

## **Biosensores para medicina deportiva mediante tecnología RFID aplicados en el entrenamiento de alto rendimiento**

**Jesús Abril Duro<sup>1</sup>, Miguel de la Fuente Ruz<sup>1</sup>, Andrés García Higuera<sup>2</sup>, Antonio Abarca Álvarez<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Electrónica, de Telecomunicación y Automática. Escuela Politécnica Superior de Jaén. Universidad de Jaén. Campus las Lagunillas, 23071 Jaén. aabarca@ujaen.es, jabril@ujaen.es

<sup>2</sup> Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad de Castilla-La Mancha. 13071 Ciudad Real. Andres.Garcia@uclm.es

### **Resumen**

*En este trabajo se presenta una solución adaptada especialmente a la adquisición de parámetros biológicos y fisiológicos utilizados en deportistas de élite. Se trata de pequeños biosensores portátiles que permiten captar con transponders especializados activos y pasivos, el estado de las diferentes señales que se modifican y cuya evolución es necesario conocer durante cualquier actividad física. Los datos capturados pueden ser enviados a un sistema informático para un posterior análisis y tratamiento una vez que el deportista se encuentre dentro de la zona captada por la antena RFID capaz de leer la información suministrada por el TAG, realizando el registro de dichos datos.*

**Palabras clave:** RFID, Biosensor, Adquisición, Entrenamiento

### **1. Introducción**

El diseño propuesto es capaz de capturar diversos parámetros biológicos y fisiológicos de los deportistas, de forma que aporten información sincronizada para que de ella se puedan obtener datos que analizados posteriormente puedan llevar a establecer relaciones causa-efecto entre ellos.

Se está trabajando sobre diversos prototipos de reducido tamaño que permiten realizar dichas capturas y mediante el empleo de la tecnología RFID (Finkenzeller, 2003) sea capaz de transferir los datos capturados por cada uno de ellos a un sistema informático que los almacenará y posteriormente permitirá realizar distintos tratamientos dependiendo de la naturaleza de los datos capturados.

Se muestra en primer lugar el estado del arte en lo que respecta a RFID, a continuación se realiza una introducción acerca de la tecnología empleada (RF Code Inc., 2003), para pasar a continuación a describir el sistema diseñado para tal fin, entrando en detalle en los bloques que lo integran, finalizando con las conclusiones.

### **2. Estado del arte**

Las tecnologías actuales para el seguimiento y la adquisición de parámetros biológicos están muy extendidas y tienen un amplio margen de aplicación en medicina, tanto para el diagnóstico como para el estudio de diferentes patologías médicas. Estas medidas se realizan

de forma individualizada con equipos y biosensores determinados para cada aplicación, pero a la hora de sincronizar los diferentes eventos como por ejemplo: ritmo respiratorio y cardíaco, temperatura corporal y velocidad, fuerza y respuesta muscular, e incluso todos ellos al mismo tiempo, se necesitan diferentes sistemas y equipos funcionando a la vez, los cuales no están sincronizados en el tiempo y, por tanto, no es posible conocer con exactitud el preciso momento en el que se producen dichos eventos. Aún peor situación encontramos cuando el deportista no puede practicar los ejercicios sobre una determinada plataforma, en la que estarían los biosensores conectados por cable a los sistemas de adquisición, y éste tiene que recorrer o abarcar un espacio grande de actuación para realizar dichos ejercicios.

Se plantea una solución mediante tecnología RFID, que mejora sustancialmente los inconvenientes que la tecnología actual presenta. En los últimos años se han desarrollado sistemas de identificación sin contacto, mediante radiofrecuencia (RFID). Éstos pueden ser transformados en sistemas de adquisición de datos empleando el biosensor apropiado junto con el transponder.

Gracias a los avances de la microelectrónica, han aparecido en los últimos años, nuevos dispositivos (transponder) que funcionan en la banda de UHF, desde 433 MHz hasta 5 GHz, y que además de su bajo coste, posibilitan la transferencia de datos desde el identificador RFID (TAG) hacia el lector a distancias de hasta 6 m, (RF Code Inc., 2003), distancia suficiente para centralizar toda la adquisición de los datos de los parámetros biológicos en un lector que está alojado con un cinturón en el propio deportista.

