

Monitor de signos vitales con comunicación inalámbrica Wi-Fi para unidad de cuidados intensivos desarrollado en LabVIEW y la tarjeta myRIO-1900

Héctor García Estrada¹, Angelo Pastrana Manzanero¹,
Omar Alejandro Linares Escobar¹, Jeroan García Vázquez,
María Guadalupe Ramírez Sotelo², Agustín Ignacio Cabrera Llanos¹

¹ Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología,
Departamento de Bioprocesos, Ciudad de México, México

² Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología,
Departamento de Bioingeniería, Ciudad de México, México
aic11buda@yahoo.com

Resumen. Se presenta el diseño y desarrollo de un monitor de signos vitales con conexión inalámbrica, destinado para una unidad de cuidados intensivos considerando las variables de electrocardiografía, oximetría, neumografía, temperatura, frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria y saturación parcial de oxígeno. Este proyecto funciona en tres etapas: adquisición de las señales, procesamiento y transmisión. Se diseñaron circuitos de adquisición para las señales de electrocardiografía y neumografía; para la electrocardiografía se usó un amplificador, seguido de un circuito de aislamiento óptico y un filtro rechaza banda, para la neumografía se utilizó un transductor de temperatura; para la señal de temperatura se utilizó otro transductor de temperatura y para la oximetría se utilizó el sensor pulse sensor. El procesamiento de las señales se realizó mediante la tarjeta myRIO-1900 programada en LabVIEW filtrando digitalmente las señales, y obteniendo a partir de las señales de electrocardiografía, neumografía y oximetría, la frecuencia cardíaca, la frecuencia respiratoria y la saturación parcial de oxígeno, respectivamente. Finalmente, la transmisión de la información se realizó mediante una red Wi-Fi generada con la myRIO mediante direccionamiento IP y programando una interfaz en LabVIEW para su despliegue gráfico en una PC.

Palabras clave: LabVIEW, monitor de signos vitales, unidad de cuidados intensivos, myRIO-1900.

Vital Signs Monitor with Wireless Wi-Fi Communication for the Intensive Care Unit Developed in LabVIEW and the myRIO-1900 card

Abstract. The design and development of a vital signs monitor with wireless connection intended for an intensive care unit considering the variables of electrocardiography, oximetry, pneumography, temperature, heart rate, respiratory

rate and partial oxygen saturation is presented. This project works in three stages: signal acquisition, processing and transmission. Acquisition circuits were designed for electrocardiography and pneumography signals; an amplifier was used for the electrocardiography, followed by an optical isolation circuit and a band rejection filter, for the pneumography a temperature transducer was used; for the temperature signal another temperature transducer was used and for the oximetry the pulse sensor was used. Signal processing was carried out using the myRIO-1900 card programmed in LabVIEW, digitally filtering the signals, and obtaining the electrocardiography, pneumography and oximetry signals, heart rate, respiratory rate and partial oxygen saturation, respectively. Finally, the transmission of the information was done through a Wi-Fi network generated with the myRIO through IP addressing and programming an interface in LabVIEW for its graphic display on a PC.

Keywords: LabVIEW, vital sign monitor, intensive care unit, myRIO-1900.

1. Introducción

1.1. Monitor de signos vitales

En el área de la salud es de gran importancia el conocer a cada instante la evolución fisiológica del paciente, lo cual permite a médicos y enfermeras valorar las condiciones generales y específicas de este y tomar decisiones. Ante esta necesidad, surgió un avance tecnológico conocido como monitor de signos vitales [1].

Los monitores de signos vitales, dependiendo de su configuración, adquieren, amplifican, procesan, registran y despliegan señales y/o información numérica para varios parámetros fisiológicos. Las variables por medir suelen depender del uso que se le dará al monitor, así como de las especificaciones técnicas [2].

– Monitor de signos vitales Básico: los parámetros que despliega son electrocardiograma, frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria, temperatura, presión no invasiva y oximetría de pulso.

– Monitor de signos vitales Intermedio: despliega los parámetros de un electrocardiograma, frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria, temperatura, presión no invasiva, oximetría de pulso y monitoreo de segmento ST, siendo opcionales el monitoreo de la presión invasiva, el gasto cardíaco por termodilución, cinografía y otros parámetros, de acuerdo con la especialidad en la que se instale.

