

# Proyecto Final - Tablero de puntuación inalámbrico para padel

Covaro Jorge, León Marcos, Prieto Daniel, Schinquel Gustavo  
UTN FRC

**Abstract**—Se diseña, implementa y ensaya un tablero de puntuación para padel comandado de manera inalámbrica mediante un control por bluetooth.

## I. INTRODUCCIÓN

Como Proyecto Final se diseña un tablero de puntaje electrónico inalámbrico con el objetivo de llevar la marca de un partido de padel amateur. El proyecto se enfatiza en el uso del módulo Bluetooth (BT) para transmitir los datos, y las mediciones electrónicas que se puedan llevar sobre éste.

## II. DESARROLLO

En el esquema de la Fig. 1 se muestran las partes que conforman el proyecto. Está formado por un transmisor llamado pulsera y un receptor llamado tablero.

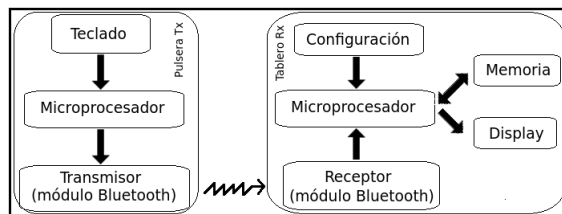


Fig. 1. Diagrama en bloques.

El transmisor contiene pulsadores que sirven tanto para subir/bajar la puntuación de los dos equipos, como para configurar el tablero; un microprocesador PIC16F628A; y un módulo Bluetooth que funciona en modo esclavo y sirve de enlace para enviar los datos al tablero. Del otro lado se encuentra el receptor, conformado por otro módulo Bluetooth que funciona en modo maestro, y es el encargado de recibir los datos del transmisor y enviarlos al microprocesador PIC16F887; éste procesa la información, la decodifica, y agrega / resta un punto del equipo correspondiente o realiza la configuración correspondiente, según el pulsador que se accione. La información es mostrada en el tablero, que en este caso ha sido simplificado con un display LCD 16x2. El receptor podría haberse implementado con el mismo microprocesador del transmisor, pero se opta que la memoria sea interna al PIC, es por ello ha sido elegido ese modelo en el receptor, ya que contiene más memoria que el del transmisor. Para alimentar los dispositivos (Tx y Rx) son utilizadas dos fuentes de alimentación de tensión constante de 5VCC, independiente para cada módulo.

### A. Diseño e implementación.

En la Fig. 2 se muestra el circuito completo, donde los cables 3 que conectan a los PICs representan el enlace BT.

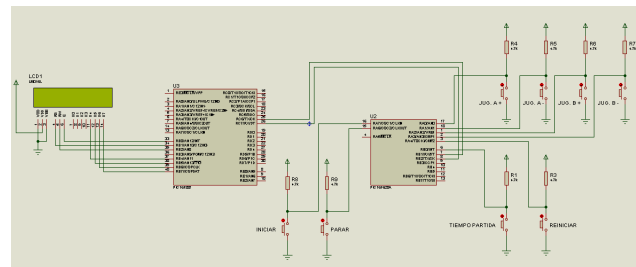


Fig. 2. Esquema del circuito implementado para la simulación.

1) *Transmisor Tx o pulsera:* El transmisor está conformado por un teclado que comanda el puntaje, pudiendo seleccionar sumar o restar un punto, al igual que un botón de reset para volver el marcador a cero. Este Teclado está conectado a un microprocesador encargado de enviar al módulo Bluetooth (BT) de transmisión la información necesaria para transmitir al Tablero. Además de las funciones mencionadas, se puede mostrar el tiempo de la partida, parar el partido e iniciar cuando uno lo necesite.