### **3. Aplicación de la tecnología**

Las posibilidades de medida de parámetros biomédicos que abre esta tecnología son innumerables, si bien su aplicación práctica no está exenta de problemas a la hora de integrar todos los elementos. Uno de los problemas a solventar es el diseño óptimo del biosensor, donde se incluye un TAG o transponder, que mejor se adapte a cada parámetro biológico. Entre los diferentes TAG que se necesitan para dichas medidas, estarían los pasivos, que no necesitan alimentación propia y se activan al entrar en el campo de radiofrecuencia, y los activos que por sus características necesitan su propia alimentación, como por ejemplo los biosensores utilizados para la medida del pulso periférico.

Los sistemas pasivos, constan de un doble circuito de radiofrecuencia, un emisor de baja frecuencia de 135KHz que se utiliza para alimentar a los sensores junto con sus circuitos electrónicos, y que puede estar fijo dentro del radio de acción del deportista. Para distancias más grandes, se puede alojar en el cinturón de la misma persona, junto con un lector de RFID en la banda de UHF, a una frecuencia de 915MHz a 5GHz, la cual es empleada por los biosensores para la transferencia de las medidas realizadas. Esta banda permite un alcance de varios metros en los que el lector es capaz de captar la señal con los datos y procesarlos posteriormente.

Los sistemas activos, como es el caso de este trabajo, constan de una fuente de alimentación, que normalmente es una pila del tipo botón, la cual se encarga de suministrar la energía suficiente para el funcionamiento del dispositivo completo. Un transceiver de radiofrecuencia para la banda seleccionada, que se encarga de transmitir los datos al sistema receptor, para su posterior procesado. Un microcontrolador, que puede estar integrado en el mismo chip del transceiver, o puede ser un chip independiente, dependiendo de las características externas

que se necesiten de procesado de la señal y número de canales convertidores analógico-digiales.

La antena, es otro elemento al hay que prestar atención; ésta se diseñará dependiendo de la frecuencia a la que tenga que trabajar el transceiver, ya que de este parámetro dependerá también el alcance que obtengamos de la señal de radiofrecuencia. Junto con estos elementos para la medida y adquisición de la señal analógica necesitaremos un circuito específico para cada parámetro biológico, el cual estará conectado a la fuente de alimentación, de nuestro sistema y será más o menos complejo dependiendo del tipo de medida. Entre los parámetros biológicos que más se utilizan tenemos: presión arterial, pulso periférico, ritmo respiratorio, temperatura corporal, activación muscular, frecuencia cardiaca, etc., y los parámetros físicos son: fuerza, desplazamiento, presión, aceleración, etc.

A continuación se adjunta la (Figura 1) donde se muestra el resultado de la captura de la temperatura corporal de un deportista durante un ejercicio, donde se aprecian la secuencia de muestras tomada con intervalos de separación de 5 minutos, se puede observar el descenso de la temperatura en el momento en el que cesa la actividad (a partir de la muestra 16).

La elección e integración de los lectores más apropiados para esta aplicación supone un reto añadido dadas las peculiares características del sistema, unido a las exigencias de precisión que conlleva. Por último, se requiere la optimización del transponder que debe ser diseñado con las características propias del parámetro biológico o fisiológico que se vaya a medir.

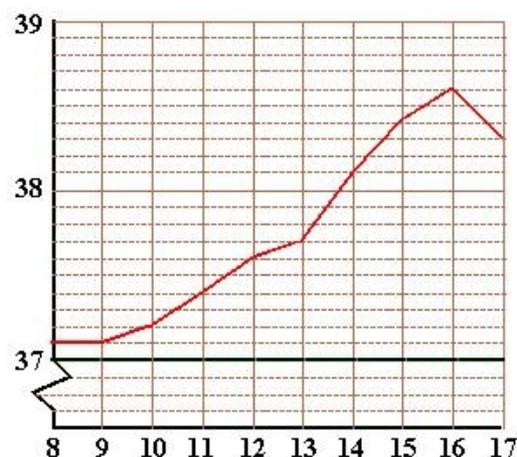


Figura 1: Muestreo de temperatura durante un ejercicio

Todas estas consideraciones sobre el producto consiguen un sistema de adquisición de parámetros bioquímicos y fisiológicos totalmente autónomo. El sistema lo utiliza el deportista en sus entrenamientos, estando continuamente en proceso de adquisición y, lo que es más importante, estos datos están sincronizados en el tiempo creando una base de tiempos común para que todos los eventos que se produzcan tengan una referencia para posteriores estudios médicos y modificación de las tablas de ejercicios de entrenamiento.

