia.

Ptx=20 W.

Preflejada=0.47 W

$$ROE = \frac{1 + \sqrt{\frac{\text{potencia reflejada}}{\text{potencia transmitida}}}}{1 - \sqrt{\frac{\text{potencia reflejada}}{\text{potencia transmitida}}}} \quad (4)$$

ROE= 1.18

4.4.4 Sensibilidad

El objetivo de esta prueba fue encontrar el nivel mínimo de señal de radiofrecuencia en la entrada del receptor que puede ser procesada por la interfaz piloto. Para esta prueba se utilizaron los siguientes equipos:

- Generador de RF 8656 B.
- Generador de funciones Newtronics modelo 200 MSPC.

- c. Conectores para osciloscopio, generador de funciones, , analizador de espectro y conectores BNC.
- d. Carga de 50 Ω .
- e. Radio móvil Motorola pro 3100.

Procedimiento: La conexión que se realizó se muestra a través de un diagrama en bloques en la figura 34.

Se conecta el generador de funciones a la entrada del generador de RF con una señal cuadrada con un nivel de voltaje de 200mV pico pico y una frecuencia de 300Hz, la salida del generador se conecta a la entrada de la antena del radio móvil. La conexión entre el radio y el generador de funciones fue directa a través de un cable y se utilizaron niveles bastante bajos del generador de RF.

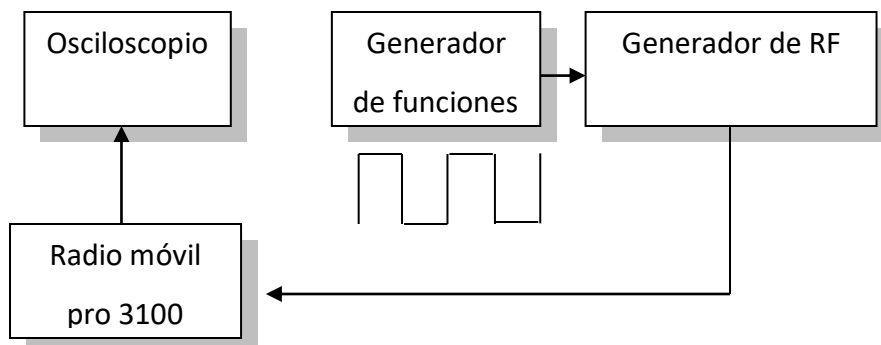


Figura 34 Montaje para el valor de sensibilidad

En la entrada de señal moduladora externa del generador de RF se conectó el generador de funciones. El generador de radiofrecuencia se configuró de la siguiente manera: Modulación de Frecuencia (FM) con una desviación de 5Khz, una frecuencia de transmisión de 151.168Mhz (equivalente a la frecuencia programa de recepción del radio) y se varió la amplitud de salida del generador de RF hasta que la señal visualizada en el osciloscopio presentó errores o no fue visible. El dato obtenido en esta prueba fue:

Sensibilidad= +0.891 μ V \approx -1.002 dBu \approx -108 dBm

4.5 ENLACE LM 058 – LM 058 CON HYPERTERMINAL

Con esta prueba se comprobó el correcto funcionamiento de la comunicación entre los dispositivos LM 058 mediante la herramienta hyperterminal, para esto se realizo el siguiente procedimiento:

1. Se conectó el adaptador LM 058 1 (Maestro) al puerto serie de un computador (PC1) y se conectó la alimentación de potencia al dispositivo LM 058.
2. Se conectó el adaptador LM 058 2 (Esclavo) al puerto serie de otro computador y se conectó la alimentación de potencia al dispositivo LM 058.
3. Se inició una sesión de hyperterminal en el PC1, se le dió el nombre de PC1 como lo muestra la figura 35.

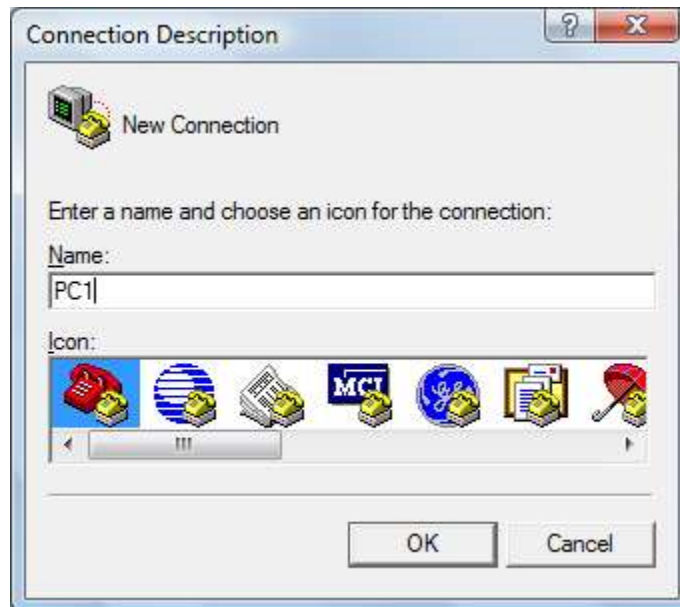


Figura 35 Creación de sesión hyperterminal

Se eligió el puerto a usar para la conexión con el LM 058 como lo muestra la figura 36. Por defecto aparece el COM1 pero puede ser cualquier puerto serie COM físico disponible



Figura 36 Selección del puerto para comunicación

En la siguiente ventana se configurarán los parámetros de la conexión, similares a la configuración previa realizada en los dispositivos LM 058 como lo muestra la figura 37.

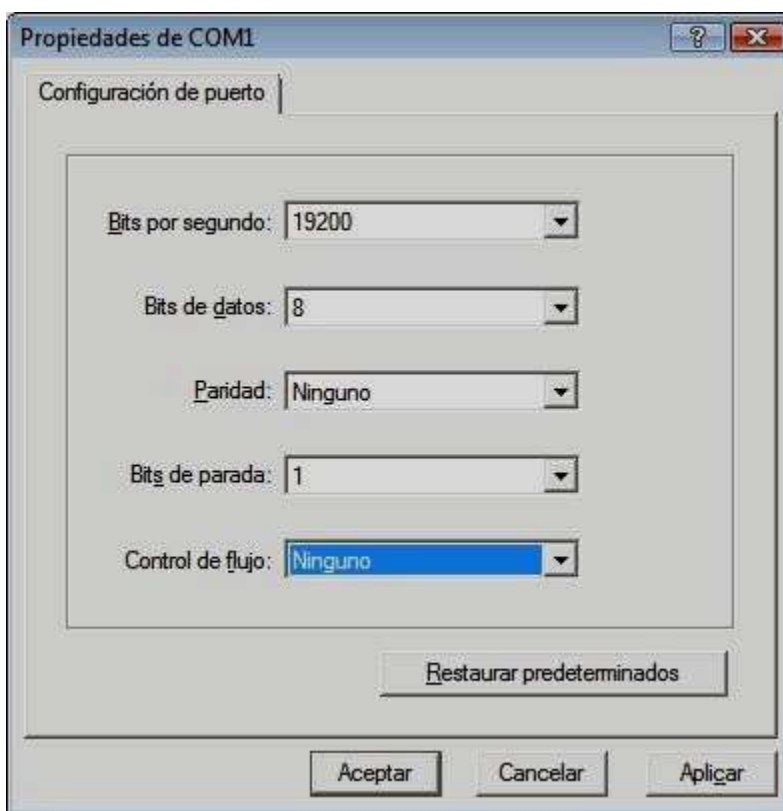


Figura 37 Configuración puerto hyperterminal

Se inició una sesión de hyperterminal en el PC2, se le dió el nombre de PC2 y se configuró de la misma forma que la conexión del PC1.

4. Al finalizar la configuración de la sesión de hyperterminal en el PC2 se estableció el enlace y en las ventanas *hyperterminal* se desplegó el mensaje CONNECT como lo muestra la figura 38.



Figura 38 Confirmación de enlace haciendo uso de hyperterminal

5. De esta forma cualquier carácter que se introdujo desde el teclado del PC1 se visualizó en la ventana de *hyperterminal* del PC2 y viceversa, lo que comprobó la configuración correcta de los dispositivos.

4.6 ENLACE MÓVIL - PC CON HYPERTERMINAL

El objetivo de esta prueba fue comprobar el código y el diseño hardware creados para el funcionamiento del objeto móvil. Esta prueba se realizó en dos etapas.

4.6.1 Simulación

Se realizó una simulación del dispositivo transmisor del móvil (esclavo) con la herramienta de simulación *Proteus* y la utilidad *Virtual Serial Port Driver*. El diagrama de los circuitos simulados se observa en la figura 39.

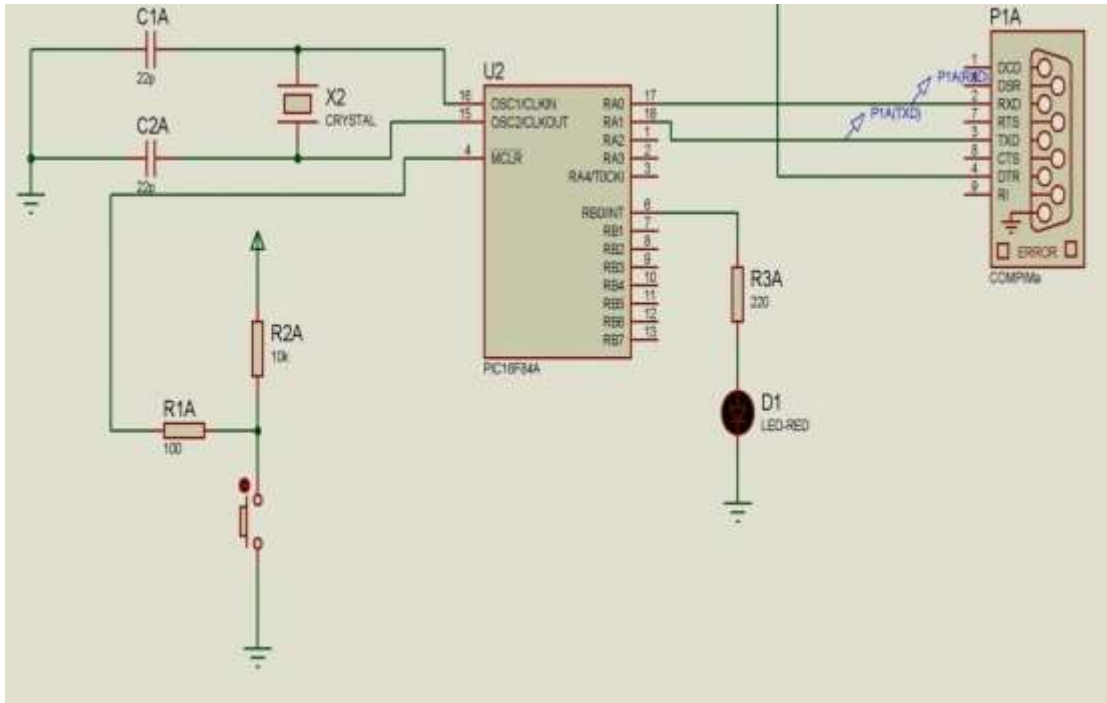


Figura 39 Esquema de simulación enlace móvil – PC con hyperterminal

En la simulación el PIC 16F84 envió los datos al puerto RS232 virtual P1A el cual se configuró al hacer doble clic sobre él como lo muestra la figura 40.

