

DISEÑO DE UN MÓDULO PARA LA ADQUISICIÓN Y TRANSMISIÓN INALÁMBRICA DE BIOSEÑALES.

Dayron Félix Doblado Díaz¹, Ángel Damián Bárzaga Varela², Alexis Castellanos Rodríguez³, Yakeily Ofelia Soler Franco⁴

^{1,4} MINSAP, Calzada de Güines S/N esquina Mayor, San Miguel del Padrón. La Habana. Cuba.

^{2,3} CIME, CUJAE, La Habana. Cuba.

Email: ¹ dayrondd@infomed.sld.cu, ² abarzaga@electronica.cujae.edu.cu, ³ alexis@electronica.cujae.edu.cu,

⁴ yakeily.soler@infomed.sld.cu.

RESUMEN

El presente trabajo muestra el diseño e implementación de un Sistema de Adquisición de Datos (SAD) con comunicación inalámbrica aplicado al monitoreo remoto de señales fisiológicas. Está basado en un microcontrolador PIC del tipo 18F77A y una microcomputadora. Se les ha incorporado un módulo de transmisión/recepción del tipo XBee, que permite la comunicación inalámbrica bidireccional entre ellos. La adquisición, digitalización, procesamiento, transmisión, así como el almacenamiento y la presentación de la información se realiza mediante la herramienta virtual LabView y la tarjeta de adquisición de datos NI 6009. Se obtienen dos señales, provenientes de sensores de oximetría y temperatura. Los resultados se exponen en los indicadores correspondientes del Panel Frontal del Instrumento Virtual y coinciden con los transmitidos por los sensores. Se comprobó que empleando el modo de Cable Virtual en los módulos XBee, es posible transmitir valores de señales analógicas con poca distorsión. Se verifica que el rango de desviación respecto a patrones usados como referencias sea el menor posible. Estos valores son puestos a disposición de otros usuarios mediante su publicación en un sitio web. A través de los resultados logrados en el desarrollo de la interfaz de control, se ha podido disponer de un diseño que dé respuesta a las crecientes necesidades de monitoreo constante en salas de cuidados intensivos del sistema hospitalario actual.

PALABRAS CLAVES: SAD, monitoreo, comunicación inalámbrica.

ABSTRACT

This paper shows the design and implementation of a Data Acquisition System (SAD) with wireless communication applied to the remote monitoring of physiological signals. It is based on a PIC microcontroller type 18F77A and a microcomputer. They have been incorporated a transmission / reception module type XBee, which allows two-way wireless communication between them. The acquisition, digitization, processing, transmission, as well as the storage and presentation of the

information is done using the LabView virtual tool and the NI 6009 data acquisition card. Two signals are obtained, coming from oximetry and temperature sensors. The results are presented in the corresponding indicators of the Front Panel of the Virtual Instrument and it is same with those transmitted by the sensors. It was found that by using the Virtual Cable mode on the XBee modules, it is possible to transmit values of analog signals with little distortion. It is verified that the range of deviation from the standards used as references is the lowest possible. These values are made available to other users by posting on a web site. Through the results achieved in the development of the control interface, it has been possible to have a design that responds to the growing needs for constant monitoring in intensive care rooms of the current hospital system.

KEYWORDS: Data Acquisition System, Monitoring, Wireless Communication.

INTRODUCCIÓN

La adquisición de datos consiste en tomar una o un conjunto de señales (propiedades cuantificables del mundo analógico), convertirlas en tensiones y/o corrientes eléctricas, y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora personal (PC). Se requiere una etapa de acondicionamiento, que es la encargada de adecuar la señal de entrada a niveles compatibles con el elemento que hace la conversión a señal digital. Generalmente este elemento suele ser una tarjeta de Adquisición de Datos (DAQ).

En la actualidad la adquisición de señales vinculadas a variables fisiológicas es un proceso indispensable y común en el ámbito clínico-hospitalario. Se han desarrollado innumerables proyectos en búsqueda de un continuo perfeccionamiento de sistemas para la adquisición de bioseñales con el propósito del análisis y diagnóstico del sujeto bajo estudio. Múltiples son los sistemas dedicados al registro y análisis de bioseñales, entre los que se encuentra BioBench del fabricante National Instruments. Sistema reconfigurable con interfaz para la medición de múltiples canales, con el fin de adquirir y analizar fundamentalmente variables fisiológicas. Otros sistemas comerciales basados en LabWindows (sistema propietario), operan en condiciones similares; pero introducen modificación en la forma y el protocolo de control y comunicación con el sistema de medición. En general suelen ser caros.

En Cuba existe un auge cada vez más creciente en el desarrollo de herramientas tecnológicas vinculadas al monitoreo. Un ejemplo de ello lo son los monitores marca DOCTUS, diseñados y fabricados por el Instituto Cubano de Investigaciones Digitales (ICID), donde las variables monitorizadas no son sólo cardíaca, temperatura y oximetría de pulso, sino otras, por ejemplo, electrocardiográfica, frecuencia respiratoria, presión no invasiva. Si bien no cuentan con interfaces para la transmisión inalámbrica permiten la conexión en red así como monitorizar a pacientes mientras son transportados.

No se cuenta en Cuba, con una plataforma virtual para el monitoreo dinámico de pacientes una vez puestos en unidades de cuidados intensivos, que permita realizar un análisis del comportamiento de sus variables fisiológicas. Se propone el diseño de una interfaz de control para la adquisición, registro y transmisión inalámbrica de hasta 200 metros de señales y/o variables fisiológicas que garantice el monitoreo de los pacientes hospitalizados. La distancia descrita anteriormente está basada en el tamaño de las salas hospitalarias. Este proyecto se prueba para un solo paciente. Es posible realizar futuras expansiones.