#### 4. Descripción y diseño del sistema de adquisición por RFID

El sistema desarrollado para la medida de los biosensores RFID consiste en un módulo miniaturizado, desarrollado con tecnología SMD y optimizado al máximo en sus componentes electrónicos y alimentación, tanto para conseguir un tamaño muy pequeño, como para cumplir otra característica que es primordial, el muy bajo consumo de potencia, ya que la alimentación

viene impuesta por una batería, de dimensiones muy reducidas con el objetivo de que el periodo de vida útil del dispositivo tiene que ser lo más largo posible. Al estar completamente encapsulado, la sustitución de sus componentes, y en especial de la batería es imposible, y el biosensor dejará de funcionar.

El conjunto formado por la electrónica del sistema y la batería es encapsulado con materiales biocompatibles, ya que este dispositivo va a estar en contacto directo con las diferentes partes del cuerpo. Se encargará de recoger medidas de los diferentes parámetros biológicos, para luego ser transmitidas al receptor por radiofrecuencia, el cual se encargará de su posterior almacenamiento y procesado, empleando posteriormente un computador con software adecuado a los estudios que se quieran obtener, permitiendo realizar cualquier tratamiento informático a los datos obtenidos.

#### 4.1. Microcontrolador

El microcontrolador es una parte fundamental del sistema, ya que se encarga de la adquisición de los datos, para que luego estos puedan ser transmitidos por el circuito emisor-receptor de RFID.

El microprocesador utilizado es el PIC 16F88 de Microchip (<http://www.microchip.com>) cuya principal característica la tenemos en su tecnología de “nanowat” de extremado bajo consumo y en sus diferentes tipos de memoria, representados en la tabla 1.

**Tabla 1:** Descripción de la memoria del microcontrolador PIC 16F88

Device	Program FLASH	Data Memory	Data EEPROM
PIC16F87/88	4K x 14	368 x 8	256 x 8

El diagrama de bloques de las diferentes partes del microcontrolador, está detallado a continuación (Figura 2).

#### 4.2. Fuente de alimentación

La batería utilizada es la CR2032 de Panasonic (<http://www.panasonic.com>). Esta batería es de manganeso dióxido de litio de tipo botón cuyas características principales son:

- Tensión nominal: 3 Voltios
- Capacidad nominal: 220 mAh
- Carga estándar continua: 0,2 mA
- Temperatura de operación: entre  $-30$  a  $+60^{\circ}$  C

Las dimensiones de la batería vienen reflejadas en la (Figura 3) y las características de descarga en función de la temperatura están representadas en la (Figura 4). Estas curvas servirán para conocer la vida media del biosensor por RFID (Finkenzeller, 2003), ya que dependiendo del parámetro a medir el consumo de la electrónica será diferente y como la batería no se puede sustituir, cuando se agote el dispositivo dejará de funcionar.

