

# Transmisión Inalámbrica de Señales Cardíacas

Falco, Cristhian; Neira, Sebastián; Van Cauteren, Alexis  
Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Córdoba  
Sistemas de Comunicaciones III - Ing. Electrónica  
{cristhianfalco, sebastianneira26, alevancauteren}@gmail.com

**Resumen**—El presente documento pone de manifiesto los motivos por los cuales la comunicación Bluetooth es adecuada en el área de electro-medición. Para ello, el estudio se basa en la transmisión de señales cardíacas mediante los módulos comerciales HC-05.

**Abstract**—This documents presents why Bluetooth communication is appropriate in the area of electro medicine. For this, the study is based on the transmission of cardiac signals through commercial modules HC-05.

**Index Terms**—comunicación, Bluetooth, HC-05, ECG.

## I. INTRODUCCIÓN

El corazón es un músculo constituido de tal forma que se comporta como una bomba de sangre. El mismo se contrae debido a la presencia de un estímulo eléctrico. El corazón bombea sangre cuando se contraen las células del músculo que forman sus paredes, generando su potencial de acción. Este potencial produce corrientes eléctricas que se esparcen, desde el corazón, a través del cuerpo. Para efectuar el desarrollo del cardiógrafo fue necesario tener en cuenta especificaciones de la norma AAMI (*Asociación para el Avance de la Instrumentación Médica*) para efectuar el diseño de equipos médicos, entre las cuales podemos mencionar:

- La impedancia de entrada entre cualquier electrodo y el cuerpo debe ser mayor a  $5M\Omega$ . Este valor nos permite obtener una señal sin distorsión siempre y cuando el valor de impedancia entre la piel y el electrodo sea menor que  $30K\Omega$ . El dispositivo no debe permitir un flujo mayor a 1mA, a través del paciente.
- El dispositivo debe ser capaz de responder a voltajes diferenciales de 0.5mVpp a 10mVpp.
- Se debe proteger al paciente o al operador de flujos de corrientes mayores de 20mA de cualquier electrodo a tierra física, con una tensión de prueba de 220V y 50Hz, por medio de aislamiento o el uso de baterías.

Debido a las bajas amplitudes de las señales cardíacas (de 1mV a 5mV), es necesario acondicionarlas, utilizando un amplificador de instrumentación como elemento principal, seguido por diferentes etapas, las cuales permiten modificar el nivel de continua, como así también obtener diferentes niveles de ganancias.

El uso del amplificador de instrumentación permite discriminar la señal cardíaca del nivel ruido presente en el sistema, por lo que uno de sus principales parámetros es la RRM, que debe ser superior a 90dB para obtener buenos resultados. El mismo se puede construir a través de 3 amplificadores operacionales y resistores; o directamente comprar un circuito integrado específico. En la Fig. 1 se muestra un circuito representativo de un sistema de adquisición cardiográfico construido a partir del amplificador de instrumentación AD620 [1].

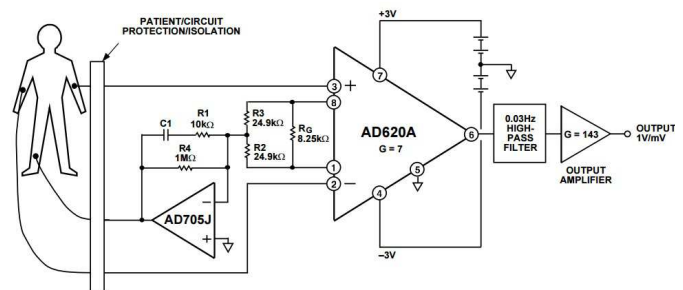


Fig. 1: Esquema monitor ECG

Además del acondicionamiento de señal, debe tenerse en cuenta el rango de frecuencias de la señal cardíaca, el cual está comprendido entre 0.05Hz a 100Hz, aspecto que se tiene en cuenta en la fabricación de cardiógrafos de alta complejidad. Por dicho motivo el circuito incorpora un filtro pasa banda con dichas características, cuya frecuencia de corte superior sirve como filtro anti aliasing. La frecuencia mínima de muestreo, debe seleccionarse de acuerdo al criterio de Nyquist, la cual corresponde a 200Hz. En nuestro caso se eligió una frecuencia 10 veces superior a la máxima componente de entrada, para lograr una buena representación de la señal adquirida.