Para dar cumplimiento a las metas propuestas se utiliza una tarjeta de adquisición de datos de National Instruments (NI) USB 6009 además de una interfaz de control que emplea lenguaje de programación C para el uso del microcontrolador PIC en el Kit de desarrollo PICDEM 2. También se utilizaron dos módulos XBee para la transmisión-recepción inalámbrica de la información. Haciendo uso de la capacidad de procesamiento y almacenamiento de la computadora, se logra visualizar en tiempo real las señales y/o variables fisiológicas adquiridas.

CONCEPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

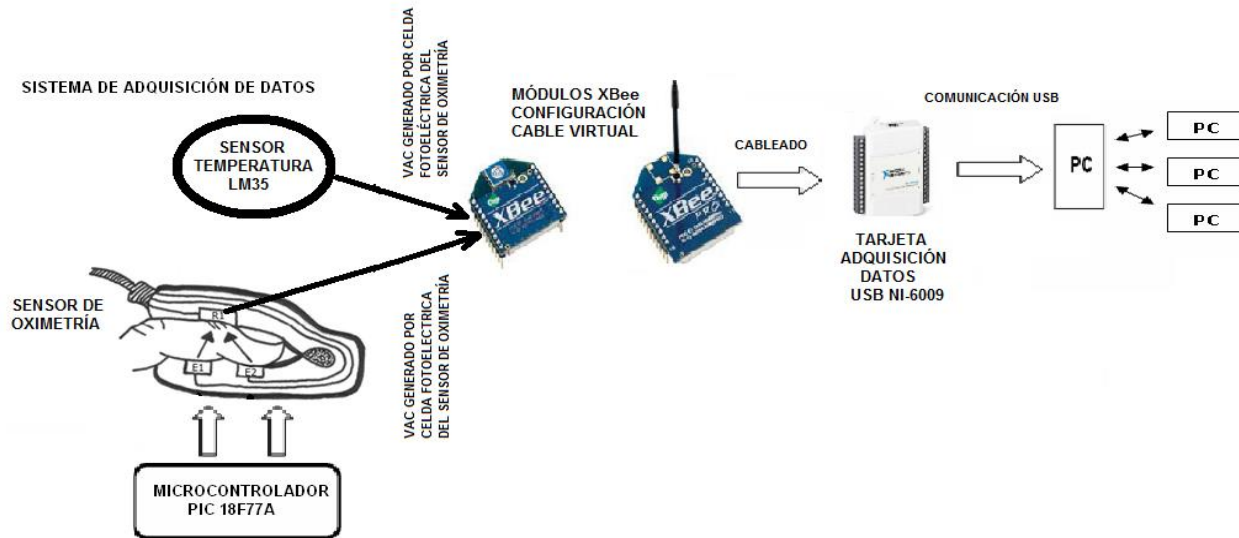


Figura1: Diagrama en bloques del Sistema de Adquisición de Datos.

La figura 1 muestra el Diagrama en Bloques del Sistema de Adquisición de Datos (SAD). El sistema está integrado por un sensor de temperatura (LM35), un sensor de oximetría acoplado a un microcontrolador, dos módulos de transmisión inalámbrica XBee, una tarjeta de adquisición de datos del tipo NI USB 6009 y una PC. El microcontrolador genera las señales digitales que son enviadas a los leds rojo (E1) e infrarrojo (E2) respectivamente, ubicados en el sensor de oximetría. [1,2].

Comunicación inalámbrica.

Existen varias tecnologías para la transmisión inalámbrica de la información. Entre las más importantes se pueden mencionar ZigBee, Bluetooth y WiFi.

La tecnología Bluetooth es capaz de llegar a 1 MB/s en distancias de hasta 10 m operando en la banda de 2,4 GHz y puede tener 8 nodos por celda, aunque pueden construirse redes que cubran grandes superficies. Wi-Fi, alcanza velocidades de hasta 54 MB/s, opera en la banda de 2.4 GHz y tiene un gran consumo de energía. ZigBee alcanza menor velocidad y potencia de transmisión, pero es más barata, tiene mayor capacidad de red y presenta menor consumo de energía con mayor tiempo de vida útil de la batería. [1].

Descartamos la tecnología Wi-Fi teniendo en cuenta el gran consumo de potencia con que opera. Al comparar Bluetooth con ZigBee, se encuentra en esta última un mayor alcance de transmisión, dado que

se requiere un alcance de hasta 200 m basado en la topología de las salas hospitalarias. Para la realización de este proyecto se seleccionó la tecnología ZigBee con los módulos XBee, serie 1.

Arquitectura ZigBee.

Siguiendo el estándar del modelo de referencia OSI (Open Systems Interconnection), las primeras dos capas, la física (PHY) y la de acceso al medio (MAC) son definidas por el estándar IEEE 802.15.4. Las capas superiores son definidas por la Alianza ZigBee. Los productos ZigBee trabajan en una banda de frecuencias que incluye la 2.4 GHz (mundial), de 902 a 928 MHz (en Estados Unidos) y 866 MHz (en Europa). La transferencia de datos de hasta 250 Kbs puede ser transmitida en la banda de 2.4 GHz (16 canales), hasta 40Kbs en 915 MHz (10 canales) y a 20kbps en la de 868MHz (un solo canal). La distancia de transmisión puede variar desde los 10 metros hasta los 75 m, dependiendo de la potencia de transmisión y del entorno. Al igual que WiFi, ZigBee usa la secuencia directa de espectro ensanchado (DSSS) en la banda 2.4 GHz. En las bandas de 868 y 900 MHz también se utiliza la secuencia directa de espectro ensanchado, pero con modulación de fase binaria. [3,4].

Actualmente en el mercado hay dispositivos del tipo XBee y XBee Pro. En la tabla 1 se muestran sus principales características.

