

# **DESARROLLO DE UN SISTEMA INTEGRAL DE BIOTELEMETRÍA: MONITORIZACIÓN REMOTA DE SEÑALES BIOLÓGICAS**

*Ing. CARLOS ARTURO GAYOSO, Ing. CLAUDIO MARCELO GONZÁLEZ, Ing.  
LEONARDO ARNONE, Lic. JUAN CARLOS GARCIA*

Laboratorio de Componentes Electrónicos.  
Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Mar del Plata.  
Fax. +54 223 4810046. Correo electrónico: cgayoso@fi.mdp.edu.ar

## **RESUMEN**

En el presente trabajo se describe el prototipo de un sistema de telemetría para el monitoreo de señales biomédicas. El enlace físico entre la red y las mediciones entregadas por los sensores se realiza mediante luz infrarroja.

Se comienza con una descripción del sistema realizado, tanto del hardware como del software. Se explica el tipo de red empleada, el protocolo de comunicación y la norma eléctrica en que se basa el sistema físico.

Finalmente se explica la implementación de la base de datos realizada para el análisis de los datos adquiridos.

## **1. INTRODUCCIÓN**

El objetivo de este documento es presentar el prototipo de un sistema de telemetría basado en rayos infrarrojos que acoplado a sensores en forma de aguja o lanceta, permita medir diferentes parámetros fisiológicos. El sistema puede monitorear una serie de sondas remotas, hasta 32 por red, cada una de las cuales es capaz de manejar hasta 8 parámetros diferentes entregados por los sensores correspondientes. En la figura 1 se muestra el diagrama en bloques del sistema.

Todo el sistema es gerenciado desde una PC, y ésta es la encargada de establecer el diálogo con las estaciones base. Estas permanecen en escucha hasta que la PC inicie la comunicación, ya sea para requerirle datos o para enviarle comandos de configuración.

Para la recolección de los datos se utiliza multiplexación por división del tiempo. El enlace físico entre las estaciones de base y las sondas se realiza mediante una transmisión óptica bidireccional con luz infrarroja directa [1], dicha transmisión debe tener un consumo reducido debido a que el sistema operará con baterías.

Para detectar y corregir posibles errores en la transmisión de los datos durante la comunicación entre las estaciones base y las sondas se implementó un módulo que realiza la codificación Hamming [2]. El prototipo de este sistema de codificación y decodificación fue realizado con Dispositivos Programables de ALTERA [3][4][5][6]. Para la comunicación infrarroja se utilizaron dispositivos comerciales, lográndose una distancia de transmisión promedio de 2 metros, manteniendo el consumo de corriente de la unidad transmisora infrarroja por debajo de los 500uA

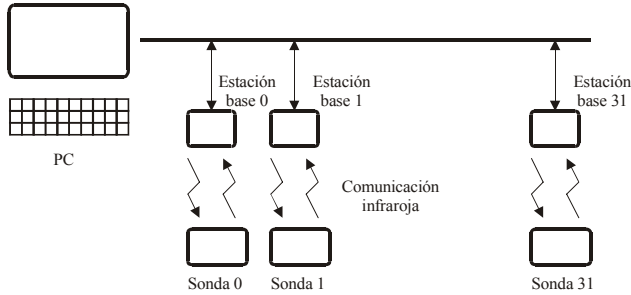


Fig. 1. Descripción del sistema.

## 2. IMPLEMENTACIÓN DE LA RED

Para la elección del protocolo de comunicación entre la PC y las estaciones base se tuvieron en cuenta, entre otros, los siguientes aspectos:

- Distancia a cubrir por la red.
- Número de estaciones base.
- Modo de comunicación half duplex.
- Mínimo número de cables.
- Sólo un elemento de la red puede enviar información, el resto permanece en escucha.

Nombre	Función
TXD/RXD(+)	Transmisión de datos (salida +)
TXD/RXD(-)	Transmisión de datos (salida -)
Tierra	Tierra

Tabla I

Por las características que debe tener el sistema se optó por la interfaz RS485. Una de las ventajas de esta elección es que se puede utilizar, mediante un sencillo circuito adaptador [7], el puerto serie RS232 que poseen la PCs. Esta norma permite un número de hasta 32 transmisores-receptores, con capacidad multipunto y half duplex. La comunicación se realiza con el empleo de sólo dos cables con señales diferenciales para la transmisión y sobre una distancia máxima de 1.200 mts, que

mediante repetidores se pueden ampliar en otros 1.200 mts. Las señales necesarias y su conexión, bajo la norma RS485, se indican en la Tabla I y en la figura 2.