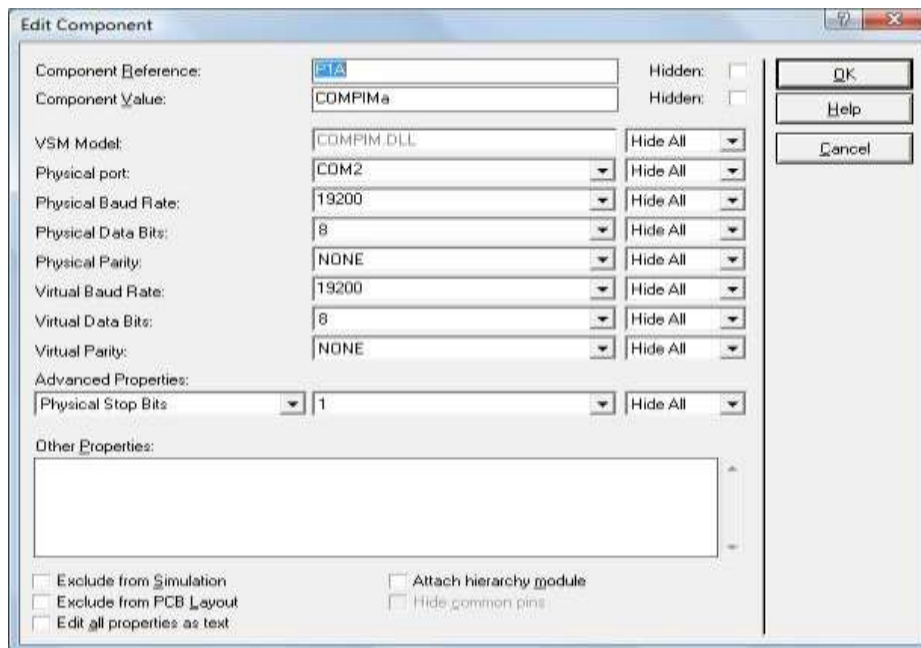


Figura 40 Configuración puerto serie Proteus

Se inició una sesión de hyperterminal configurando el puerto virtual COM3 como lo muestra la figura 41. El programa *Virtual Port Driver* al crear puertos virtuales crea una pareja de puertos que representan uno solo, así la pareja COM2 COM3 representan el mismo puerto y se utilizo uno para conectar al *Proteus* (COM2) y el otro para visualizar los resultados en el hyperterminal. De esta forma al iniciar la simulación los datos enviados por el PIC (la clave 12345) al puerto virtual se visualizaron en la ventana del hyperterminal como lo muestra la figura 42, comprobándose así el funcionamiento del diseño del objeto del móvil.

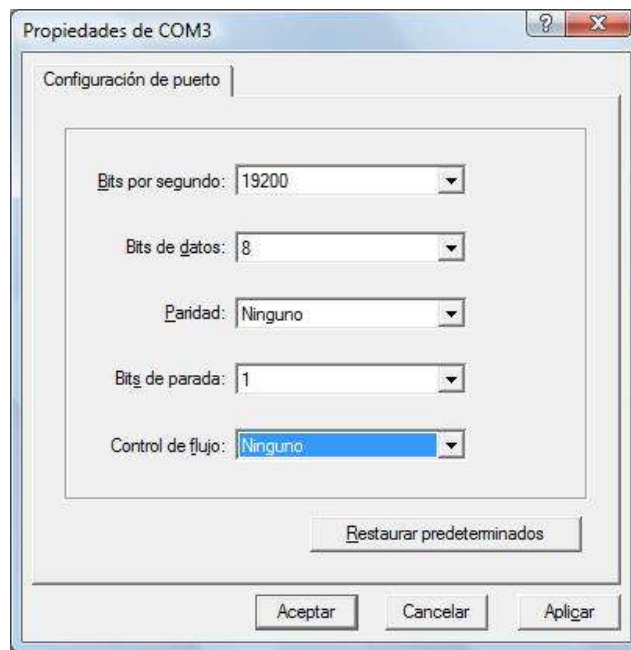


Figura 41 Configuración puerto hyperterminal

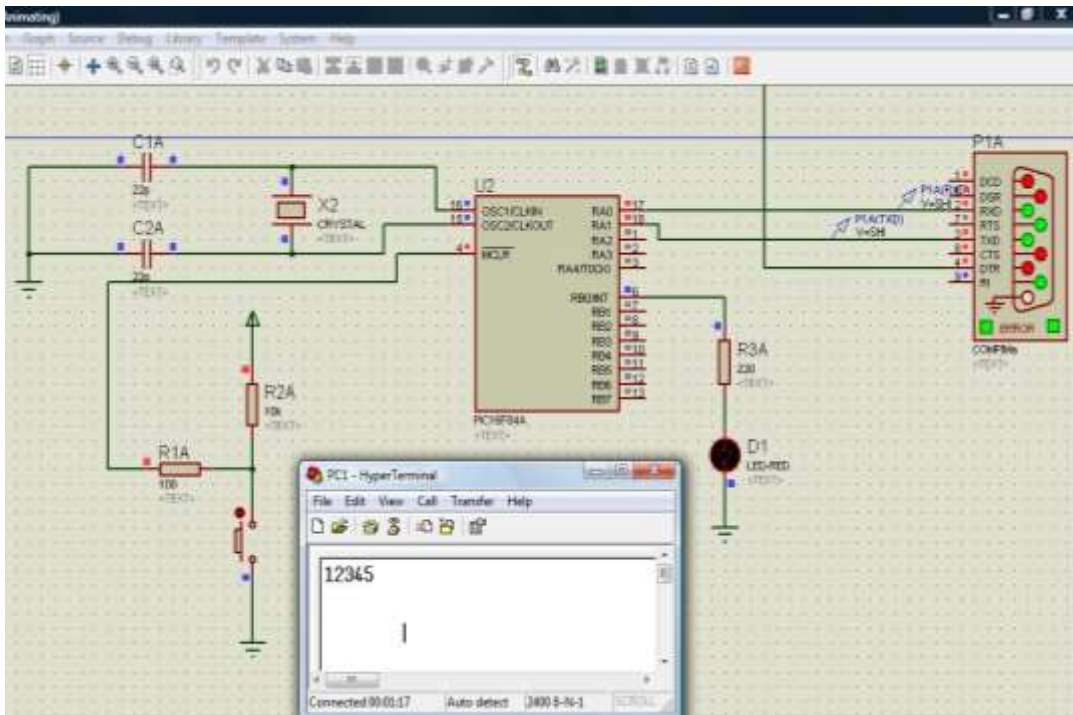


Figura 42 Prueba de funcionamiento simulación enlace móvil - PC

4.6.2 Implementación hardware

El objetivo de esta prueba fue comprobar el funcionamiento hardware del diseño del objeto móvil ya que se comprobó el funcionamiento correcto del diseño software en la prueba anterior. Se realizó el montaje hardware del circuito del objeto del móvil y se conectó directamente mediante cables los pines de transmisión y recepción serial del PIC al puerto RS232 del PC1 como lo muestra la figura 43. El PIC transmisor envió la clave al puerto serie del computador.

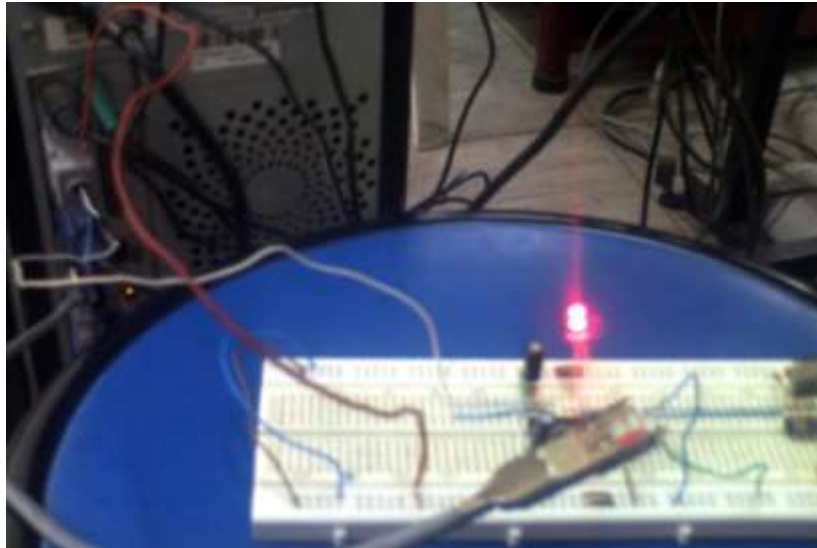


Figura 43 Conexión directa PIC transmisor - PC

Se abrió una sesión de hyperterminal en el PC con los mismos parámetros establecidos en la simulación y se obtuvo en la ventana del hyperterminal la clave como lo muestra la figura 44.

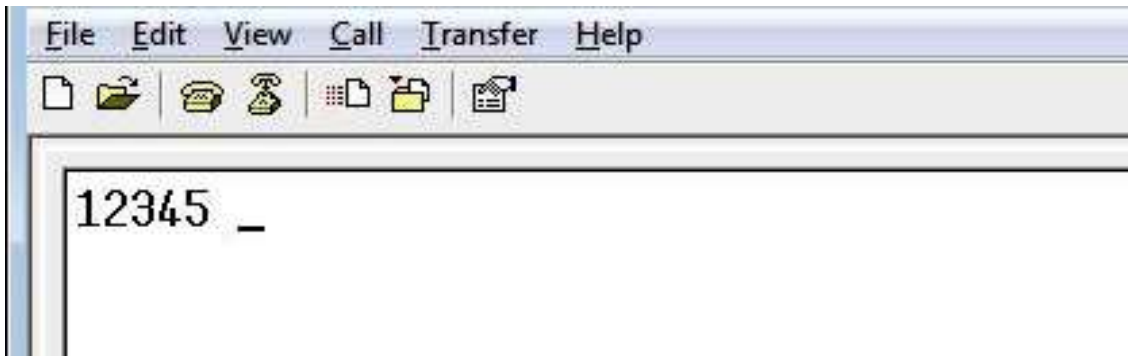


Figura 44 Resultado de recepción clave hyperterminal

Después de comprobar el funcionamiento directo del transmisor se montó el circuito conectando a los pines de transmisión y recepción serial del PIC del objeto móvil un adaptador LM 058 y se envió la clave al otro LM 058 conectado directamente al puerto serie del computador como lo muestran las figuras 45 y 46.