Tabla 1: Tabla comparativa para dispositivos de transmisión inalámbrica XBee y XBee Pro.

Prestaciones	Dispositivo XBee	Dispositivo XBee-
Alcance en interiores/contexto urbano (m)	30	100
Alcance en exteriores y en línea recta (m)	100	1500
Potencia de transmisión (mW)-(dBm)	1-0	100-20
Velocidad de Transmisión RF (Kbps)	250	250
Velocidad de Datos de la Interfaz (bps)	1200-115200	1200-115200
Voltaje de alimentación (V)	2.8-3.4	2.8-3.4
Frecuencia de operación (GHz)	2.4	2.4
Dimensiones (cm.)	(2.44) X (2.76)	(2.44) X (3.29)
Sensibilidad de Recepción (dbm)	-90	-100
Consumo Energético durante la transmisión	45	250
Consumo Energético durante la recepción	50	55

En la figura 2 se exponen los dispositivos empleados **XB24-AWI-001 (XBee)** y **XB24-AWI-001 (XBee-Pro)**.



Figura 2: Módulos XBee y XBee PRO de la serie 1.

Los módulos XBee de la serie 1 trabajan solamente en las dos primeras capas del modelo OSI, nivel físico y nivel de enlace. Por esta razón, operan bajo el estándar IEEE 802.15.4 y no con el protocolo ZigBee. Estos dispositivos pueden comunicarse entre sí y son compatibles en la disposición de sus terminales. La diferencia entre estos módulos radica, principalmente, en la potencia de transmisión, la sensibilidad de recepción y el consumo.

Para transmitir valores de señal analógica entre los módulos XBee, estos se configuran como **Cable Virtual**. Esta opción permite crear un canal de comunicación de manera transparente entre los pines de un módulo y otro. Cada pin de entrada tiene su propio pin de salida ya definido entre nodos, lo que garantiza una forma totalmente simple de enviar información, controlar o medir de manera sencilla y rápida, sin necesidad de complicadas configuraciones. [5,6].

Tarjeta de adquisición de datos NI USB-6009 para la medición.

Como parte del Sistema de Medida, para el muestreo de las variaciones de la tensión se emplea la tarjeta de adquisición de datos NI USB-6009. Posee 8 canales de entrada analógica y de ellos se utilizarán dos para las mediciones de tensión a la salida de cada sensor, reflejadas en el XBee receptor. Para el desarrollo del proyecto, se usan dos entradas analógicas (AI0 y AI1) en configuración *single-ended* (referidas a tierra), en el rango de tensión de 0 a 5V.

SENSORES.

Las dos señales generadas por los sensores son entregadas a dos entradas analógicas independientes del módulo XBee transmisor. Esta condición permite no tener necesidad de multiplexado. Para futuras expansiones de pacientes será necesario multiplexar las señales de cada paciente. Usando los módulos XBee transmisor y receptor en configuración de Cable Virtual se logra que los valores de tensión adquiridos lleguen al módulo receptor sin haber sufrido ni distorsión ni atenuación. Lo anterior es garantizado por el protocolo de comunicación IEEE 802.15.4 que emplean los módulos XBee.

La tecnología ZigBee garantiza transmitir señales de bajo nivel con calidad. Ambos sensores se alimentan con 5 V, que son generados por el Kit de desarrollo del Microcontrolador PIC18F77A [7], que se emplea para controlar el funcionamiento de los leds del sensor de oximetría. Como acondicionador de la señal entre ambos sensores y la PC estará la tarjeta NI 6009, donde se configurará mediante la herramienta LabView el rango de tensión a la entrada entre 0 y 1 V., aprovechándose al máximo posible el rango del conversor A/D incluido en la tarjeta. Esto suprime la necesidad de otro tipo de acondicionador.

Sensor de temperatura LM 35.

El sensor de temperatura LM 35, figura 3, es un dispositivo encapsulado que cuenta con un circuito integrado de tres terminales. Se alimenta entre 4 y 20V de DC. Tiene una salida de voltaje lineal y proporcional a la temperatura, generando 10 mV / °C. Este dispositivo no requiere calibración externa alguna y puede realizar mediciones en el rango desde -55 a +150 °C. La aplicación que se propone trabajará en el rango entre 30 y 45 °C. [8].

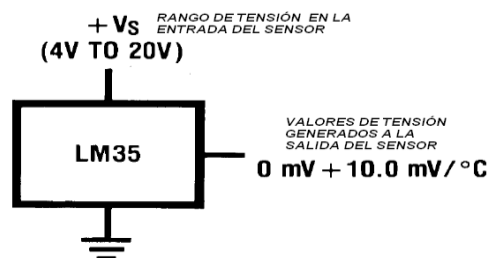


Figura 3: Sensor de Temperatura LM35.

Sensor de oxígeno en sangre (OXÍMETRO).

La pulsioximetría evalúa los niveles de oxigenación en sangre. Es una técnica muy útil por su sencillez, rapidez, fiabilidad, reproductibilidad e inocuidad. Su utilización es cada día más intensa, tanto a nivel hospitalario como en la medicina primaria y ambulatoria. Sirve igualmente para realizar exploraciones puntuales como, por ejemplo, la monitorización continua de los pacientes con insuficiencia respiratoria. El instrumento empleado es el Oxímetro. [9].