Otro aspecto muy importante es la fuente de alimentación del sistema, la cual debe ser del tipo aislada, para garantizar un correcto nivel de aislación galvánica entre el paciente y la red de distribución eléctrica.

La transmisión inalámbrica de la señal es un requerimiento primordial de aislación, para minimizar las conexiones físicas entre el paciente y los diferentes equipos, garantizando su seguridad frente a posibles descargas eléctricas. Básicamente es posible reconocer dos conjuntos de bloques principales en este proyecto, uno correspondiente al sistema de transmisión (Fig. 2) y otro correspondiente al sistema receptor (Fig. 3).

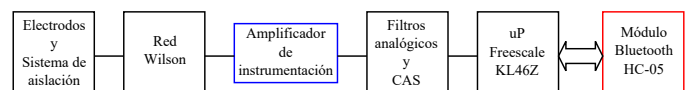


Fig. 2: Bloque sistema transmisor

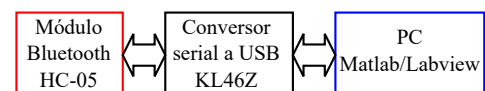


Fig. 3: Bloque sistema receptor

## II. SELECCIÓN DEL MÓDULO DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICO

Las tecnologías de redes inalámbricas han tenido un rápido desarrollo en los últimos años. Hemos pasado del infrarrojo para comunicaciones punto a punto a las WPAN (*wireless personal area network*) de corto alcance y multipuntos como "*Bluetooth*" o las redes de rango de alcance medio multi-saltos como "*ZigBee*". Otras de las tecnologías inalámbricas que podemos nombrar es el "*WiFi*" para redes locales WLAN.

### II-A. Bluetooth

La tecnología inalámbrica de Bluetooth utiliza un radio de corto alcance que ha sido optimizado para el ahorro de energía, operación adecuada de la batería, tamaño pequeño y para ser utilizada en aparatos personales de bajo peso. Una WPAN es capaz de soportar canales síncronos de comunicación para telefonía de voz y canales de comunicación de datos. Los dispositivos que incorporan este protocolo pueden comunicarse entre sí cuando se encuentran dentro de su alcance. Las comunicaciones se realizan por radiofrecuencia de forma que los dispositivos no tienen que estar alineados y pueden incluso estar en habitaciones separadas si la potencia de transmisión es suficiente.

La técnica de modulación implementada consiste en la tecnología de espectro expandido, también conocido como acceso múltiple por división de códigos con saltos de frecuencias CDMA-FH, por sus siglas en inglés *Code Division Multiple Access with Frequency Hopping*. La especificación de Bluetooth define un canal de comunicación a un máximo 720kbps con rango óptimo de 10m. Opera en la frecuencia de radio de 2,4 a 2,48GHz con amplio espectro y saltos de frecuencia con posibilidad de transmitir en Full Duplex con un máximo de 1600 saltos por segundo. Los saltos de frecuencia se dan entre un total de 79 frecuencias con intervalos de 1MHz; esto permite dar seguridad y robustez. La potencia de salida para transmitir a una distancia máxima de 10 metros es de 1mW, mientras que la versión de 100 metros posee una potencia de 100mW.

Algunas aplicaciones pueden ser:

- Reemplazo de la tradicional comunicación por cable entre equipos GPS y equipamiento médico.
- Controles remotos
- Enlace inalámbrico entre sistemas de audio y los altavoces correspondientes.

### II-B. ZigBee

ZigBee es el nombre de las especificaciones de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radiodifusión digital de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal. Su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías. En principio, el ámbito donde se prevé que esta tecnología cobre más fuerza es en domótica. La razón de ello son diversas características que lo diferencian de otras tecnologías:

- Su bajo consumo.
- Su topología de red en malla.
- Su fácil integración.