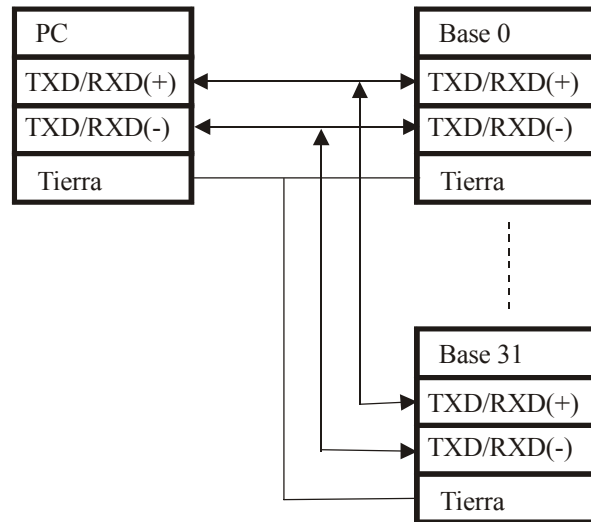


Fig. 2. Conexión entre componentes RS232

La conversión de la norma RS232 (salida de la PC) a la red RS485 se realiza mediante dos circuitos integrados [7][8], el MAX232 y el MAX485, ver figura 3. Esta adaptación es necesaria dado que la norma RS232 debe trabajar con +15V para transmitir un 0 lógico y con -15V para un 1 en tanto que la RS485 trabaja con tensiones diferenciales y los buffers, en este caso el MAX485, se alimenta con 5V. Además, como se ve en la figura 4, todas las unidades de base poseen un circuito integrado MAX485 para adaptar niveles de la norma RS485 a TTL.

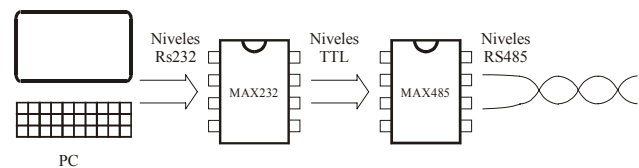


Fig. 3. Conversión de norma RS232 a RS485

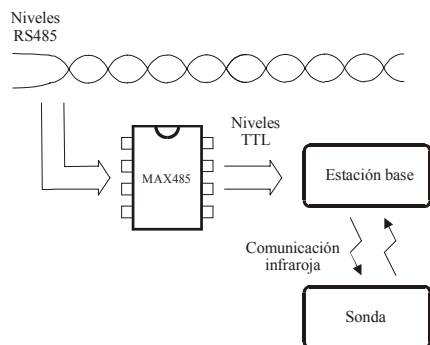


Fig. 4. Interfaz RS485/Estación base/Sonda

### 3. PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN EN LA RED

La estructura de comunicación entre la PC y las estaciones base se realiza de manera maestro-esclavo. Las estaciones base están siempre en estado de escucha y toda comunicación se inicia desde la PC.

Cuando ésta desea recibir datos o enviar comandos coloca sobre la red la dirección de la estación base con la cual quiere comenzar el diálogo. De esta manera sólo una de ellas “despertará” y leerá las instrucciones que se le enviarán sobre la red, las restantes permanecerán inactivas. Finalmente la estación base remitirá la información solicitada por la PC, o ejecutará el comando requerido por ésta enviándole un mensaje de reconocimiento y finaliza la conversación.

Por tratarse de un sistema de comunicación serie se emplea la estructura común de un bit de comienzo, ocho de datos, uno de paridad y uno para indicar el fin de palabra. Sin embargo se debió elaborar el protocolo de comunicación entre la PC y la unidades base.

Dado que sólo uno de los dispositivos, PC o estaciones base, puede tener el control de la red en un momento determinado (half duplex) es necesario diferenciar los datos que viajan desde la PC o los que lo hacen hacia ella. En efecto, iniciado el dialogo sólo la estación base direccionada responderá, por lo que las demás

deben poder diferenciar que los datos que están circulando sobre la red viajan hacia la PC y permanecer inactivas. Para diferenciar el sentido de circulación de la información PC/Estación base o viceversa. El bit más significativo, b7, tendrá el valor lógico 0 cuando la dirección sea de la PC hacia una estación base, en tanto que será un 1 lógico cuando la comunicación sea en sentido contrario [7].