El fundamento de la pulsioximetría se basa en el hecho de que el color de la sangre varía dependiendo del grado de saturación de oxígeno de la hemoglobina. Esto es debido a las propiedades ópticas del grupo HEMO de la molécula de hemoglobina. La hemoglobina oxigenada aparece de color rojo brillante mientras que la hemoglobina sin oxígeno aparece con un color azul oscuro. La determinación de la saturación de oxígeno se logra por espectrofotometría midiendo la absorción de luz de longitudes de ondas específicas, al pasar por un lecho vascular. La cantidad de luz roja e infrarroja absorbida en la sangre está en función de la saturación de oxígeno. Es por ello que el principal requerimiento de dichos sensores es que el sitio que se monitorea no tenga mucho espesor para que no existan problemas al paso de la luz. Normalmente, estos dispositivos se ubican en las orejas y dedos de la mano.

El Oxímetro consta de un sensor en forma de pinza. En su interior utiliza como fuente de luz dos diodos leds (uno rojo y otro infrarrojo) que emiten un haz de luz parte del cual se refleja en una celda fotoeléctrica (R1) que actúa como detector, posicionada en el lado opuesto midiendo la cantidad de luz absorbida por la oxihemoglobina circulante del paciente. En la figura 4 se muestra un ejemplo de estos dispositivos.

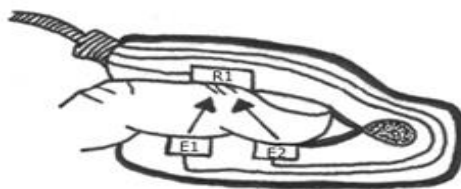


Figura 4: Sensor de Oximetría con dos emisores y un receptor.

Los pulsioxímetros (Oxímetros) miden, en un intervalo de tiempo, la relación entre las diferencias de absorción de las luces emitidas por los diodos leds rojos e infrarrojos (IR). La transmisión de la luz roja a través de la sangre es dependiente del grado de saturación de la hemoglobina, dependencia que no existe en el IR, que solamente varía dependiendo de la cantidad de sangre (del pulso). Se modulan ambos valores detectados por R1 y se obtiene una lectura sin variaciones de la SaO₂. Si la luz roja es transmitida a través

de una muestra de sangre bien oxigenada (sangre roja brillante), una significativa cantidad de luz pasa a través de la hemoglobina. Por otro lado, si la sangre esta poco oxigenada (azul oscuro), menor cantidad de luz atraviesa la molécula de hemoglobina. Las longitudes de onda emitidas por los diodos pueden tener alguna pequeña variación dependiendo del fabricante pero, generalmente, el rojo está en el rango 630-660 nm y potencia de 1.8 mW y el infrarrojo en el rango 800-940 nm y potencia de 2.0 mW. En ocasiones se utilizan leds láser como emisores debido a su precisión en el espectro de emisión, dado que, a longitudes de onda cercanas a las utilizadas, hay otras sustancias en la sangre que cambian su emisión. [10].

En la figura 5 se muestra gráficamente la relación que se establece entre los niveles porcentuales de saturación de oxígeno en sangre (S_aO_2) y los valores ya modulados de tensión generados por R1 provenientes de los diodos rojos e IR. Esta relación es adimensional. Para la modulación se emplea el software LabView.

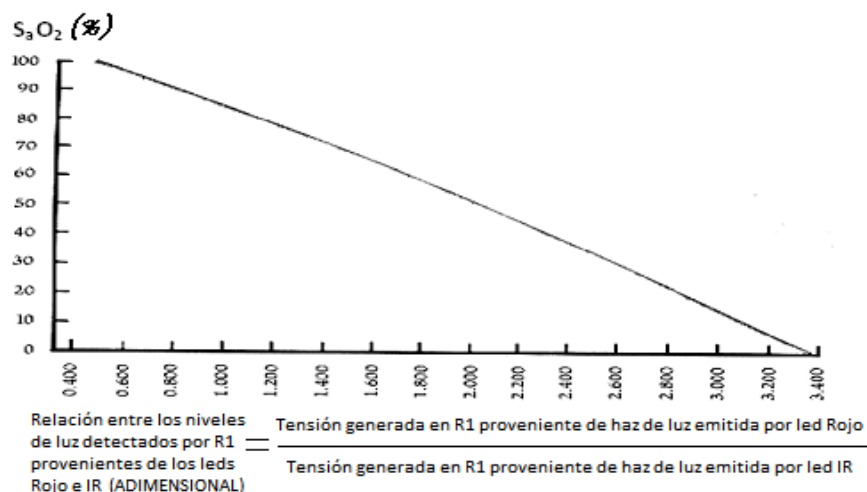


Figura 5: Relación entre niveles de luz detectados por celda fotoeléctrica R1 y su correspondencia con los valores de saturación de oxígeno en sangre.

Como la respuesta espectrofotométrica obtenida no es lineal (ver Figura 5), empleando la herramienta LabView se linealiza la curva por tramos, permitiendo obtener resultados precisos. Los valores normales de Saturación de O_2 (S_aO_2) oscilan entre 95% y 97%, con un rango de variación del 2%.

De acuerdo a los valores referenciados para los niveles de saturación de O_2 en sangre, existen patrones de actuación. Si los niveles de oxigenación están por encima del 92%, no actuar. Si los niveles oscilan entre 85% y 92%, indicar tratamiento inmediato pues existe insuficiencia respiratoria crónica. Si estos niveles descienden a menos de 85% se diagnostica al paciente con hipoxia severa. En caso de llegar a ser menor del 80%, se debe valorar la intubación y ventilación mecánica. [10,11].

Software del sistema de adquisición de datos.

Se diseñaron dos programas, uno que se implementa en el microcontrolador PIC16F877A y otro en la PC. El programa diseñado para el PIC, en lenguaje C, tiene como función controlar los leds rojo e infrarrojo del

oxímetro de pulso, garantizando la adecuada toma de muestras en un intervalo de tiempo y por lo tanto su correcto funcionamiento. El programa para la PC elaborado en LabView controla todo el proceso, establece la interfaz con el usuario, muestra el resultado final de las mediciones y las alarmas correspondientes, de acuerdo al valor calculado. Se transmiten los valores de tensión adquiridos a la tarjeta de adquisición de datos mediante la comunicación inalámbrica entre los módulos XBee, empleando el modo de Cable Virtual.