Figura 45 PIC transmisor con LM 058



Figura 46 LM 058 Como receptor

Obteniendo el mismo resultado que en la conexión directa.

4.7 ENLACE PUNTO DE CONTROL – PC CON HYPERTERMINAL

El objetivo de esta prueba fue comprobar el diseño hardware y software creado para el bloque de punto de control. Esta prueba se realizó en dos etapas

4.7.1 Simulación

El objetivo de esta prueba fue comprobar el código creado para el punto de control, el cual incluye los procedimientos de establecimiento de enlace, implementación de protocolo y retransmisión. Se realizó una simulación del dispositivo receptor de la estación de control (maestro) con la herramienta de simulación *Proteus* y la utilidad *Virtual Serial Port Driver*. El circuito simulado se observa en la figura 47.

En la simulación el PIC 16F877A recibe los datos que llegan al puerto RS232 virtual P1 el cual se configuró de la misma forma y con los mismos parámetros que el transmisor del objeto móvil.

Se inició una sesión de *hyperterminal* configurando el puerto virtual COM3 como se realizó en el transmisor del objeto móvil. De esta forma al iniciar la simulación el PIC 16F877A esperaba un dato por su pin serial C7, en la ventana del hyperterminal se digitó la clave 12345 la cual llegó al puerto virtual P1 y el PIC lo desplegó en la Pantalla de Cristal Liquido (LCD, *Liquid_Crystal_Display*) como lo muestra la figura 48.

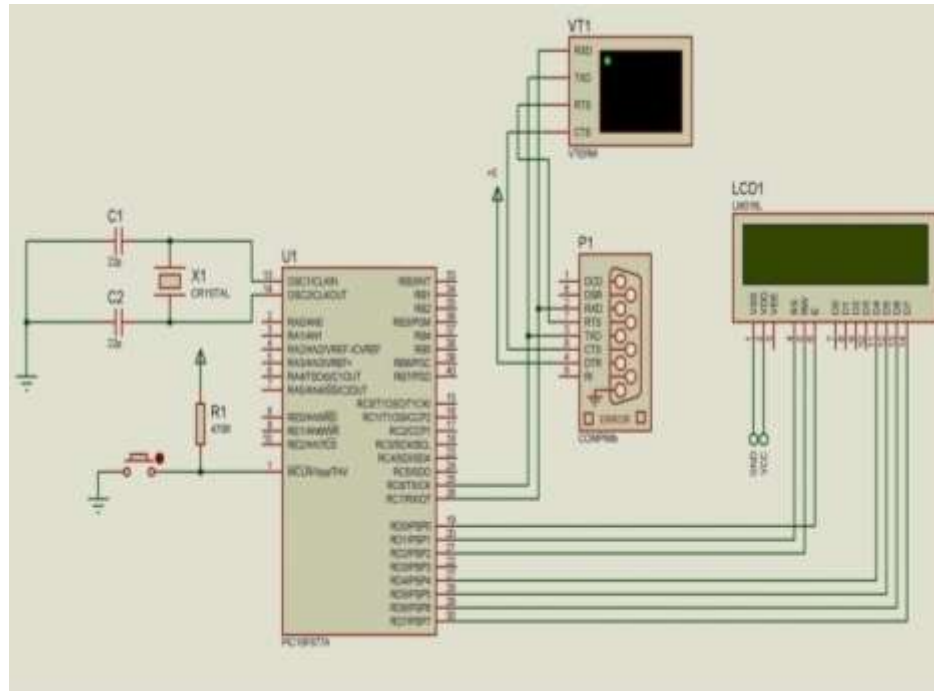


Figura 47 Esquema de simulación comunicación punto de control –PC con hyperterminal

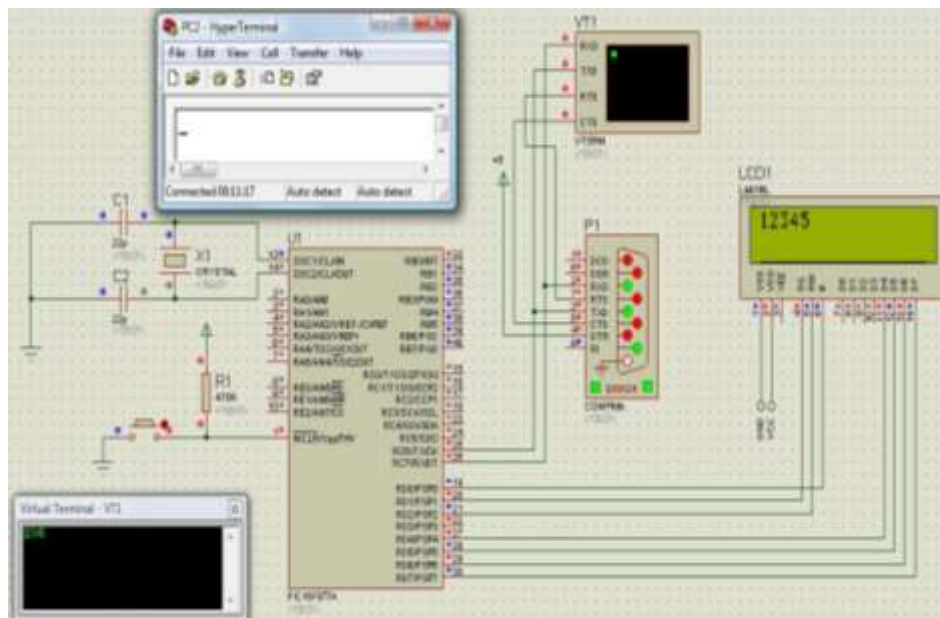


Figura 48 Resultado simulación comunicación punto de control – PC con hyperterminal

4.7.2 Implementación hardware

Esta prueba se realizó para comprobar el funcionamiento hardware del diseño del bloque de punto de control y la adaptación de señales RS232 TTL entre el PIC y el puerto serial del computador. Se realizó el montaje hardware del circuito del punto de control y se conectó directamente mediante cables los pines de Tx y Rx serial de PIC al puerto RS232 del PC1 como lo muestra la figura 49.



Figura 49 Conexión hardware punto de control - PC

Se obtuvo los mismos resultados en el despliegue que el obtenido en la simulación como lo muestra la figura 50.



Figura 50 Resultado en el despliegue punto de control

4.8 ENLACE MÓVIL – PUNTO DE CONTROL

El objetivo de esta prueba fue comprobar la comunicación entre el objeto móvil y el punto de control a nivel hardware y software. Esta prueba se realizó en dos etapas.

4.8.1 Simulación

Se realizó una simulación de la transmisión conectando la salida del dispositivo transmisor del objeto móvil (PIC16f84) a la entrada serie del dispositivo receptor PIC 16F877A para comprobar la comunicación entre los PICs. El circuito simulado se muestra en la figura 51.

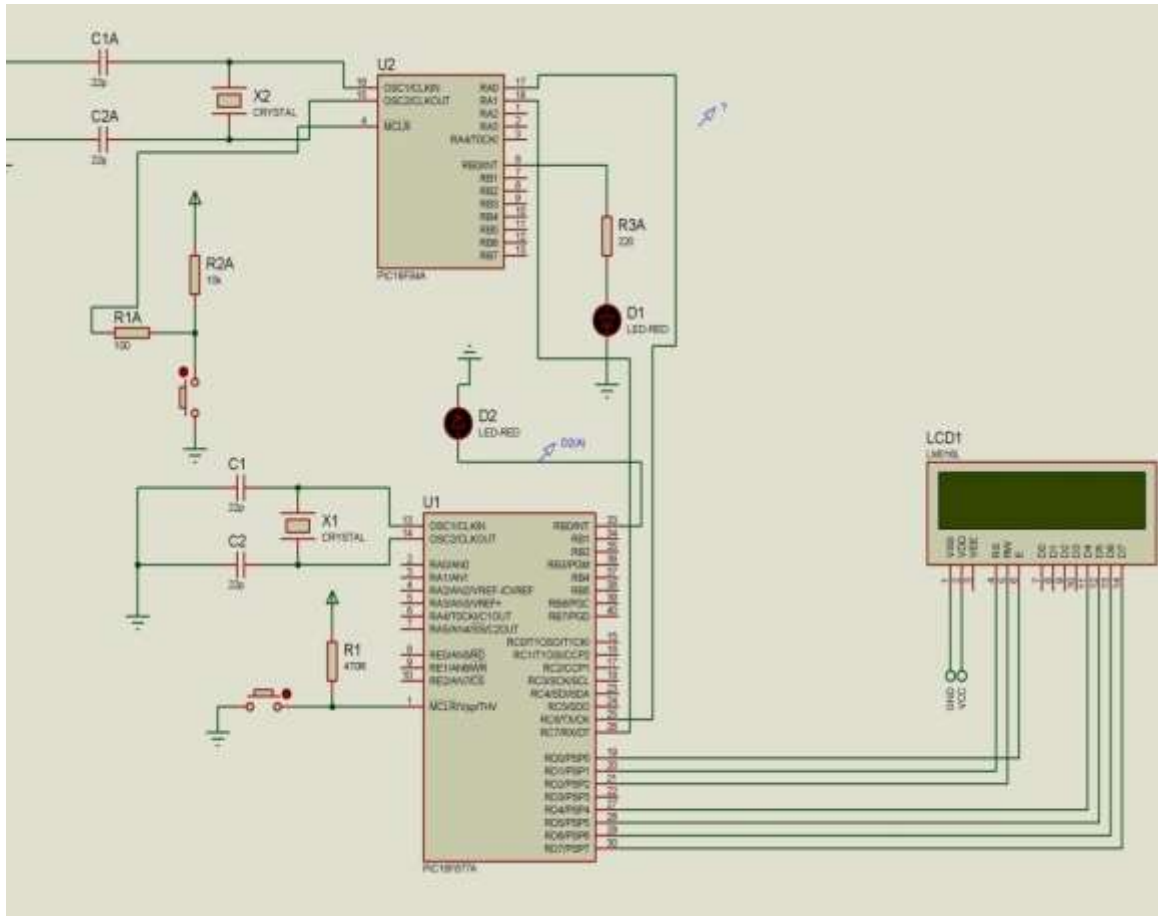


Figura 51 Esquema de simulación comunicación objeto móvil - punto de control

Esta prueba permitió comprobar la comunicación entre el objeto móvil y el punto de control como lo muestra la figura 52.

