

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Tesis previa a la obtención del título de:
INGENIERO ELECTRÓNICO

TÍTULO

**“DISEÑO Y MONTAJE DE ENLACE INALÁMBRICO PARA
TRANSMISIÓN DE DATOS UTILIZANDO TECNOLOGÍA
BLUETOOTH”**

AUTORES:

TATIANA VERÓNICA SUQUILANDA VILLA
MARLON ANTONIO IDROVO TORRES

DIRECTOR:

ING. FLAVIO QUIZHPI

CUENCA, FEBRERO 2013

Ing. Flavio Quizhpi

CERTIFICA

Haber dirigido y revisado el proyecto de tesis titulado: “DISEÑO Y MONTAJE DE ENLACE INALÁMBRICO PARA TRANSMISIÓN DE DATOS UTILIZANDO TECNOLOGÍA BLUETOOTH”, realizado por: Tatiana Verónica Suquilanda Villa y Marlon Antonio Idrovo Torres. Por cumplir con todos los requisitos, autorizo su presentación.

Cuenca, febrero 22 2013.

Ing. Flavio Quizhpi

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros: Tatiana Verónica Suquilanda Villa y Marlon Antonio Idrovo Torres, autores del trabajo de tesis titulado: “DISEÑO Y MONTAJE DE ENLACE INALÁMBRICO PARA TRANSMISIÓN DE DATOS UTILIZANDO TECNOLOGÍA BLUETOOTH” declaramos que:

Los conceptos desarrollados, análisis realizados y conclusiones del presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad de los autores, teniendo la Universidad Politécnica Salesiana todo el derecho para hacer uso de la misma para fines académicos.

Cuenca, febrero 22 2013

Tatiana Verónica Suquilanda V.

Marlon Antonio Idrovo T.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, por haberme dado la vida y por permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis padres, por ser el pilar fundamental en mi educación, tanto académica, como personal, por su apoyo incondicional y su amor.

A mis hermanos Doris, Boris, Rita, Karina por apoyarme en todo momento, por sus consejos, y su constante motivación.

A mis cuñados Wilson y Christian y a mis sobrinos Joaquín, Paulina, Doménica y Violeta por brindarme su apoyo y cariño.

A Marlon por formar parte de este gran logro, por su amor, su paciencia y comprensión.

¡Los quiero mucho!

Taty

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a: Dios por llenar de bendiciones mi vida, y todo lo que soy es gracias a él.

A mi madre que con su amor, ha sido un ejemplo para mí y a mis hermanas que de una u otra manera están siempre cuando las necesito.

A Taty que ha sido mi bastón de apoyo y aliento en este largo camino, base fundamental para cumplir esta meta.

A todas las personas que puso Dios en mi camino, scouts, amigos y buenos profesores, para ahora ser quien soy.

“Todo lo que hagáis, hacedlo como para el Señor, no para los hombres”

Colosenses 3:3

Marlon

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por todas sus bendiciones a lo largo de nuestras vidas, por habernos permitido seguir en este camino de sacrificio y resistencia, siendo para nosotros un reto y un desafío cumplido.

De la misma manera a la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, por abrirnos sus puertas y brindarnos la oportunidad de ser unos profesionales, y por el financiamiento total en la elaboración de este proyecto.

A las autoridades y profesores sobre todo al Ingeniero Flavio Quizphi, quien con su conocimiento ha sabido guiarnos y orientarnos responsablemente con sus consejos. De manera especial al Ingeniero Julio Viola, quien puso a nuestra disposición su amistad, experiencia y conocimiento para el desarrollo de este proyecto.

A nuestra familia por su apoyo incondicional y amor.

A nuestro amigo Eddison Inga, quien nos ofreció su amistad, apoyo y ayuda sin esperar nada a cambio, en los momentos buenos y malos de la vida universitaria.

Al Movimiento Scout por las experiencias y enseñanzas adquiridas.

Un agradecimiento para todas aquellas personas que con su participación desinteresada colaboraron en la realización de este proyecto y a quienes nos apoyaron y estuvieron siempre a nuestro lado.

*Gracias
Taty y Marlon*

ÍNDICE GENERAL

1	TECNOLOGÍA BLUETOOTH	1
1.1	Orígenes de Bluetooth.....	1
1.2	Estándar Bluetooth.....	1
1.3	Topología de Bluetooth.....	3
1.4	Especificaciones técnicas de Bluetooth.....	4
1.4.1	Canales de transmisión.....	5
1.4.2	Transmisión de datos.....	5
1.4.2.1	Paquetes de Bluetooth.....	6
1.4.2.2	Tipos de transferencia de datos.....	9
1.4.2.2.1	Orientados a conexión de tipo síncrono (SCO)...	9
1.4.2.2.2	Asíncrono sin conexión (ACL).....	9
1.4.3	Protocolos Bluetooth.....	10
1.4.3.1	Capa banda base e interfaz de radio.....	11
1.4.3.2	Capa de protocolo de gestión de enlace (LMP).....	12
1.4.3.3	Capa de interfaz de controlador de host (HCI).....	12
1.4.3.4	Capa de protocolo de adaptación y control del enlace lógica (L2CAP).....	12
1.4.3.5	Capa de protocolo de descubrimiento de servicios (SDP)..	13
2	ESTUDIO DEL MÓDULO BLUETOOTH	14
2.1	Estudio y dimensionamiento de los elementos.....	14
2.1.1	Módulo Bluetooth Bluegiga WT32 A AI3.....	20
2.1.1.1	Diagrama de bloques y descripción.....	21
2.1.1.2	Características eléctricas.....	23

2.1.1.3	Características de radio y especificaciones generales.....	24
2.1.1.4	Interfaz UART.....	24
2.1.1.5	iWRAP.....	27
2.1.1.5.1	Plataforma software.....	29
2.1.1.5.2	Modos de operación.....	30
2.1.1.5.3	Comandos para la configuración del módulo.....	30
2.1.1.6	Dimensiones físicas del WT32.....	32
2.2	Generar las necesidades de elementos.....	33
3	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CIRCUITO IMPRESO	35
3.1	Diseño del circuito impreso.....	35
3.1.1	Creación del esquemático.....	36
3.1.2	Ruteo.....	39
3.2	Construcción del PCB.....	43
4	PRUEBAS GENERALES DE TODO EL SISTEMA	47
4.1	Configuración de los módulos Bluetooth.....	47
4.2	Pruebas de enlace y transmisión de datos.....	53
4.2.1	Distancia.....	54
4.2.2	Velocidad.....	55
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
	BIBLIOGRAFÍA	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de bloques de la transmisión de datos vía Bluetooth.....	xiii
Figura 1.1: Red dispersa.....	3
Figura 1.2: Canales de transmisión Bluetooth.....	5
Figura 1.3: Transmisión de paquetes por slot de tiempo.....	5
Figura 1.4: Formato de paquete.....	6
Figura 1.5: Formato del paquete para velocidad de transmisión con EDR....	7
Figura 1.6: Formato de la Cabecera.....	8
Figura 1.7: Enlace síncrono orientado a la conexión.....	9
Figura 1.8: Enlace asíncrono sin conexión.....	10
Figura 1.9: Pila del protocolo Bluetooth.....	11
Figura 2.1: Logos de tiendas electrónicas a nivel mundial.....	15
Figura 2.2: Módulo Bluetooth PAN1321i.....	16
Figura 2.3: Módulo Bluetooth PAN1325.....	16
Figura 2.4: Módulo Bluetooth WT12.....	17
Figura 2.5: Módulo Bluetooth WT32.....	18
Figura 2.6: Cuadro comparativo de los módulos Bluetooth.....	19
Figura 2.7: Módulo Bluetooth WT32 A AI3.....	20
Figura 2.8: Diagrama de bloques de WT32.....	21
Figura 2.9: Interfaz UART del WT32.....	25
Figura 2.10: Diagrama de bloques de un Receptor / Trasmisor Asíncrono Universal.....	26
Figura 2.11: Protocolo de comunicación asíncrona de bit de arranque/bit de parada.....	26
Figura 2.12: Pila del protocolo Bluetooth.....	28
Figura 2.13: Procesador ADSP-21369.....	29
Figura 2.14: Transiciones de modo.....	30
Figura 2.15: Dimensiones físicas WT32.....	32
Figura 2.16: Footprint del WT32.....	32
Figura 2.17: Regulador de voltaje MCP1702.....	33
Figura 2.18: Fuente de 3.3V con el regulador de voltaje MCP1702.....	34

Figura 2.19: Placa de expansión para módulo Bluetooth.....	34
Figura 3.1: Esquemático y footprint del capacitor.....	36
Figura 3.2: Esquemático y footprint del regulador de voltaje.....	36
Figura 3.3: Esquemático y footprint del conector de dos pines.....	37
Figura 3.4: Esquemático de la placa de expansión del módulo Bluetooth WT32-A-AI3.....	37
Figura 3.5: Footprint de la placa de expansión del módulo Bluetooth WT32- A-AI3.....	38
Figura 3.6: Esquemático y footprint de las peinetas.....	38
Figura 3.7: Circuito esquemático completo.....	39
Figura 3.8: Captura de validación de cambios en el esquemático.....	40
Figura 3.9: Circuito en la hoja de PCB.....	40
Figura 3.10: Circuito impreso terminado.....	42
Figura 3.11: Pasos de la técnica “Through Hole”.....	43
Figura 3.12: Proceso de soldado.....	44
Figura 3.13: Proceso de soldado.....	44
Figura 3.14: Soldado de fuente de 3.3V y peinetas.....	45
Figura 3.15: Tarjeta con el módulo Bluetooth WT32-A-AI3, vista posterior.	45
Figura 3.16: Tarjeta con el módulo Bluetooth WT32-A-AI3, vista frontal....	46
Figura 4.1: Puente entre los pines TX y RX de la interfaz UART.....	53
Figura 4.2: Envío de datos desde el módulo Bluetooth Local.....	57
Figura 4.3: Transmisión de datos desde el módulo Bluetooth Local al Remoto a 19,05kHz.....	58
Figura 4.4: Transmisión de datos desde el módulo Bluetooth Local al Remoto a 331,1Hz.....	58
Figura 4.5: Recepción de datos erróneos.....	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Características de tecnologías de corto alcance.....	2
Tabla 1.2 Clases de los dispositivos Bluetooth en función de la potencia.....	4
Tabla 2.1: Valores nominales máximo absoluto.....	23
Tabla 2.2: Condiciones recomendables de operación.....	23
Tabla 2.3: Características de radio y especificaciones generales.....	24
Tabla 2.4: Posibles ajustes UART.....	25
Tabla 2.5: Comandos genéricos para iWRAP.....	31
Tabla 2.6: Comandos SET en iWRAP.....	31
Tabla 4.1: Pruebas realizadas variando la velocidad y la distancia.....	56

INTRODUCCIÓN

La necesidad de las personas para comunicarse entre sí ha provocado el desarrollo de los medios para transmitir la información, logrando así que las comunicaciones evolucionen a lo largo de los años y haciendo que esta información sea cada vez más accesible para todo el mundo.

Desde la presencia del ser humano en la Tierra ha existido la comunicación ya sea por sonidos o por gestos. En el año 3000 AC los egipcios representaban sus ideas mediante símbolos dibujados en papel, hecho de las hojas de los árboles, así la información podía ser transportada a grandes distancias. Las diferentes culturas del mundo buscaban medios para transmitir la información como por ejemplo: señales de humo, la Maratón, que consistía en que una persona llevaba un mensaje de un lugar a otro corriendo muchos kilómetros, mediante señales de brazo en lugares altos, comunicación por medios acústicos como el telégrafo de tambor, etc.

A partir de 1729 cuando Stephan Gray descubre que la electricidad puede ser transmitida, empieza el desarrollo de las comunicaciones eléctricas siendo el Telégrafo inventado por Samuel Morse en el año de 1844 el primer sistema digital de comunicaciones. Con el paso de los años y la necesidad del hombre por obtener una comunicación rápida y eficaz se crean las redes de telégrafos entre ciudades, países y continentes. Cada vez las aspiraciones crecían hasta que en el año de 1876 aparece el teléfono, que transmite una señal de voz mediante un cable eléctrico. Mientras la telefonía sobre cables telegráficos crecía, los intentos de realizar comunicaciones inalámbricas comenzaba. Treinta años después Guglielmo Marconi logra realizar la primera transmisión telegráfica inalámbrica utilizando ondas de radio. Este descubrimiento tuvo su aplicación más importante en la navegación haciendo posible que un barco en altamar pueda pedir socorro [1].

En 1981 en la Universidad de Hawaii, Norman Abramson con un grupo de investigadores, crean el primer sistema de conmutación de paquetes mediante una red de comunicación por radio, esta red se llamó ALOHA. Siendo ésta la primera red de área local inalámbrica WLAN. Desde entonces comienzan los desarrollos comerciales de este tipo de redes. Para que las redes inalámbricas se pudieran expandir sin problemas de compatibilidad, la IEEE crea un grupo de trabajo específico llamado 802.11 que define el uso del nivel físico y de enlace de datos de la red. Este estándar define a las redes inalámbricas como redes en las que dos o más terminales se comunican por medios no guiados a través de ondas electromagnéticas ya sean ondas infrarrojas o de distintas frecuencias de radio que operan en el espectro de los 2.4GHz [2].

Según su cobertura las redes inalámbricas se pueden clasificar en diferentes tipos: WPAN (Wireless Personal Area Network), esta red inalámbrica de interconexión de periféricos se puede encontrar tanto a unos pocos centímetros o metros de distancia del emisor, con velocidades de transmisión inferiores al megabit por segundo. Los estándares más conocidos son: Bluetooth (protocolo que sigue la especificación IEEE 802.15.1) utilizado para el intercambio de archivos persona a persona (P2P) o terminal a terminal (D2D); ZigBee (basado en la especificación IEEE 802.15.4 y utilizado en aplicaciones como la domótica, que requieren comunicaciones seguras con tasas bajas de transmisión de datos y maximización de la vida útil de sus baterías); RFID (sistema remoto de almacenamiento y recuperación de datos con el propósito de transmitir la identidad de un objeto, WLAN (Wireless Local Area Network) esta red inalámbrica se sitúa en un mismo edificio con un rango óptimo de 100m hasta 450m. La más conocida es WiFi basado en el estándar IEEE 802.11, WMAN (Wireless Metropolitan Area Network) esta red se sitúa en un barrio o ciudad pequeña (a pocos kilómetros), llamadas también redes inalámbricas de Banda Ancha. WiMAX es un protocolo parecido a WiFi, pero con más cobertura y ancho de banda que soportan hasta unos 54km de distancia en condiciones favorables de clima y cerca de 22km en condiciones climatológicas adversas y finalmente, WWAN (Wireless Wide Area Network), red inalámbrica de Área Mundial basada en tecnologías como vSAT (conexión satélite); 2G, 3G y 4G (soluciones vía telefonía móvil) [1] [2].

Con la variedad de redes inalámbricas que existen se pueden obtener un sinnúmero de aplicaciones. El trabajo que se presenta a continuación es una aplicación de la red inalámbrica WPAN, específicamente de la tecnología Bluetooth para la transmisión de datos en un convertidor electrónico de potencia.

Este trabajo forma parte del desarrollo completo, diseño y construcción de un convertidor electrónico multinivel, proyecto que se encuentra en etapa de desarrollo por parte del Grupo de investigación de energías del CIDII (Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Ingenierías de la UPS). Este convertidor consta de 9 niveles en configuración cascada, destinado para su uso como compensador estático de potencia reactiva en instalaciones industriales trifásicas. El trabajo total abarca cuatro etapas de diseño y desarrollo: la etapa de potencia, la tarjeta de control, las tarjetas de sensores y las tarjetas de drivers. La etapa de potencia compuesta por 24 módulos de transistores bipolares de compuerta aislada (IGBTs) de 150A y 1200V cada uno y por 3 disipadores de aluminio. La tarjeta de control tiene a su cargo la generación de los disparos para el control del convertidor. Su diseño está basado en un arreglo de lógica programable (FPGA) interconectada con un procesador digital de señales (DSP) que permite la alta velocidad de procesamiento requerida para probar distintas técnicas de control. El convertidor es controlado por modulación de ancho de pulso (PWM) conmutado a una frecuencia de 10kHz y pudiendo ser conectado a tensiones de hasta 3kV. Finalmente, las tarjetas de sensores están a cargo de la medición y conversión analógica a digital de las variables de tensión y corriente eléctrica. Estas tarjetas se diseñaron utilizando sensores de efecto Hall para tensión y corriente y la transmisión de datos originalmente se diseñó con fibra óptica pero debido al volumen de instalación y a la cantidad de variables a ser medidas se desea explorar la opción de la transmisión de datos inalámbrica utilizando la tecnología Bluetooth [3]. Esta tecnología constituye actualmente un estándar ampliamente utilizado y de bajo costo ofreciendo a su vez anchos de banda que la hacen candidata potencial para la transmisión de datos en entornos industriales.

El enlace de datos entre la tarjeta de control y la tarjeta de sensores debe cumplir con las siguientes características: enlace inalámbrico de al menos 2Mbaudios, alcance de 15 metros, antena incluida, bajo costo y fácil adquisición.