La figura 6 muestra una vista del Panel Frontal que está visible al usuario cuando se inicia el programa implementado en LabView. Está conformado por un indicador de temperatura, uno de oxigenación y otro con sus respectivos valores. Además, se incluyen cuatro indicadores lumínicos de **Alarma**, que se encienden si el valor medido es superior a la referencia indicada por el usuario. Por último, el botón **STOP** permite interrumpir la ejecución del VI. La información obtenida se almacenará en una tabla confeccionada en un fichero de texto, con la información de la fecha y hora de cada medición realizada, y los valores medidos.

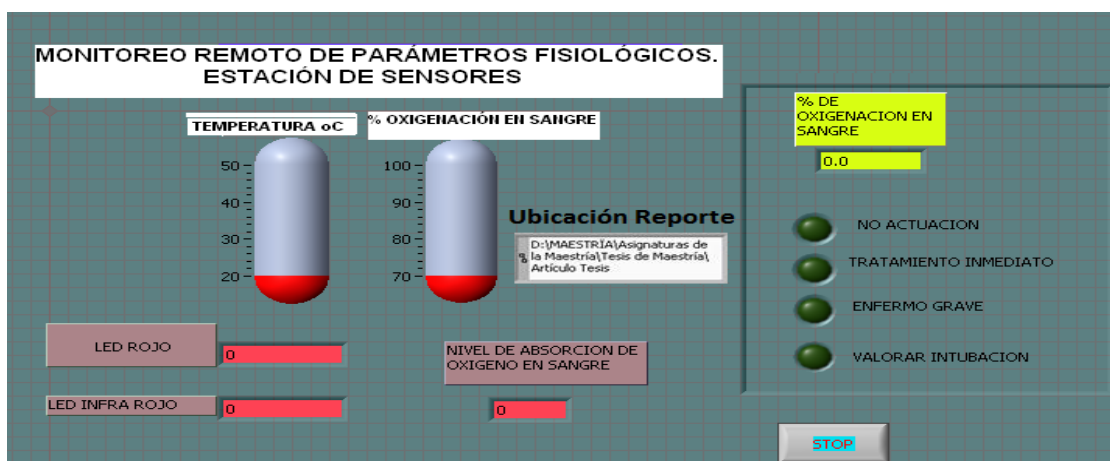


Figura 6: Vista del Panel Frontal.

En las figuras 7 y 8 se muestra el diagrama de flujo en la herramienta de trabajo LabView que resuelve la determinación de la variable temperatura para el sensor LM35 y para el sensor de oximetría, basado en las lecturas de las entradas analógicas (AI0 y AI1) de la Tarjeta NI USB-6009.

En la figura 7 se evidencia como se toman los valores de temperatura, según el sensor LM35, y posteriormente, en un ciclo de hasta 10 iteraciones con un intervalo de repetición de 500 ms se toman muestras. Como una de las características del sensor es su respuesta de forma lineal entre la temperatura medida y la tensión generada y se conoce que entrega 10 mV por cada 1°C, se multiplica por cien para obtener el valor de temperatura. De estos valores se eliminan las dos mediciones de los extremos que pudieran ser posibles errores. A los restantes se le calcula el promedio y este valor es el que se visualiza en el indicador Temp, actualizándose el proceso a la frecuencia de muestreo.

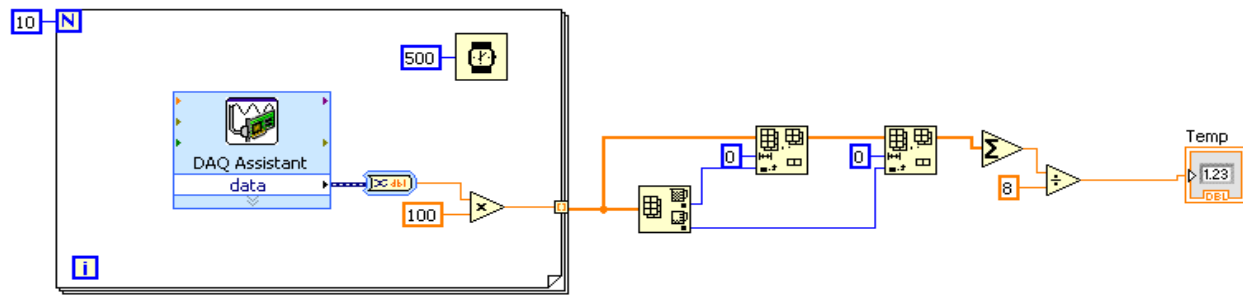


Figura 7: Diagrama en bloque del VI para el cálculo de la temperatura según los valores de tensión analógica generados por el sensor LM35.

En la Figura 8 se toman los valores de tensión generados por la celda fotoeléctrica del sensor de oximetría, y posteriormente, en un ciclo de hasta 10 iteraciones con un intervalo de repetición de 500 ms se toman muestras. De estos valores se eliminan las dos mediciones de los extremos que pudieran ser posibles errores. A los restantes se le calcula el promedio y este valor es el que se visualiza en el indicador Vcell, actualizándose el proceso a la frecuencia de muestreo.