Una red ZigBee puede constar de un máximo de 65535 nodos distribuidos en subredes de 255 nodos. Tiene un consumo de 30 mA transmitiendo y de 3 $\mu$ A en reposo. Este consumo se debe a que el sistema ZigBee se queda la mayor parte del tiempo dormido.

Con ZigBee, el objetivo no es obtener velocidades muy altas, ya que solo puede alcanzar una tasa de 20 a 250Kbps en un rango de 10 a 75 metros, si no que es obtener sensores cuyos transceptores tengan un muy bajo consumo energético.

ZigBee puede operar en las bandas de frecuencia ISM (Industrial, Scientific and Medical) de 2,405 - 2,480GHz, 902 - 928MHz y 868MHz, aunque la mayoría de los fabricantes optan por la primera.

Entre las aplicaciones que puede tener se encuentran:

- Domótica
- Automatización industrial.
- Reconocimiento remoto.
- Juguetes interactivos.
- Etc.

### II-C. WiFi

WiFi es una "*marca*" que es licenciada por la alianza Wi-Fi para los productos que cumplen los requerimientos para la interoperabilidad entre productos basados en el estándar IEEE 802.11.

El estándar 802.11 para redes LAN inalámbricas incluyen una serie de enmiendas. Las enmiendas contemplan principalmente las técnicas de modulación, gama de frecuencia y la calidad del servicio (QoS). El IEEE 802.11 cubre las primeras dos capas del modelo OSI, es decir, la capa física y la capa de enlace. Los estándares 802.11b y la 802.11g usan la banda de los 2,4GHz ISM definida por la UIT y el estándar 802.11a usa la banda de los 5GHz UNII (Unlicensed-National Information Infrastructure).

Mediante WiFi podemos implementar dos tipos de arquitectura de red. Una de ellas son las redes con acceso por Access Point, que conforman el mayor porcentaje de sistemas empleados actualmente, ofreciendo gran capacidad de conexión ya que permite el acceso de múltiples nodos al mismo punto de acceso. Por otro lado, se encuentran las redes inalámbricas Ad Hoc (*Wireless Ad Hoc Network*) en la que cada nodo participa de la difusión de los datos en la red.

Uno de los problemas, de mayor importancia, a los que se enfrenta la tecnología WiFi es la seguridad. Gran parte de las redes son instaladas por administradores de sistemas y redes por su simplicidad de implementación, sin tener en consideración la seguridad. Existen varias alternativas para garantizar la seguridad de estas redes. Las más comunes son la utilización de protocolos de seguridad de datos específicos como el WEP y el WPA que se encarga de autenticación, integridad y confidencialidad. También existe otro protocolo de seguridad denominado WPA2, el cual es una mejora relativa a WPA, siendo el mejor protocolo de seguridad para WiFi hasta el momento.

### II-D. Selección de módulo de comunicación

En las subsecciones anteriores se han presentado las características de los diferentes estándares de comunicación inalámbrica que pueden emplearse.

Realizando un análisis en el aspecto del consumo, se puede ver que al estar destinados para aplicaciones inalámbricas, los módulos buscar minimizar el consumo de potencia. En este aspecto, el protocolo ZigBee es el que menor consumo posee. El diseño del cardiógrafo esta pensado para ser alimentado con baterías para proporcionar mayor seguridad al paciente, y de esta forma evitar el uso de una fuente de alimentación aislada. A pesar de esto, el consumo de los módulos es muy bajo con respecto a todo el consumo de potencia del cardiógrafo, por lo que este aspecto no es de suma importancia.

Con respecto a la seguridad a la hora de enviar información, es de suma importancia que los datos enviados por el cardiógrafo lleguen a destino y que no puedan corromperse. Por lo tanto, en este sentido, el mejor protocolo es el Bluetooth ya que es más seguro por los saltos de frecuencia de la portadora.

Desde el punto de vista económico y disponibilidad, la mayoría de los módulos presentan costos similares y se encuentran disponibles para su compra por Internet.