En la tabla II se indica la codificación empleada para transmitir información hacia las estaciones base.

b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0	
0	0	0	Dirección					Dirección
0	01		0	0	0	0	0	Reset general
0			0	0	0	0	1	Reset individual
0			0	0	0	1	0	Comenzar sensado general
0			0	0	0	1	1	Comenzar sensado individual
0			0	0	1	1	0	Finalizar sensado general
0			0	0	1	1	1	Finalizar sensado individual
0			0	1	0	0	0	Enviar estado sonda
0			1	Sensores parte baja				Sensores activos
0			1	Sensores parte alta				
0	1	0	X	X	X	X	X	Enviar datos
0	1	1	Parte alta					Período de muestreo
0	1	1	Parte baja					

Tabla II Protocolo de comunicación PC a estaciones base.

Como se puede apreciar hay comandos de uno, dos y tres bytes. Un ejemplo del primer caso es el comando de reset general, que pone en valores predeterminados los parámetros de funcionamiento de todas las sondas simultáneamente. En el caso, por ejemplo, en que se desee que una única sonda comience a tomar datos se enviarán dos bytes, el primero con la dirección y el segundo con el comando 00100011. Finalmente hay comandos de tres bytes, este es el caso cuando se desean activar los distintos sensores, hasta 8, que posee una sonda se envía primero la dirección y luego dos bytes con 0011xxxx y 0011xxxx. Cada posición de la x se corresponde con un sensor en particular, en aquellas posiciones con  $x = 0$  se indica que el sensor asociado permanecerá inactivo, en tanto que con  $x = 1$  se activará.

En la tabla III se muestra la codificación de los bytes enviados hacia la PC. Estos comienzan con un 1 lógico, de manera que el resto de las unidades de base permanecerán en reposo.

b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0	
1	00		0	0	0	0	0	Error de paridad
1			0	0	0	0	1	Comandos recibidos sin error
1			0	0	0	1	0	Se perdieron datos adquiridos
1			0	0	0	1	1	Estado de reset
1			1	Sensores parte baja				Sensores activos
1			1	Sensores parte alta				
1	1	1	Parte alta					Período de muestreo
1	1	1	Parte baja					
1	1	0	Dato					Datos

Tabla III Codificación de los bytes enviados de las estaciones base a la PC.

Para comenzar la estación base envía siempre, al terminar de recibir un comando de la PC, el código 10000001, indicando que los datos se han recibido sin error, de lo contrario enviará la combinación 10000000 de error de paridad.

En cualquier momento la PC le puede solicitar a una estación base su estado, es decir período de muestreo, sensores activos, pérdida de datos o reset, para verificar el correcto funcionamiento del sistema. En esta condición la estación base envía su estado un byte detrás de otro.

Para concluir la estación base enviará los datos adquiridos un byte detrás de otro. El número de estos dependerá de los sensores activados y del número de bits en que son convertidas las señales analógicas adquiridas en cada sonda en particular.

## 4. SISTEMA INFRARROJO

Una red de comunicación digital multipunto consiste esencialmente de un número de estaciones remotas que se comunican con una estación central sobre uno o más canales de comunicación de dos vías. Por ejemplo, las computadoras personales están conectadas a una gran variedad de periféricos u otras computadoras por medio de cables. Dependiendo del número de usuarios, la distancia entre los terminales a comunicarse, número de periféricos, frecuencia de reconfiguración del sistema, portabilidad de las estaciones remotas, etc. el método de comunicación mediante cables puede llegar a ser poco práctico para una aplicación determinada. Por lo que se han desarrollado diversos sistemas de comunicación inalámbrica que son particularmente útiles cuando el sistema incluye un gran número de usuarios o cuando estos deben tener cierta movilidad. Entre los sistemas de comunicación inalámbrica más empleados se encuentran los sistemas de RF, los ultrasónicos y los ópticos mediante luz infrarroja. Los sistemas basados en RF sufren