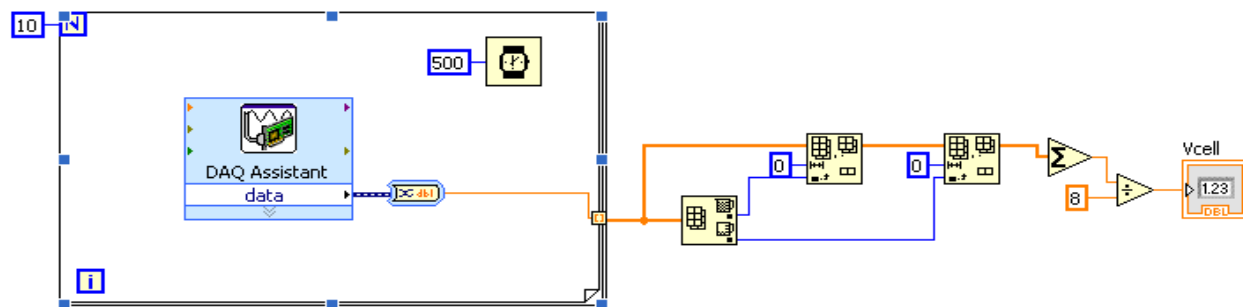


Figura 8: Diagrama en bloque del VI para el cálculo de los valores de tensión analógica generados por el sensor de oximetría.

COMPROBACIÓN DEL DISEÑO.

Para realizar el montaje práctico, se emplea el kit de desarrollo PICDEM 2 (Plus Demonstration Board), que es con el que se contaba y que además cumple con los requisitos de funcionamiento del diseño propuesto. Este kit se acopla al sensor de oximetría para garantizar su funcionamiento. Además, se usaron dos módulos XBee de comunicación inalámbrica: uno conectado a los sensores y otro a la tarjeta de adquisición de datos NI USB 6009, la cual se comunica vía puerto USB con la PC. El Kit PICDEM emplea una fuente de alimentación que genera 9 V a la salida y el propio sistema emplea un regulador de 5 V para alimentar el resto de los componentes.

Como se explicó anteriormente, para la comunicación entre los módulos XBee se empleó la configuración de Cable Virtual.

Es importante resaltar que para crear un cable virtual, los pines de entrada/salida (I/O), deben estar asociados entre sí, es decir, vienen en pares. Por esto, sólo se pueden crear cables virtuales entre pares de pines de distintos módulos. Para el trabajo con el modo analógico en los módulos XBee, la salida sólo se corresponde con los pines PWM, es decir, AD0 (pin 20) del XBee transmisor con PWM0 (pin 6) del XBee receptor y AD1 (pin 19) del XBee transmisor con PWM1 (pin 7) del XBee receptor, conectándose a AIO (pin 2) y AI1 (pin 5) de la tarjeta de adquisición de datos Ni USB 6009 respectivamente. En los terminales 6 y 7 del receptor XBee se reflejan los mismos valores de tensión analógica que corresponden a los valores de temperatura y oxigenación en sangre, que son adquiridos inicialmente por los sensores LM35 y de oximetría respectivamente. Las dos mediciones se transmiten simultáneamente, teniendo en cuenta que los módulos XBee disponen de dos terminales PWM en sus pines 6 y 7.

El módulo XBee receptor es alimentado desde la misma tarjeta de adquisición de datos a través de un regulador de voltaje de 3.3 V. Para lograr esto, empleamos el terminal 31 que corresponde a +5V y 32 que corresponde a tierra (GND).

En la tabla 2 se presentan los parámetros de programación que se introducen a cada módulo XBee para la configuración deseada.

Estos módulos se configuran por comandos AT, bajo los criterios siguientes:

- Igua les valores de velocidad de transmisión (Interface Data Rate (BD)).
- Para el transmisor se configuran los valores de los comandos IR e IT mientras que para el receptor se configura UI e IA, donde UI coincide con el MY del transmisor.
- Con el comando IU, es posible observar la salida de los cables virtuales que llegan al módulo. Si IU=1 (ATI U1), se habilita la salida por el pin D OUT con los datos de todos los cables virtuales que llegan al módulo.
- El comando DL (dirección de destino), de un módulo, será igual al MY (dirección de origen) del otro módulo.
- Con los comandos IR e IT se configuran los parámetros de tiempo y número de muestras respectivamente para la tasa de muestreo deseada.

Tabla 2: Parámetros para la programación de los módulos ZigBee.

Módulo XBee	Personal Area Network ID	Interface Data Rate (BD)	Destination Address Low (DL)	Source Address (MY)	Channel (CH)	Tiempo de espera antes de enviar muestra (IR)	Número de muestras a guardar (IT)	Visualizador de la información de salida en los cables virtuales que llegan al módulo receptor (UI)	IA
Conectado a PIC (transmisor)	3	3 (9600 baudios)	5678	1234	C	14 (20ms en decimal)	5	-	-

Conectado a la tarjeta adquisición de datos (receptor)	3	3 (9600 baudios)	1234	5678	C	-	-	1	1234
--	---	------------------	------	------	---	---	---	---	------

En las pruebas de verificación realizadas para comprobar el funcionamiento del sistema, se aplicó la siguiente secuencia: se envían las señales adquiridas por el módulo XBee receptor vía inalámbrica, en configuración de Cable Virtual, hacia un segundo módulo XBee (receptor). Estas señales analógicas se acoplan a la tarjeta de adquisición de datos NI USB 6009, sirviendo como acondicionador de la señal. Estos valores son digitalizados y vía puerto USB, pasan a la PC, donde se procesan mediante el software LabView.

RESULTADOS.

Usando los módulos XBee en configuración de Cable Virtual se logró transmitir simultáneamente dos señales de bajo nivel de tensión. Para la demostración se midieron los valores de tensión entregados por los sensores al módulo XBee transmisor y estos coincidían con los entregados por el módulo XBee receptor a la tarjeta de adquisición de datos NI 6009.

Las figuras 9 y 10 muestran al sistema propuesto en pleno funcionamiento. Analizando los resultados, se puede confirmar cómo responde el sistema diseñado ante estímulos de señales analógicas provenientes de los sensores empleados.