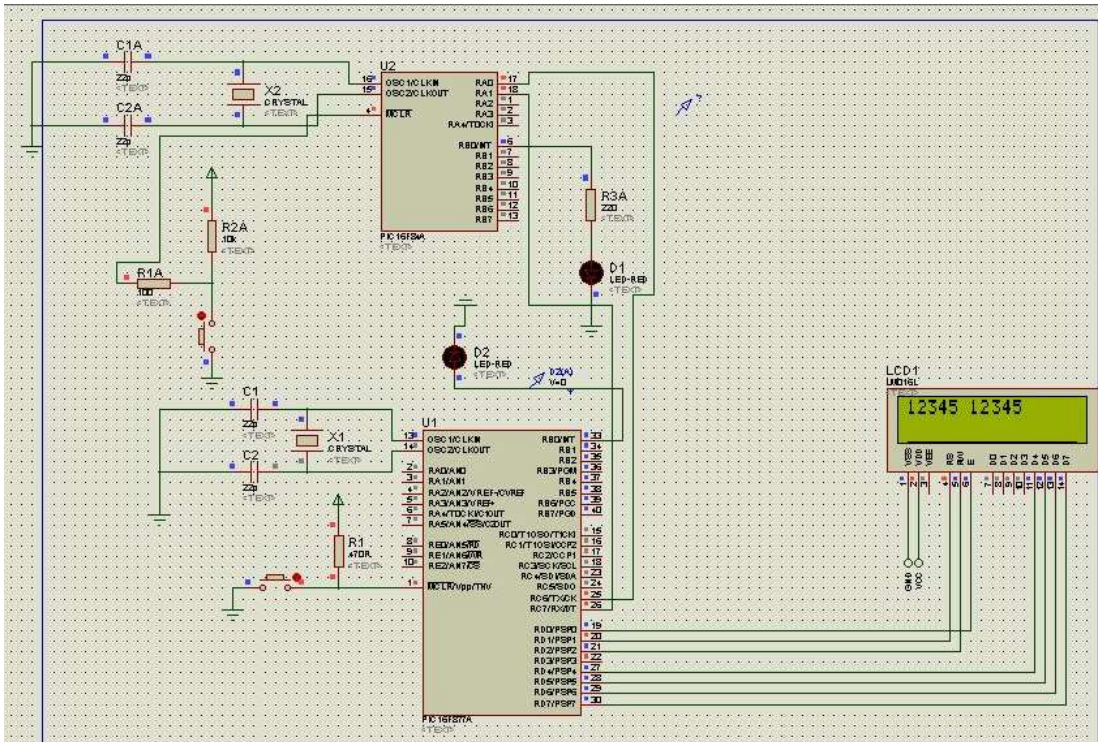


Figura 52 Resultado simulación comunicación objeto móvil – punto de control

4.8.2 Implementación hardware

El objetivo de esta prueba fue comprobar la correcta comunicación entre el objeto móvil y el punto de control a nivel hardware, Se conectó directamente los pines de Tx y RX serial del objeto móvil a los pines de TX y RX serial del punto de control como lo muestra la figura 53 y se obtuvo los mismos resultados que en la simulación.

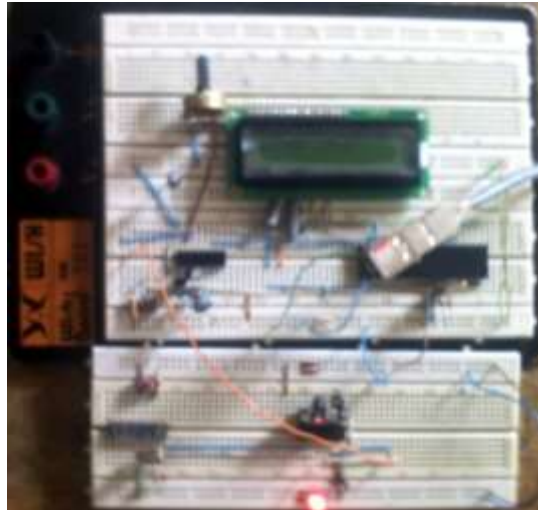


Figura 53 Implementación hardware comunicación objeto móvil – punto de control

4.9 ENLACE PUNTO DE CONTROL - ESTACION CENTRAL

El objetivo de esta prueba fue comprobar la comunicación entre el punto de control y la estación central a nivel hardware y software. Esta prueba se realizó en dos etapas.

4.9.1 Simulación

El objetivo de esta prueba fue comprobar la comunicación entre el punto de control - la estación central y la base de datos. En la figura 54 se muestra el circuito bajo simulación. Se realizó una simulación conectando al puerto serial del PIC del punto de control un puerto virtual enlazado mediante Virtual Port Driver a una ventana de hyperterminal, la cual simuló la transmisión realizada por el adaptador LM 058 del objeto móvil (componente P1). El PIC del punto de control envió los datos por el pin de transmisión 34 directamente al pin receptor 33 del PIC de la estación central, la cual se encontraba conectada a la base de datos del computador mediante el puerto serie (pines 25 y 26). El componente P2 simuló el puerto serie del computador y se encontraba enlazado mediante un puerto virtual a otra ventana de hyperterminal que simulaba la respuesta obtenida de la base de datos. Los conmutadores (switches) 1 y 2 simulaban el estado del pin CSQ de los radio móviles, es decir si existe o no portadora para establecer la de comunicación.

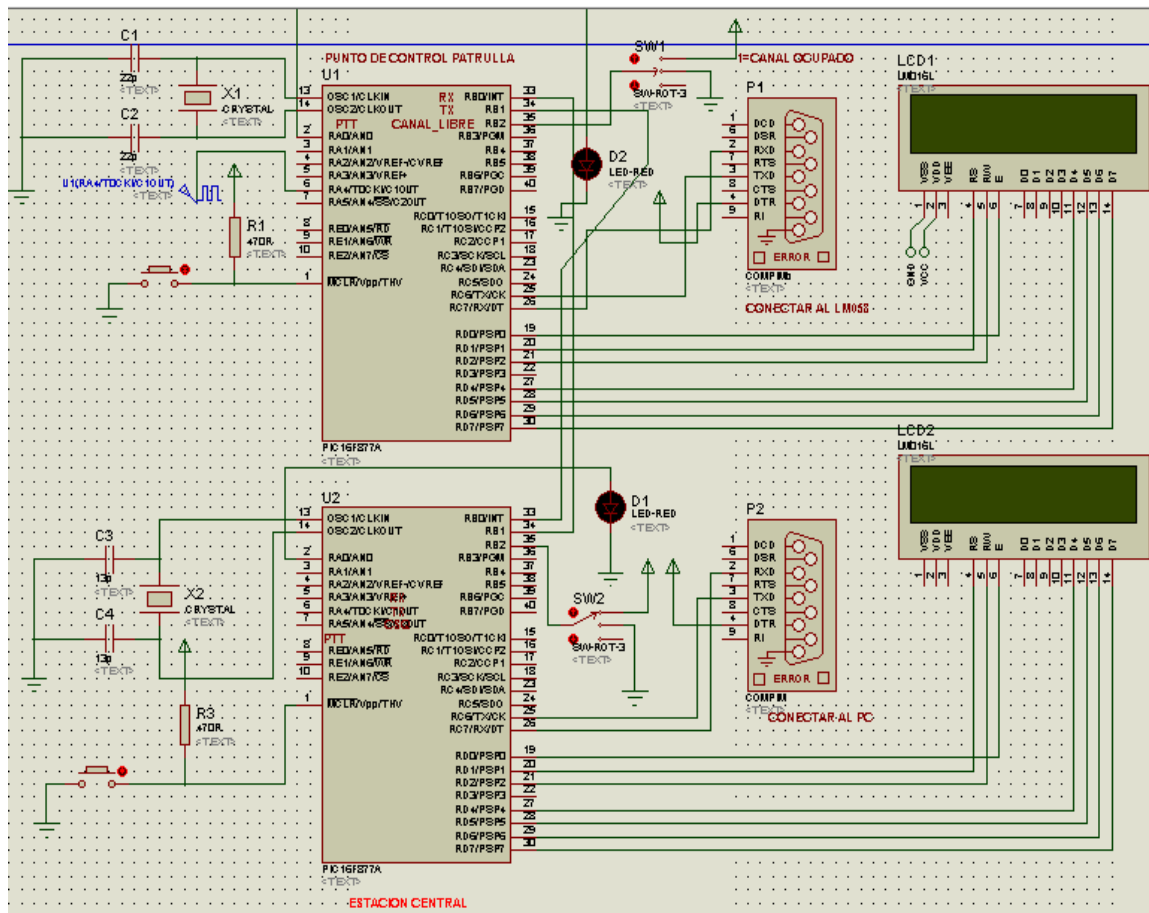


Figura 54 Esquema de simulación comunicación punto de control – estación central

Para la simulación se crearon en *Virtual Port Driver* dos parejas de puertos virtuales como se ve en la figura 55, donde las parejas de puertos virtuales creados fueron COM1 – COM5, COM2 – COM6.