una degradación muy importante cuando trabajan en condiciones de interferencia y ruido, más aún, generalmente están sujetos a regulaciones y licenciamientos de reparticiones estatales. Los sistemas basados en ultrasonido experimentan severos problemas, con la pérdida completa de señal. La comunicación infrarroja no se ve afectada por interferencias electromagnéticas, más aún, los sistemas ópticos son inherentemente seguros (no atraviesan paredes), no tienen efectos perniciosos conocidos en la salud (a bajos niveles de potencia como es este caso), además los transmisores infrarrojos tienen un consumo de potencia relativamente bajo, lo que los hace ideales en cuanto a su portabilidad y alimentación a baterías. Por estas razones se ha elegido el sistema de luz infrarroja como medio de comunicación entre las unidades base y las sondas.

La tecnología infrarroja difusa funciona inundando una cierta área de manera similar a como una lámpara incandescente ilumina un cuarto. La luz infrarroja refleja en las paredes del cuarto y cieloraso de manera tal que el receptor pueda obtener la información, sin importar la orientación del mismo. La tecnología de luz infrarroja difusa es un compromiso entre luz infrarroja directa y la tecnología de RF. Combina las ventajas de altas velocidades de transmisión y la libertad de movimiento de los sistemas de RF. Por supuesto también tiene ciertas desventajas, aunque se puede llegar a velocidades de transmisión de 4 Mbits/s, el doble que mediante RF, esta información se debe compartir entre todos los usuarios, a diferencia del sistema de luz infrarroja directa. Y además, aunque un usuario tiene libertad de movimiento, aún está confinado a su habitación a diferencia de la técnica de RF que atraviesa paredes. La tecnología infrarroja aún está en su infancia, sin embargo ya ha sido estandarizada para redes LAN por la IEEE (802.11), debido a esto ya hay unos pocos fabricantes que trabajan con esta tecnología. Uno de ellos usa semiesferas montadas en el techo o en las paredes para comunicarse con los

receptores que se conectan con las computadoras portátiles y las semiesferas están conectadas con un hub que hace las veces de puente con la red cableada.

Los componentes optoelectrónicos básicos requeridos son el LED en el transmisor y el fotodetector en el receptor. La sensibilidad del fotodetector es función de la longitud de onda de la luz incidente, para maximizar la eficiencia, se debe elegir el LED para que la longitud de onda de su máxima emisión esté cerca del máximo de sensibilidad del fotodetector [9].

La distancia del enlace es función de la sensibilidad del receptor, de la potencia de salida y del ángulo de radiación del transmisor. En tanto que la sensibilidad del receptor depende de la longitud de onda de la radiación recibida y de la intensidad de potencia radiada, que está linealmente relacionada con la corriente que circula por el LED [9].

Para la comunicación entre estaciones base y sondas se utilizó el sistema de modulación On Off Keying (OOK).

Los datos enviados, desde y hacia las sondas, se codifican mediante codificación Hamming puesto que permite, no sólo la detección de un bit erróneo sino que, además, se lo puede corregir.

Finalmente se midió la tasa de error de transmisión. Para ello se situaron ambos dispositivos a una distancia de 2 metros, y se hizo que la sonda transmitiera secuencias de 100.000 palabras a la estación base, en un ambiente iluminado con tubos fluorescentes e incidiendo alternadamente luz solar directa en el circuito transmisor y receptor infrarrojo. La tasa de error obtenida fue en promedio de 3/100.000, es decir 3 palabras de error cada 100.000 enviadas.

## **5. ESTACIONES DE BASE Y SONDAS**

Para el desarrollo de los prototipos de las estaciones base y las sondas se emplean FPGAs debido a su gran flexibilidad y además porque el

laboratorio cuenta con un sistema de desarrollo completo en este campo. Otra razón es que el pasaje de prototipos realizado en FPGAs a circuitos fullcustom, VHDL mediante, es relativamente sencillo, con lo cual se puede pasar al layout del circuito integrado desarrollado con una alta probabilidad de éxito en el primer intento.

## 5. BASE DE DATOS Y ANÁLISIS

Este sistema de adquisición de datos es gerenciado por una PC. La función de ella, además de ordenar el tráfico de datos en el sistema, es la de almacenar la información adquirida en una base de datos para su posterior análisis.