En la figura 9 el valor de tensión adquirido por el sensor de temperatura LM35 corresponde a 356.122 mV, que equivalen a 35.6 grados Celsius (10mV por 1°C). Para el sensor de oximetría se obtuvo un valor de oxigenación en sangre correspondiente al 97 %, indicando que no es necesario actuar.

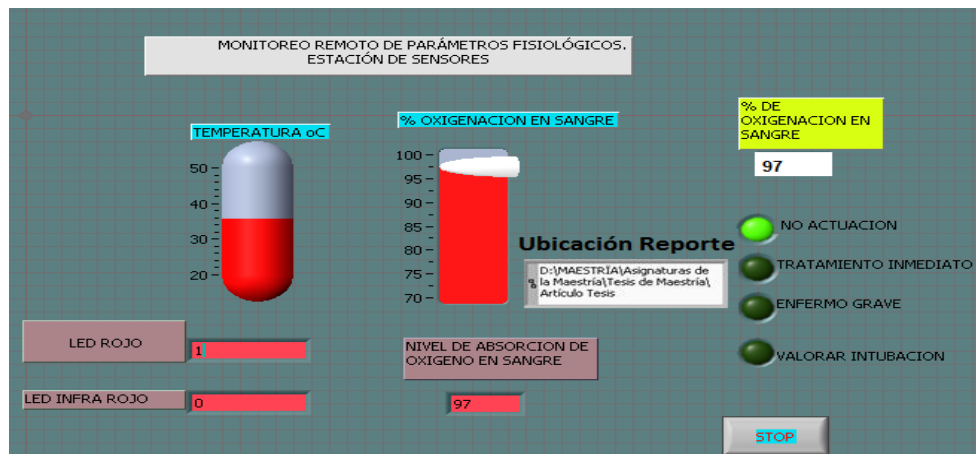


Figura 9: Vista del panel frontal del VI con los resultados de la primera prueba de implementación del SAD.

En la figura 10 se visualiza cómo, para el mismo valor de temperatura que en la figura anterior, que indicaría un patrón estable, los valores de oxigenación en sangre disminuyen hasta un 80 por ciento, indicando el estado grave del paciente.

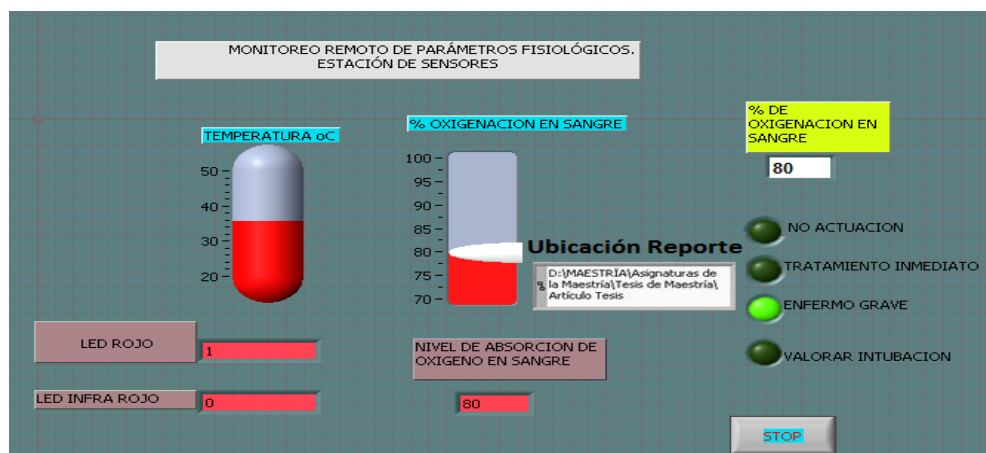


Figura 10: Vista del panel frontal del VI con los resultados de la segunda prueba de implementación del SAD.

Los valores anteriores fueron comprobados y se ajustó el funcionamiento del sistema utilizando patrones de referencia. En el caso del sensor de temperatura sus valores fueron referenciados contra un termómetro de vidrio con columna de mercurio, y en el caso del sensor de oximetría contra un monitor de parámetros fisiológicos marca Combiomed, modelo Doctus VII, fabricado por el Instituto de Investigaciones Digitales de Cuba (ICID). Para comenzar el proceso de comprobación de los resultados obtenidos respecto a los sistemas de referencias, se realiza la calibración inicial de cada uno de los sensores a emplear.

En el caso del sensor de temperatura LM35, que no requiere calibración según el fabricante, se utiliza como valor primario, la temperatura de 34 °C referenciada contra el termómetro de vidrio con columna de mercurio.

Para realizar pruebas prácticas se utilizó un horno marca HIRAYAMA como fuente de calor y con control de temperatura digital. Se colocan el termómetro antes señalado y el sensor dentro del horno. Los valores visualizados en la PC tienen un margen de variación respecto a los instrumentos empleados como referencia de 0.196 °C como promedio. La tabla 3 muestra el proceso de comprobación.

Tabla 3: Comprobación del comportamiento del sensor LM35.

Temperatura en termómetro.	Valores de tensión entregados por el sensor (mV).	Valor de temperatura visualizado en PC (°C).
34	340	34.001
35	350	34.985
36	360	36.012
37	370	37.011

38	380	38.001
39	390	38.994
40	400	39.002
41	410	40.004
42	420	42.010
43	430	43.020

De igual manera se comprobó el funcionamiento del sensor de oximetría. Se establecieron comparaciones con lo referenciado en el monitor modelo DOCTUS VII, logrando una calibración inicial. Se tomaron 15 pacientes como muestra, y en todos los casos las lecturas tanto de la referencia como del sensor empleado por el sistema propuesto en el diseño coincidían. Estas mediciones se realizaron conectando ambos dispositivos al mismo sujeto. Los valores de saturación que mide el sensor van desde 0 hasta el 100% con una resolución del 1%. El diseño propuesto se enmarca en el rango entre 70% y 100%, debido a que coincide con los niveles de oxigenación en sangre necesarios a ser monitoreados.