En la Figura 1 se muestra el diagrama de bloques del sistema. La tarjeta de sensores ubicada en el convertidor obtiene los datos de corriente y voltaje, estos datos son enviados a través del protocolo UART, hacia el Módulo Bluetooth Remoto que está alimentado a 3.3V, siendo estos datos transmitidos por radio frecuencia hasta el Módulo Bluetooth Local encargado de tomar los datos y pasar a la Tarjeta de Control para su respectivo análisis y comparación con los valores tomados anteriormente.



Figura 1: Diagrama de bloques de la transmisión de datos vía Bluetooth

Fuente: Los autores.

El desarrollo de este trabajo se basa principalmente en el estudio del módulo Bluetooth adecuado para la aplicación antes mencionada. Además del diseño y la construcción del circuito impreso de los módulos Bluetooth. Para comprobar el correcto funcionamiento del sistema se realizan las pruebas correspondientes variando la velocidad de transmisión y el alcance.

Este documento se divide de la siguiente manera: en el capítulo 1 se estudia la tecnología Bluetooth, sus características técnicas y protocolos. En el capítulo 2 se describe la búsqueda, estudio y elección del módulo Bluetooth en las diferentes tiendas electrónicas a nivel mundial. En el capítulo 3 se muestra el diseño y la construcción del circuito impreso en donde irán montados los módulos Bluetooth tanto el Local como el Remoto y su respectiva alimentación. En el capítulo 4 se encuentran las pruebas generales del sistema, es decir el montaje de los módulos

en el PCB, para verificar la velocidad de envío y recepción de datos, la distancia mínima y máxima del enlace, la potencia de transmisión y la confiabilidad de la comunicación. Finalmente se presentan las recomendaciones y conclusiones de los autores.

CAPITULO 1

TECNOLOGIA BLUETOOTH

1.1 Origen de Bluetooth

El nombre Bluetooth tiene su origen entre los años 940 y 985 d.c, en honor al Rey Vikingo de Dinamarca Harald Blatand que en inglés se traduce como: Harald Bluetooth (Diente Azul). De la misma manera que el Rey Harold unificó los reinos escandinavos de Dinamarca, Suecia y Noruega, los creadores de Bluetooth esperan que ésta tecnología unifique los mundos de los dispositivos informáticos y de las telecomunicaciones.

Esta tecnología se desarrolló en los laboratorios de la empresa sueca Ericsson Mobile Communications en el año de 1994. Ericsson decidió desarrollar una tecnología que permitiera la conexión mediante una interfaz de radio, de bajo consumo, coste y tamaño para sus teléfonos móviles u otros dispositivos. En febrero de 1998 se creó el SIG (Special Interest Group), formado por Ericsson, Nokia, IBM, Toshiba e Intel, para promover un estándar abierto para el interfaz radio, que utilizará la banda no licenciada de frecuencias (ISM) y un conjunto de protocolos y de interoperabilidad que permita la compatibilidad entre los equipos de los distintos fabricantes. En la actualidad más de 14000 compañías se han afiliado al grupo Bluetooth [4] [5].

1.2 Estándar Bluetooth

La tecnología Bluetooth define un estándar de comunicaciones inalámbricas de corto alcance mediante señales de radiofrecuencia que permite la transmisión de datos y voz, buscando eliminar el cableado de conexiones entre dispositivos electrónicos, tanto portátiles como fijos, manteniendo altos niveles de seguridad [6] [7].

En la actualidad existen varias tecnologías de corto alcance, en la tabla 1.1 se muestra una comparación de las características principales de la tecnología Bluetooth sobre las demás.

Tecnología	Frecuencia	Tasa de Tx	Alcance	Seguridad	Aplicación
ANT+	2.4GHz	1Mbps	< 10m	-	Monitoreo: salud y deportes
Bluetooth	2.4GHz	1 – 54Mbps	10 – 100m	Alta con encriptación	Aplicaciones de audio
Infrared (IrDA)	800 – 1000um	9600 bps	1m		Mando a distancia
NFC	13.56MHz	106 - 848 kbps	< 30cm	Alta	Acceso a pagos
RFID	125kHz, 13.56MHz, 902 a 928MHz	424 kbps	< 1m	Vulnerable	Rastreo, inventarios
6LoWPAN	2.4GHz	-	< 10m	Alta	Monitoreo y control vía internet
UWB	3.1 a 10.6GHz	53 Mbps - 480 Mbps	< 10m	Alta	Transferencia de video
Wi-Fi	2.4 – 5GHz	54 - 300 Mbps	< 100m	Alta con encriptación	Redes locales, acceso a internet
ZigBee	2.4GHz	250 kbps	< 10m	Mediante autenticación y encriptación	Monitoreo y control: hogar, industria
Z-Wave	908.42MHz	9600 bps - 40 kbps.	< 30m	-	Monitoreo y control del hogar

Tabla 1.1: Características de tecnologías de corto alcance.

Fuente: FRENZEL, Lou, *“The Fundamentals of Short-Range Wireless Technology”*. Octubre 2012. Disponible (online) en: <http://electronicdesign.com/article/communications/fundamentals-shortrange-wireless-technology-74547>

Cada una de estas tecnologías fueron creadas con el propósito de cubrir las deficiencias de otras, algunas se desarrollaron para aplicaciones específicas, sin embargo otras son flexibles y genéricas. Es verdad que algunas características se pueden comparar de forma cuantitativa, se debe tomar en cuenta el campo de aplicación y elegir de acuerdo a ésta, cuál de ellas encaja mejor.

Entre las ventajas de la tecnología Bluetooth sobre las demás tecnologías inalámbricas de corto alcance están: la confiabilidad en la transmisión de datos,

baja interferencia, alto alcance de transmisión a baja potencia, bajos costos, permite el intercambio de voz y datos, entre otras.

1.3 Topología Bluetooth

Cuando un dispositivo Bluetooth está dentro del radio de cobertura de otro, puede establecer un enlace entre ellos. Hasta ocho unidades Bluetooth pueden comunicarse entre ellas y formar una Piconet. La unión de varias Piconets se denomina Scatternet o Red Dispersa.

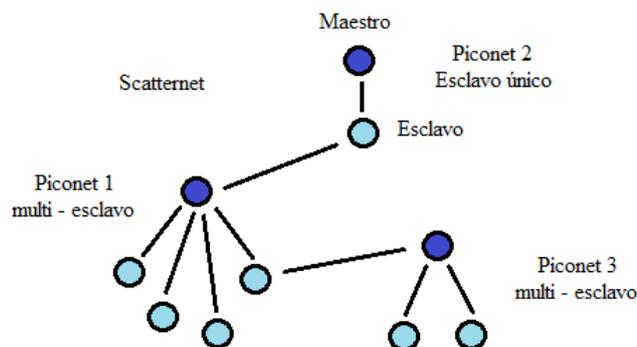


Figura 1.1: Red dispersa.

Fuente: MORENO, Alberto, “*Estándar Bluetooth*”, University of Tsukuba, Japan 2005.

Disponible (online) en: <http://www.seguridadmobile.com/bluetooth/especificacion-bluetooth/estandar-bluetooth/index.html>

Los dispositivos que están dentro de una piconet pueden ser: maestro o esclavo. En una piconet solo puede haber un maestro, quien normalmente inicia la conexión, el resto de unidades son los esclavos. Cualquier dispositivo puede hacer las funciones de maestro y esclavo.

El maestro es el dispositivo de una piconet cuyo reloj y patrón de saltos se utilizan para sincronizar a todos los demás dispositivos esclavos.

La topología Bluetooth se puede describir como una estructura de piconets múltiples. Dado que la especificación Bluetooth soporta conexiones punto a punto y punto a multipunto, se pueden establecer y enlazar varias piconets en forma de scatternet [8].

1.4 Especificaciones técnicas de Bluetooth

Bluetooth trabaja a una frecuencia de radio situada en el rango de 2.4 a 2.48 GHz de la banda ISM (Industrial, Scientific and Medical – banda sin licencia industrial científica y médica) disponible a nivel mundial, lo que significa una compatibilidad universal entre dispositivos Bluetooth.

Los dispositivos Bluetooth se clasifican por clases debido a su potencia de transmisión, siendo totalmente compatibles los dispositivos de una clase con los de la otra. En la tabla 1.2 se muestra las diferencias entre las clases.

Clase	Potencia máxima permitida(mW, dBm)	Potencia mínima (mW,dBm)	Alcance (m)
Clase 1	100, 20	1, 0	100
Clase 2	2,5, 4	0.25, -6	10
Clase 3	1, 0	N/A	1

Tabla 1.2 Clases de los dispositivos Bluetooth en función de la potencia

Fuente: BARRIGA, Walter y ZUÑIGA, Fabián, “*Tecnologías inalámbricas de corto alcance Zigbee y Bluetooth*”. Tesis previa para la obtención del título de Ingeniero Electrónico.

Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. Noviembre, 2006.

1.4.1 Canales de transmisión

La tecnología Bluetooth está constituida por un transmisor-receptor, que opera en la banda 2,4 GHz, además, utiliza un esquema de modulación por desplazamiento de frecuencia con filtros gaussianos (GFSK, Gaussian Frequency Shift Keying).

En la modulación GFSK, un 1 binario representa una desviación positiva de la portadora nominal de la frecuencia; mientras que un 0 representa una desviación negativa de la misma. Después de cada paquete enviado, los dispositivos Bluetooth conectados re-sintonizan su radio transmisor a una frecuencia diferente utilizando la técnica FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) de salto de frecuencia que consiste en dividir la banda en 79 canales de

longitud de 1MHz y realizar 1600 saltos por segundo; de esta manera, los dispositivos Bluetooth utilizan toda la banda y evitan interferencias con otros protocolos que operen en la misma banda de frecuencias. Si una transmisión se interfiere sobre un canal, una retransmisión ocurrirá sobre un canal diferente, siempre y cuando esté libre [8] [9].

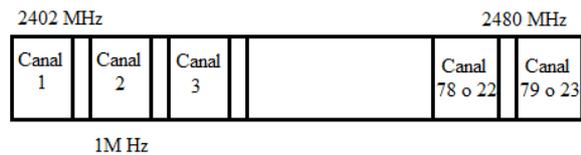


Figura 1.2: Canales de transmisión Bluetooth.

Fuente: ARCHUNDIA, Francisco, “*Wireless Personal Area Network (WPAN) & Home Networking*”. Tesis profesional para la obtención del título de Ingeniería Electrónica. Universidad de las Américas de Puebla. Puebla, México. 2003.

En cada canal, se realiza una transmisión de datos durante una ranura de tiempo, cuya duración es $625\mu\text{s}$. Los datos enviados por los dispositivos, se intercalan durante el tiempo en el que dura la conexión entre ellos, que puede ser cada 1, 3, 5 o un número impar de ranuras.

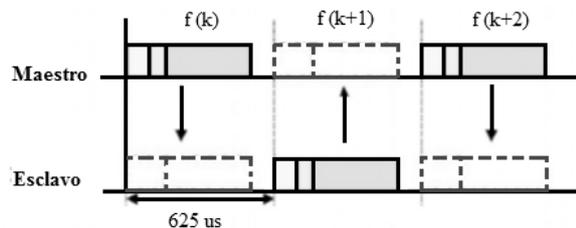


Figura 1.3: Transmisión de paquetes por slot de tiempo.

Fuente: ARCHUNDIA, Francisco, “*Wireless Personal Area Network (WPAN) & Home Networking*”. Tesis profesional para la obtención del título de Ingeniería Electrónica. Universidad de las Américas de Puebla. Puebla, México. 2003.

1.4.2 Transmisión de datos

Bluetooth transmite sus datos a una velocidad de hasta 1Mbps (Tasa básica) o con EDR (Tasa de datos mejorada) de 2 o 3Mbps.

1.4.2.1 Paquetes de Bluetooth

El paquete, es la información que se intercambia entre dos unidades. El formato de los paquetes varía dependiendo de la velocidad de transmisión que se tenga en la comunicación y consta de:

- Código de Acceso
- Cabecera
- Carga útil o información

En la figura 1.4 se muestra el formato del paquete para la tasa de transmisión básica:



Figura 1.4: Formato de paquete.

Fuente: SALAZAR, Danilo, “Análisis de la Tecnología Bluetooth en la formación de redes WPAN empleando dispositivos móviles”. Proyecto de grado para la obtención del título en Ingeniería. Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador. Abril 2011.

Por otro lado, la figura 1.5 muestra el formato del paquete para una tasa de transmisión en EDR cada paquete consta de:

- Código de Acceso
- Cabecera
- Banda de Guarda
- Secuencia de Sincronización
- EDR Payload o Información
- Trailer

Como se observa en la figura 1.5, la banda de guarda permite hacer la transición entre los dos tipos de modulación que se hacen cuando se utiliza EDR.

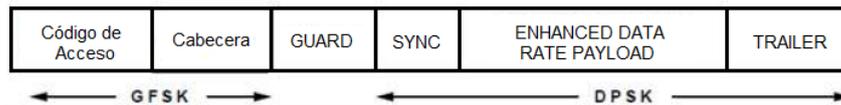


Figura 1.5: Formato del paquete para velocidad de transmisión con EDR.

Fuente: SALAZAR, Danilo, “Análisis de la Tecnología Bluetooth en la formación de redes WPAN empleando dispositivos móviles”. Proyecto de grado para la obtención del título en Ingeniería. Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador. Abril 2011.

- **Código de acceso**

Todas las transmisiones Bluetooth sobre un canal físico comienzan con un código de acceso. Son de propiedad del canal físico y están siempre presentes en el inicio de cada paquete transmitido. Es así que se definen códigos de acceso de tres tipos:

- Código de Acceso al Canal (CAC): identifica una única Piconet y es incluido en todos los paquetes intercambiados en el canal.
- Código de Acceso de Dispositivo (DAC): es usado para procedimientos especiales de señalización como paginación y respuesta de equipos Bluetooth.
- Código de Acceso de Búsqueda o Indagación (IAC): hay dos variaciones, un código de indagación general (GIAC), que se usa para la búsqueda de otras unidades Bluetooth dentro del alcance y otro código de acceso de indagación dedicado (DIAC), que es usado para la búsqueda de un grupo de dispositivos que comparten características en común.

- **Cabecera**

Constituida por 54 bits y contiene información para el reconocimiento de paquete, numeración de paquetes, reordenación de paquetes fuera de orden, el

control de flujo, dirección de esclavo y control de errores de la cabecera, repartidos en 6 campos principales (figura 1.6), los cuales son:

- AM_ADDR: 3 bits de dirección de miembro activo, se utiliza para distinguir los dispositivos activos en una piconet, siendo la dirección 000 la dirección broadcast.
- TIPO: 4 bits de tipo de código de paquete, define qué tipo de paquete es enviado y cuántos slots va a ocupar.
- FLUJO: 1 bits de control de flujo. El bit de control de flujo es usado para notificar al emisor cuándo el buffer del receptor está lleno y que debe dejar de transmitir, en ese caso el bit tendrá el valor 0.
- ARQN: 1 bit de reconocimiento de paquetes recibidos, paquetes correcto o incorrecto (último paquete recibido). Si es un 1 es un ACK, y con 0 un NAK.
- SEQN: 1 bit de número de secuencia. Se va invirtiendo para evitar retransmisiones en el receptor.
- HEC: 8 bits de chequeo de error de cabecera.

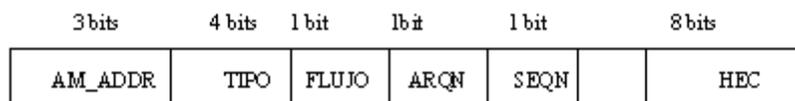


Figura 1.6: Formato de la Cabecera

Fuente: SALAZAR, Danilo, “Análisis de la Tecnología Bluetooth en la formación de redes WPAN empleando dispositivos móviles”. Proyecto de grado para la obtención del título en Ingeniería. Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador. Abril 2011.

- **Carga útil**

Formada por bits desde 0 hasta 2745 y puede contener campos de voz, campos de datos o ambos. Contiene el conjunto de datos que supone la información a transmitir.

1.4.2.2 Tipos de transferencia de datos

1.4.2.2.1 Orientados a conexión de tipo síncrono (SCO)

Es un enlace simétrico punto a punto entre un maestro y un solo esclavo en una piconet. El maestro mantiene el enlace de SCO usando slots reservados. El enlace respectivo lleva principalmente información de voz y el maestro puede mantener hasta tres enlaces SCO simultáneos; mientras que los esclavos pueden mantener sólo dos enlaces de SCO con diferentes maestros o hasta tres enlaces SCO con el mismo maestro. Los paquetes de SCO no se retransmiten nunca y se usan para transmisiones de 64 kbps. Es una conexión capaz de soportar voz en tiempo real y tráfico multimedia [9] [10].

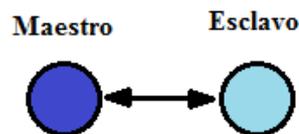


Figura 1.7: Enlace síncrono orientado a la conexión.

Fuente: SALAZAR, Danilo, “Análisis de la Tecnología Bluetooth en la formación de redes WPAN empleando dispositivos móviles”. Proyecto de grado para la obtención del título en Ingeniería. Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador. Abril 2011.