Por lo tanto, dando mayor prioridad a la seguridad se optó por trabajar con un módulo Bluetooth, el HC-05. A continuación se detallará dicho módulo.

### III. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

En la siguiente sección se presentan las principales características del módulo HC-05.

#### III-A. HARDWARE

- Sensibilidad Típica:  $-80dBm$ .
- Hasta  $+4dBm$  de potencia de transmisión RF.
- Fully Qualified Bluetooth V2.0 +modulación EDR 3Mbps.
- Funcionamiento de bajo consumo.
- PIO control.
- Interfaz UART con velocidad de modulación en baudios programable.
- Antena PCB Integrada.
- Corriente en sincronización en el rango de 30-40mA.
- Corriente en comunicación de 8mA.
- Rango de temperatura industrial ( $-25^{\circ}C$  a  $85^{\circ}C$ ).

#### III-B. SOFTWARE

- Velocidad en baudios (Modo comando AT): 38400, Bits de datos: 8, Bit de parada: 1, Paridad: Sin paridad.
- Tasa de velocidad de modulación en baudios soportadas: 9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 230400, 460800.
- Auto-conexión del dispositivo con la última configuración por defecto
- Permiso para conectar el dispositivo emparejado de forma predeterminada.
- Por defecto PINCODE: "1234".
- Reconexión automática en 30 minutos luego de salirse del rango de alcance.

### IV. DIAGRAMA ELECTRÓNICO MÓDULO HC-05

En la Fig. 4 se muestra el esquemático correspondiente al módulo HC-05. En el mismo puede observarse que el terminal UART\_TX no posee resistencia de pull-up, aspecto que hay que tener en cuenta en base al microcontrolador a utilizar.

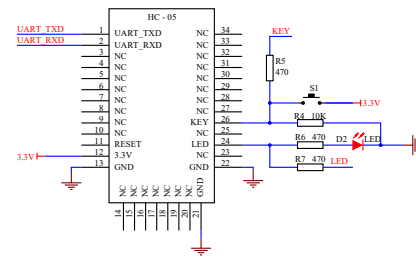


Fig. 4: Esquema del HC-05

### V. CONEXIONADO DEL MÓDULO

Existen diferentes presentaciones de dicho módulo, una de ellas es el PCB directo para soldar (Fig. 5.a), donde se tienen acceso a todos los puertos del módulo, otro es el SHIELD para arduino (Fig. 5.b), facilitando la conexión con dicho microcontrolador, y por último la versión para protoboard (Fig. 5.c), la cual presenta una serie de terminales del tipo peine para proporcionar el anclaje con la placa.

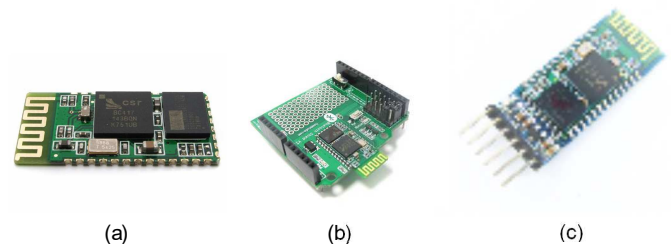


Fig. 5: Presentaciones módulo HC-05

En la Fig. 6 se muestra una imagen real del módulo utilizado.

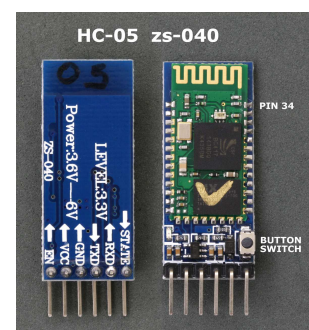


Fig. 6: Circuito esquemático del HC-05

En la misma se observa que dicho módulo posee 6 terminales de conexión y un botón, cuyas funciones se explicarán a continuación.

- VCC: corresponde terminal positivo de alimentación del dispositivo, cuyo valor debe estar comprendido entre 3,6V

y 6V. Existen otros modelos que poseen la capacidad de trabajar en modo bajo consumo en donde dicha tensión es de 1,8V.