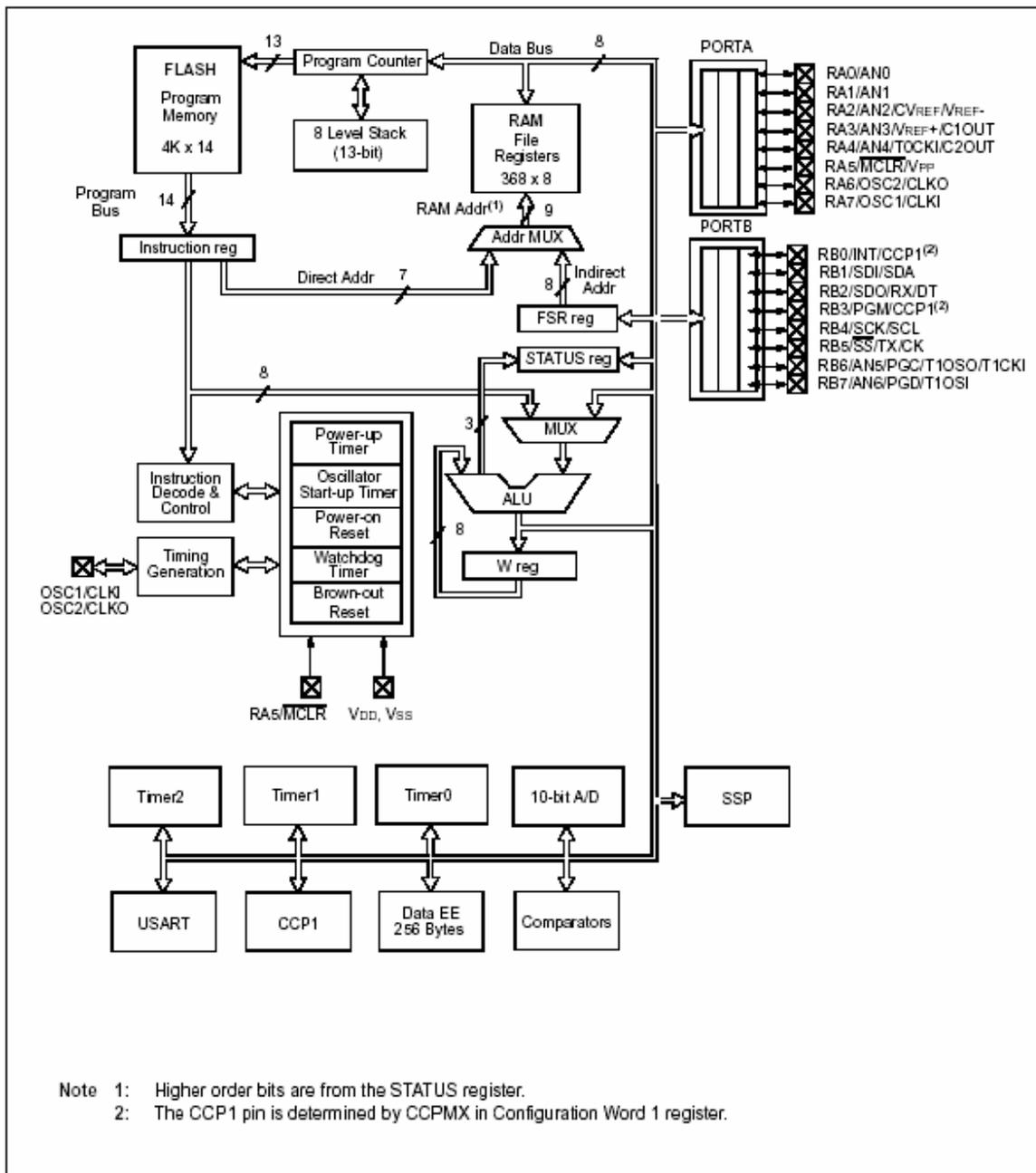


Figura 2: Diagrama de bloques del microcontrolador PIC 16F88

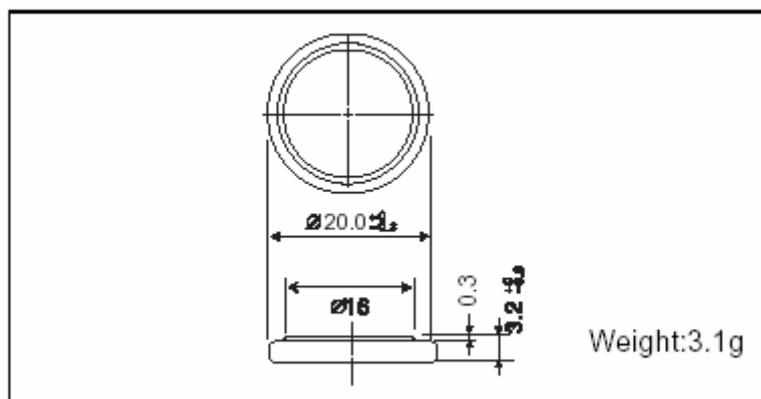


Figura 3: Dimensiones de la batería CR2032 en milímetros

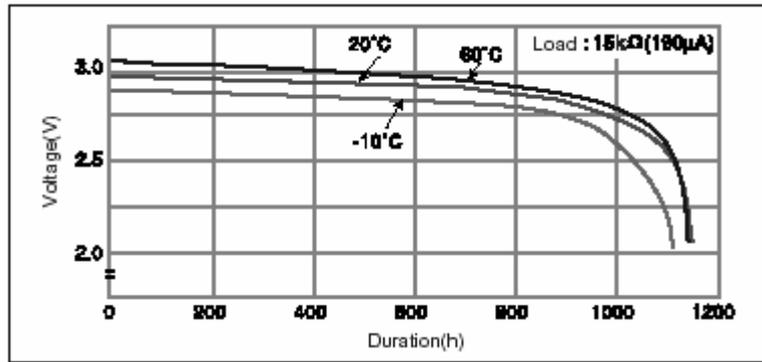


Figura 4: Características de descarga en función de la temperatura

### 4.3. Transceiver para RFID

El transceiver utilizado es el CC2500 (<http://www.chipcon.com>) del fabricante Chipcon. Es de bajo costo, muy bajo consumo, trabaja a 2.4 GHz, es multicanal y posee una alta escala de integración. Está diseñado específicamente para aplicaciones de bajo consumo en comunicación sin hilos, para la banda de 2.4 GHz ISM. (ISM= Industrial Scientific Medical). Está desarrollado con tecnología de 0.18  $\mu\text{m}$  CMOS facilitando la combinación de alta densidad, bajo consumo y la electrónica analógica de radiofrecuencia, junto con el control digital de la misma.

La implementación del transceiver requiere muy pocos elementos externos, característica importante a tener en cuenta para el tamaño final del biosensor por RFID.