1.4.2.2.2 Asíncrono sin conexión (ACL)

Es un enlace punto a multipunto entre el maestro y todos los esclavos que participan en una piconet (figura 1.8). En los slots no reservados para los enlaces

de SCO, el maestro puede establecer un enlace ACL con cualquier esclavo, inclusive con el esclavo ya comprometido en un enlace SCO y sólo puede existir un único enlace ACL. Es una conexión utilizada para tráfico de datos, sin garantía de entrega en donde se retransmiten los paquetes. La máxima velocidad de envío es de 721 Kbps en una dirección y 57,6 kbps en la otra [9] [10].

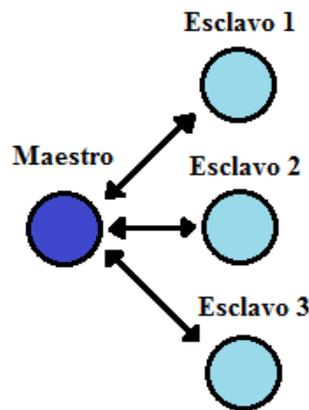


Figura 1.8: Enlace asíncrono sin conexión.

Fuente: SALAZAR, Danilo, “Análisis de la Tecnología Bluetooth en la formación de redes WPAN empleando dispositivos móviles”. Proyecto de grado para la obtención del título en Ingeniería. Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador. Abril 2011.

1.4.3 Protocolos de Bluetooth

Bluetooth promueve un conjunto completo de protocolos que permite la intercomunicación de aplicaciones entre dispositivos.

La pila de protocolos Bluetooth que se muestra en la figura 1.9 se basa en el modelo de referencia OSI (Open System Interconnect) de ISO (Internacional Standard Organization) para interconexión de sistemas abiertos. La arquitectura de protocolos de la especificación Bluetooth divide las diversas funciones una de red en un sistema de niveles. En conjunto, permiten el intercambio transparente de información entre aplicaciones diseñadas de acuerdo con dicha especificación y fomentan la interoperabilidad entre los productos de diferentes fabricantes.

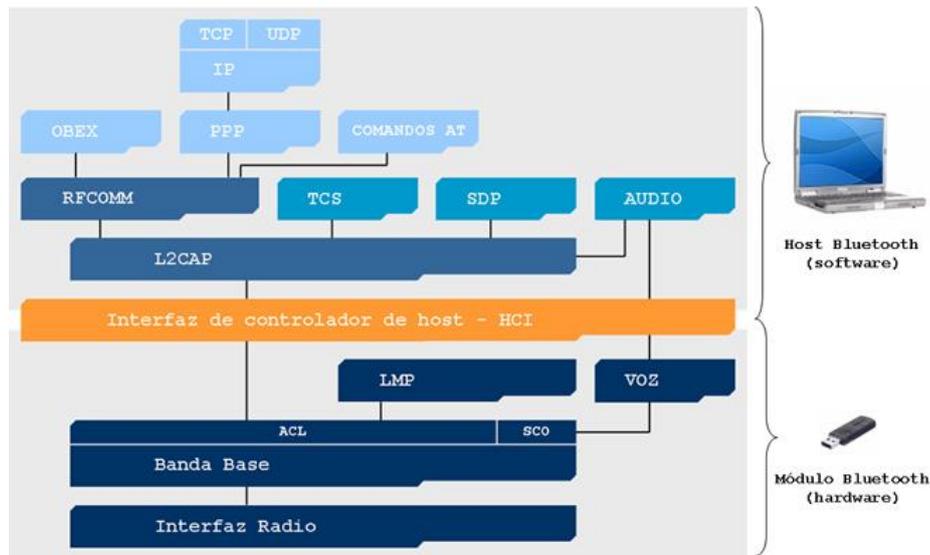


Figura 1.9: Pila del protocolo Bluetooth.

Fuente: MORENO, Alberto, “Estándar Bluetooth”, University of Tsukuba, Japan 2005. Disponible (online) en: <http://www.seguridadmobile.com/bluetooth/especificacion-bluetooth/estandar-bluetooth/index.html>

La pila de protocolos Bluetooth se divide en dos zonas, cada una de las cuales se implementa en distintos procesadores:

El módulo Bluetooth es la parte de hardware se ocupa de las tareas relacionadas con el envío de información a través del interfaz de radiofrecuencia. El host Bluetooth en cambio es la parte de software que se ocupa de las capas superiores de enlace y aplicación. Ambas zonas están comunicadas por el Interfaz de Controlador de Host (HCI) [11].

1.4.3.1 Capa de banda base e interfaz de radio

Esta capa se encuentra en la parte inferior de la pila de protocolos Bluetooth. Su función principal es permitir el enlace físico por radiofrecuencia entre unidades Bluetooth dentro de una piconet realizando tareas de modulación y demodulación de los datos en señales RF que se transmiten por el aire.

Dos dispositivos se entienden, por que utilizan la misma frecuencia y reglas definidas por Bluetooth Radio, los protocolos LMP y L2CAP entran ya en funcionamiento.

1.4.3.2 Capa de protocolo de gestión de enlace (LMP)

LMP (Link Manager Protocol) es el responsable de la configuración y control de enlace entre dispositivos Bluetooth, incluyendo el control y negociación del tamaño de los paquetes de banda base.

Una característica importante de LMP, es que Bluetooth se mueve entre 79 frecuencias diferentes, separadas cada una por 1MHz, cuando dos dispositivos Bluetooth establecen una comunicación, primero se comunican mediante una frecuencia predefinida, conocida como “control channel” (canal de control) y usando ese canal, acuerdan en qué orden van a utilizar las 79 frecuencias disponibles, es decir, que el primer paquete se enviará por la 39, el segundo por la 45, el tercero por la 78, etc., y así hasta utilizar los 79 canales y volver a empezar la secuencia.

1.4.3.3 Capa de interfaz de controlador de host (HCI)

La capa HCI (Host Controller Interface) actúa como frontera entre las capas de protocolo relativas al hardware y las relativas al software. Proporciona una interfaz de comandos para la comunicación entre el dispositivo y el firmware del módulo Bluetooth y permite disponer de una capa de acceso homogénea para todos los módulos Bluetooth de banda base, aunque sean de distintos fabricantes.

1.4.3.4 Capa de protocolo de adaptación y control del enlace lógico (L2CAP)

La especificación Bluetooth incluye el protocolo L2CAP (Logical Link Control and Adaptation Protocol), que se encarga de la multiplexación de

protocolos, ya que el protocolo de banda base no soporta un campo para identificar el protocolo de nivel superior al que quiere transmitir la información, por ejemplo SDP, RFCOMM y TCS.

L2CAP define una serie de puertos que se pueden utilizar para mandar y recibir datos mediante las capas de abajo, es decir, define una forma en la que varias aplicaciones pueden enviar datos y recibir datos utilizando las ondas de radio de Bluetooth, de la misma forma que TCP/IP permite que una misma IP, pueda enviar y recibir datos por el mismo cable, para distintas aplicaciones a la vez, haciendo uso de los puertos.

L2CAP dispone de 32767 puertos, disponibles para que las aplicaciones los utilicen, al comunicarse mediante Bluetooth.

1.4.3.5 Capa de protocolo de descubrimiento de servicios (SDP)

El descubrimiento de servicios hace referencia a la capacidad de buscar y encontrar servicios disponibles en dispositivos Bluetooth. A través de los servicios, dos dispositivos pueden ejecutar aplicaciones comunes e intercambiar datos.

Una vez el dispositivo tiene una lista de los dispositivos cercanos, puede consultar que servicios provee un determinado dispositivo, es decir, de la misma forma que un ordenador puede tener un servidor web instalado, un dispositivo Bluetooth puede tener servicios que se pueden utilizar a través de él, o dicho de otra forma: existe un FTP a través de Bluetooth, y se llama OBEX.

Obex es un pequeño protocolo que especifica como intercambiar archivos entre dos dispositivos Bluetooth [7].

CAPITULO 2

ESTUDIO DEL MÓDULO BLUETOOTH

En este capítulo se estudia el módulo Bluetooth que se va a utilizar, sus partes principales, características técnicas, interfaz para la comunicación y el firmware iWRAP que es propio de los módulos Bluegiga.

2.1 Estudio y dimensionamiento de los elementos

Las características principales que debe poseer el módulo Bluetooth para nuestra aplicación son:

- Enlace inalámbrico de 2Mbaudios
- Alcance de 15m
- Antena incluida

Con las especificaciones técnicas que deben cumplir los módulos, procedemos la búsqueda de los mismos a nivel mundial en diferentes tiendas electrónicas. Entre las tiendas más reconocidas tenemos: MOUSER (<http://ec.mouser.com/>), NEWARK (<http://www.newark.com/>) y DIGIKEY (<http://www.digikey.com/>). Cada una de estas tiendas nos presenta diferentes opciones muy fáciles de utilizar para la búsqueda de los componentes.



a tti company

Figura 2.1: Logos de tiendas electrónicas a nivel mundial.

Fuente: Tiendas electrónicas a nivel mundial.

En el transcurso de la búsqueda se tuvieron algunas limitaciones como: el tiempo que tarda el envío desde la casa matriz a nuestro país, la diferencia de costos entre las tiendas electrónicas y la restricción de ventas de estos componentes a clientes residenciados fuera de los Estados Unidos.

Se empezó con la selección de los dispositivos Bluetooth que satisfagan las necesidades de este proyecto y después de revisar una amplia gama de módulos en las distintas tiendas antes mencionadas (figura 2.1), se presenta a continuación un breve listado de los distintos módulos que cumplen con las especificaciones, además de sus respectivas características:

- **Bluetooth PAN1321i**
 - Bluetooth clase 2
 - Velocidad de transmisión: 3 Mbps
 - Antena Integrada
 - Rango de temperatura: -40°C a $+85^{\circ}\text{C}$
 - Tensión de alimentación: 2.7 – 3.6 V
 - Interfaz: UART.
 - Sensibilidad de recepción: -86 dBm
 - Potencia de salida: +2.5 dBm
 - Banda de frecuencia: 2,4GHz
 - Precio: \$18.91
 - Tiempo de Entrega: 20 semanas



Figura 2.2: Módulo Bluetooth PAN1321i.

Fuente: MOUSER, Tienda electrónica.

- **Bluetooth PAN1326**

- Velocidad de transmisión: 3.25 Mbps
- Dimensiones: 9.5 mm x 9 mm x 1.8mm
- Antena Chip
- Rango de temperatura: -20°C a +70 °C
- Tensión de alimentación: 1,7 – 4,8V
- Potencia de salida: 10.5dBm
- Banda de frecuencia: 2,4GHz
- Precio: \$14.57
- Tiempo de Entrega: 16 semanas



Figura 2.3: Módulo Bluetooth PAN1326.

Fuente: MOUSER, Tienda electrónica.

- **BLUEGIGA - WT12-A-AI3**

- Bluetooth clase 2
- Velocidad de transmisión: 2.1 Mbps
- Antena Chip
- Dimensiones: 26 mm x 14 mm x 2.4 mm
- Rango de temperatura: -40°C a +85°C
- Tensión de alimentación: 3.2 – 3.4 V
- Interfaz: UART, USB
- Sensibilidad de recepción: -84 dBm
- Potencia de salida: +4 dBm
- Banda de frecuencia: 2,4GHz
- Precio: \$34.48
- Tiempo de Entrega: 8 semanas



Figura 2.4: Módulo Bluetooth WT12.

Fuente: MOUSER, Tienda electrónica.

- **BLUEGIGA – WT32-A-AI3**

- Bluetooth clase 2
- Velocidad de transmisión 3Mbps
- Dimensiones: 24 mm x 16 mm x 0.3 mm
- Antena integrada
- Rango de temperatura: -40 ° C a +85 ° C
- Tensión de alimentación: 3,3V
- Interfaz: Serial, USB, UART

- Sensibilidad de recepción: -87dBm
- Potencia de salida: 5 dBm
- Banda de frecuencia: 2,4GHz
- Precio: \$19.76
- Tiempo de Entrega: 8 semanas



Figura 2.5: Módulo Bluetooth WT32.

Fuente: MOUSER, Tienda electrónica.

Información del producto:				
Imagen:				
Verificar todos: <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
N.º de artículo de Mouser:	667-ENW-89811K4CF	667-ENW89823A2JF	603-WT12-A-AI3	603-WT32-A-AI3
N.º de artículo del fabricante:	ENW-89811K4CF	ENW89823A2JF	WT12-A-AI3	WT32-A-AI3
Fabricante:	Panasonic	Panasonic	Bluegiga Technologies	Bluegiga Technologies
Descripción:	Bluetooth / Módulos 802.15.1 PAN1321 Bluetooth EDR SPP W/ Antenna	Bluetooth / Módulos 802.15.1 PAN1326 CC2564 BT+BLE, HCI Module	Bluetooth / Módulos 802.15.1 WT12 Class 2 2.1+EDR w/Chip Ant iWRAP 3.0	Bluetooth / Módulos 802.15.1 WT32 Audio Mod w/ Chip Ant iWRAP 3.0
Ciclo de vida:	Nueva tecnología	Nuevo producto	NRND	NRND
Hoja de datos:	Hoja de datos	Hoja de datos	Hoja de datos	Hoja de datos
RoHS:	 Detalles	 Detalles	 Detalles	 Detalles
Especificaciones				
Velocidad de transmisión de datos:	3 Mbps	3.25 Mbps	2.1 Mbps	-
Dimensiones:	15.6 mm x 8.7 mm x 2.8 mm	9.5 mm x 9 mm x 1.8 mm	26 mm x 14 mm x 2.3 mm	23 mm x 16 mm x 3 mm
Potencia de salida:	2.5 dBm	10.5 dBm	4 dBm	5 dBm
Empaquetado:	Reel	Reel	Reel	Reel
Sensibilidad:	- 86 dBm	- 93 dBm	- 84 dBm	- 87 dBm
Banda de frecuencia:	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz
Tipo de interfaz:	I2C, JTAG, UART	UART	UART, USB	Serial, USB
Estilo de montaje:	SMD/SMT	SMD/SMT	PCB	PCB
Conector de tipo antena:	Integrated	Chip	Integrated	Chip
Clase:	2	1, 2	2	2
Temperatura de trabajo máxima:	+ 85 C	+ 70 C	+ 85 C	+ 85 C
Temperatura de trabajo mínima:	- 40 C	- 20 C	- 40 C	- 40 C
Técnica de modulación:	DQPSK	-	-	-
Voltaje de alimentación operativo:	2.7 V to 3.6 V	1.7 V to 4.8 V	3.2 to 3.4 V	3.3 V
Categoría de producto:	Bluetooth / 802.15.1 Modules	Bluetooth / 802.15.1 Modules	-	-
Cantidad de Paquete Estándar:	500	-	-	-
Información del pedido				
Existencias:	973 Se puede enviar inmediatamente	614 Se puede enviar inmediatamente	140 Se puede enviar inmediatamente	569 Se puede enviar inmediatamente
En pedido:	0	0	500 Ver fechas de entrega	0
Plazo de entrega de fábrica:	18 Semanas	16 Semanas	8 Semanas	11 Semanas

Figura 2.6: Cuadro comparativo de los módulos Bluetooth.

Fuente: MOUSER, Tienda electrónica.

Finalmente se eligió el módulo Bluetooth WT 32 A AI3 de Bluegiga por su precio, el tiempo de entrega y porque cumple las características requeridas.

2.1.1 Módulo Bluetooth Bluegiga WT32 A AI3

WT32 es la última generación de módulos Bluetooth. Este módulo tiene un alto nivel de integración, trabaja en la frecuencia de 2,4GHz y tiene integrado: un DSP, cargador de batería, códec estéreo y antena. El DSP incorporado permite la decodificación de audio, cancelación del eco, reducción de ruido y la manipulación de datos en las aplicaciones de audio.



Figura 2.7: Módulo Bluetooth WT32 A AI3.

Fuente: MOUSER, Tienda electrónica.

Los módulos de Bluegiga están compuestos por un chip Bluetooth, una parte de RF, y un microprocesador. Estos módulos incorporan un firmware Bluegiga en dicho microprocesador, este firmware implementa un protocolo llamado iWRAP y funciona a través de comandos AT enviados por medio de un puerto serie.

Este módulo lleva el nombre de WT32 A AI3 porque WT32 representa la serie del producto, la sigla A es la versión, la cual nos indica que en este módulo incluye un chip con antena y que trabaja a un cierto rango de temperatura industrial y las siglas AI muestra la versión del protocolo iWRAP que lleva, en este caso iWRAP 3.0 [12].

El módulo WT32 posee las siguientes características:

- Solución Plug n'Play para Bluetooth en audio mono y estéreo.
- DSP, códec estéreo y cargador de batería incluido.
- Antena integrada, lo cual reduce dificultades del diseño y permite una mejor optimización del espacio.
- Velocidades de transmisión de 2 y 3 Mbps, ampliando en gran medida las aplicaciones que se pueden realizar ya sea en datos, audio y video.
- Clase 2. Alcance de hasta 30 metros.
- Rango de temperatura industrial de -40°C a 85°C.
- Bajo consumo de energía, permitiendo optimizar el tamaño y duración de las baterías.
- iWRAP™ Firmware para la configuración de ajustes. iWRAP es muy fácil de manejar tanto para su configuración y utilización mediante comandos ASCII.
- Perfiles Bluetooth admitidos: ADP, AVRCP, HFP, HFP-AG, SPP, OPP y HID.
- Alimentación 3,3V.
- Es compatible con varios tipos de comunicación como: UART, SPI y USB.