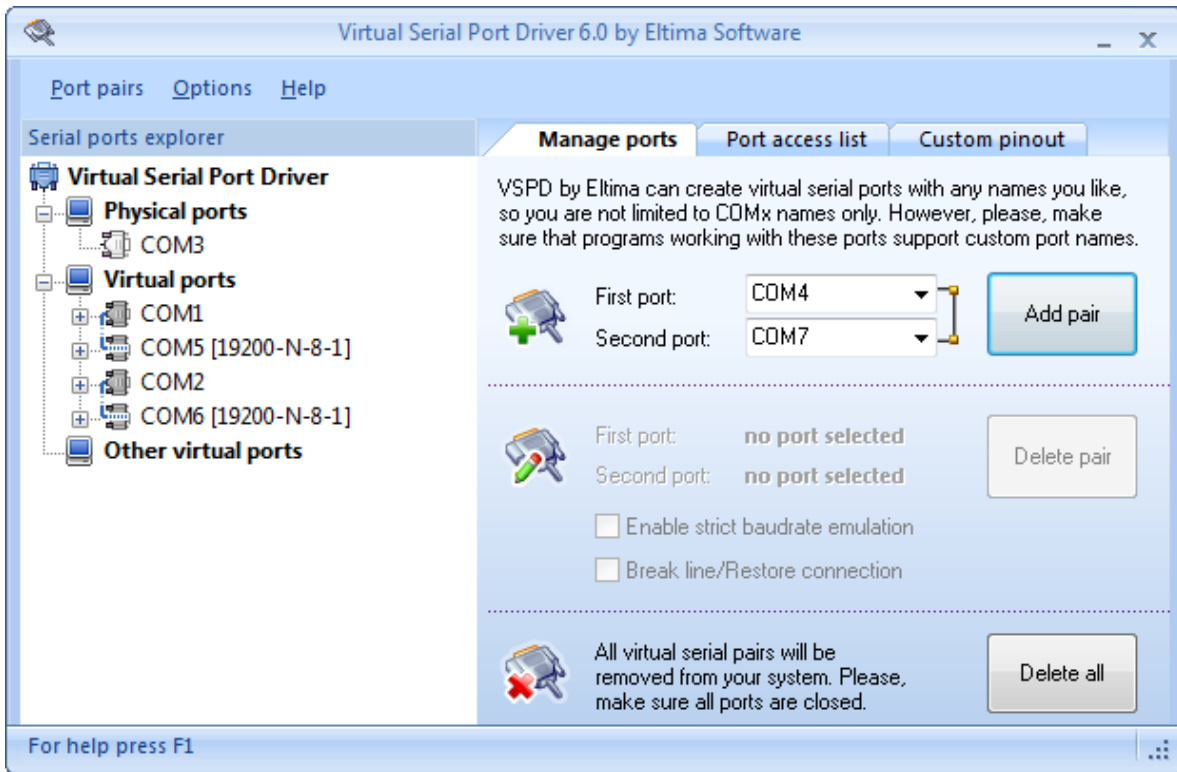


Figura 55 Creación de puertos virtuales

Los componentes P1 y P2 se configuraron como lo muestran las figuras 56 y 57.

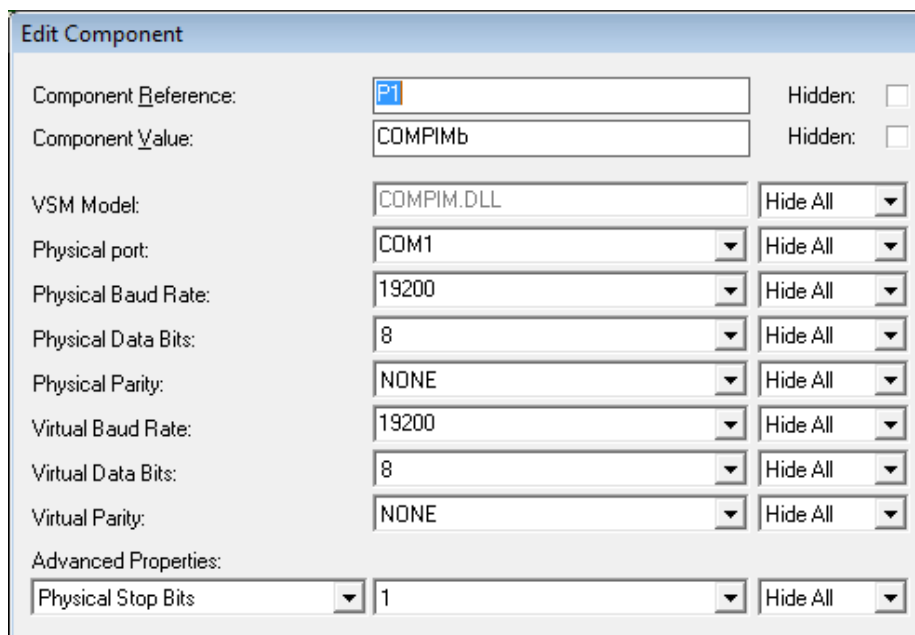


Figura 56 Configuración componente P1

Edit Component

| | | | |
|----------------------|------------|-----------|--------------------------|
| Component Reference: | P2 | Hidden: | <input type="checkbox"/> |
| Component Value: | COMPIM | Hidden: | <input type="checkbox"/> |
| VSM Model: | COMPIM.DLL | Hide All: | ▼ |
| Physical port: | COM2 | Hide All: | ▼ |
| Physical Baud Rate: | 19200 | Hide All: | ▼ |
| Physical Data Bits: | 8 | Hide All: | ▼ |
| Physical Parity: | NONE | Hide All: | ▼ |
| Virtual Baud Rate: | 19200 | Hide All: | ▼ |
| Virtual Data Bits: | 8 | Hide All: | ▼ |
| Virtual Parity: | NONE | Hide All: | ▼ |
| Advanced Properties: | | | |
| Physical Stop Bits: | 1 | Hide All: | ▼ |

Figura 57 Configuración componente P2

Adicionalmente se crearon dos sesiones de *hyperterminal* como lo muestran las figuras 58 y 59.

Connect To

Punto de Control

Enter details for the phone number that you want to dial:

Country/region: Colombia (57)

Area code: 57

Phone number:

Connect using: COM5

OK Cancel

Propiedades de COM5

Configuración de puerto

Bits por segundo: 19200

Bits de datos: 8

Paridad: Ninguno

Bits de parada: 1

Control de flujo: Ninguno

Figura 58 Configuración sesión hyperterminal puerto 5

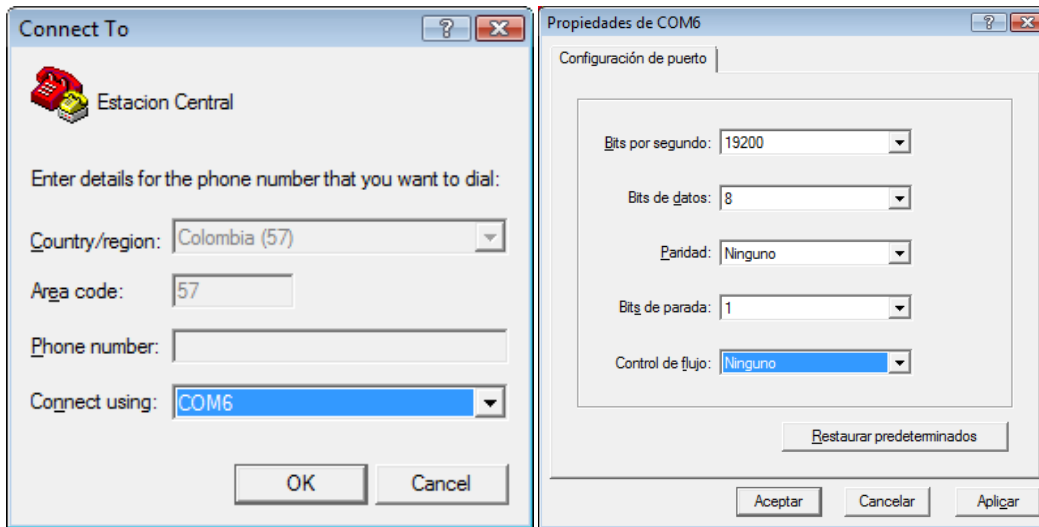


Figura 59 Configuración sesión hyperterminal puerto 6

El procedimiento de la simulación fue el siguiente

- Se inició la simulación mediante el botón *play* o el comando *start* del menú *debug*. El programa mostró el estado inicial del sistema como se ve en la figura 60.

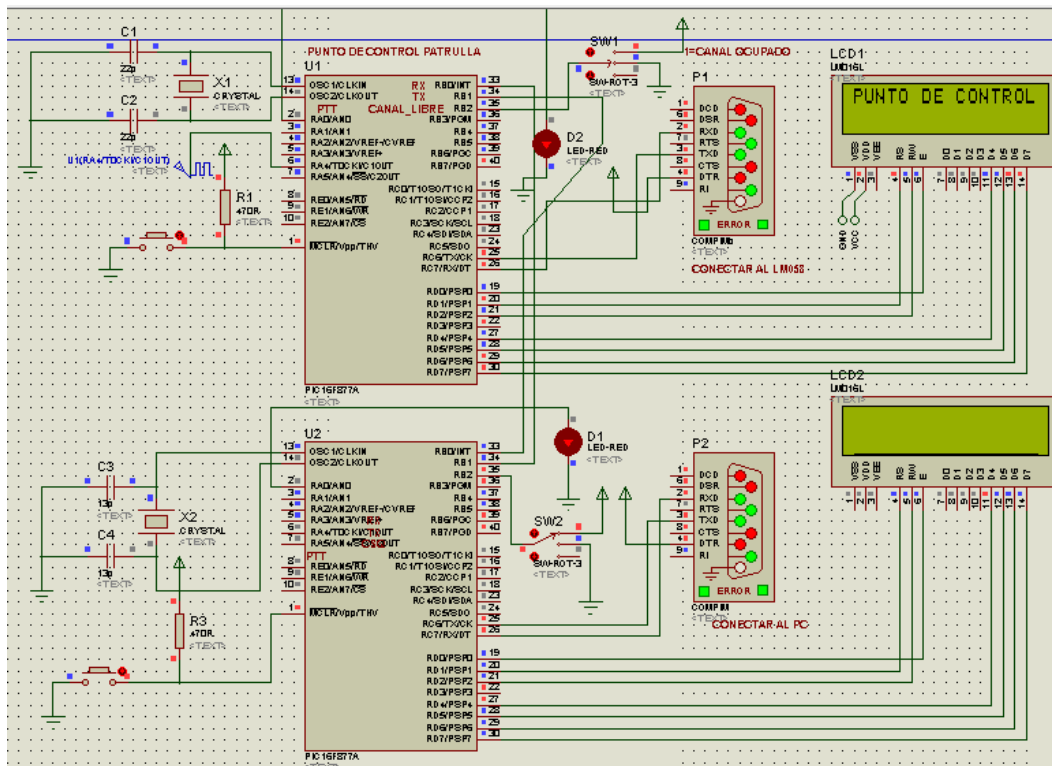


Figura 60 Inicio simulación comunicación punto de control – estación central

- Se cambió el conmutador 1 al estado alto (ocupado) para establecer el canal de comunicación.
- En la ventana de *hyperterminal* de la sesión punto de control se digitó el código de verificación (placa)
- El punto de control recibió los datos, los procesó acorde al protocolo y los envió a la estación central permaneciendo a la espera de la respuesta de la base de datos
- La respuesta de la base de datos se simuló digitando en la sesión de *hyperterminal* de la estación central la letra correspondiente a alguno de los códigos establecidos, en este caso se digitó I que corresponde a objeto móvil sin problemas y cuya respuesta en el despliegue del punto de control fue móvil ok como se ve en la figura 61.