2) *Microcontrolador PIC:* El microcontrolador utilizado es un PIC 16F628A. Es un PIC de 18 pines basado en memoria flash de 8 bit de datos, configurado para ser usado con el oscilador interno a 4MHz. De este PIC 8 pines de salida son utilizados para conectar los pulsadores en configuración pull-up, y otro pin para usar una de las UART del PIC para la comunicación serial con el módulo BT. Los módulos BT son capaces de transmitir y recibir datos en forma serial (a través de su UART interna), pero en este caso, sólo se necesita transmitir datos desde el transmisor (pulsera) hacia el receptor (tablero). Otros dos pines son utilizados para la alimentación del PIC. Los detalles del código con el que se programó el PIC no se muestran en este informe.

3) *Botones:* Los botones usado son micropulsadores que sirven para comandar el tablero a distancia. Son 8 pulsadores en total que cumplen las siguientes funciones:

**INICIAR:** inicia una partida desde cero, o bien, continúa con una que ya haya sido iniciada. Habilita subir o bajar puntos.

**PARAR:** detiene la partida actual y para el reloj de conteo de tiempo de partida.

**TIEMPO DE PARTIDA:** muestra el tiempo transcurrido desde el inicio de la partida.

REINICIAR: resetea el puntaje y el reloj de tiempo de partida.

EQUIPO A - SUBIR: sube un punto al equipo A.

EQUIPO A - BAJAR: resta un punto al equipo A, esta función sirve en caso de algún error al contar un punto a favor.

EQUIPO B - SUBIR: sube un punto al equipo B.

EQUIPO B - BAJAR: resta un punto al equipo B. Idem caso equipo A.

Estos botones son conectados en configuración Pull-Up con una resistencia de 4,7K a VCC, y se conectan a los pines del PIC que fueron configurados como entrada, para que cuando se pulsen generen un 0 lógico. Si no se pulsan, la entrada correspondiente mantiene un 1 lógico. En la Fig. 3 se puede ver un detalle de los pulsadores utilizados en el proyecto.

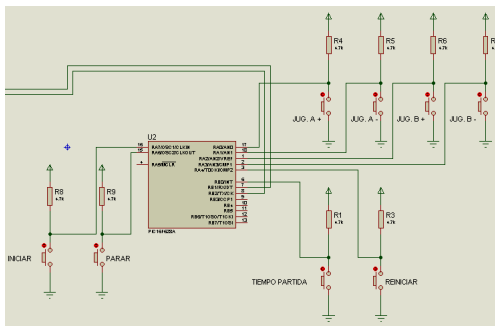


Fig. 3. Circuito del transmisor

4) *Módulo BT*: Los módulos Bluetooth (BT) utilizados son los HC-05, y se puede ver una imagen del mismo en la Fig. 4. La imagen de la izquierda constituye el módulo en sí, mientras que la de la derecha constituye el PCB donde se monta el módulo para poder ser usado en protoboards o placas multipropósito, éste último es el utilizado; para mayor detalle del pinout del módulo ver [4]. El HC-05 es un módulo cuya finalidad es implementar una comunicación inalámbrica con el protocolo Bluetooth con otro módulo o algún otro dispositivo que utilice esta tecnología (como ser un smartphone). Mientras que por el otro lado, es posible implementar una comunicación RS-232 con niveles lógicos TTL entre el módulo y un microcontrolador. Algunas de las características de estos módulos son:

- Transductor inalámbrico: La sensibilidad (tasa de error de bits) puede alcanzar -80dBm. Se puede seleccionar el rango de la potencia de salida entre -4 a +6dBm. Consumo de potencia bajo. Bajo costo.
- Soluciones bluetooth: Contiene un módulo EDR (Enhanced Data Rate), con lo que el ancho de banda puede cambiarse entre 2Mbps o 3Mbps. Contiene una antena integrada de 2.4GHz. Tiene una memoria FLASH externa de 8Mbit. Puede trabajar en bajo voltaje (3.1V~4.2V). La corriente al conectarse está en el rango de 30~40mA. La corriente durante la comunicación es 8 mA. Tiene un puerto estándar HCI (UART o USB). El protocolo USB es Full Speed USB 1.1 y cumple con el estándar

2.0. El módulo se puede usar como SMD. Basado en la tecnología Bluetooth CSR BC04. El nivel de potencia Bluetooth es Clase 2.