– Monitor de signos vitales Avanzado: los parámetros que despliega son electrocardiograma, frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria, temperatura, presión no invasiva, presión invasiva, oximetría de pulso, cinografía, monitoreo de segmento ST, y en algunos casos se agregan los parámetros de índice biespectral, gasto cardíaco, espirometría y otros parámetros, de acuerdo con la especialidad en la que se instale.

– Monitor de signos vitales de Transporte: despliega los parámetros de un electrocardiograma, frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria, temperatura, presión no invasiva y oximetría de pulso.

– Monitor de signos vitales de Anestesia Básico: los parámetros que despliega son electrocardiograma, frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria, temperatura, presión no invasiva, presión invasiva, gasto cardíaco cinografía, oximetría de pulso, monitoreo de segmento ST, gases anestésicos y respiratorios.

En caso del monitor desarrollado, a excepción de la medición de la presión arterial no invasiva, se cumplen los requisitos de un monitor de signos vitales básico.

1.2. NI myRIO-1900

La tarjeta de adquisición y control de señales NI myRIO-1900, es un dispositivo de diseño embebido, el cual cuenta con múltiples entradas y salidas para adquisición y envío, analógicas y digitales, canales de audio, una alimentación de salida, entre otras cosas. Esta se conecta a un ordenador por medio de un cable tipo USB o mediante una red inalámbrica propia, permitiendo así una integración rápida y fácil en aplicaciones remotas y embebidas. La tarjeta de control NI myRIO-1900 posee tres puertos principales, los cuales son nombrados mediante las letras A, B y C, de los cuales, los dos primeros son conocidos como puertos de expansión (MXP), mientras que el último es llamado puerto del mini sistema (MSP). Estos cuentan con una descripción del tipo de señales que pueden recibir o emitir [3].

1.3. LabVIEW

El uso de la tarjeta myRIO-1900 permite una facilidad de programación en el software LabVIEW, el cual es un lenguaje gráfico de programación utilizado como estándar en el desarrollo de aplicaciones de test y medida, control de instrumentación y sistemas de adquisición de datos por medio de la generación de VI (Virtual Instrument). National Instruments ha ido desarrollando desde hace cinco años nuevas áreas estratégicas, relacionadas con nuevos campos de trabajo como Simulación, Diseño de Control, sistemas embebidos en tiempo real (FPGAs, DSPs, microprocesadores), algoritmos matemáticos avanzados, entre otras cosas.

LabVIEW cuenta con una caja de herramientas exclusivas para la tarjeta myRIO-1900, en la cual encontramos los bloques de adquisición o generación de las señales, ya sean de tipo analógicas o digitales.

2. Metodología

2.1. Diseño del circuito

Se diseñó y construyó un circuito impreso en placa por software, considerando las etapas de cada una de las variables a medir en nuestro monitor. El circuito contempla tres alimentaciones separadas, una de más menos 15 V para el módulo de filtro del ECG y el acondicionador de señal de neumografía, otra de más menos 9 V para el circuito de amplificación del ECG y una 5 V para el oxímetro de pulso y los transductores de temperatura.

Las señales del sensor de pulso y el medidor de temperatura se toman directamente y se ingresan a la myRIO, mientras que la señal de ECG se somete a un proceso de acondicionamiento de señal, así como la señal de neumografía, de manera que ambas se trabajen adecuadamente por la myRIO. Esto se abordará con más detalle posteriormente.

2.2. Diseño del canal de ECG

En el diseño y desarrollo del canal de ECG se contemplaron tres módulos: amplificación y prefiltrado, adecuación y aislamiento, y filtrado de la señal. Para la amplificación y prefiltrado se utilizó un amplificador de instrumentación AD620 [4], con un arreglo en la ganancia realizado en un circuito RC, como se muestra en la Fig. 1.