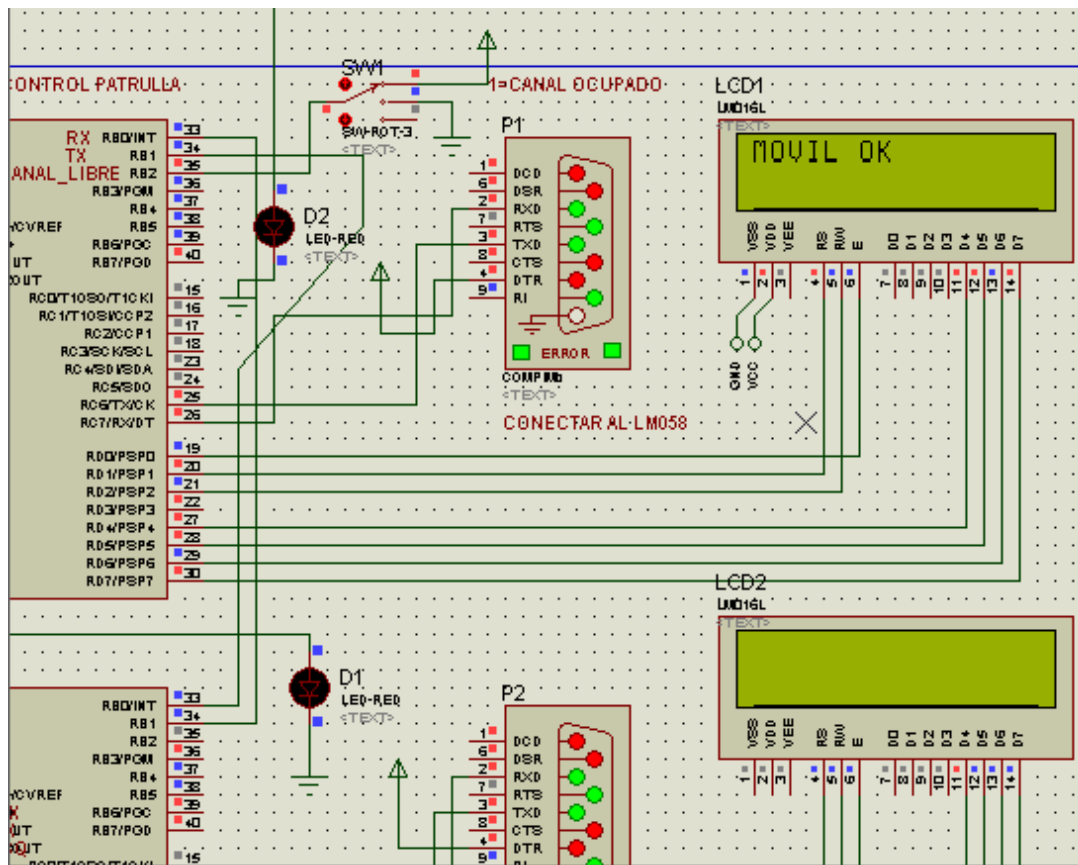


Figura 61 Resultado simulación comunicación punto de control - estación central

4.9.2 Implementación hardware

El objetivo de esta prueba fue realizar la interconexión completa de los componentes del sistema a nivel hardware y probar su correcto funcionamiento. Se realizó la

implementación hardware para lo cual fue necesario implementar otras etapas de adecuación de señales para trabajar con los radio móviles y puertos seriales reales. En la figura 62 se ve un diagrama en bloques de todas las etapas del sistema para su implementación hardware.

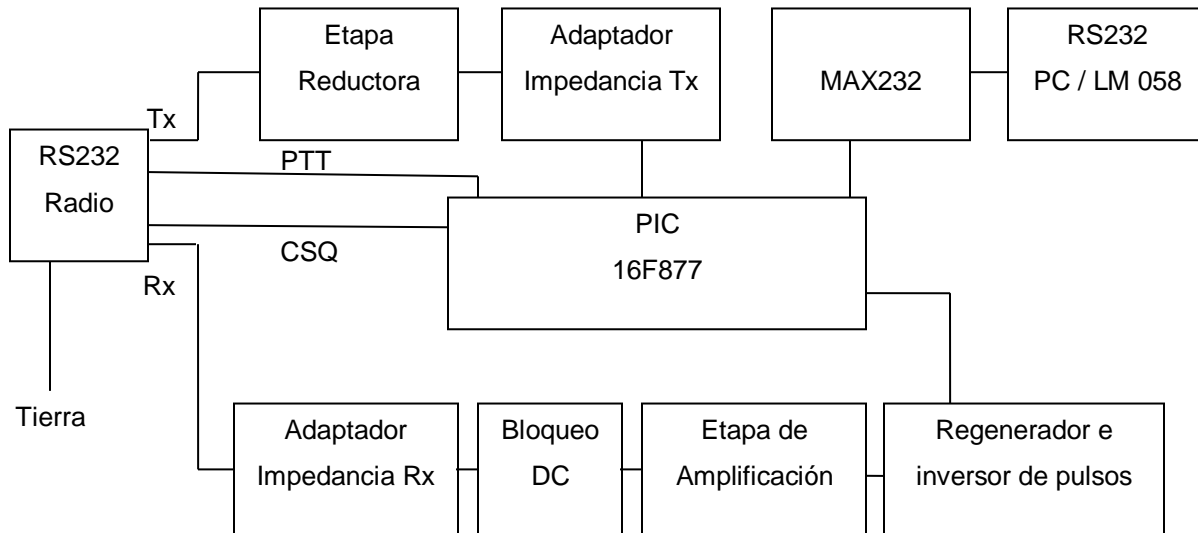


Figura 62 Etapas hardware de la comunicación punto de control – estación central

4.9.2.1 Etapa reductora

Se compone de un divisor de voltaje conformado por una resistencia de $1M\Omega$ en serie con una de $33K\Omega$. Su función es reducir el voltaje de la señal proveniente del pin de transmisión del PIC a un valor conveniente que permita ser traducido en una desviación de frecuencia de la portadora de radiofrecuencia en el radio móvil. La señal de entrada es la proveniente de la adaptación de impedancia entre el radio móvil y el PIC 16F877 cuyo valor es de 5V y la salida es una señal de 200mv pico aproximadamente.

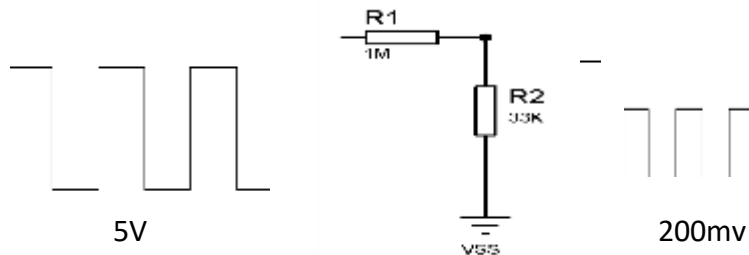


Figura 63 Etapa reductora

4.9.2.2 Adaptador Impedancia Tx

Se compone de un amplificador en configuración de seguidor emisor para adaptar la impedancia del radio móvil con la del PIC, para evitar caídas de voltaje. La entrada son

los pulsos enviados por el PIC 16F877 y la salida es la misma entrada como muestra la figura 64.

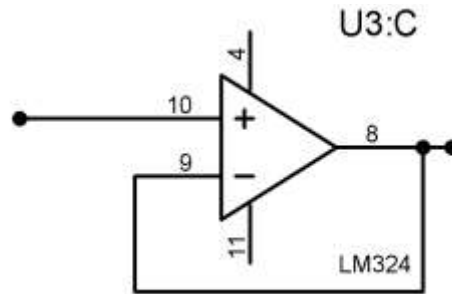


Figura 64 Adaptador de impedancia Tx

4.9.2.3 MAX232

Su función es adaptar las señales provenientes del puerto RS232 del computador o del adaptador LM 058. Adapta señales de nivel TTL (0-5 voltios), a niveles lógicos de la norma RS232, que pueden llegar a ser de +15 y -15 voltios

4.9.2.4 Adaptador Impedancia RX

Se compone de un amplificador en configuración de seguidor emisor para adaptar la impedancia del radio móvil con la del PIC. La entrada son los pulsos que llegan al pin receptor del radio móvil y la salida es la misma señal de entrada. Su configuración es la misma del adaptador de impedancia Tx.

4.9.2.5 Bloqueo DC

Se compone de un filtro pasa alto que esta conformado por un condensador en serie con una resistencia de $1M\Omega$, su frecuencia de corte es 1.44 Hz y su función es eliminar el nivel DC que introduce el radio. La señal de entrada es la proveniente de la salida del adaptador de impedancia RX y La señal de salida es la misma con un nivel DC igual a cero y una amplitud de 200mv. La figura 65 muestra este circuito.

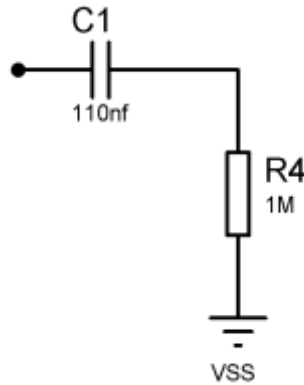


Figura 65 Bloqueo DC

4.9.2.6 Amplificador

Se compone de un amplificador operacional en configuración no inversora. La señal de entrada es una señal de 200mv y la señal de salida es una señal cuadrada unipolar de 5v.