2.1.1.1 Diagrama de bloques y descripción

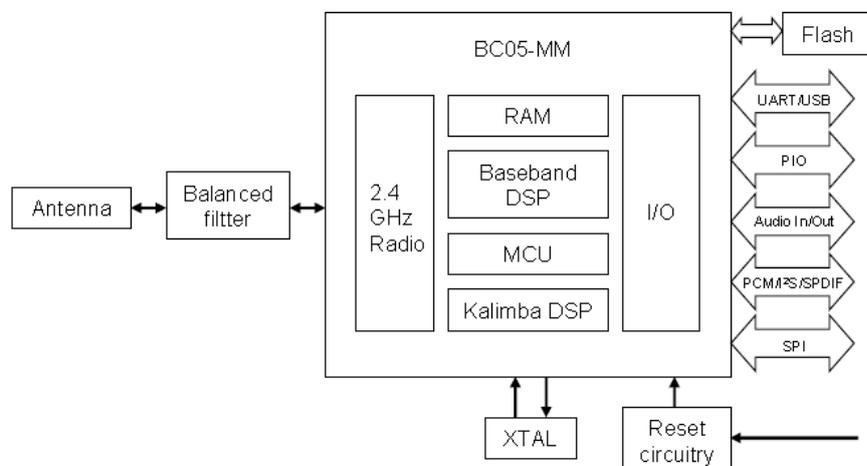


Figura 2.8: Diagrama de bloques de WT32.

Fuente: WT32 Data Sheet. Versión 1.1. Bluegiga Technologies. Septiembre 3, 2008.

En la figura 2.8 se muestra el diagrama de bloques del módulo WT32. En el diagrama se puede diferenciar una parte central compuesta por el microprocesador de radio y banda base de 2,4GHz para los sistemas Bluetooth. BlueCore05MM, contiene las interfaces típicas en los microprocesadores, el microprocesador está conectado con un cristal de 26 MHz para obtener la señal de reloj, una memoria flash de 8 Mbit para almacenamiento de información. La señal de información atraviesa en bloque Balun, que sirve de adaptación de impedancias antes de llegar al amplificador. Finalmente la antena integrada. El módulo Bluetooth WT32 utiliza una antena cerámica con constante dieléctrica alta, lo que hace que la antena sea muy sensible a su entorno. Las interfaces que contiene el microprocesador son:

- USB (Bus Serie Universal), es la interfaz para la comunicación con otros dispositivos digitales, WT32 funciona a través de USB respondiendo solicitudes, tal como un ordenador personal.
- SPI, esta interfaz de puerto serie síncrono soporta la interconexión con otros dispositivos digitales, puede ser utilizado para la depuración del sistema, también se utiliza para la programación de la memory flash.
- UART, esta interfaz es un estándar universal de recepción – transmisión asíncrona, para la comunicación con otros dispositivos seriales.
- PCM / I2S / SPDIF Interface, es un interfaz programable serial de audio bi-direccional que soporta los formatos PCM, I2C, SPDIF.
- Interfaz de Audio, la interfaz de Audio del WT32 tiene entradas y salidas diferenciales y un micrófono de salida de polarización. Una alta calidad de audio estéreo de la aplicación Bluetooth puede ser implementado con una cantidad mínima de componentes externos.

Además el WT32 tiene un total de 10 terminales E/S digitales programables, estos son controlados por el firmware que se ejecuta en el dispositivo [12].

2.1.1.2 Características eléctricas

Valores nominales máximos absolutos

	Mínimo	Máximo	Unidad
Temperatura de almacenamiento	-40	85	°C
Temperatura de funcionamiento	-30	85	°C
VDD_IO	-0.4	3.6	V
VDD_BAT	-0.4	4.4	V
VDD_CHG	-0.4	6.5	V
Tensión en los terminales	-0.4	Vdd + 0,4	V

Tabla 2.1: Valores nominales máximo absoluto.

Fuente: WT32 Data Sheet. Versión 1.1. Bluegiga Technologies. Septiembre 3, 2008.

El módulo no debe funcionar continuamente bajo estas condiciones. La exposición a las condiciones de máximo absoluto en períodos prolongados de tiempo puede afectar a la fiabilidad y causar daños permanentes al dispositivo.

Condiciones recomendables de operación

	Mínimo	Máximo	Unidad
Temperatura de funcionamiento	-40	85	°C
VDD_IO	1.7	3.6	V
VDD_BAT	2.5	4.4	V
VDD_CHG	0	6.5	V
Tensión en los terminales	0	Vdd	V

Tabla 2.2: Condiciones recomendables de operación.

Fuente: WT32 Data Sheet. Versión 1.1. Bluegiga Technologies. Septiembre 3, 2008.

2.1.1.3 Características de radio y especificaciones generales

	Especificaciones		Notas	
Rango de frecuencia de operación	(2400 ... 2483,5) MHz			
Baja frecuencia	2 MHz			
Alta frecuencia	3.5 MHz			
Frecuencia portadora	2402 MHz ... 2480 MHz		$f = 2402 + k$, $k = 0...78$	
Método de modulación	GFSK (1 Mbps) $\Pi/4$ DQPSK (2Mbps) 8DQPSK (3Mbps)			
Saltando	1600 hops/s, 1 MHz espacio de canal			
Datos máximos de muestreo	GFSK:	Asíncrono 723.2 kbps / 57.6 kbps Síncrono 433.9 kbps / 433.9 kbps		
		$\Pi/4$ DQPSK:	Asíncrono 1448.5 kbps / 115.2 kbps Síncrono 869.7 kbps / 869.7 kbps	
		8DQPSK:	Asíncrono 2178.1 kbps / 177.2 kbps Síncrono 1306.9 kbps / 1306.9 kbps	
Recepción de alcance de la señal	TBD		Única condición	
Receptor de frecuencia intermedia	1.5 MHz		Frecuencia Central	
Potencia de Transmisión	Mínimo	TBD		
	Máximo	TBD		
Impedancia de entrada de RF	50 Ω			
Compatibilidad	Especificación Bluetooth versión 2.1 + EDR			
Especificación USB	Especificación USB, versión 1.1 (USB 2.0 compatible)			

Tabla 2.3: Características de radio y especificaciones generales

Fuente: WT32 Data Sheet. Versión 1.1. Bluegiga Technologies. Septiembre 3, 2008.

2.1.1.4 Interfaz UART

La interfaz UART (Universal Asíncrono Receptor Transmisor) del WT32 proporciona un simple mecanismo para comunicación con otro dispositivo serial usando el estándar RS232. La interfaz UART del WT32 usa niveles de voltaje desde 0 a VDD_IO y por tanto, un transceptor IC externo se utiliza para cumplir con las especificaciones de nivel de voltaje de RS232.

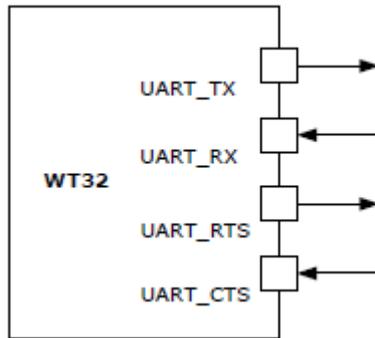


Figura 2.9: Interfaz UART del WT32.

Fuente: WT32 Data Sheet. Versión 1.1. Bluegiga Technologies. Septiembre 3, 2008.

Para implementar la función UART se usan cuatro señales, como se ve en la Figura 2.9. Cuando WT32 es conectado a otro dispositivo digital, UART_RX y UART_TX transfieren datos entre los dos dispositivos. Las otras dos señales UART_CTS y UART_RTS pueden ser usadas para implementar el control de flujo del hardware RS232 [12].

Parámetros		Posibles valores
Velocidad de transmisión	Mínimo	1200 baudios ($\leq 2\%$ Error)
	Máximo	9600 baudios ($\leq 1\%$ Error)
Control de Flujo		RTS / CTS, ninguno
Paridad		Ninguno, Impar, par
Número de bits de parada		1 o 2
Bits por canal		8

Tabla 2.4: Posibles ajustes UART.

Fuente: WT32 Data Sheet. Versión 1.1. Bluegiga Technologies. Septiembre 3, 2008.

La función principal de la interfaz UART es convertir los datos serie a paralelo cuando se trata de datos recibidos y de convertir datos de paralelo a serie cuando son datos de transmisión. En la figura 2.10, se muestra el esquema general con los bloques básicos de un UART. Se observa los registros de datos, tanto el de recepción como el de transmisión y sus correspondientes registros de desplazamiento (Tx y Rx), los registros de control de transmisión y recepción y señales de sincronización para comienzo de la transmisión / recepción (RTS, CTS). Otras de las funciones de esta interfaz son: generar y verificar la paridad de los datos, generar el bit de arranque, insertar el o los bits de parada y controlar el

número de bits por carácter. Para transmitir un byte de datos se necesitan 10 bits. En la figura 2.11, se observa el protocolo de comunicación asíncrona del bit arranque / bit de parada cuando no se transmiten datos.

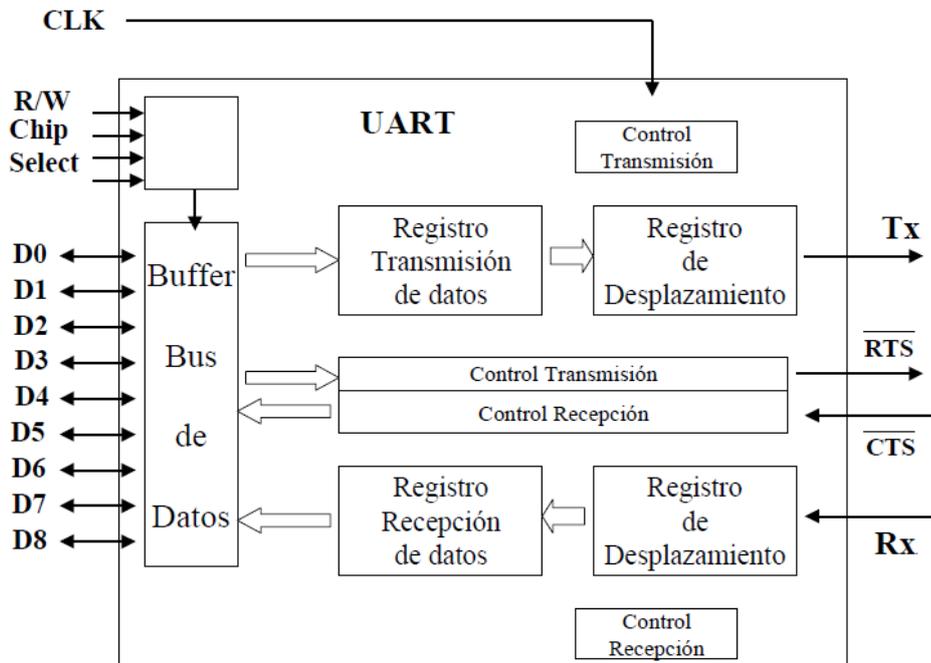


Figura 2.10: Diagrama de bloques de un Receptor / Transmisor Asíncrono Universal.

Fuente: WT32 Data Sheet. Versión 1.1. Bluegiga Technologies. Septiembre 3, 2008.

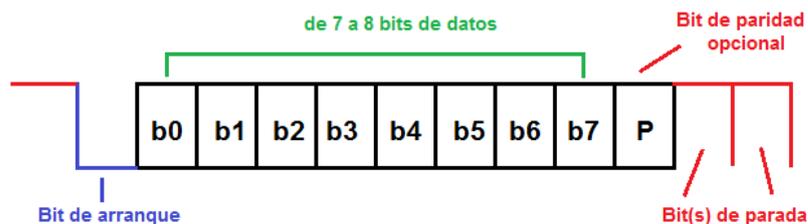


Figura 2.11: Protocolo de comunicación asíncrona de bit de arranque/bit de parada.

Fuente: LEE, Jeung Joon, "Micro – UART". Abril, 2001.

En el protocolo UART, el transmisor y el receptor no comparten una señal de reloj, es decir que la señal de reloj no va desde el transmisor UART al receptor UART. Por esta razón el protocolo es asíncrono. Debido a esto, la velocidad de transmisión deber ser acordada entre el receptor UART y el transmisor UART antes de la transmisión de los datos. [13]

Para la configuración de los datos en los módulos Bluetooth utilizaremos los terminales UART que se describen a continuación:

- **UART_NRTS**

Es una salida CMOS con una resistencia interna pequeña de pull-up. Se puede utilizar para implementar RS232, como hardware de control de flujo RTS donde (solicitud de envío) es un indicador de baja actividad.

- **UART_NCTS**

Es una entrada CMOS con una resistencia interna pequeña de pull-down. Se puede utilizar para implementar RS232 hardware de control de flujo en CTS (borrar para enviar) es un indicador de baja actividad.

- **UART_RXD**

Es una entrada CMOS con una resistencia interna pequeña de pull-down. Se utiliza para transferir datos UART desde otro dispositivo WT32.

- **UART_TXD**

Es una salida CMOS con una resistencia interna pequeña de pull-up. Se utiliza para implementar la transferencia de datos UART a otro dispositivo WT32.

2.1.1.5 iWRAP

iWRAP es la interfaz de WRAP (Plataforma inalámbrica para acceso remoto), es un firmware, es decir un bloque de instrucciones básicas de tipo máquina, éstos son de tipo sólo lectura y se utiliza para controlar las diferentes características y opciones de funcionamiento del módulo Bluetooth. Este implementa la pila completa de protocolos Bluetooth, representados en la figura 2.12.

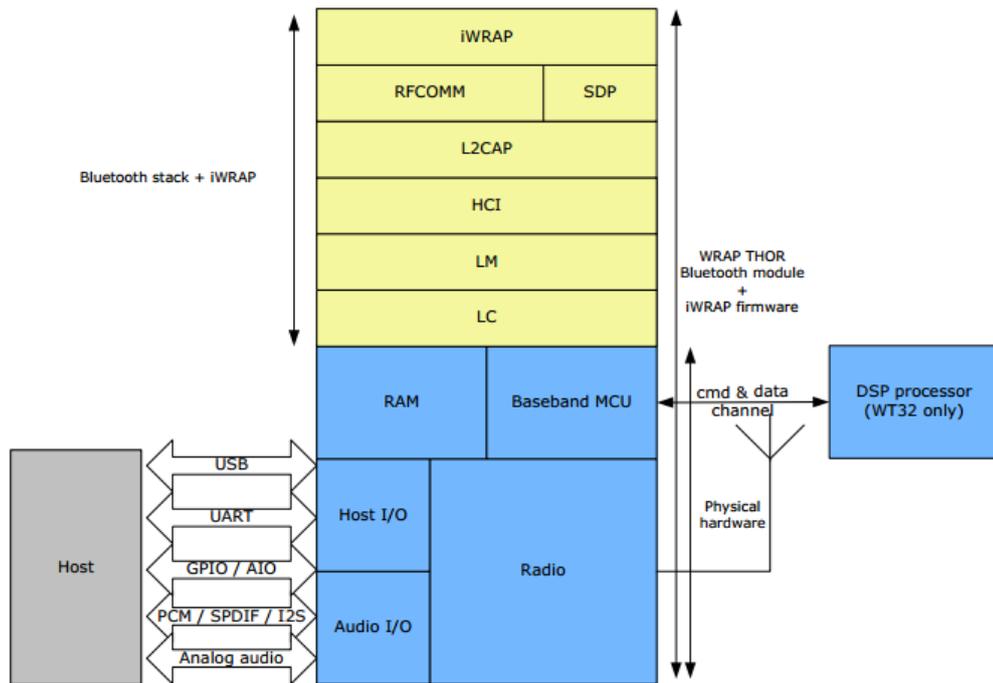


Figura 2.12: Pila del protocolo Bluetooth.

Fuente: iWRAP User Guide. Versión 1.3, Bluegiga Technologies. Septiembre 26, 2008.

Todas las capas del Software incluyendo la aplicación corren sobre el procesador interno, en un medio de ejecución protegido como es una máquina virtual (VM). El procesador host se comunica con iWRAP a través de una o más interfaces físicas, como se puede observar en la figura 2.12. La interface más utilizada es la UART utilizando comandos ASCII. Con estos comandos ASCII el procesador host puede acceder a todas las funcionalidades Bluetooth de manera sencilla [14].

Si el sistema está conectado a un procesador, iWRAP puede ser utilizado para controlar el módulo mediante el uso de comandos ASCII sino lo está el iWRAP se puede configurar para que el módulo Bluetooth sea totalmente transparente, conectándose o abriendo las conexiones automáticamente, pero en este modo, no se cuenta con todos los comandos que tiene el iWRAP. También, se puede utilizar para otras funciones adicionales como detección de portadora, cambiar los baudios o velocidad de transmisión o conectar otros equipos de Bluetooth.