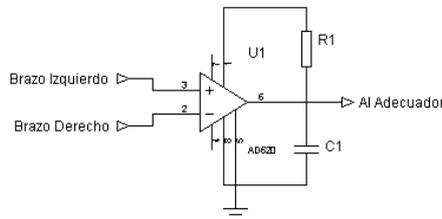


Fig. 1. Circuito de amplificación para el canal de ECG.

El arreglo RC que se colocó modifica la función de transferencia, generando un filtrado pasa banda en la ganancia, como se puede observar en la ecuación 1.

$$G = 1 + \frac{49.4 \text{ k}\Omega C s}{R_G C s + 1} \quad (1)$$

En el caso del módulo de adecuación y aislamiento se utilizó un amplificador diferencial para colocar la señal en los parámetros de operación del opto acoplador utilizado (4N25) [5], para la transferencia de la señal se polarizó el transistor del 4N25 [5], como emisor común obteniendo la señal de la base del transistor, como se puede observar en la Fig. 2.

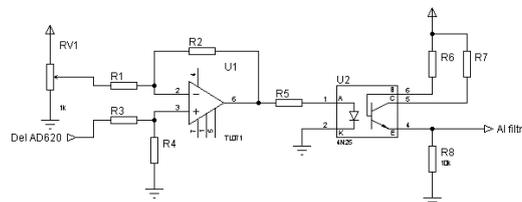


Fig. 2. Circuito de adecuación y aislamiento.

El circuito utilizado para la filtración fue de tipo notch, similar al que se muestra en la Fig. 3, logrando un filtrado rechaza banda a 60 Hz con un ancho de banda de rechazo de 6 Hz, eliminando el ruido de la línea.

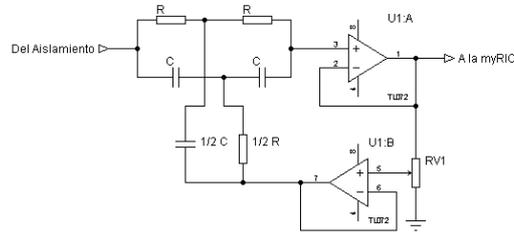


Fig. 3. Filtro de topología Notch.

La adquisición de la señal de ECG por la myRIO se programó en uno de los canales diferenciales debido a la capacidad de estos al leer valores de voltaje negativos. Una vez digitalizada la señal, se le aplicaron tres filtros: pasa bajas a 150 Hz, pasa altas a 0.5 Hz y rechaza banda a 60 Hz. La frecuencia de corte de los filtros pasa bajas y pasa altas se determinaron debido a que las señales de interés de un ECG, en un adulto se encuentran entre el ancho de banda de 0.5 a 120Hz, con un intervalo de hasta 50Hz [6].

2.3. Señal de pletismografía parcial de oxígeno no invasiva

Para la medición de la pletismografía y la saturación parcial de oxígeno se empleó el oxímetro de pulso Pulse Sensor modelo SEN-11574 [7], este funciona mediante una fuente de luz y un fototransistor. Cuando el sensor se encuentra en contacto con la punta del dedo o con el lóbulo de la oreja hay un cambio en la reflexión de la luz cuando la sangre es impulsada a través de los tejidos generando una señal analógica fluctuante. Esta señal es medida por la myRIO mediante un canal analógico referenciado a tierra.

Ya digitalizada la señal se somete a un proceso de filtrado digital con la finalidad de eliminar ruido de alta frecuencia. Posteriormente, de la señal de pletismografía se calcula la saturación parcial de oxígeno, a partir de la ley de Lambert-Beer (ecuación 2) donde a, b, c y d son constantes, R se obtiene a partir de la ecuación 3 aplicando el método de pico-valle [8].

$$SPO_2 = 100 \frac{a-bR}{c-dR}, \quad (2)$$

$$R = \ln \frac{V_{min}}{V_{max}}. \quad (3)$$

2.4. Neumografía y temperatura

Para la obtención de la señal de neumografía y temperatura se usó el transductor LM35 [9], el cual entrega una salida lineal de voltaje con respecto a temperatura a una razón de 10 mV por grado centígrado.