- Aplicaciones: Dispositivo Bluetooth de manos libres para automóviles. GPS Bluetooth. PCMCIA Bluetooth, USB dongle. Bluetooth Data Transfer.

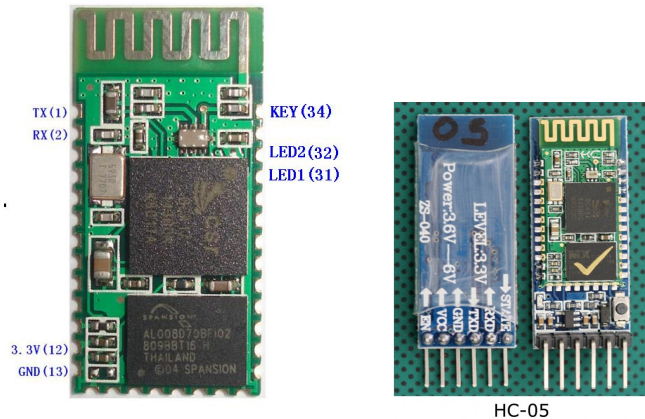


Fig. 4. Módulo Bluetooth HC-05

Estos dispositivos son configurados mediante los comandos AT que se envían por medio de una PC y que se introducen a los módulos por el puerto serie disponible en los mismos (pines TXD y RXD). Para ver en detalle los comandos AT disponibles para el HC-05 ver [4]. Para ingresar los comandos AT hacen falta una PC, algún software para poder ingresar los comandos con el teclado y que los envíe por el puerto serie (como el Putty, minicom para Linux, o Hyperterminal para Windows) y un adaptador de niveles lógicos TTL-RS232. En este caso se utiliza una PC con Windows, con Hiperterminal, y el circuito integrado MAX232 ya conocido; en la hoja de datos del mismo se encuentra un circuito simple para implementar (ver página 10 de [5]). Este proyecto fue implementado configurando los módulos BT, uno en modo maestro (Tablero) y otro en modo esclavo (Pulsera), para que se vinculen entre sí en forma directa, el código de emparejamiento 4321, y la velocidad por defecto en 9600 bauds [6]. Son vinculados simplemente alimentando los módulos, notando que el LED comienza a hacer un doble parpadeo, más lento de lo que lo hace cuando no está vinculado. Llegado este punto ya se puede enviar / recibir datos por medio del puerto serie del módulo (pines TXD y RXD) y recibirlos / enviarlos al microcontrolador PIC.

5) *Receptor Rx o Tablero*: El Tablero contiene otro módulo Bluetooth encargado de recibir lo transmitido por la pulsera. Se conecta al Microprocesador del Tablero, el cual es encargado de manejar el Display LCD, guardar en memoria el puntaje en caso de corte de suministro eléctrico. En la Fig. 5 se muestra el circuito correspondiente, excluyendo el módulo BT, que se representan con los cables en los pines 25 y 26 (TX y RX, respectivamente) del PIC.

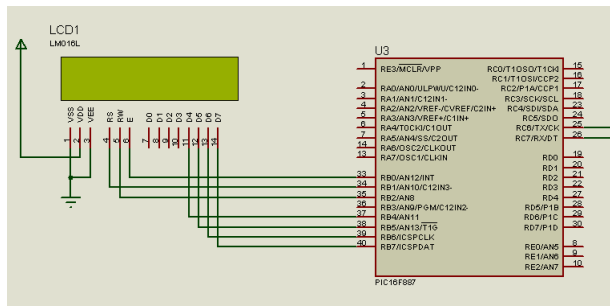


Fig. 5. Circuito del receptor

6) *CPU*: El corazón del Tablero es un PIC16F887. Es un PIC de Microchip de 40 pines, con memoria Flash incorporada, de 8 bits de datos. Contiene osciladores internos para ser usados como temporizadores, y oscilador interno para el funcionamiento de la CPU, lo cual evita hacer uso de un cristal externo. Además, una de las UART son utilizadas para la comunicación con el módulo BT y entradas / salidas de propósito general para manejar el display. Para ver en detalle la programación del PIC ver el código fuente con el que fue grabado.