Sus pequeñas dimensiones 4x4 mm, 20 terminales, formato QFP y el encapsulado extraplano, lo hacen ideal para ser montado en un circuito impreso de doble capa, junto con el microcontrolador y la batería de alimentación. La distribución de terminales se aprecia en la (Figura 5).

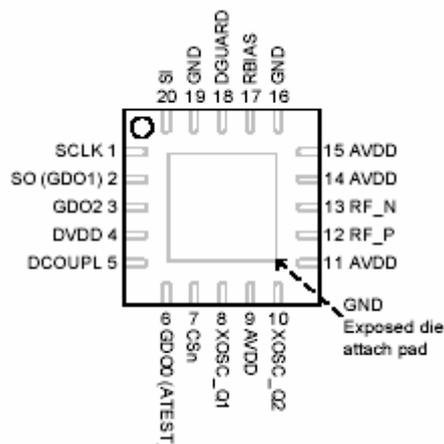


Figura 5: Vista superior de los terminales y su función

Entre otras características importantes del circuito, cabe destacar: el bajo consumo en modo transmisión de 21.6 mA y en modo recepción 15.6 mA. Se observa una reducción de consumo que se produce con el modo de funcionamiento de transmisión a ráfagas.

- Alta sensibilidad -88dBm a 250 Kbps.
- Programación de los datos entre 1.2 y 500 Kbps.
- Salida de potencia programable.
- Función multicanal, ideal para funcionar con varios canales entre 50 y 500 KHz.
- Integración compacta que incluye: detección/inserción de la palabra de sincronismo, chequeo de dirección, longitud flexible de los paquetes y control de CRC.
- Salida digital SRRRI habilitando canales adaptativos.

El diagrama de bloque que describe las diferentes unidades de que consta el transceiver de RF está representado en la (Figura 6).