El procesador externo, en este caso es el ADSP-21369 (figura 2.13) que forma parte de la tarjeta de control del convertidor multinivel, se configura para poder enviar los comandos AT a través de la UART que posee de manera de configurar el módulo Bluetooth y realizar las pruebas de transmisión y recepción de datos que serán descritas más adelante.



Figura 2.13: ANALOG DEVICES - ADZS-21369-EZLITE - ADSP-21369, VISUALDSP++, EVAL KIT

Fuente: FARNELL, Tienda electrónica.

2.1.1.5.1 Plataforma software

La plataforma de software utilizada para programar el procesador ADSP-21369 es el VisualDSP++ (v5.0) desarrollada por Analog Devices Inc. que es el mismo fabricante del procesador mencionado. Esta interfaz utiliza lenguaje C para generar el código en assembler que se descargará vía conexión USB a la tarjeta con el procesador. El software posee además una aplicación gráfica que permite visualizar los datos enviados y recibidos por la tarjeta lo cual resulta de gran utilidad en las etapas iniciales de depuración de errores.

2.1.1.5.2 Modos de Operación

Existen dos modos de operación básicos: modo comando y modo datos, los cuales se describen a continuación:

- Modo comando: Es el modo por defecto cuando no existe conexión. Es posible conmutar entre los dos modos en cualquier momento, cuando una o más conexiones están activas, utilizando para esto un comando específico denominado secuencia de escape, el cual puede ser configurado por el usuario. Se usa para realizar cambios en la configuración del módulo.
- Modo datos: El modo de datos se utiliza para transmitir y recibir datos a través de un enlace Bluetooth y sólo está disponible si hay una conexión.

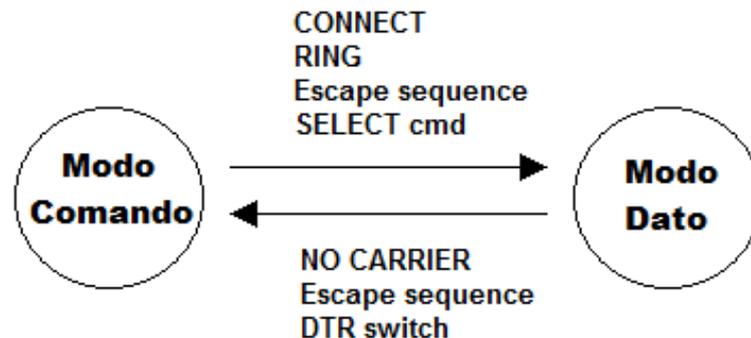


Figura 2.14: Transiciones de modo.

Fuente: iWRAP User Guide. Versión 1.3, Bluegiga Technologies. Septiembre 26, 2008.

2.1.1.5.3 Comandos para la configuración del módulo

Mediante el envío de comandos ASCII a través de la interfaz UART a iWRAP se puede controlar el sistema central. A continuación se presenta la lista de comandos ASCII para la versión 1.3 de iWRAP que se implementa en este trabajo:

Comando	Descripción
AT	Atención
BATTERY	Lee el nivel de batería
CALL	Abre las conexiones Bluetooth
CLOSE	Cierra las conexiones Bluetooth
CONNECT	Conecta las redes Bluetooth
RESET	Resetea el iWRAP
HELP	Muestra la ayuda
LIST	Muestra información sobre conexiones activas
IDENT	Identifica a un dispositivo Bluetooth
INQUIRY	Busca otros dispositivos Bluetooth
RFCOMM	Configura los canales RFCOMM
SELECT	Selecciona el modo de operación
SET	Visualiza o configura diferentes valores del iWRAP
TXPOWER	Lee el nivel de potencia de transmisión.

Tabla 2.5: Comandos genéricos para iWRAP.

Fuente: iWRAP User Guide. Versión 1.3, Bluegiga Technologies. Septiembre 26, 2008.

Comando	Descripción
SET BT BDADDR	Muestra la dirección del dispositivo Bluetooth local.
SET BT NAME	Establece el nombre del dispositivo local
SET BT CLASS	Ajuste de clase del dispositivo
SET BT POWER	Configura el nivel de potencia de transmisión
SET CONTROL BAUD	Cambia la velocidad de transmisión del UART
SET CONTROL CONFIG	Administra los bits de configuración

Tabla 2.6: Comandos SET en iWRAP.

Fuente: iWRAP User Guide. Versión 1.3, Bluegiga Technologies. Septiembre 26, 2008.

2.1.1.6 Dimensiones físicas del WT32

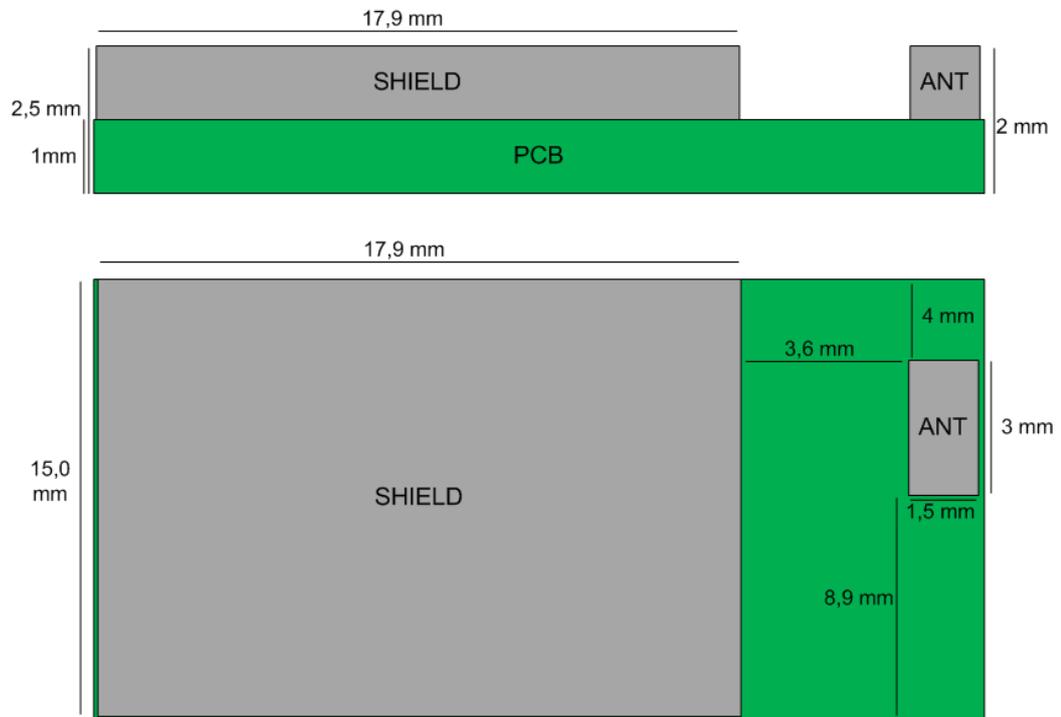


Figura 2.15: Dimensiones físicas WT32.

Fuente: WT32 Data Sheet. Versión 1.1. Bluegiga Technologies. Septiembre 3, 2008.

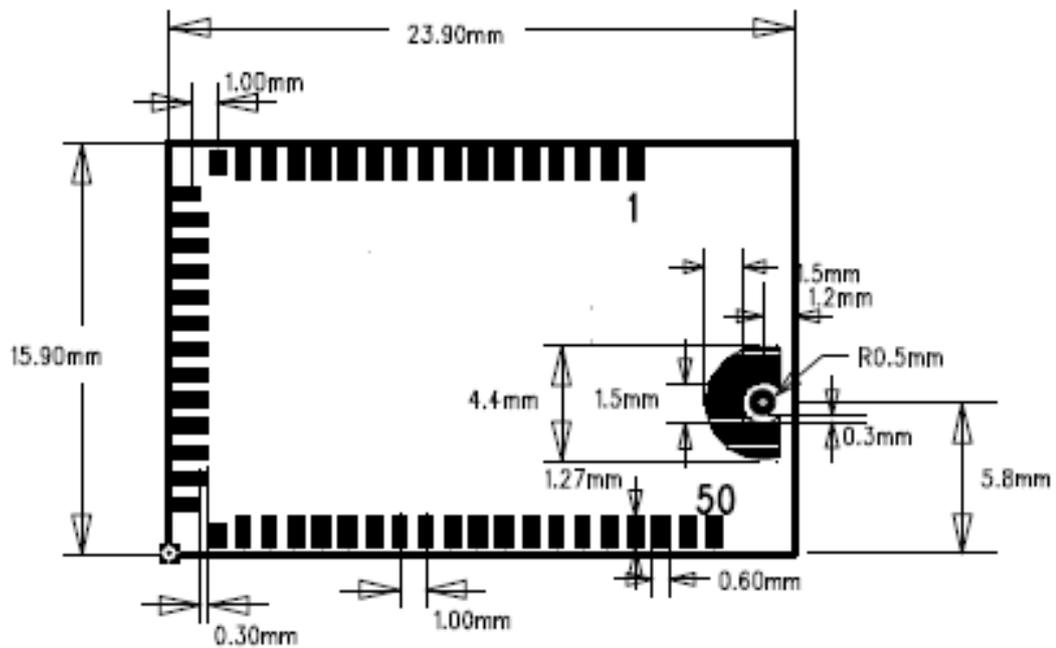


Figura 2.16: Footprint del WT32.

Fuente: WT32 Data Sheet. Versión 1.1. Bluegiga Technologies. Septiembre 3, 2008.

2.2 Generar las necesidades de elementos

El módulo Bluetooth necesita ser alimentado con 3.3V, por este motivo se diseñó una fuente que entregue este valor de voltaje. El regulador de voltaje que se utilizó es el MCP1702T-3302E/TO de Microchip, el cual posee las siguientes características:

- 2 μ A de corriente en reposo
- Rango de voltaje de entrada: 2.7V a 13.2V
- 250mA de corriente de salida para tensiones de salida $\geq 2,5$ V
- 200mA de corriente de salida para voltajes de salida < 2.5 V
- Opciones de salida estándar de voltaje: 1.2V, 1.5V, 1.8V, 2.5V, 2.8V, 3.0V, 3.3V, 4.0V, 5.0V
- Estable con condensadores de 1,0 μ F a 22 μ F
- Protección contra cortocircuitos
- Protección contra sobre temperatura

En la figura 2.17, se muestra el encapsulado del regulador de voltaje y la ubicación de sus pines.

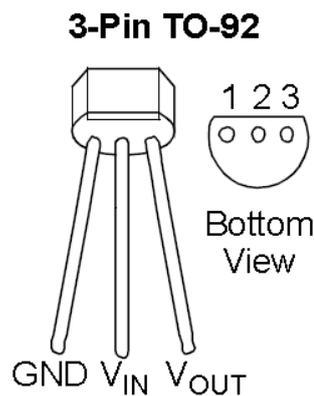


Figura 2.17: Regulador de voltaje MCP1702.

Fuente: MCP1702 Data Sheet. Microchip.

Gracias a este regulador el diseño de la fuente es sencillo como se puede observar en la figura 2.18.

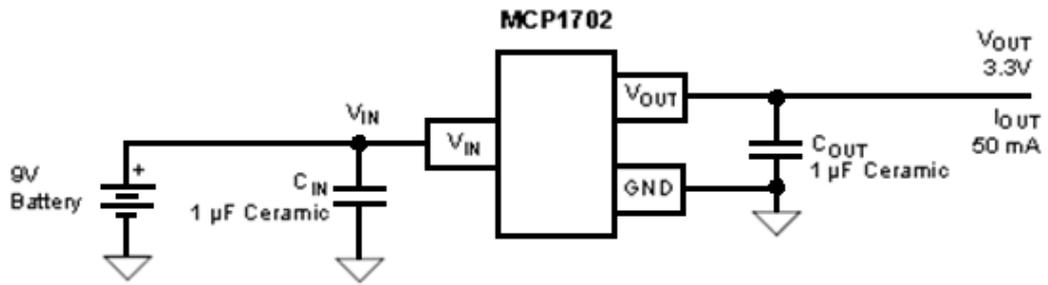


Figura 2.18: Fuente de 3.3V con el regulador de voltaje MCP1702.

Fuente: MCP1702 Data Sheet. Microchip.

Para facilitar el manejo del módulo Bluetooth WT32 A AI3, el cual es de montaje superficial se adquirió una placa de expansión que permite el fácil acceso y conexión de los 50 pines, figura 2.19.

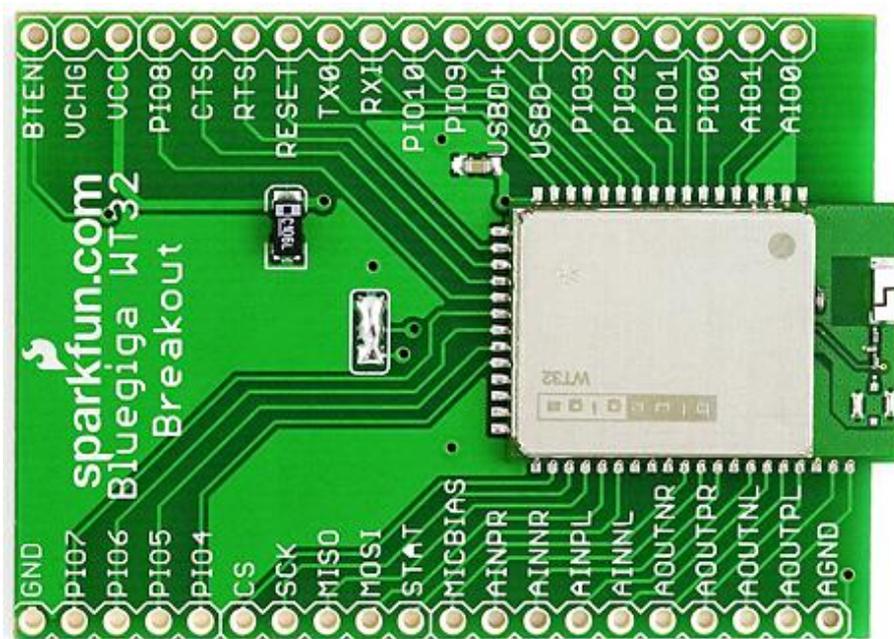


Figura 2.19: Placa de expansión para módulo Bluetooth.

Fuente: MCP1702 Data Sheet. Microchip.

CAPITULO 3

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CIRCUITO IMPRESO

En este capítulo nos centramos en el diseño del circuito impreso o PCB utilizando el software Altium Designer Release 10. En el PCB se encontrará montado el módulo Bluetooth seleccionado y estudiado en el capítulo 2, con su respectiva alimentación. El objetivo de montar los componentes electrónicos en el PCB es tener un fácil acceso a todos los pines del módulo. Finalmente se abordará el tema de la construcción del PCB para posteriormente realizar las pruebas correspondientes y comprobar su funcionamiento.

Antes de abordar la parte del diseño primero se dará una descripción breve de lo que es un circuito impreso y el software a emplearse.

Un circuito impreso es una superficie construida por pistas de material conductor laminadas sobre una placa base de material aislante donde se colocan los componentes electrónicos. [18]

Altium Designer unifica el proceso de diseño de tarjetas proporcionando al usuario una sola aplicación para capturar los datos del diseño, verificar el desempeño del circuito, y diseñar el circuito impreso. [19]

3.1 Diseño del Circuito Impreso

Para iniciar con el diseño se crea en Altium un nuevo proyecto con la extensión *.PrjPCB, el cual comprende dos partes, el circuito esquemático y el circuito impreso (PCB). Altium trabaja de forma directa desde el esquemático hacia la placa del circuito impreso, es decir que todas las conexiones que se realicen en el esquemático se actualizan en el PCB. Para el diseño del circuito impreso se han seguido los siguientes pasos:

3.1.1 Creación del esquemático

En el proyecto creado se agrega el archivo Schematic con la extensión *.SchDoc. Los primeros componentes a ser insertados son los de la fuente de 3.3V, formada por dos capacitadores cerámicos de 1uF los cuales se encuentran fácilmente en la librería “Miscellaneous Devices.IntLib”. Se ha colocado el footprint RAD-0.2, como se muestra en la figura 3.1.

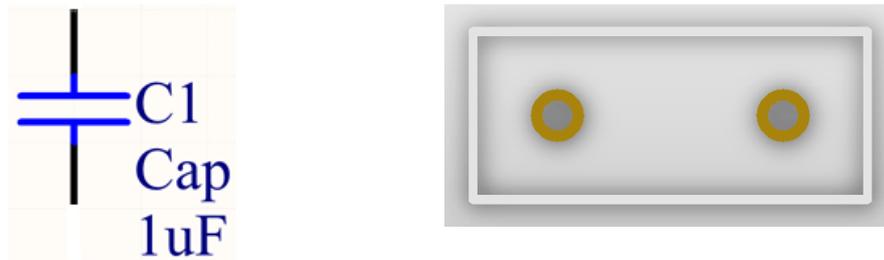


Figura 3.1: Esquemático y footprint del capacitor.

Fuente: Altium Designer Release 10.

El regulador de voltaje MCP1702T-3302E no se encuentra en las librerías de Altium, por lo cual se lo ha dibujado. El footprint que se le asignó es el TO-92 (ver figura 3.2).