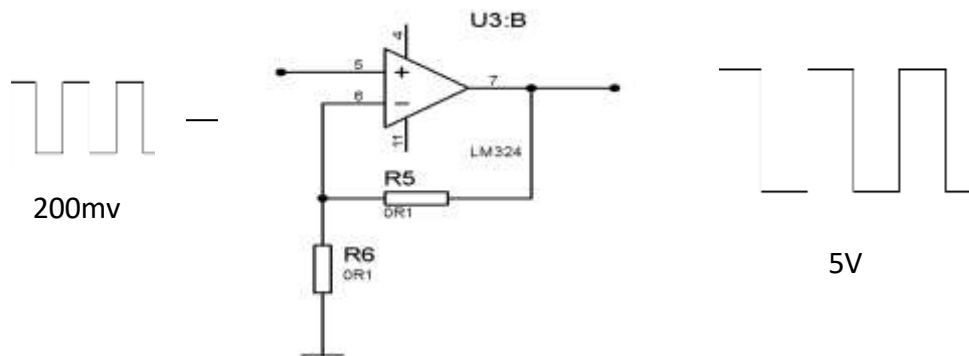


Figura 66 Etapa de amplificación

4.9.2.7 Regenerador e inversor de pulsos

Está compuesto por un Smith Trigger. Su función es invertir la señal proveniente del amplificador para dejarla en fase con la señal transmitida. Esto se debe a que el radio demodula con una característica voltaje contra frecuencia inversa a la que generó la modulación.

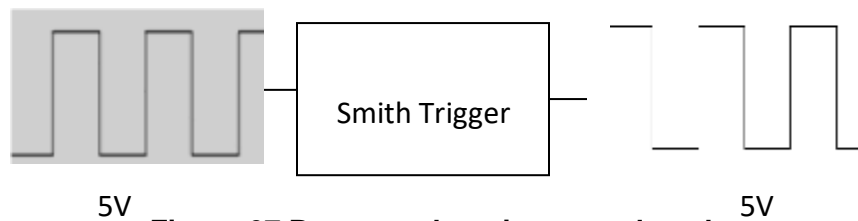


Figura 67 Regenerador e inversor de pulsos

4.9.2.8 RS232 PC / LM 058

Esta compuesto por un adaptador serial DB9 macho en el caso del circuito que se conecta al adaptador LM 058 (Punto de Control) y un adaptador serial DB9 hembra para el circuito que se conecta al puerto serie del computador que tiene implementada la base de datos (Central).

La base de datos se implemento en MYSQL y se diseño una aplicación en PHP para leer el código de verificación (placa) desde la interfaz serial del bloque central, consultar el estado de ese código en la base de datos y enviar ese estado mediante el puerto serial del computador al bloque central.

4.10 MEDIDA DE LA TASA DE ERROR DE BIT (BER, *BIT ERROR RATE*)

El objetivo de esta prueba fue medir la cantidad de errores obtenidos en una comunicación. Para este fin se adaptaron cargas fantasmas en los radios móviles y se envió el protocolo que consta de 25 bytes 63 veces consecutivas. El resultado que se obtuvo fue que llegaron 2936 bit malos de 12600 bits enviados.

4.11 DIAGRAMA ELECTRICO DE LAS INTERFACES

En las figuras 68, 69 y 70 se observan los diagramas electricos realizados para los tres elementos principales objeto movil, PDC y EC.

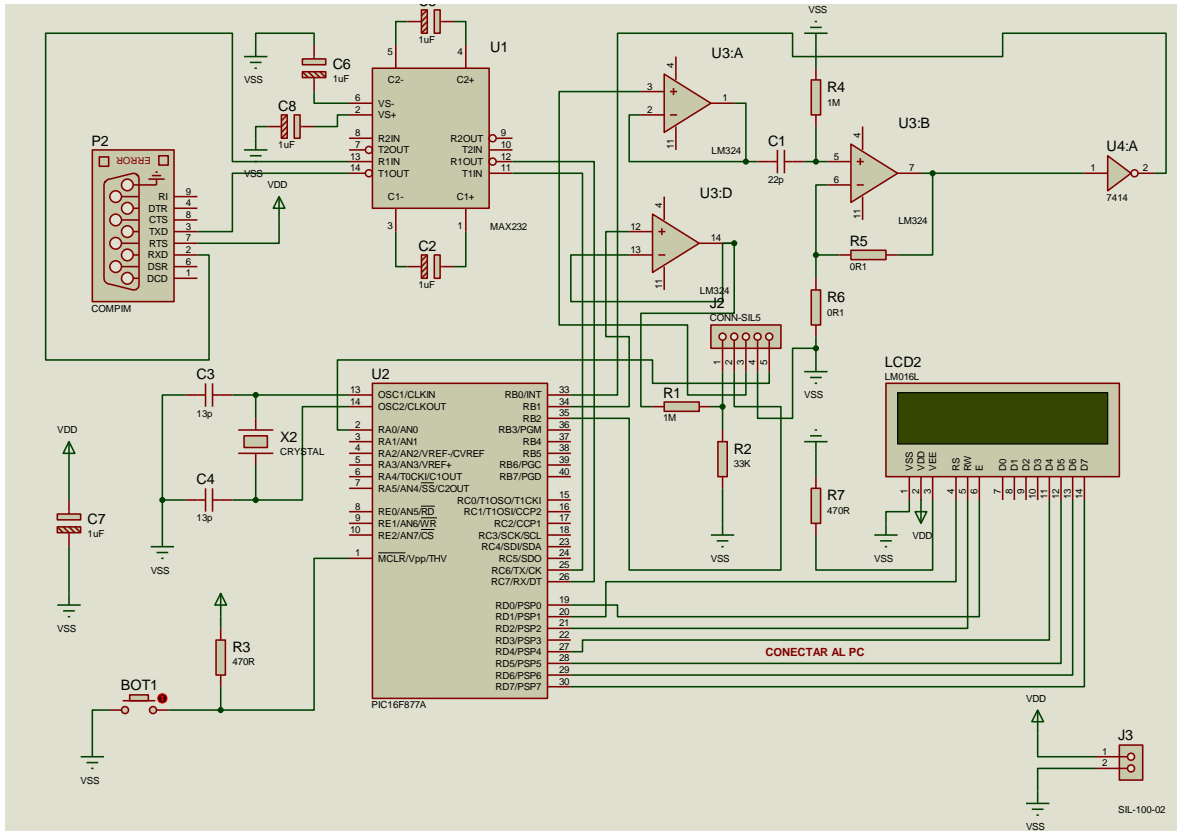


Figura 68 Diagrama eléctrico PDC

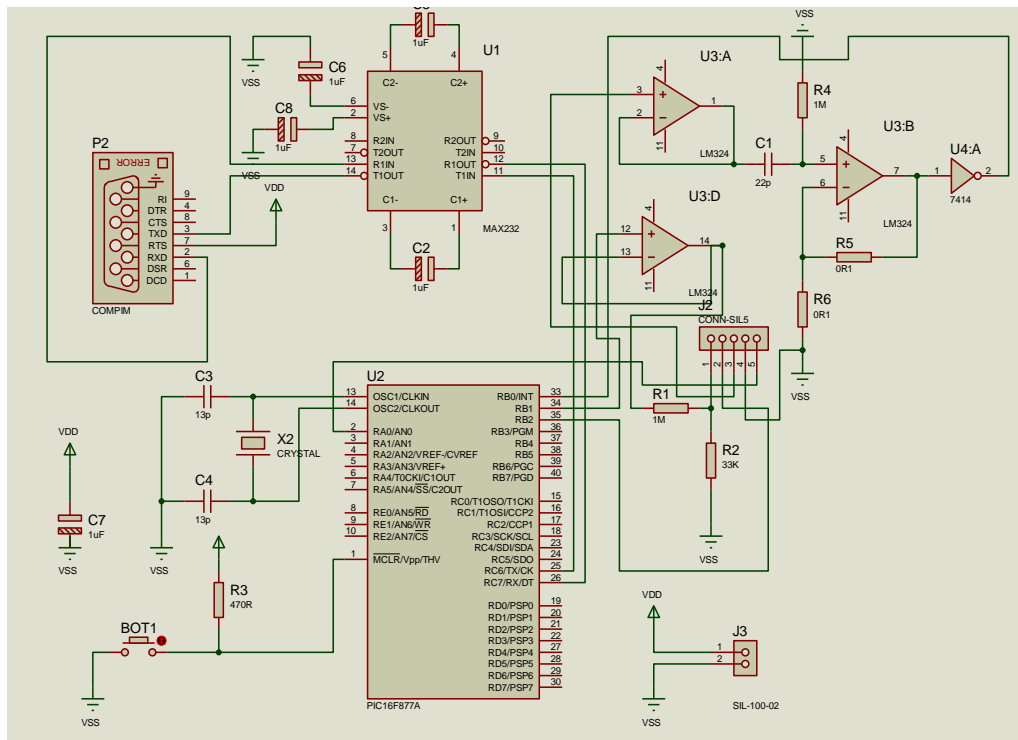


Figura 69 Diagrama eléctrico EC

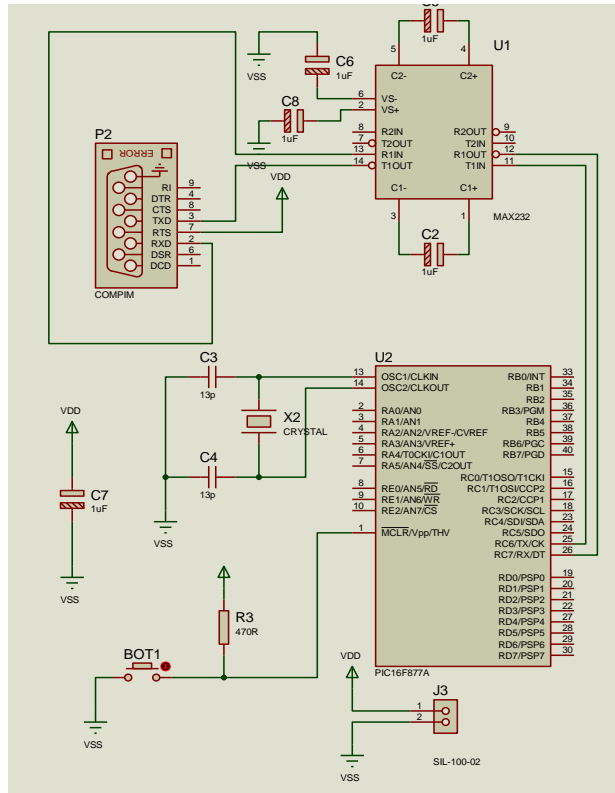


Figura 70 Diagrama eléctrico objeto móvil

5 CONCLUSIONES

- Un compilador de C para microcontroladores facilita la programación de los mismos.
- El uso de los programas especializados como *Proteus*, *Virtual Port Driver* e *hyperterminal* permitieron agilizar y optimizar el desarrollo del diseño electrónico del sistema. Se observó un comportamiento aproximado al del montaje electrónico real.
- Los adaptadores LM 058 permitieron una comunicación con el PIC 16F877 con un mínimo de instrucciones esto gracias a que el LM 058 es un adaptador Bluetooth a RS232 y la herramienta software que se utilizó para programar los PICs tienen las funciones necesarias para realizar la comunicación con este tipo de dispositivos seriales.
- El adaptador Bluetooth a RS232 LM 058 permitió una configuración sencilla bajo el entorno Windows donde se estableció una tasa de bit de 19200 bps para los dispositivos maestro y esclavo. Los dispositivos LM 058 realizan la comunicación de manera transparente al usuario.
- El PIC 16f877 es un microcontrolador que permite implementar un protocolo propietario adaptable a las necesidades de la interfaz desarrollada.
- La máxima velocidad de transmisión se encuentra limitada por ancho de pulso de bit configurado en el programa del PIC, se decidió configurar un ancho de pulso de 3ms (utilizando la codificación Manchester), con una tasa de bit de 333bps.
- El radio Motorola pro 3100 es un equipo que permite la implementación de sistemas de comunicación de datos de baja velocidad por medio de un puerto configurable con resultados aceptables.
- El radio Motorola pro 3100 es un radio con una buena sensibilidad, se obtuvo un valor de +0.891 μ V cuando se envió una señal cuadrada con un nivel de voltaje de

200 mV pico desde el generador de funciones y una desviación de 5Khz en condiciones de laboratorio.