7) *Display LCD*: Por simplicidad se presenta el proyecto en un Display LCD de 16x2 caracteres en lugar de un tablero electrónico con LEDs, tal como se muestra en la Fig. 6. En esa Figura se observan algunas instancias de un partido de padel regular, con las distintas funciones que ofrece el proyecto mencionadas en la sección anterior. El display en cuestión es un Winstar WH1602B.



Fig. 6. Distintas instancias del partido.

8) *Módulo BT*: El módulo BT del Tablero es el mismo que el de la pulsera (HC-05), y configurado de la misma manera, pero en este caso funciona en modo maestro. También se puede hacer al revés: configurar el del Tx como maestro y el del Rx como esclavo.

### III. MEDICIONES

Las mediciones fueron realizadas solamente con el emisor (pulsera), y un analizador de espectro USRP B200 [8], conectado a una PC que contiene un software dedicado, el GNU Radio Companion [9]. El emisor y el analizador de espectros son conectados por medio de sus antenas, separadas aproximadamente 10 cm. Luego, compilando un programa del PIC que envíe continuamente a razón de 10ms una letra o mas bien un número del juego de caracteres ASCII: 1, se ve en pantalla el espectro de emisión del módulo Bluetooth. No se trata de un uno lógico, sino de una letra.

Las siguientes características de las emisiones de RF del módulo BT fueron medidas:

#### A. Forma del espectro

Parte del espectro de frecuencias del módulo BT se observa en la Fig. 7. La configuración del analizador de espectro es: CF = 2440 MHz, SPAN = 20MHz, REF = 0dB. Un dispositivo de radio Bluetooth tiene un espectro que va desde 2400 MHz hasta 2483,5 MHz. La información se transmite haciendo saltos entre los 79 canales que conforman el espectro, del 0 al 78. Cada canal tiene una frecuencia definida y están separados entre sí 1 MHz, desde 2402 MHz y sumando de  $k \times 1\text{MHz}$ , donde  $k = 0; 1; 2; \dots; 78$ . En el caso de la Fig 7 los canales están situados en 2.430, 2.431, 2.432 MHz, etc., y los dB están referidos a 1W, por lo tanto la potencia pico máxima de la Figura mencionada, excluyendo el pico del centro, está alrededor de los -65dB o 316uW.

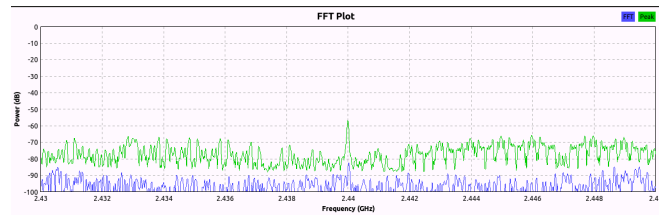


Fig. 7. Parte del espectro de frecuencias de una emisión Bluetooth

#### B. Separación entre canales y ancho de banda del canal

En la Fig. 8 se presenta con más detalle el espectro entre los canales 43 a 53. La configuración del analizador de espectros es: CF = 2450, SPAN = 10MHz, REF = 0dB. Cada pico se corresponde a una frecuencia específica y están separados 1MHz, por lo tanto cada envolvente representa un canal en particular, entre los que el CI BC417 va alternando automáticamente para transmitir los paquetes de información. Se observa que cada canal ocupa un ancho de banda específico.