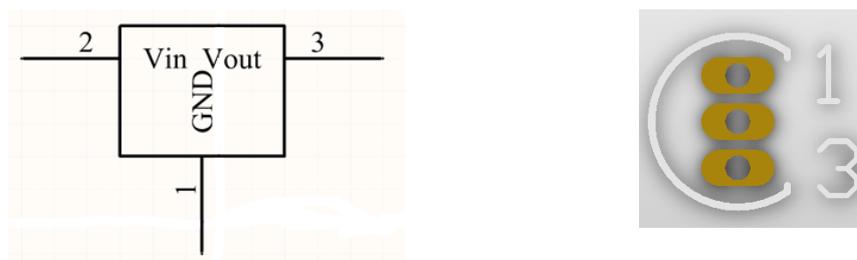


Figura 3.2: Esquemático y footprint del regulador de voltaje.

Fuente: Altium Designer Release 10.

Se dibujó un conector con dos pines por donde ingresará la alimentación de 5Vcc, como se ve en la figura 3.3.

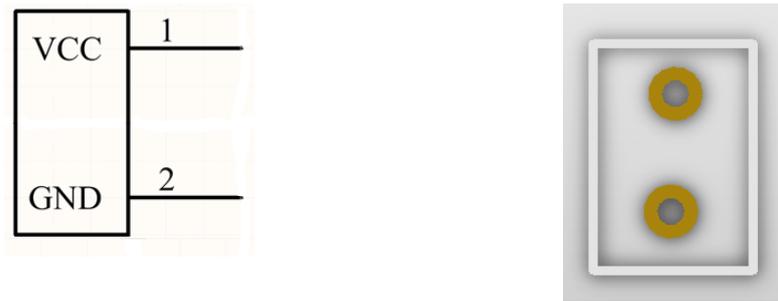


Figura 3.3: Esquemático y footprint del conector de dos pines.

Fuente: Altium Designer Release 10.

Como se mencionó en el capítulo 2 el módulo Bluetooth es de montaje superficial y está montado en una placa de expansión de dimensiones 5.2 x 3.8 cm, por lo cual se la dibujó también, como se observa en la figura 3.4.

1	GND	BTEN	39
2	PIO7	VCHG	38
3	PIO6	VCC	37
4	PIO5	PIO8	36
5	PIO4	CTS	35
6	CS	RTS	34
7	SCK	RESET	33
8	MISO	TX0	32
9	MOSI	RXI	31
10	STAT	PIO10	30
11	MICBIAS	PIO9	29
12	AINPR	USB+	28
13	AINNR	USB-	27
14	AINPL	PIO3	26
15	AINNL	PIO2	25
16	AOUTNR	PIO1	24
17	AOUTPR	PIO0	23
18	AOUTNL	AIO1	22
19	AOUTPL	AIO0	21
20	AGND		

Figura 3.4: Esquemático de la placa de expansión del módulo Bluetooth WT32-A-AI3.

Fuente: Altium Designer Release 10.

Altium da la facilidad de crear el footprint de los componentes que no se encuentren en sus librerías, debido a que el footprint de la placa de expansión no existe, se la dibujó con las dimensiones exactas tomadas de la tarjeta física. La separación de los pines es de 2,5mm. En la figura 3.5 se ilustra el footprint de la tarjeta con 39 PADs en los que irán montados los pines del módulo Bluetooth.

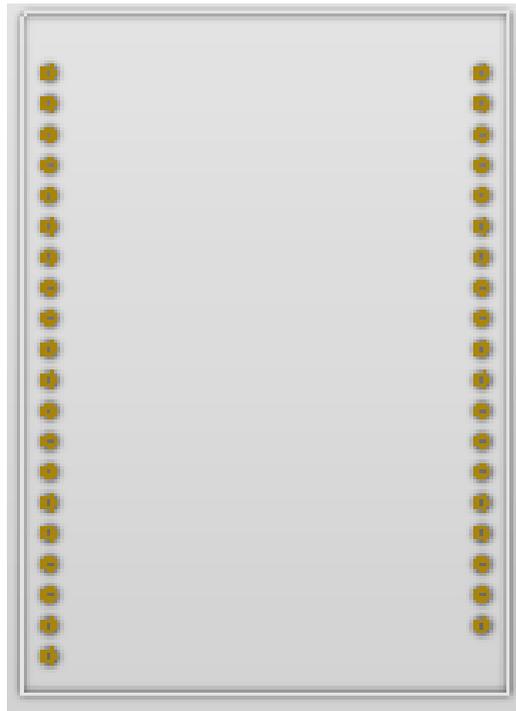


Figura 3.5: Footprint de la placa de expansión del módulo Bluetooth WT32-A-AI3.

Fuente: Altium Designer Release 10.

Finalmente en los extremos del PCB se colocaron 2 peinetas de 6 pines cada una para facilitar la conexión de las salidas UART y SPI del módulo Bluetooth. El footprint que se utilizó es el HDR1X6. En la figura 3.6 se muestra el esquemático y el footprint de las peinetas.

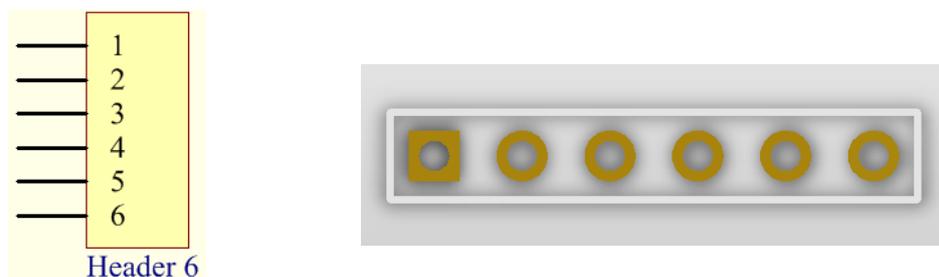


Figura 3.6: Esquemático y footprint de las peinetas.

Fuente: Altium Designer Release 10.

Con todos los componentes se procede a la conexión de los cables. En la figura 3.7 se ilustra el circuito esquemático completo y listo para la creación del PCB.

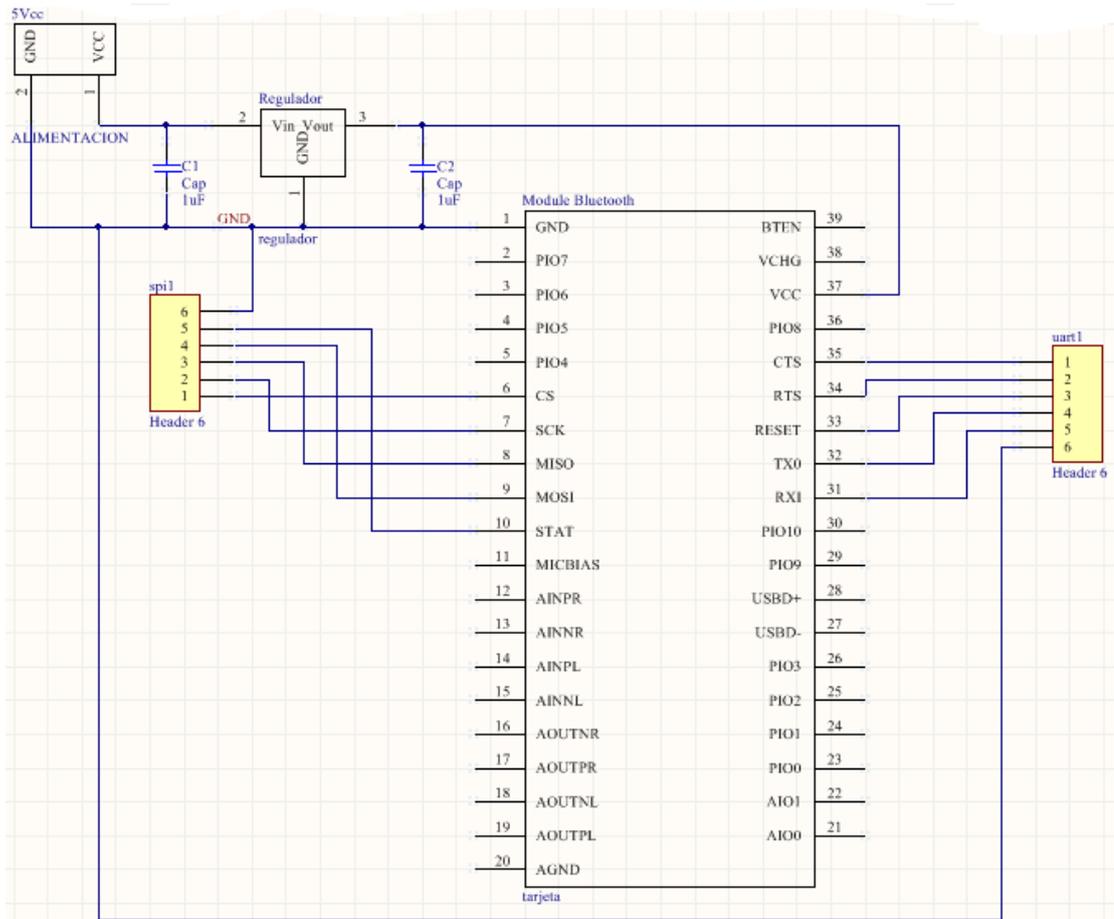


Figura 3.7: Circuito esquemático completo.

Fuente: Altium Designer Release 10.

3.1.2 Ruteo

Una vez finalizado el circuito esquemático, el siguiente paso es el ruteo, es decir, el trazo de las pistas en la tarjeta. Para pasar el circuito esquemático a la hoja de PCB, se selecciona la opción “Import Changes from bluetooth.prjpcb” del menú Design, se aparecerá una lista con los cambios hechos en el esquemático, se los valida y luego se ejecuta (ver figura 3.8), sino existen errores el circuito aparecerá en la hoja, como se observa en la figura 3.9.

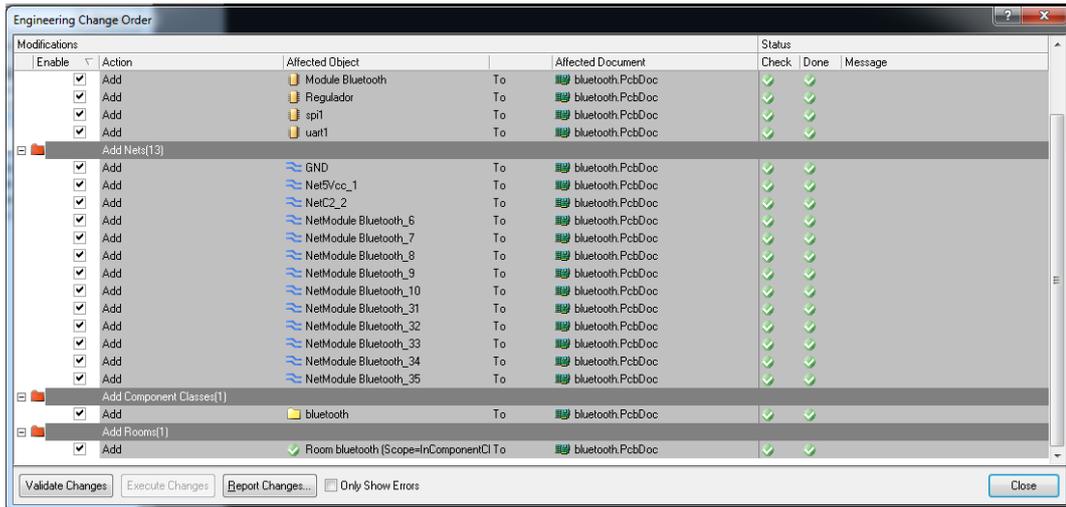


Figura 3.8: Captura de validación de cambios en el esquemático.

Fuente: Altium Designer Release 10.

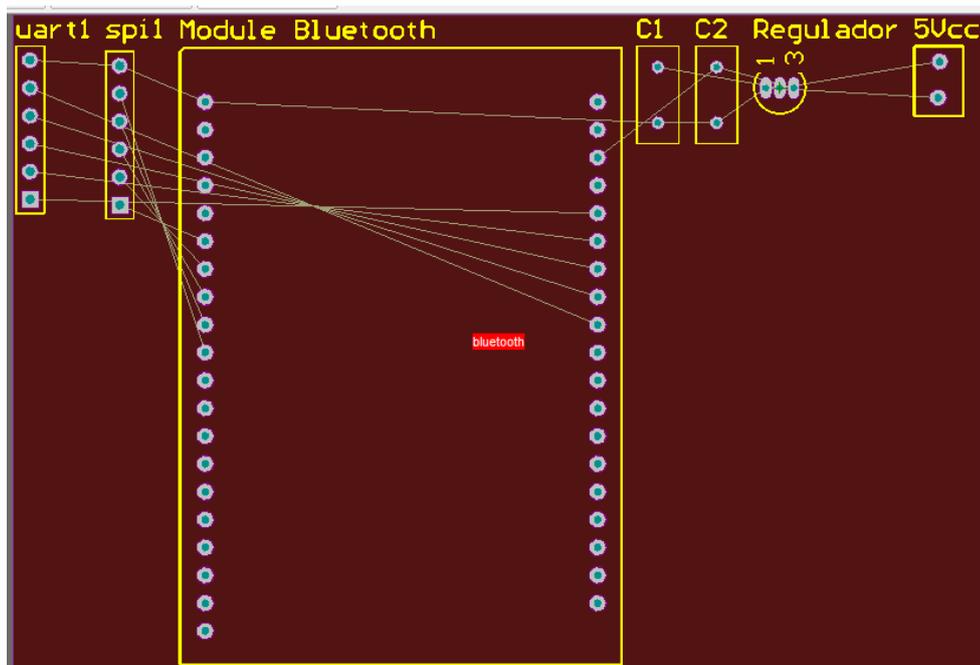


Figura 3.9: Circuito en la hoja de PCB.

Fuente: Altium Designer Release 10.

Para realizar el ruteo se tomaron en cuenta las siguientes normas [20]:

- No colocar pistas y componentes cerca de los bordes de la placa donde puedan tener contacto con los tornillos de fijación o con la estructura, estas se colocarán paralelas y a una distancia superior a 5mm de los bordes.

- La separación mínima entre pista y pista paralelas que se utilizó es de 0.8 mm, lo que garantiza un buen aislamiento eléctrico de hasta 180 voltios, en condiciones normales.
- Llenar con planos de tierra la parte de la placa que no lleve pistas; así se evita la contaminación de los oxidantes (ácidos).
- El tamaño de la rejilla de diseño estándar es de 50 milésimas de pulgada (1,27mm).
- Los componentes con polaridad se orientarán en el mismo sentido, siempre que sea posible.
- Los elementos de potencia se separarán entre sí y entre los de control o de pequeña señal.
- Aquellos componentes que se sustituyan con cierta regularidad, se montan sobre zócalos o dispositivos que faciliten su extracción, así como, que se encuentren apartados respecto de los demás componentes.
- En la elección de los componentes tendremos en cuenta si es axial o radial.
- Si un componente disipa calor se separará del resto y si es necesario se adosará un disipador o cualquier sistema de refrigeración, para evacuar el calor que genera.
- En ningún caso dos pistas se pueden cruzar. Se evitarán los trazados de las pistas en forma de T o de 90°.
- Los puntos de soldadura (pads) deben tener un diámetro doble respecto al ancho de las pistas.

- Se trazarán las pistas formando ángulos de 45° o con líneas redondeadas en los cambios de dirección.
- Las pistas de masa y alimentación deben ir por la misma cara.
- El ancho de las pistas van en función de las corrientes y la resistencia óhmica.

2A → 0.8mm

5A → 2mm

10A → 4.5mm

Con el ruteo realizado, se creó además cuatro agujeros en donde irán los soportes del circuito impreso y se colocó los nombres de los autores. Las dimensiones del PCB son 6.3 x 7.5 cm. En la figura 3.10 se muestra el PCB terminado.

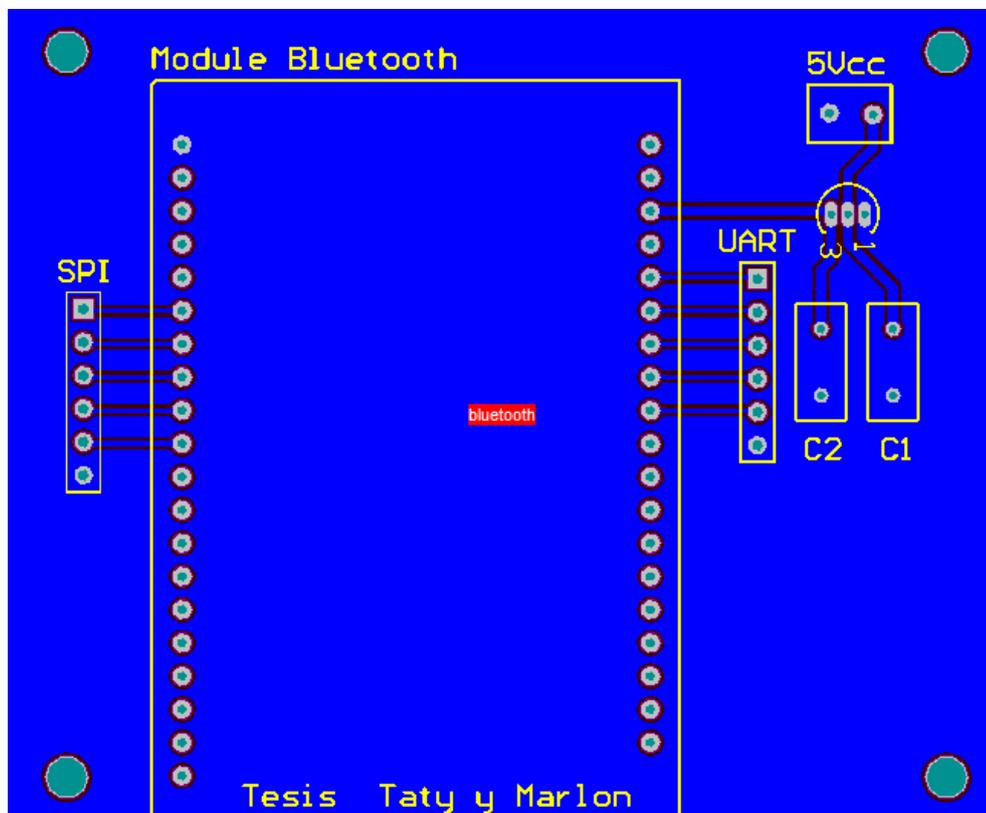


Figura 3.10: Circuito impreso terminado.