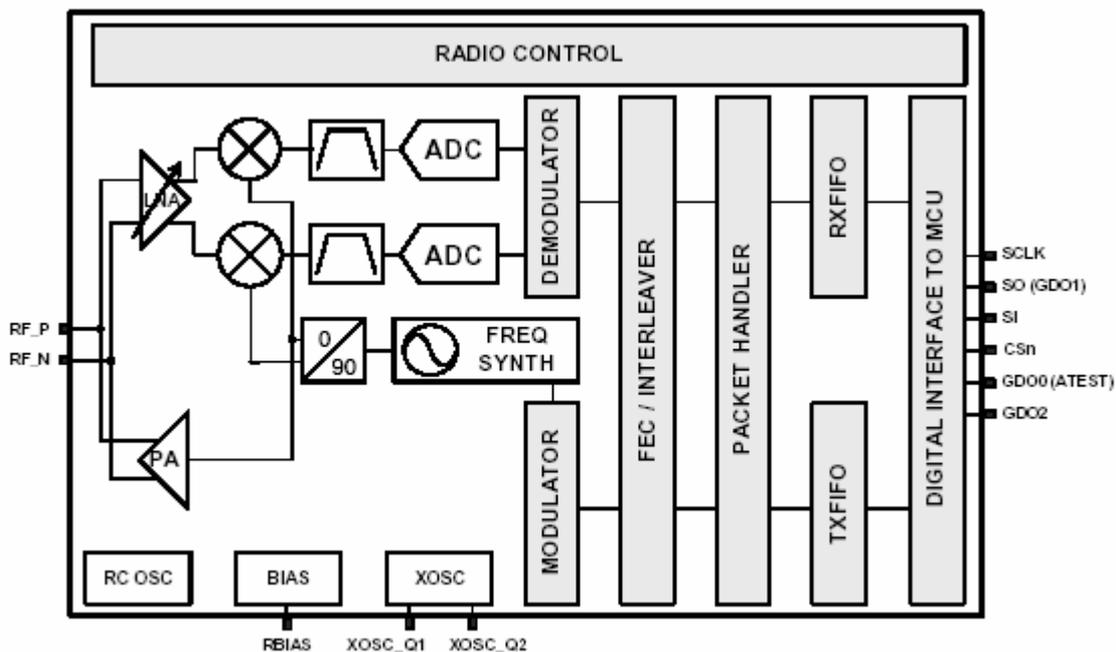


Figura 6: Diagrama de bloques del transceiver de RF de Chipcon CC2500

#### 4.4. Antena

La antena es la parte principal del diseño en lo que respecta a la transmisión y la recepción de la señal. Dependiendo del diseño que se realice de esta parte, podemos optimizar la potencia de emisión y recepción, así como conseguir con diferentes diseños mayor o menor direccionalidad, en función de la aplicación necesaria.

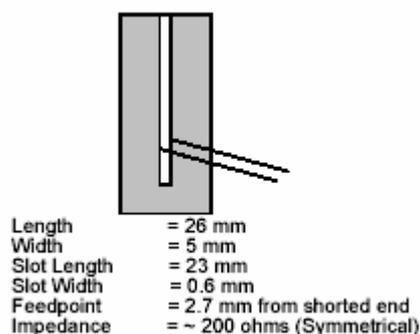
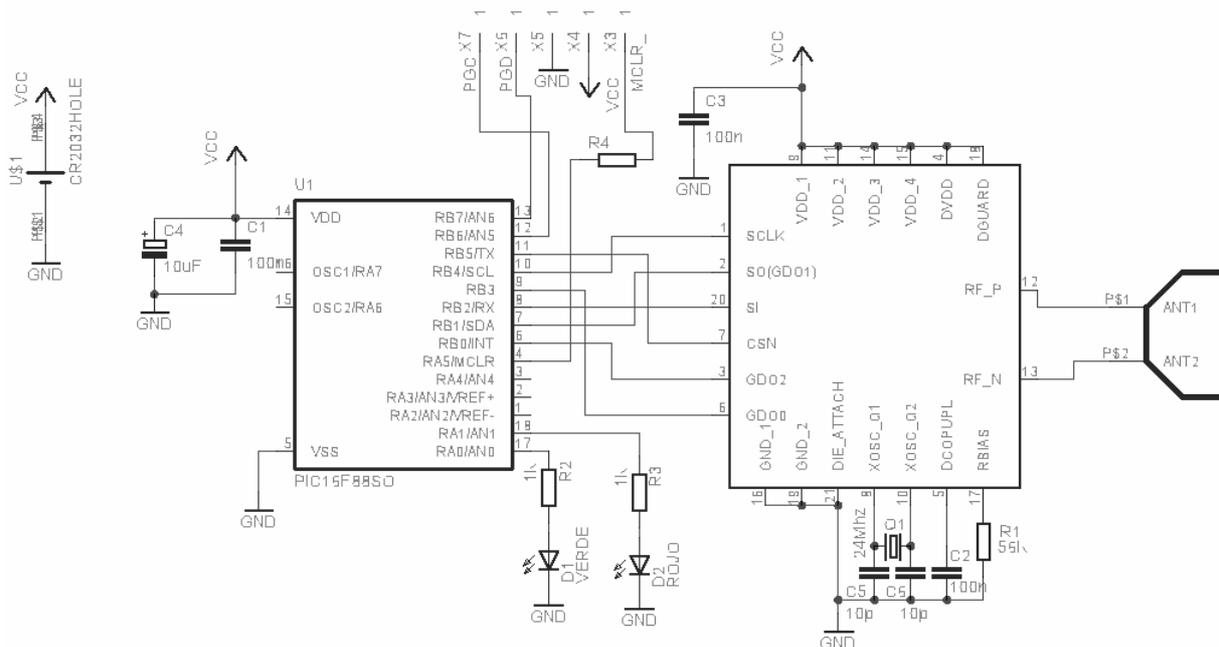