El software actualmente se desarrolla en Visual Basic, para todo lo que es manejo de pantallas, y en C para las operaciones concernientes a la comunicación, de manera que ésta se realice en forma veloz y sin ocupar mucho tiempo de máquina.

En la figura 5 se muestra la pantalla principal del sistema. Como se puede apreciar provee, entre otras, las opciones generales de manejo de información:

- Configuración del sistema. Número de estaciones base y sensores activos.
- Registrar. Período de muestreo de cada sonda.
- Graficar. Sonda y sensor que se desea ver por la pantalla.
- Archivos. Permite traer y graficar información ya almacenada.



Fig. 5. Pantalla principal del sistema de adquisición de datos.

En la figura 6 se muestra la pantalla correspondiente a la asignación de direcciones de estaciones base y sondas, como así también el nombre que se le asigna.

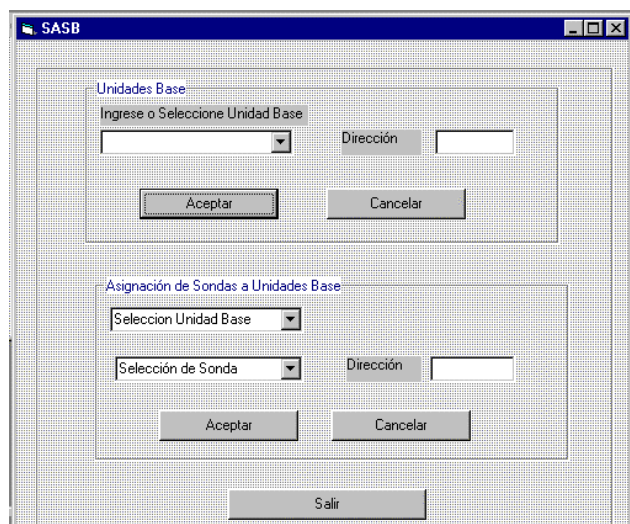


Fig. 6. Pantalla de configuración de estaciones base y sondas.

En la figura 7 se puede apreciar la pantalla de gráficos. Se pueden definir valores máximos y mínimos de ambos ejes o que la imagen se ajuste en forma automática. También se pueden obtener algunos valores estadísticos como valores máximos, mínimos y medios. Y se puede configurar el formato del gráfico, de líneas de puntos, etc.



Fig. 7. Pantalla de gráficos.

## 6. CONCLUSIONES

Se presentó un sistema, actualmente en la etapa de desarrollo y depuración, para la adquisición de señales biomédicas, con la particularidad de que la comunicación en una parte de la red se realiza mediante luz infrarroja. Este sistema se puede aplicar en terapia intermedia, intensiva o rehabilitación, y con más de un paciente por ambiente.

Se trata de un sistema muy flexible, tanto en hardware como en software. Y este es un aspecto muy importante puesto que el sistema se puede adaptar con facilidad a otros entornos, por ejemplo viveros, con unas pocas modificaciones. Por ejemplo identificar los parámetros de las nuevas entradas y salidas.

## 7. REFERENCIAS

- [1] J. Kahn, J. Barry. Wireless Infrared Communications. Proceedings of IEEE, vol 85, NO2.
- [2] Arnone Leonardo, Claudio González, Carlos Arturo Gayoso, Martín Ivorra. Sistema de Transmisión Para Uso Médico. VII Workshop de Iberchip. Montevideo, Uruguay, 21 al 23 de marzo de 2001.
- [3] Altera. "Max + Plus II AHDL". Altera Corporation.

- [4] Altera. "Max + Plus II VHDL". Altera Corporation.
- [5] Altera. "Data book 1998". Altera Corporation.
- [6] Altera. "Max + Plus II, getting started". Altera Corporation.
- [7] Diego Quevedo, Marcelo Villegas. Sistema de Adquisición Distribuido Comandado a Través de la Interfase Serial RS485. Proyecto Final. Universidad Nacional de Mar del Plata.
- [8] Grupo de Trabajo Universidad Tecnológica de Pereira. Red de Comunicaciones del Laboratorio de Electrónica Virtual. Cedit Electrónica, N°74, pág. 56 a 60.
- [9] R. Ananth, M Noll, K. Phang. Low Voltage Infrared Transceiver Design. IBM Microelectronics.