Este ancho de banda es medible entrando en un modo de testeo del módulo Bluetooth, que se configura por software. Con este modo fuerza a que el módulo no haga los saltos de frecuencia y que transmita por un canal específico. Además se deben cumplir con las siguientes especificaciones:

- Se deben medir los canales extremo inferior, extremo superior y medio, es decir los canales 0, 39 y 78, o a las frecuencias 2402, 2441 y 2480 MHz.
- Usando un SPAN de 2MHz se registra el nivel máximo de RF.
- Los puntos de frecuencia a los laterales del canal que estén por debajo de los 20dB del nivel máximo deben estar separados 1MHz.

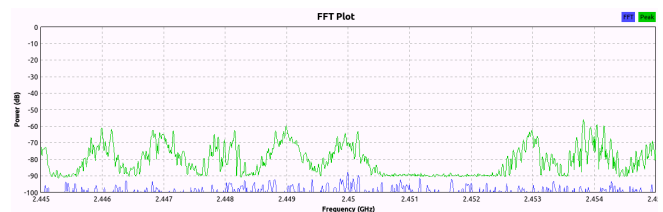


Fig. 8. Canales 43 a 53

El canal 46 es sobre el cual se realizan las mediciones. En la Fig. 9 se observa que las frecuencias a las que la potencia está 20dB por debajo de la potencia pico máxima son:

Frecuencia de potencia pico máxima: 2448MHz@-69.05dB

Frecuencia lateral izquierda: 2447.64MHz@-89.11dB

Frecuencia lateral derecha: 2448.39MHz@-90.47dB

Diferencia:  $2448.39 - 2447.64 = 0.75\text{MHz} < 1.00\text{MHz}$

Cumpliendo con las especificaciones del caso. También, en esta figura esta representada la forma gaussiana de la envolvente, característica propia de este tipo de modulación GFSK.

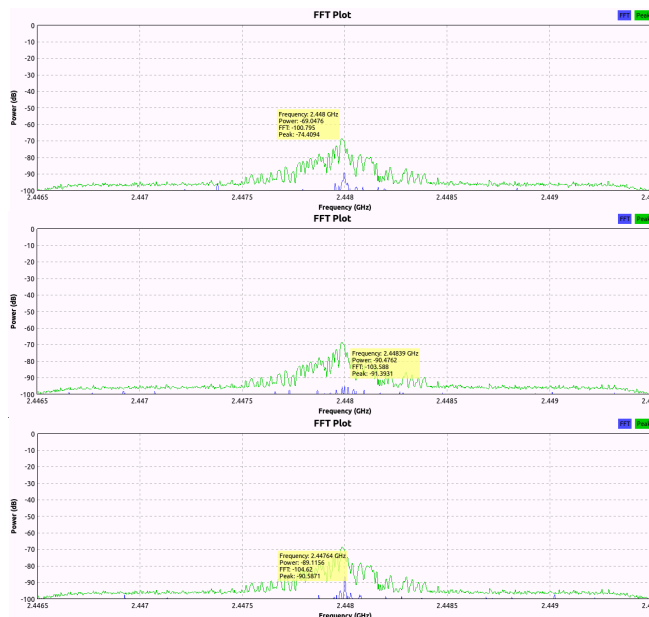


Fig. 9. Canal 46

### C. Mediciones de potencia

Según las especificaciones de la nota de aplicación, las mediciones de potencia se deben hacer teniendo en cuenta una densidad de potencia de una ráfaga o de un canal, dependiendo del caso. En este caso, un cálculo aproximado de la potencia media de emisión de radio Bluetooth de nuestro módulo se realiza midiendo la potencia de cada componente de frecuencia del espectro para un canal específico. En la Fig. 10 se muestra el espectro para el canal 47 a la frecuencia de 2449MHz. La potencia media total es calculada midiendo la potencia de cada componente, pero según las especificaciones, se puede descartar todo lo que esté por debajo de los 20 dB respecto de la potencia pico máxima, en este caso, todo lo que esté por debajo de -90dB. Las mediciones se resumen en la Tabla 1.