Para la temperatura se obtuvo la señal analógica directamente del sensor y se multiplica en el programa en LabVIEW para obtener el valor en grados centígrados. En lo que corresponde a la señal de neumografía, se le aplicó una ganancia a la señal del LM35 correspondiente por medio de un amplificador no inversor (Fig. 4); esto se

realizó debido a que la señal de neumografía se registró como los pequeños cambios de temperatura provocados por las inhalaciones y las exhalaciones.

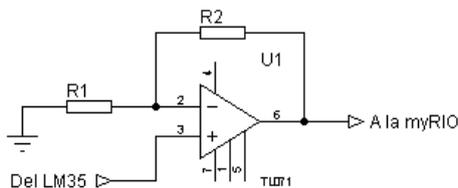


Fig. 4. Amplificador no inversor.

Después se establece la adquisición de la señal por medio de uno de los canales de entradas analógicas de la myRIO ubicados en el puerto C (MSP). Dicha señal es promediada y llevada a la siguiente etapa de nuestro algoritmo: la frecuencia respiratoria. Para ello se toma el valor máximo y mínimo dentro de un muestreo de 500 datos y se toma el promedio para delimitar el umbral que servirá como valor de referencia de nuestro contador. Esta operación se agrupa de igual manera en una estructura regida por un temporizador de 30 s, almacenando todas las elevaciones de nuestra señal detectadas. Por último, se multiplica este valor por 2 para obtener el número de respiraciones por minuto. El siguiente diagrama de flujo describe de manera general el proceso que se lleva a cabo en el cálculo de la frecuencia respiratoria (Fig. 5):

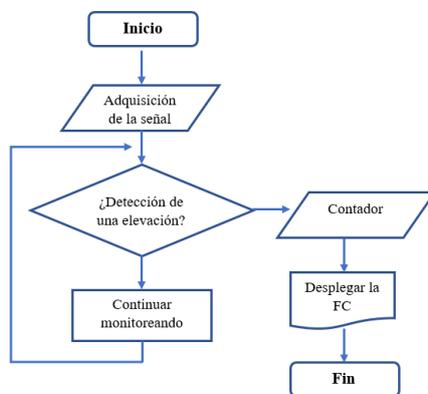


Fig. 5. Diagrama de flujo del algoritmo de frecuencia respiratoria.

Para la medición de temperatura corporal también se empleó un sensor LM35 por su salida en voltaje linealmente proporcional a la temperatura en grados centígrados, su baja impedancia de salida y su precisa calibración inherente de este dispositivo. También se encuentra clasificado para operar en un rango de -55 °C a 150 °C entrando en este rango el valor de temperatura corporal normal presente en el cuerpo humano.

La alimentación del sensor es llevada a cabo por el circuito antes mencionado, alimentando nuestro sensor con 5 V por medio de la señal de salida del conector C (MSP) de la myRIO, posteriormente la señal es tomada y llevada a través del circuito

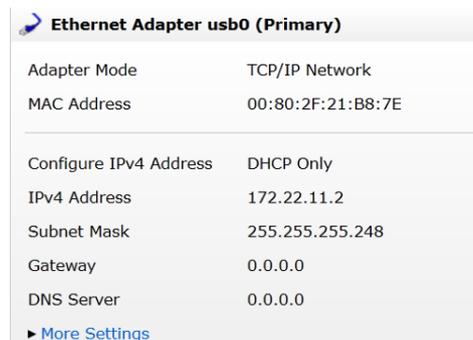
hacia uno de los canales de entrada analógica presentes en el conector A (MXP) de la myRIO. La señal es compensada mediante un control numérico, esto debido a la escala de la señal de salida con la que opera nuestro sensor (10 mV/°C).

2.5. Creación de una red inalámbrica

Para crear una red Inalámbrica en una tarjeta myRIO-1900 es necesario contar con el programa NI-MAX, el cual nos permite conocer las configuraciones existentes en la tarjeta, así como modificarlas.

En ella podemos observar los sistemas remotos conectados a la computadora personal, al seleccionar un sistema en específico en la parte derecha de la pantalla se despliega la configuración existente de la tarjeta.