- Se implementó una etapa que permite reducir el nivel de voltaje antes de enviarlo al pin TX del puerto configurable del radio Motorola pro3100, el nivel se escoge con el fin de garantizar un ancho de banda inferior a 12.5 Khz que corresponde al ancho de banda del canal configurado en el radio para el sistema.
- En el pin Rx del puerto configurable del radio Motorola pro 3100 existe un nivel DC que ocasiona errores en los datos. Este nivel entra en una etapa amplificadora junto con la señal de datos aumentando el voltaje de referencia para el nivel bajo, cuando esta señal se inyecta al trigger el cero tiene el nivel suficiente para ser fijado en un valor alto ocasionando un error en el dato. La solución a este problema fue la implementación de un filtro pasa alto que reduce el nivel DC de la señal recibida en el radio.
- Cuando se envían largas cadenas de unos o ceros en la trama de información, el radio busca estabilizar el nivel de la señal a un valor DC, esto ocasiona errores en los datos enviados ya que hay un punto donde se está por debajo del valor mínimo fijado para ese nivel, por lo cual se implementó la codificación Manchester para solucionar ese problema gracias al cambio continuo de estados (estados alto y bajo).
- Se implementó un código de detección de error, verificación de redundancia cíclica (CRC, *Cyclic Redundancy Check*) el cual permitió la detección de los errores generados en la transmisión, la corrección de los errores en los datos se da por la retransmisión de la trama de información.
- Cuando existe un error en los datos se retransmite la trama de información completa un máximo de 4 veces, esto es con el fin de evitar que el sistema permanezca retransmitiendo en un ciclo infinito y pase a un estado de bloqueo.
- Con la implementación de codificación Manchester se mejoró la respuesta del sistema ante largas cadenas de unos y ceros y se obtuvo una tasa de error menor.

BIBLIOGRAFIA

[1] MOBILEINFO, “Bluetooth Technology”, Pagina web disponible en:

http://www.mobileinfo.com/Bluetooth/air_&_band.htm

Última consulta: Enero 13 de 2009.

[2] Seguridad móvil el blog de Gospel, “**Estándar Bluetooth**”, Pagina web disponible en:

<http://gospel.endorasoft.es/bluetooth/especificacion-bluetooth/estandar-bluetooth/index.html>

Última consulta: Julio 25 de 2008.

[3] Wikipedia, “**Bluetooth**”, Pagina web disponible en:

http://es.wikipedia.org/wiki/Bluetooth#Usos_y_aplicaciones

Última consulta: Enero 13 de 2009.

[4] Bluetooth, “BLUETOOTH SPECIFICATION Version 2”, Documento PDF disponible en:

www.bluetooth.org/docs/Bluetooth_V11_Core_22Feb01.pdf

Última consulta: Julio 25 de 2008.

[5] Per Haglund, “Bluetooth Software and Hardware Development”, proyecto de maestría Licenciado en ciencias de la computación, University of London. Londres, 2001.

[6] PaloWireless Bluetooth Resource Center, “Bluetooth Tutorial – Specifications”, Pagina web disponible en:

<http://www.palowireless.com/infotooth/tutorial.asp>

Última consulta: Noviembre 25 de 2008.

[7] Informe de la FCC, “Manténgase en contacto usando los servicios de radio personales”, Documento PDF disponible en:

<http://www.fcc.gov/cgb/consumerfacts/spanish/prs.html>

Última consulta: Enero 13 de 2009.

[8] “Gran enciclopedia de la electrónica”. Ed. Nueva Lente. España 1985. Tomo 12, págs. 38-44.gran enciclopedia de la electrónica pag 10-21.

[9] José E. Briceño Márquez, “Principios de las comunicaciones”, Publicaciones de la facultad de ingeniería, escuela de ingeniería eléctrica, Mérida, 2005.

[10] Arcos D. Miguel Ángel, “Evolución de los sistemas de comunicaciones móviles terrestres”, Documento PDF disponible en:

<http://www.tecnicaindustrial.es/a/80u5857jg.pdf>

Última consulta: Enero 13 de 2009.

[11] Motorola, “Sistemas convencionales”, Pagina web disponible en:

<http://www.motorola.com/content.jsp?globalObjectId=735-1247>

Última consulta: Enero 13 de 2009.

[12] Monografías, “Sistemas troncalizados”, Documento PDF disponible en:

<http://www.monografias.com/trabajos65/sistemas-troncalizados/sistemas-troncalizados.shtml>

Última consulta: Enero 13 de 2009.

[13] Tocci Ronald j, “Sistemas digitales principios y aplicaciones”. Prentill-Hall 6ª edición, 1996.

[14] Wikipedia, “Microprocesadores”, Pagina web disponible en:

<http://es.wikipedia.org/wiki/Microprocesador>

Última consulta: Enero 13 de 2009.

ACRONIMOS

| | |
|---------------|--|
| 8DPSK | 8 Differential Phase Shift Keying - Modulación por Desplazamiento de 8 Fases Diferencial. |
| ACL | Asynchronous Connection-Oriented - Asíncrono Orientado a Conexión <i>Access Control Layer</i> - Nivel de Control de Acceso. |
| ALU | <i>Aritmetic Logic Unit</i> - Unidad Lógico Aritmética. |
| ARQ | <i>Automatic Retransmission Query</i> - Solicitud de Retransmisión Automática. |
| CPU | <i>Central Process Unit</i> - Unidad Central de Procesamiento. |
| CSQ | Carrier Squelch – Silenciador de Portadora |
| DECT | <i>Digital Enhanced Cordless Telecommunications</i> - Telecomunicaciones Inalámbricas Mejoradas Digitalmente. |
| DQPSK | <i>Differential Quadrature Phase Shift Keying</i> - Modulación por Desplazamiento Diferencial de Fase en Cuadratura. |
| EDACS | <i>Enhanced Digital Access Communications System</i> – Sistema de Comunicación de Acceso digital Mejorado |
| eSCO | Extended Synchronous Connection-Oriented - Sincrónico Orientado a Conexión Extendido |
| EPROM | <i>Erasable Programmable Read Only Memory</i> - Memoria de Solo Lectura Borrable y Programable. |
| ESMR | <i>Enhanced Specialized Mobile Radio</i> - Radio Móvil Mejorado Especializado. |
| FHSS | <i>Frequency Hopping Spread Spectrum</i> - Técnica de Espectro Ensanchado por Salto de Frecuencia. |
| FH/TDD | <i>Frequency Hopping/ Time Division Duplex</i> - Salto de Frecuencia/ Duplexación por División de de Tiempo. |
| GFSK | <i>Gaussian Frequency Shift Keying</i> - Modulación por Desplazamiento de Frecuencia Gaussiana. |
| GSM | <i>Global System for Mobile Communications</i> - Sistema Global para |

| | |
|---------------|--|
| | Comunicaciones móviles |
| HCI | <i>Host Controller Interface</i> - Interfaz Controladora de <i>Host</i> . |
| HEC | <i>Header Error Check</i> – Verificación de Error de Encabezado. |
| IF | <i>Intermediate Frequency</i> - Frecuencia Intermedia. |
| I/O | <i>Input/Output</i> - Entrada Salida. |
| ISM | <i>Industrial Scientific and Medical</i> - Aplicaciones Industriales, Científicas y Medicas. |
| L2CAP | <i>Logical Link Control and Adaptation Protocol</i> - Protocolo de Adaptación y Control del Enlace Lógico. |
| LF | Low frequency - Frecuencia Baja. |
| LMP | <i>Link Manager Protocol</i> - Protocolo de Gestión de Enlace. |
| PAMR | <i>Public Access Mobile Radio</i> - Radio Móvil de Acceso Publico. |
| PAN | <i>Personal Area Network</i> - Redes de Área Personal. |
| PC | <i>Program Counter</i> - Contador del Programa Personal Computer – Computador Personal |
| PH | <i>Payload Header</i> – Encabezado de Carga Útil. |
| PIC | <i>Peripheral Interface Controller</i> - Controlador de Interfaz Periférico. |
| PMR | <i>Private Mobile Radio</i> - Radio Móvil Privado. |
| PSK | <i>Phase Shift Keying</i> - Modulación por Desplazamiento de Fase. |
| PTT | <i>Push To Talk</i> - Presione Para Hablar |
| RAM | <i>Random Access Memory Module</i> - Modulo de Memoria de Acceso Aleatorio |
| RF | <i>Radio Frequency</i> – Radiofrecuencia |
| RFID | <i>Radio Frequency Identification</i> - Identificación por Radiofrecuencia. |
| RFCOMM | <i>Radio Frequency Communication</i> - Nivel de Comunicación de Radio Frecuencia. |
| ROM | <i>Read Only Memory</i> - Memoria de Solo Lectura. |
| SIG | <i>Special Interest Group</i> - Grupo de Interés Especial. |
| SCO | <i>Synchronous Connection-Oriented</i> - Sincrónico Orientado a Conexión. |
| SDP | <i>Service Discovery Protocol</i> - Protocolo de Descubrimiento de Servicios. |
| SMR | <i>Specialized Mobile Radio</i> - Radio Móvil Especializado. |
| SRD | <i>Short Range Device</i> - Dispositivos de Corto Alcance. |
| TETRA | <i>Terrestrial Trunked Radio</i> - Radio Terrestre Troncalizado. |