Fuente: Altium Designer Release 10.

3.2 Construcción del PCB

Con los archivos GERBER generados, los cuales contienen nuestra tarjeta se los envía al laboratorio para su fabricación. Se elaboran dos tarjetas iguales donde irán montados tanto el módulo Bluetooth Local como el módulo Bluetooth Remoto.

Ya con el PCB en nuestras manos se procede el soldado de los componentes. Se utiliza la técnica “through hole”, la cual consiste en que cada pin de cobre o latón de los componentes electrónicos de varios milímetros de longitud, atraviesen los orificios taladrados de la placa designados para cada pin del componente y sean soldados a los pads [21]. En la figura 3.11 se observa los 6 pasos de la técnica “through hole”.

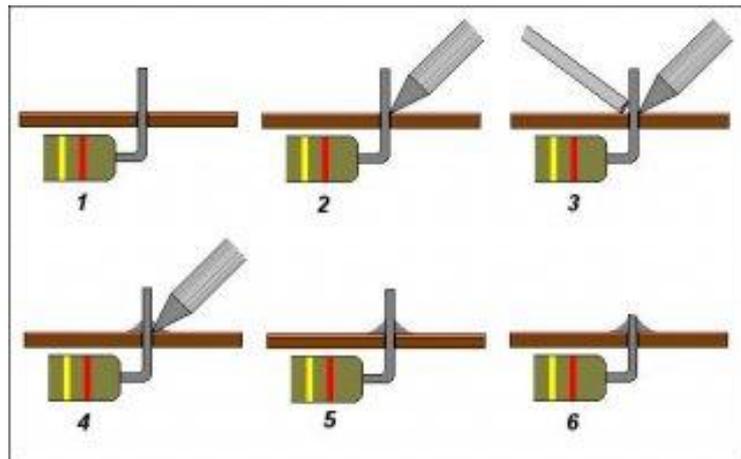


Figura 3.11: Pasos de la técnica “Through Hole”.

Fuente: LOPEZ, Alejandro, “*Como soldar con estaño los componentes a la PCB*”. Marzo. 2011.

Disponible (online) en: <http://www.factoriadoson.com/index.php/construccion-de-pedales-de-efectos-vi-%E2%80%93-como-soldar-con-estano-los-componentes-a-la-pcb/>



Figura 3.12: Proceso de soldado.

Fuente: Los Autores.



Figura 3.13: Proceso de soldado.

Fuente: Los Autores.

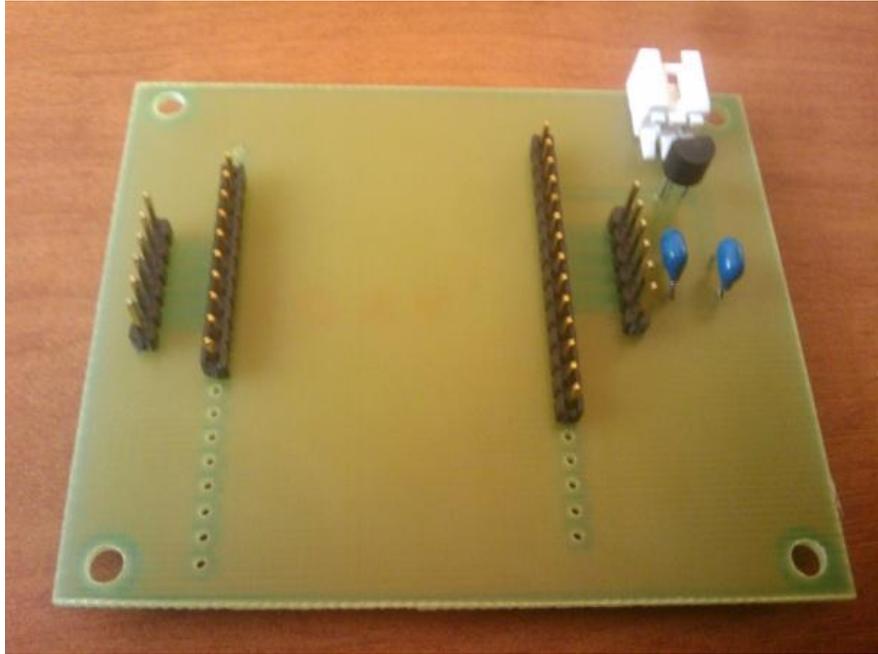


Figura 3.14: Soldado de fuente de 3.3V y peinetas.

Fuente: Los Autores.

En la figura 3.15 y 3.16 se ilustra la placa con los componentes ya montados, lista para la configuración del módulo Bluetooth mediante el puerto UART.

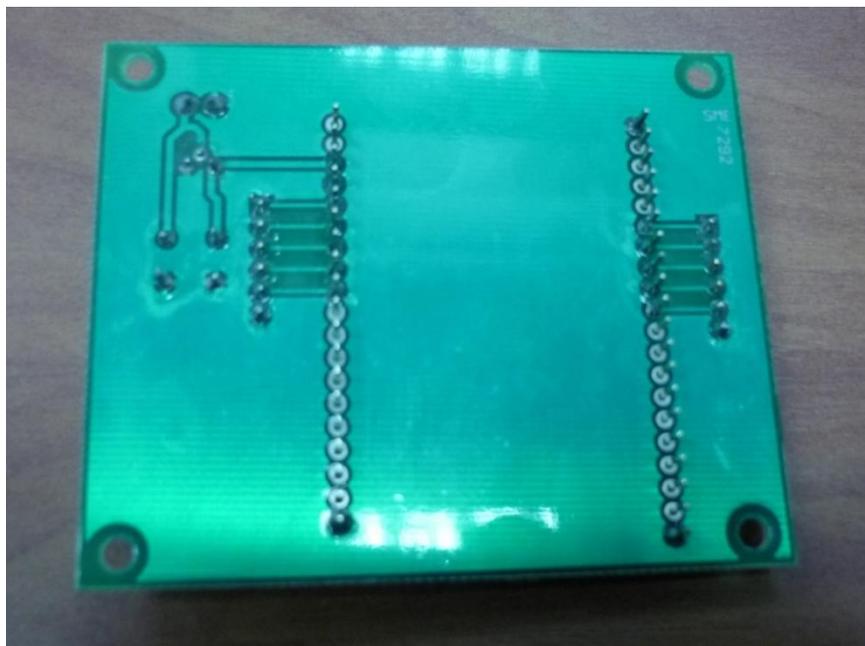


Figura 3.15: Tarjeta con el módulo Bluetooth WT32-A-AI3, vista posterior.

Fuente: Los Autores.

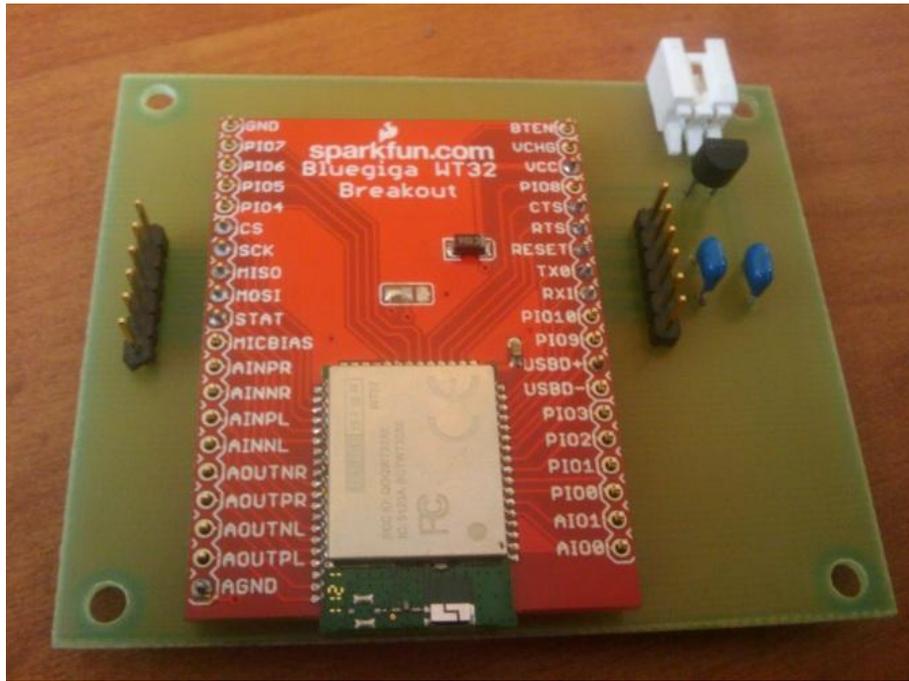


Figura 3.16: Tarjeta con el módulo Bluetooth WT32-A-AI3, vista frontal.

Fuente: Los Autores.

CAPITULO 4

PRUEBAS GENERALES DEL SISTEMA

En este capítulo se describe el proceso de configuración de los módulos tanto el remoto como el local y se realizan las pruebas para comprobar su correcto funcionamiento. Los parámetros que se varían para las pruebas de envío y recepción de datos son la velocidad de transmisión del puerto UART y la distancia de separación de los módulos.

4.1 Configuración de los módulos Bluetooth

Para la configuración de los módulos se procede de la siguiente manera:

1. Con ayuda de la plataforma de software VisualDSP++ (v5.0) se programa el procesador ADSP-21369 mediante lenguaje C. A continuación se muestra el programa realizado:

```
////////////////////////////////////  
//NAME:   UART Bluetooth v2.0  
//DATE:   15/07/2012  
//PURPOSE: UART Bluetooth WT32 Connection ADSP-21369 Ez-kit  
//  
//  
////////////////////////////////////  
#include <Cdef21369.h>  
#include <signal.h>  
#include <stdio.h>  
#include <string.h>  
  
// The following definition allows the SRU macro to check for errors. Once the routings have  
// been verified, this definition can be removed to save some program memory space.  
// The preprocessor will issue a warning stating this when using the SRU macro without this
```

```

#define SRUDEBUG // Check SRU Routings for errors.
#include <SRU.h>

void initDPI(void); //makes UART0 signal connections to DPI pins
void initUART(void); //function for initializing the UART
void UARTISR(); //function for receive interrupt
void xmitUARTmessage(char*, int); // function to transmit the welcome message

extern void initPLL_SDRAM(void); //Initialize PLL to 393 MHz and set up AMI and SDRAM controller

char datos[]=
{
    "0123456789ABCDEFGHIJKLMNPOQRSTUVWXYZ"
};

char command[64];
char response[1024] ={};
char salir[4];
char escape[3];

int count=0, count2=0, end_response=0, j=0;

main()
{

    *pPICR2 &= ~(0x7C00); //Sets the UART1 receive interrupt to P14
    *pPICR2 |= (0x14<<10);
    initPLL_SDRAM();
    *pUART1LCR=0;
    *pUART1IER = UARTRBFIE; // enables UART1 receive interrupt
    interrupt(SIG_P14,UARTISR);
    initDPI();
    initUART();

    do{
        for(j=0;j<1024;j++)
        {
            response[j]='\0';
        }
        for(j=0;j<64;j++)
        {
            command[j]='\0';
        }
        for(j=0;j<3;j++)

```

```

    {
        escape[j]='\0';
    }
    gets(command);
    strcat(command, "\r\n");
    count=count2=0;

    if(strncmp(command, "1111",4)!=0)
    {
        if(strncmp(command, "+++",3)==0)
            xmitUARTmessage(command,3);
        else
            xmitUARTmessage(command,strlen(command));
    }

    do
    {
        count2++;
    }while(count2<200000000);
    printf(response);
}while(strncmp(command, "1111",4)!=0);

xmitUARTmessage(datos,35);
count2=0;
do
{
    count2++;
}while(count2<300000000);
//printf(response);
asm("idle;");
}

void initDPI()
{

    SRU2(UART1_TX_O,DPI_PB13_I); // UART transmit signal is connected to DPI pin 9
    SRU2(HIGH,DPI_PBEN13_I);
    SRU2(DPI_PB14_O,UART1_RX_I); // connect the pin buffer output signal to the UART0 receive
    SRU2(LOW,DPI_PB14_I);
    SRU2(LOW,DPI_PBEN14_I); // disables DPI pin10 as input
    SRU2(LOW,DPI_PB08_I);
    SRU2(HIGH,DPI_PBEN08_I);
    SRU2(LOW,DPI_PB07_I);
    SRU2(LOW,DPI_PBEN07_I);
}

```

```

void initUART()
{
    /* Sets the Baud rate for UART1 */
    *pUART1LCR = UARTDLAB; //enables access to Divisor register to set baud rate
    *pUART1DLL = 0x5a;    //0x005a = 90 gives a baud rate of 115200 for core clock 331.776MHz
    *pUART1DLH = 0x00;    //0x002d = 45 gives a baud rate of 230400
                            //0x0016 = 22 gives a baud rate of 471272
                            //0x0008 = 8 gives a baud rate of 1296000
    /* Configures UART1 LCR */
    *pUART1LCR = UARTWLS8; // word length 8
                            // no parity
                            // one stop bit
    *pUART1RXCTL = UARTEN; //enables UART1 in receive mode
    *pUART1TXCTL = UARTEN; //enables UART1 in core driven mode
}

void UARTIsr()
{
    int value;
    value = *pUART1RBR;
    response[count] = value;
    count++;
}

void xmitUARTmessage(char*xmit, int SIZE)
{
    int i;
    /* loop to transmit source array in core driven mode */
    for (i=0; i<SIZE; i++)
    {
        // Wait for the UART transmitter to be ready
        do {
            ;
        } while ((*pUART1LSR & UARTTHRE) == 0);

        //Transmit a byte
        *pUART1THR = xmit[i];
    }

    /* poll to ensure UART has completed the transfer */
    while ((*pUART1LSR & UARTTEMT) == 0)
    {
        ;
    }
}

```

Como partes importantes de la programación se mencionan las siguientes:

- Se habilitan los pines de la interfaz digital periférica (DPI) que corresponden a las señales UART.
- La secuencia de datos que se va a enviar y recibir para comprobar el funcionamiento de los módulos Bluetooth es:

0123456789ABCDEFGHIJKLMN OPQRSTUVWXYZ

- Se establece la tasa de transmisión para el puerto UART, entre las cuales se tiene:

0x005a = 90 tasa en baudios de 115200

0x002d = 45 tasa en baudios de 230400

0x0016 = 22 tasa en baudios de 471272

0x0008 = 8 tasa en baudios de 1296000

Esta tasa de transmisión se calcula de acuerdo al reloj interno que posee el procesador ADSP-21369, que en este caso es de 331,776MHz. A este valor se lo divide para 32 y luego para el valor que está cargado en el registro pUARTDL, el cual tiene una parte para los bits más altos pUARTDLH y otra para los bits más bajos pUARTDLL, realizando esta operación se obtiene la cantidad de baudios correcta.

La tasa de transmisión en baudios del puerto UART del procesador debe ser igual a la velocidad de transmisión del UART del módulo Bluetooth para que exista comunicación entre ellos.

- Para cambiar del modo de datos al modo de comando y viceversa se utilizó la secuencia de escape igual a "1111".
2. Se conectan los módulos Bluetooth uno por uno al procesador ADSP-21369 para obtener su dirección.

Se verifica el modo de operación, es decir si se está en modo comando o en modo datos. Para comprobar si estamos en modo comando se utiliza el comando AT del cual se obtiene la respuesta OK.

Con el comando **SET BT BDADDR** se obtiene la dirección local de los módulos:

Módulo 1	00:07:80:4b:a0:c2
Módulo 2	00:07:80:4b:90:bd

3. Se configura cada uno de los módulos para que logren establecer una comunicación.

Como se menciona en el capítulo 2, se designa a un módulo como REMOTO y al otro como LOCAL con el siguiente comando: **SET BT NAME**, se les asigna un nombre amigable a los módulos para su identificación al momento de utilizarlo con otros módulos.

Para la configuración del módulo Bluetooth como local se utilizó el nombre LOCAL.