- GND: corresponde al terminal que se conecta a masa para cerrar el circuito.
- TXD (output): corresponde al terminal de transmisión de la UART del dispositivo. Un aspecto muy importante a tener en cuenta es que dicho terminal opera con una tensión de 3,3v, por lo que se debe adaptar los niveles en caso de trabajar con microcontroladores de 5V.
- RXD (input): corresponde al terminal de recepción de la UART del dispositivo. Al igual que TXD funciona con tensión de 3,3V.
- STATE: este terminal permite saber el estado del dispositivo, el cual también puede apreciarse mediante el LED incorporado en el mismo.
- EN (enable): mediante este terminal puede accederse a los diferentes modos de operación del módulo, ya sea transparente como al modo de comandos AT.
- BUTTON SWITCH: cumple una función similar al ENABLE, dado que mediante su pulsación permite entrar al modo de comandos AT.

## VI. CONFIGURACIÓN MAESTRO-ESCLAVO

El módulo HC-05 a diferencia del HC-04 permite seleccionar el modo de trabajo entre maestro/esclavo. En la mayoría de las aplicaciones que pueden encontrarse en Internet se utiliza el modo esclavo, dado que se conectará a un dispositivo inteligente, como una PC o teléfono, el cual actuará de maestro (aplicaciones de domótica, donde se requiere un control remoto de cierta aplicación).

Nunca podrán realizarse comunicaciones entre 2 módulos conectados como esclavo-esclavo o maestro-maestro, siempre debe haber uno configurado como esclavo y otro como maestro.

Según los fabricantes, la velocidad de transferencia en modo transparente por defecto es 115200 BAUDIOS, con 8 bits de datos, 1 bit de stop, y sin paridad, en el caso de querer realizar una prueba de funcionamiento rápida sin configurar previamente el módulo. En el módulo adquirido, la velocidad de transferencia por defecto es 9600 BAUDIOS.

### VI-A. Implementación

Los requerimientos de nuestro proyecto respecto a la comunicación inalámbrica son los siguientes

- Crear una conexión punto a punto entre dos módulos.
- Transmisión FULL-DUPLEX.
- Conexión y sincronización de ambos módulos de forma automática.
- Velocidad de transferencia de 115200 BAUDIOS.

Para ello, el primer paso es efectuar la configuración de ambos módulos, para lo cual debe ingresarse en el modo de comandos AT.

Para efectuar dicha configuración necesitaremos un conversor USB a TLL, y una terminal como puede ser Teraterm y/o Putty en el

caso de utilizar Windows o simplemente la Terminal en caso de usar un S.O. basado en Unix.

El conversor USB a TTL puede ser el PL2303 en el cual el conexionado es directo (Fig. 7), sin necesidad de agregados, o como en nuestro caso, mediante la programación de un microcontrolador que permita la transferencia directa entre la terminal del PC y la UART del mismo, que a su vez se conecta a la UART del módulo.

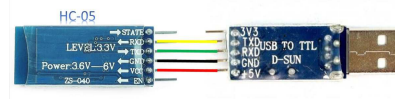


Fig. 7: Conexión HC-05 y PL203

Según nuestra necesidad, la configuración del módulo 1 debe ser la siguiente:

- Maestro
- UART 115200 BAUDIOS, 8 bits de datos, 1 bit de stop, sin paridad.
- Conexión a una MAC específica, la cual corresponde a la MAC del módulo 2, para que se efectúe la sincronización de los módulos de manera automática.
- Código PIN "1234", el cual corresponde al que está cargado por defecto.

La configuración del módulo 2 debe ser la siguiente:

- Esclavo
- UART 115200 BAUDIOS, 8 bits de datos, 1 bit de stop, sin paridad.
- Código PIN "1234".

Una vez que se han realizado las configuraciones correspondientes, ambos módulos se comportarán como si fueran extremos de un cable serial, como se observa en la Fig. 8.