Con las variaciones de temperatura a las que fue sometido el sistema durante el proceso de comprobación, no hubo variaciones en los resultados verificados para el sensor de oximetría.

La frecuencia de transmisión de los módulos XBee es de 2.4 GHz. En los centros hospitalarios donde se realizaron pruebas de funcionamiento los equipos biomédicos no operan en esta banda por lo cual no provocan atenuación o pérdidas en la señal. En estos lugares no se realizaron pruebas de interferencia electromagnéticas, lo que no quiere decir que no deba ser tenido en cuenta.

Para lograr tener acceso remoto a los resultados mostrados, se empleó igualmente LabView. Entre sus potencialidades está la de crear una página web con la información generada por el usuario. Al desplegar el menú TOOLS de la barra de herramientas del software, se encuentra la opción WEB PUBLISHING TOOL. De los Instrumentos virtuales (VI) previamente elaborados, se selecciona el nombre del VI que se desea publicar. La información mostrada no podrá ser controlada ni modificada por usuarios remotos. Esta función solamente la realizará quien tenga acceso a la PC donde se aloje el Programa Principal implementado en LabView. Posteriormente se le asigna el título que se mostrará en la página publicada, CONTROL WEB. Automáticamente el sistema genera la dirección de acceso a la página que está en función de la ubicación en la red (IP) de la PC donde se aloje el sitio. En este caso: <http://miclab-07/test%20web.html>. Para visualizar esta página solamente hay que contar con un software que actúe como navegador de Internet. No se necesita tener instalado en cada PC de la red la herramienta LabView.

CONCLUSIONES

Se implementó un Sistema de Adquisición de Datos capaz de transmitir inalámbricamente hasta 200 metros señales de voltaje analógico. Se verificó su correcto funcionamiento mediante la simulación de los programas que se ejecutan en el PIC y en la PC. Además, se comprobó el software diseñado, así como comunicación inalámbrica entre el microcontrolador y la PC.

El sistema propuesto, al emplear módulos XBee, tiene un costo general y un consumo de energía inferior que los de sistemas que emplean WI-FI o Bluetooth como tecnología de comunicación. Puede adaptarse con relativa facilidad para atender diversos tipos de sensores haciendo pequeñas variaciones en el programa LabView que corre en la PC de acuerdo a las características de cada sensor sin necesidad de cambiar el núcleo del hardware del Bloque de Adquisición. Esto hace que el diseño sea flexible en su aplicación.

Comparado con los sistemas de monitoreo existentes en Cuba, la herramienta propuesta presenta como diferencia marcada el hecho de la comunicación inalámbrica entre los sensores ubicados en el paciente y la PC que procesa la información. Esta facilidad provee al personal médico ventajas a la hora de realizar su trabajo.

El diseño fue sometido a pruebas que garantizan que su empleo no resulte peligroso, ni para el paciente ni para el operador, y que su uso contribuya a elevar la calidad de los servicios brindados por el sistema de salud. Se midieron parámetros como la eficacia de las mediciones y las facilidades de operación. Para la realización de estas pruebas se sometió el equipo a condiciones críticas. Se realizaron ensayos para comprobar la respuesta del software ante posibles errores. En caso de ser validado el diseño para ser introducido en el sistema de salud, se realizarán otras pruebas requeridas.

REFERENCIAS

1. BARNEDA I. "ZigBee aplicado a la transmisión de datos de sensores biomédicos"; Memoria del Proyecto de Ingeniería Técnica en Telecomunicaciones; Universidad Autónoma de Barcelona; 2008. Vol. 1.
2. ZHANG Q. "A wireless solution for greenhouse monitoring and control system based on ZigBee technology". Journal of Zhejiang University. 2007; July: 15.
3. *Transmission of IPv6 packets over IEEE 802.15.4*. [ref. de 28 de septiembre 2016]. Disponible en Web: <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc4944.txt>.
4. "IEEE 802.15.4". [ref. de 28 de septiembre 2016]. Disponible en Web: <http://es.wikipedia.org>.
5. Maxstream. XBee/XBee- PRO OEM RF Modules. Product manual. 2009; 6: 4.
6. XBee. Ingeniería MCI. [ref. de 4 de junio 2016]. Disponible en Web: <http://xbee.cl/que-es-xbee>
7. *PIC 16F87X DATASHEET*. Microchip Technology. [ref. de 28 de septiembre 2016]. Disponible en Web: <http://www.glassdoor.com/Reviews/microchip-Technology-Reviews-E2298.htm>.

8. *Precision Centigrade of Temperature Sensors. Electronic.* [ref. de 20 de marzo 2017]. Disponible en Web:
<https://www.google.com.cu/search?hl=esCU&source=hp&biw=&bih=&q=Sensor+&btnG=Buscar+con+Google&gbv=2>>.
9. LÓPEZ-HERRANZ, Gonzalo. "Oximetría de pulso a la vanguardia en la monitorización no invasiva de la oxigenación". Revista médica del Hospital General de México, 2013, vol. 11, núm. 3, pp.160-169.
10. CFMedica. *Oxímetro de Pulso. Fingertip: Maipú.* [ref. de 24 agosto 2015]. Disponible en Web:
<http://www.cfmedica.cl>>.
11. Oxímetro de pulso OxiPEN. La oximetría rápida, cómoda y precisa. Envitec. [ref. de 7 mayo 2017]. Disponible en Web: <http://www.esense.cl/pdf/OxiPEN.pdf>>.