SET BT NAME LOCAL

Para la configuración del módulo Bluetooth como remoto se utilizó el nombre REMOTO.

SET BT NAME REMOTO

LOCAL	00:07:80:4b:a0:c2
REMOTO	00:07:80:4b:90:bd

4.2 Pruebas de enlace y transmisión de datos.

Una vez configurado los módulos, vamos al modo datos para comprobar el enlace y la transmisión entre los módulos Bluetooth. Para esto se coloca un puente entre los pines de recepción y transmisión del módulo Bluetooth Remoto logrando de esta manera un bucle donde los datos se transmiten inalámbricamente desde el módulo local hasta el remoto, estos datos son convertidos a señales eléctricas al salir por el terminal UART_TX siendo reinyectadas por el terminal UART_RX para ser transmitidas inalámbricamente de regreso al módulo local, ver figura 4.1.

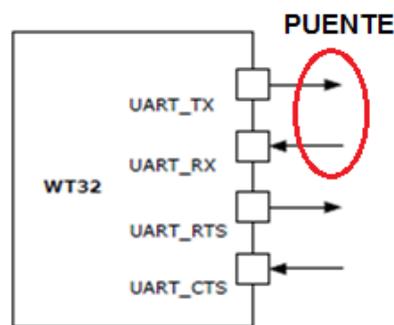


Figura 4.1: Puente entre los pines TX y RX de la interfaz UART.

Fuente: WT32 Data Sheet. Versión 1.1. Bluegiga Technologies. Septiembre 3, 2008.

Se utiliza el comando **CALL** para llamar y establecer la conexión entre los dispositivos.

```
CALL 00:07:80:4b:90:bd 1101 RFCOMM
```

Donde 00:07:80:4b:90:bd es la dirección del dispositivo remoto que estamos estableciendo la conexión, 1101 es el código en hexadecimal para una conexión de 16 bit y RFCOMM es el modo de conexión.

La respuesta que se recibe es el evento **CONNECT**, que quiere decir, que el enlace se ha establecido satisfactoriamente. Si no hubiera ocurrido de esta manera la respuesta sería **NO CARRIER**, que nos notifica la pérdida del enlace o que ha existido un fallo en el establecimiento del enlace.

Además se puede utilizar el comando **INQUIRY** para verificar el número y los nombres de los dispositivos que están dentro del área de alcance. Este comando se lo utilizó de la siguiente manera:

INQUIRY 1 NAME

Como respuesta se tiene:

INQUIRY_PARTIAL 00:07:80:4b:90:bd 72010c

INQUIRY 1

INQUIRY 00:07:80:4b:90:bd

NAME 00:07:80:4b:90:bd "REMOTO"

Para comprobar la baja o alta confiabilidad de los módulos Bluetooth se variaron dos parámetros: la distancia (m) y la velocidad (bps).

4.2.1 Distancia

Para la aplicación en la que se desea emplear estos módulos dentro del convertidor electrónico multinivel no es necesario abarcar grandes distancias debido a que la tarjeta de sensores y de control del convertidor no se encuentran típicamente a una distancia mayor a unos 4 o 5 metros pero para comprobar su baja o alta confiabilidad se probó con varias distancias incluso se extendió el rango que nos recomienda el fabricante y se llegó hasta los 60m. Como se mencionó en el Capítulo 2, el módulo Bluetooth es de Clase 2, es decir tiene un alcance recomendado de operación de 30 metros.

Como dato adicional, las pruebas fueron realizadas en el Centro de Investigación de Energías en el tercer piso del edificio Cornelio Merchán de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. Al ir variando la distancia se llegó hasta el estacionamiento que se encuentra en el primer piso de la Institución a 60m. Como es un edificio tiene varias oficinas y laboratorios, los cuales se tuvo que cruzar para llegar al estacionamiento.

Los intervalos de distancia fueron: 0.3, 10, 40 y 60 metros.

4.2.2 Velocidad

La velocidad que es necesaria para la transmisión de datos en el convertidor electrónico multinivel es de 2Mbaudios.

Para variar la velocidad utilizamos el comando **SET CONTROL BAUD**, el cual nos permite cambiar la velocidad de transmisión del UART de los módulos Bluetooth:

SET CONTROL BAUD 115200,8N1

Con este comando se configura la velocidad en bps con 8 bits, la paridad y el número de bits de parada. En este caso se ha colocado N porque no existe paridad y 1 bit de parada.

Se realizaron las pruebas con diferentes velocidades: 115200, 230400, 471272 y 1296000bps.

No se debe olvidar que la velocidad de transmisión del UART de los módulos debe ser igual a la tasa de transmisión del puerto UART del procesador. Para realizar las pruebas primero se cambió la tasa de transmisión del UART del procesador y luego se varió la velocidad del UART de los módulos tanto el remoto como el local.

Con los módulos LOCAL y REMOTO enlazados se procede a enviar los datos. La cadena de datos que se transmitirá es:

0123456789ABCDEFGHIJKLMN OPQRSTUVWXYZ.

En cada una de las pruebas se verificará si los módulos se enlazan y si la cadena de datos está completa, si se cumplen estas condiciones se considera la conexión satisfactoria.

Se realizaron 5 pruebas en las que se varió la velocidad y la distancia. Primero se mantuvo la velocidad constante y luego el parámetro que varió fue la distancia, se realizó el mismo procedimiento para las demás pruebas. En la tabla 4.1 se muestra los valores que fueron variando y si la conexión fue o no satisfactoria.

PRUEBA	Velocidad (bps)	Distancia (m)	Conexión Satisfactoria
Prueba 1	115200	0,3	Si
	115200	10	Si
	115200	40	Si
	115200	60	Si
Prueba 2	230400	0,3	Si
	230400	10	Si
	230400	40	Si
	230400	60	Si
Prueba 3	1296000	0,3	Si
	1296000	10	Si
	1296000	40	Si
	1296000	60	Si
Prueba 4	1728000	0,3	Si
	1728000	10	Si
	1728000	40	No
	1728000	60	No
Prueba 5	2592000	0,3	Si

Tabla 4.1: Pruebas realizadas variando la velocidad y la distancia.

Fuente: Los Autores.

Los datos recibidos se almacenaron en un archivo con extensión dat. Se guardaron los 14 archivos con los datos recibidos satisfactoriamente.

En las pruebas 1, 2 y 3 la conexión es satisfactoria y no se tienen inconvenientes. Como se observa en tabla 4.1 en la prueba 4 al aumentar la velocidad y la distancia en el rango de 40 a 60m la conexión no es confiable debido a que su funcionamiento es aleatorio. En la prueba 5 la velocidad es mayor a la recomendada por el fabricante, sin embargo se realizó la conexión de los módulos y se tuvo una transmisión de datos exitosa a la mínima distancia.

Para visualizar la transmisión de los datos se utiliza un osciloscopio donde se observa el tiempo que tarda en llegar la información y la frecuencia a la que se envían los datos.

En la figura 4.2 se muestra los datos que son transmitidos por el módulo Bluetooth Local (canal D0) al módulo Bluetooth Remoto. El envío de datos se lo realiza en un tiempo de 1,98ms a una frecuencia de 331,1Hz.



Figura 4.2: Envío de datos desde el módulo Bluetooth Local.

Fuente: Los Autores.

En la figura 4.3 se muestra el envío de datos del módulo Bluetooth Local (canal D0) y el retorno de los datos en el mismo módulo (canal D1) debido al puente que se realizó en el módulo Bluetooth Remoto, esto se da en un tiempo de 44,6ms y a una frecuencia de 19,05kHz.



Figura 4.3: Transmisión de datos desde el módulo Bluetooth Local al Remoto a 19,05kHz.

Fuente: Los Autores.

En la figura 4.4 se muestra la transmisión de datos a menor frecuencia para observar de mejor manera la cadena de datos.



Figura 4.4: Transmisión de datos desde el módulo Bluetooth Local al Remoto a 331,1Hz.

Fuente: Los Autores.

En la figura 4.5 se observa la recepción de datos erróneos (canal D1) porque la cantidad de datos enviados no es igual a la cantidad de datos recibidos.



Figura 4.5: Recepción de datos erróneos.

Fuente: Los Autores.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El objetivo de la tecnología Bluetooth es unir los mundos de los dispositivos informáticos y las telecomunicaciones mediante radio frecuencia de corto alcance, permitiendo la transmisión de voz y datos, bajo consumo, tamaño y coste ya que su frecuencia de trabajo es de 2.4 a 2.8 GHz de la banda ISM.

La clasificación por clase de los dispositivos Bluetooth ya sean éstas clase 1, 2 o 3, es simplemente una referencia de la potencia de transmisión del dispositivo, es decir, los dispositivos de diferentes clases se pueden comunicar entre sí.

El envío de paquetes en la transmisión Bluetooth es rápido ya que incorpora la técnica EDR (Enhanced Data Rate) que le permite mejorar las velocidades de transmisión hasta 3Mbps, junto a esto trabaja con las modulaciones GFSK y DPSK que proporcionan un menor consumo de energía mediante la reducción del ciclo de trabajo, a más de esto se suma el FHSS para la distribución de la información en toda la banda de transmisión.

La especificación abierta de Bluetooth expande enormemente el número de aplicaciones que se pueden realizar debido a su pila de protocolos dividida en dos zonas: el hardware y el software, siendo este último el que permite a los fabricantes implementar su capa de protocolos de aplicación.

El módulo WT32 A AI3 es el dispositivo que cumple con todos los requisitos que demanda la aplicación descrita en este trabajo, entre los parámetros más importantes por los que se escogió a este módulo están: la velocidad de transmisión, la distancia, la potencia y el firmware iWRAP del fabricante que facilita su configuración.

El procesador ADSP- 21369 utilizado para la configuración de los módulos Bluetooth es el mismo que se utiliza para la generación de los disparos

para el control del convertidor. La plataforma de software VisualDSP++(v5.0) nos brinda una aplicación gráfica que facilita la visualización de los datos enviados y recibidos.

El iWRAP cuenta con dos modos de operación para su aplicación: modo comando que sirve exclusivamente para la configuración del dispositivo sin necesidad de una conexión establecida, y el modo datos utilizado solo para el envío y recepción de datos cuando existe una conexión con otro dispositivo.

Debido a que el módulo es pequeño y posee 50 pines se adquirió un PCB de expansión con montaje superficial que viene con el módulo ya incluido, facilitando de esta manera el manejo de los dispositivos.

Altium Designer es uno de los software más utilizados para el diseño de placas electrónicas debido a que su manejo es fácil y flexible ya que no se limita únicamente a las librerías que posee sino que admite la creación de componentes y footprints.

En el diseño del PCB se debe seguir las reglas de diseño para que no existan problemas de cortocircuitos, falta de conexiones entre los componentes y sobre todo se debe procurar que la placa tenga una buena presentación estética. En la etapa del montaje de los elementos se utilizó la técnica “through hole”, siendo ésta una de las más conocidas y prácticas en nuestro medio.

Este trabajo pretende dar una solución más óptima para la transmisión de datos de control en el convertidor multinivel desarrollado en el Centro de Investigación de Energías, porque permite reducir espacio, costos y tiempo de instalación.

Con el desarrollo de este trabajo se ha llegado a la conclusión que es viable suplir el enlace de fibra óptica que actualmente se encuentra en el convertidor multinivel con la tecnología Bluetooth, ya que cumple con las necesidades requeridas por el sistema.

Los módulos Bluetooth de Bluegiga respondieron satisfactoriamente a las pruebas realizadas como se muestra en la tabla 4.1, se envió un código en secuencia con varios caracteres y se varió la distancia y la velocidad de transmisión, incluso se probó con velocidades y distancias superiores a las recomendadas por el fabricante y los módulos funcionaron sin inconvenientes.

Por las altas velocidades y la baja interferencia se afirma que el módulo WT32 A AI3 de Bluegiga es el adecuado para manejar los datos de control del convertidor electrónico multinivel ya que nos brinda confiabilidad en la transmisión de datos en tiempo real de las variables eléctricas: tensiones y corrientes, involucradas en la etapa de potencia del convertidor.

La visualización de la transmisión de datos en el osciloscopio permite comprobar que los datos fueron enviados por el módulo Bluetooth local y recibidos satisfactoriamente por el módulo Bluetooth remoto, quedando demostrado la eficiencia y seguridad en la utilización de esta tecnología, especialmente del módulo WT32 A AI3.

Los conocimientos obtenidos durante el periodo universitario fueron de gran ayuda para la realización de este trabajo, sin embargo se debe ampliar el estudio de nuevas tecnologías y realizar aplicaciones prácticas que sirvan para despertar el interés de los estudiantes.

Al estudiar la tecnología Bluetooth en el desarrollo de este proyecto se encontraron muchas ventajas en comparación con otras tecnologías inalámbricas de corto alcance, por esta razón creemos conveniente que la Universidad debería trabajar en proyectos que exploten esta tecnología ya que existen múltiples aplicaciones que se pueden realizar.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] MARTINEZ Evelio, “*Historia de las Telecomunicaciones*”. Julio 2007. Disponible (online) en: <http://eveliux.com/mx/historia-de-las-telecomunicaciones.php>
- [2] JARA Olmedo, SAENZ Fabián, “*Estudio de factibilidad para la implementación de una Red LAN con tecnología Power Line Communication para la Universidad Técnica de Ambato*”. Proyecto de grado para la obtención del título de Ingeniería Electrónica. Escuela Politécnica del Ejército. Quito, Ecuador. 2005.
- [3] VIOLA Julio, QUIZHPI Flavio, “*Desarrollo de un convertidor electrónico multinivel para aplicaciones de compensación de potencia reactiva*”. Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca. Ecuador. 2011.
- [4] FLICKENGER Rob, “*Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo*”. Tercera edición. Editorial Limehouse Book Sprint Team. Septiembre, 2008.
- [5] ANDREU Joaquín, “*Servicios en Red*”. Editorial EDITEX. España. 2010.
- [6] BARRIGA Walter, ZUÑIGA Fabián, “*Tecnologías inalámbricas de corto alcance Zigbee y Bluetooth*”. Tesina previa para la obtención del título de Ingeniero Electrónico. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. Noviembre, 2006.
- [7] SALLENT Oriol, VALENZUELA José Luis, COMES Ramón, “*Principios de Comunicaciones Móviles*”, Primera Edición. Editorial CPE. España. 2003.
- [8] FRENZEL Lou, “*The Fundamentals of Short-Range Wireless Technology*”. Octubre 2012. Disponible (online) en: <http://electronicdesign.com/article/communications/fundamentals-shortrange-wireless-technology-74547>
- [9] SALAZAR Danilo, “*Análisis de la Tecnología Bluetooth en la formación de redes WPAN empleando dispositivos móviles*”. Proyecto de grado para la obtención del título en Ingeniería. Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador. Abril 2011.

- [10] APIDI Mario, FERNÁNDEZ Humberto, “*Diseño y construcción de un sistema Bluetooth para adaptar equipos alámbricos a una configuración inalámbrica*”. Proyecto de grado para la obtención del título de Ingeniería Electrónica. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. Marzo 2008.
- [11] MORENO Alberto, “*Estándar Bluetooth*”, University of Tsukuba, Japan 2005. Disponible (online) en:
<http://www.seguridadmobile.com/bluetooth/especificacion-bluetooth/estandar-bluetooth/index.html>
- [12] WT32 Data Sheet. Versión 1.1. Bluegiga Technologies. Septiembre 3, 2008.
- [13] LEE Jeung Joon, “*Micro – UART*”. Abril, 2001.
- [14] iWRAP User Guide. Versión 1.3, Bluegiga Technologies. Septiembre 26, 2008.
- [15] TOMASI Wayne, “*Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*” Prentice Hall. Cuarta edición. México. 2003.
- [16] BARAHONA Walter, GORDILLO Rodolfo, “*Implementación de un prototipo para el control de iluminación en un ambiente de hogar, empleando tecnología Bluetooth*”. Proyecto de grado para la obtención del título de Ingeniería. Escuela Politécnica del Ejército. Sangolquí, Ecuador. 2009.
- [17] MCP1702 Data Sheet. Microchip.
- [18] SAN MIGUEL Pablo, “*Electrónica General*”. Segunda Edición. Editorial Paraninfo. Madrid, España. 2010.
- [19] RABELO Jorge, “*Diseño de Circuito Impreso mediante software CAD*”. Instituto Técnico Superior de Comalcalco.
- [20] SALAS Robert, PEREZ José, RAMIREZ Jimer, “*Técnicas de diseño, desarrollo y montaje de circuitos impresos*”. Universidad de los Andes. Venezuela.
- [21] LOPEZ Alejandro, “*Como soldar con estaño los componentes a la PCB*”. Marzo. 2011. Disponible (online) en:
<http://www.factoriadoson.com/index.php/construccion-de-pedales-de-efectos-vi-%E2%80%933-como-soldar-con-estano-los-componentes-a-la-pcb/>
- [22] ARCHUNDIA Francisco, “*Wireless Personal Area Network (WPAN) & Home Networking*”. Tesis profesional para la obtención del título de Ingeniería Electrónica. Universidad de las Américas de Puebla. Puebla, México. 2003.

Páginas web

www.bluetooth.org

www.mouser.com

www.newark.com

www.digikey.com

www.farnell.com