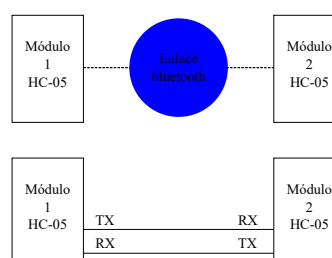


Fig. 8: Equivalencia serial

## VII. RESULTADOS

Las Fig. 9 y Fig. 10 corresponden a los oscilogramas obtenidos luego del acondicionamiento de señal y el resultado de la transmisión inalámbrica.

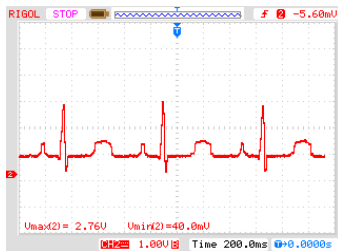


Fig. 9: Señal obtenida luego del acondicionamiento



Fig. 10: Señal transmitida al PC visualizada en Labview

## VIII. CONCLUSIÓN

La configuración y manejo del módulo resulta relativamente sencilla si se posee experiencia previa en comunicaciones del tipo serial. Las dificultades se hacen presentes en la interfaz USB-TTL, en donde es necesaria la instalación de ciertos drivers y la adecuación del código de programa, en caso de hacer la interfaz con un microcontrolador. Un aspecto a tener en cuenta es que los terminales RX y TX trabajan con 3.3V, por lo que debe cerciorarse con anticipación si los niveles de tensión de nuestro adaptador o microcontrolador son los adecuados.

A la hora de seleccionar nuestra velocidad de transferencia debe tenerse en cuenta la cantidad de bits/s a enviar, en nuestro caso esta fijado por la resolución de la conversión A/D, la cual es de 12 bits, pero se decidió enviar solo los 8 más significativos, con el fin de reducir el trabajo del microcontrolador y la frecuencia de muestreo de la señal. Aunque el módulo es capaz de operar a velocidades superiores a 115200 BAUDIOS, la PC no (según la hoja de datos de la UART 8250 [2]), por ende se recomienda no superar este límite. Para las primeras pruebas y la depuración de errores, se recomienda en un primer momento utilizar el terminal del PC, colocando retardos de tiempo en el código de programa del sistema transmisor, para poder observar la transferencia de datos de forma minuciosa, luego si se puede pasar a entornos como Labview y/o Matlab.

## REFERENCIAS

- [1] <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/datasheets/AD620.pdf>
- [2] Datasheet UART 8050, <http://pdf.alldatasheet.es/datasheetpdf/view/89961/NSC/INS8250.html>
- [3] Datasheet HC-05, [http://www.tec.reutlingenuniversity.de/uploads/media/DatenblattHC-05\\_BT-Modul.pdf](http://www.tec.reutlingenuniversity.de/uploads/media/DatenblattHC-05_BT-Modul.pdf)
- [4] Datasheet HC-05, [http://www.robotshop.com/media/files/pdf/rb-ite-12-bluetooth\\_hc05.pdf](http://www.robotshop.com/media/files/pdf/rb-ite-12-bluetooth_hc05.pdf)
- [5] Datasheet HC-05, <http://www.electronica60norte.com/mwfls/pdf/newBluetooth.pdf>

- [6] Bluetooth, <https://es.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>
- [7] ZigBee, <https://es.wikipedia.org/wiki/ZigBee>
- [8] ZigBee, <http://microcontroller.com/embedded.asp?did=149>
- [9] WiFi, Bluetooth or Zigbee wireless, <https://www.kanda.com/blog/wireless/wifi-bluetooth-zigbee-wireless/>
- [10] Bluetooth, <http://www.tecnicaindustrial.es/tifrontal/a-4273-Bluetooth--criterios-seleccion-comparativa-tecnologias-inalambricas.aspx>
- [11] National Instruments, <http://www.ni.com/white-paper/8939/es/>
- [12] Redes inalámbricas, principales protocolos. <http://deredes.net/redes-inalambricas-principales-protocolos/>
- [13] Estandar inalámbrico 802.11b, [http://www.ecured.cu/Estndar\\_inalmbtrico\\_802.11b](http://www.ecured.cu/Estndar_inalmbtrico_802.11b)