Los valores son convertidos a W teniendo en cuenta la definición de decibel:  $W = 10\text{dB} = 10$  y sumados los resultados se obtiene que la potencia espectral es 0.83uW.

Frec. aprox.	Potencia [dB]	Frec. aprox.	Potencia [dB]
2448,6000	-85	2448,9750	-77
2448,6500	-87	2448,9875	-73
2448,6750	-83	2449,0000	-74
2448,6875	-81	2449,0250	-77
2448,7000	-83	2449,0500	-73
2448,7125	-80	2449,0750	-73
2448,7250	-85	2449,0875	-77
2448,7500	-83	2449,1125	-78
2448,7625	-78	2449,1250	-77
2448,7750	-77	2449,1375	-76
2448,7875	-79	2449,1625	-73
2448,8000	-77	2449,1875	-80
2448,8125	-73	2449,2000	-83
2448,8375	-83	2449,2250	-82
2448,8625	-71	2449,2625	-83
2448,8750	-74	2449,3000	-83
2448,8875	-77	2449,3125	-84
2448,9125	-74	2449,3250	-86
2448,9500	-69	2449,3500	-89

TABLE I  
MEDICIONES DE POTENCIA

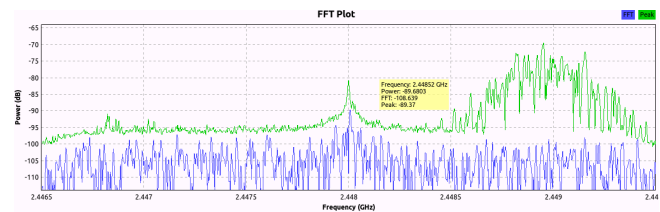


Fig. 10. Canales 43 a 53

## IV. CONCLUSIÓN

Hemos diseñado, implementado y analizado un sistema de comunicación de radio Bluetooth, sobre una aplicación en concreto, el tablero de puntuación para padel. El peso del diseño se encuentra en el código para programar los PICs, junto con las mediciones de las emisiones de radio Bluetooth. El estudio de la comunicación Bluetooth permite abrir el panorama respecto de una banda del espectro de radiofrecuencias que es muy utilizada en la actualidad: la banda ISM1. Y también un aspecto muy importante del que hace uso el protocolo BT: el salto de frecuencias. Es por ello, que las mediciones sobre esta clase de comunicación se dificultó, principalmente por la poca información al respecto que se consigue. Sin embargo, se pueden hacer mediciones referidas a la frecuencia: ancho de banda utilizado, ancho de banda por canal, forma del espectro, cantidad de canales utilizado y la separación entre cada uno; y referidas a la potencia: potencia media aproximada de un canal. La nota de aplicación de Agilent, fue sin lugar a dudas una ayuda importante a la hora de estudiar los métodos que se utilizan para certificar las emisiones de radio Bluetooth.

## REFERENCES

- [1] <http://archivosdelarosada.galeon.com/cvtae1066450.html>
- [2] <http://www.padelandia.com/historia-del-padel/>
- [3] <http://padelstar.es/reglas-de-padel/reglamento-la-puntuacion-en-el-juego/>
- [4] <http://www.wavesen.com/downloadDis.asp?id=60>
- [5] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/max232.pdf>
- [6] [http://www.naylampmechatronics.com/blog/24\\_Conguraci%C3%B3n-del-m%C3%B3dulo-bluetooth-HC-05-usa.html](http://www.naylampmechatronics.com/blog/24_Conguraci%C3%B3n-del-m%C3%B3dulo-bluetooth-HC-05-usa.html)

- [7] Bluetooth ® Measurement Fundamentals Application Note - Agilent
- [8] [https://www.ettus.com/content/les/b200-b210\\_spec\\_sheet.pdf](https://www.ettus.com/content/les/b200-b210_spec_sheet.pdf)
- [9] <http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki/GNURadioCompanion>
- [10] <https://es.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>