Figura 7: Antena de ranura para la frecuencia de 2.4 GHz

De las muchas configuraciones diseñadas y probadas para este transceiver, en la que mejor resultado se ha obtenido en cuanto a la optimización de potencia, direccionabilidad y alcance es en la antena de ranura (http://www.chipcon.com). En la (Figura 7) está representada este tipo de antena junto con sus dimensiones y forma para integrarla en el circuito impreso.

#### 4.5. Descripción del circuito

Una vez que se han presentado los elementos electrónicos constituyentes generales del biosensor por RFID, se pasa a la descripción detallada del circuito electrónico, representado en la (Figura 8).



La batería de 3 voltios, los condensadores C1 y C4 de desacoplo para la alimentación del microcontrolador PIC 16F88, las líneas de programación X5 y X7 y la tensión de programación MCLR.

Referente al módulo transmisor-receptor de RF, los componentes externos son mínimos, ya que todas las funciones están integradas en el circuito.

Solamente son necesarios los condensadores de desacoplo de alimentación C2 y C3 tanto para la parte analógica como para la digital y la antena de microondas, para la frecuencia de 2,4 GHz descrita en el apartado anterior. Para la frecuencia de funcionamiento del dispositivo se incluye un cristal de cuarzo de 24 MHz, junto con los dos condensadores C5 y C6.

## **5. Conclusiones**

El producto de todo este trabajo es una serie de pequeños sistemas biosensores RFID basados en microprocesador, alimentados con una pequeña batería que, dadas las características del sistema, puede tener una duración más que aceptable, permitiendo captar diversas señales obtenidas de distintos parámetros biológicos o fisiológicos en deportistas de alta competición, de forma que al pasar cerca de una antena se pueda realizar el volcado de los datos capturados por los biosensores y el almacenamiento y posterior tratamiento de los datos por un sistema informático.

Es interesante destacar que con este sistema se pueden registrar múltiples variables y que van a estar sincronizadas entre sí, aspecto muy importante en los deportistas de élite, donde algunos datos obtenidos son la respuesta a estímulos generados y en los que el sincronismo de los datos puede aportar información relevante acerca del comportamiento del sujeto.

## **Referencias**

Black, D.R.; Heynich, L.N. "Radiofrequency effects on blood cells, cardiac, endocrine and immunological functions", *Bioelectromagnetics*, Suppl. 6:S187-95. 2003.

Finkenzeller, Klaus. *RFID Handbook*. John Willey & Sons Inc. 2003 USA.

RF Code Inc. [http://www.rfcode.com/includes/Spider\\_IIIAR.pdf](http://www.rfcode.com/includes/Spider_IIIAR.pdf). "Spider Reader Product Details". 2003.

<http://www.chipcon.com>. 2005.

<http://www.microchip.com>. 2005.

<http://www.panasonic.com>. 2005.