En el apartado Ethernet Adapter usb0 (Primary) se despliega la dirección IP, así como la configuración de esta y la sub-máscara de la tarjeta (Fig. 6).



| Ethernet Adapter usb0 (Primary) | |
|---------------------------------|-------------------|
| Adapter Mode | TCP/IP Network |
| MAC Address | 00:80:2F:21:B8:7E |
| Configure IPv4 Address | DHCP Only |
| IPv4 Address | 172.22.11.2 |
| Subnet Mask | 255.255.255.248 |
| Gateway | 0.0.0.0 |
| DNS Server | 0.0.0.0 |
| ► More Settings | |

Fig. 6. Ethernet Adapter usb0 (Primary).

En el apartado *Wireless Adapter wlan0* tenemos las configuraciones inalámbricas de la tarjeta, la cual nos da tres opciones de configuración, para crear la red se selecciona la opción *Create Wireless network*, una vez seleccionada dicha opción se verifica que el país corresponda, en el caso particular, México.

Posteriormente, aparecerá la opción para configurar el nombre de la red, en la cual se le asignará el nombre deseado y se podrá elegir el tipo de configuración de la dirección IP, DHCP Only, lo cual nos genera de manera automática la dirección IP y la sub-máscara, de la red creada.

2.6. Posicionamiento de electrodos y sensores

Para la determinación del correcto funcionamiento del proyecto, fue necesaria la realización de pruebas a distintos pacientes.

En la Fig. 7 P se muestra el oxímetro de pulso conectado al dedo índice del paciente y fijado con velcro para evitar falsos contactos y alteraciones por movimiento de la señal de pletismografía.

En la Fig. 7 N se puede visualizar la conexión del sensor de neumografía en el labio superior adherido con microfibras y colocado en la boca de la fosa nasal para sensar los

cambios de temperatura por respiración y a partir de ahí obtener la frecuencia respiratoria.

Para la conexión al módulo del ECG, se emplean latiguillos conectados a un Jack 3.5 con electrodos de campana (Fig. 7 E) conectados al paciente con base al triángulo de Einthoven para las derivaciones bipolares. A partir de esta señal se obtiene la frecuencia cardiaca del paciente

En la región axilar izquierda está colocado el sensor (Fig. 7 T) para obtener el valor de la temperatura corporal de la piel del paciente.

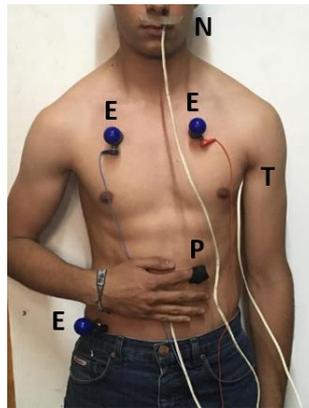


Fig. 7. Conexiones conjuntas de los sensores.



Fig. 8. Se muestra la visualización de la adquisición de las señales.

3. Resultados

Para la realización de pruebas, se despliega en el panel frontal la interfaz desarrollada en LabVIEW de la monitorización de las señales fisiológicas como son: ECG, neumografía, pletismografía, respectivamente, como valor numérico la Frecuencia

Cardiaca, Frecuencia Respiratoria y Saturación Parcial de Oxígeno y finalmente el indicador gráfico (termómetro) correspondiente al valor de la temperatura corporal (Fig. 8).

En la Fig. 9 se muestra el proceso de medición de los signos vitales de un paciente, conectando las señales analógicas a la tarjeta myRIO la cual inalámbricamente transmite los datos al ordenador, el cual es proyectado en una pantalla.



Fig. 9. Tarjeta myRIO-1900, con los sensores y circuitos diseñados mostrando en LabVIEW las señales monitoreadas.

4. Conclusiones

Se realizó un monitor de signos vitales en el cual se adquirieron, adecuaron y filtraron las señales fisiológicas tomadas de un paciente para visualizarlas en la interfaz de LabVIEW en tiempo real. El módulo Wi-Fi de la tarjeta myRIO permite el envío de datos vía inalámbrica Wi-Fi lo que posibilita la obtención a distancia de los parámetros del paciente a diferencia de los monitores comerciales. La realización de este trabajo puede abrir paso a una central de monitoreo más extenso en la que se haga una transmisión de señales vía inalámbrica Wi-Fi de distintos pacientes en tiempo real para una unidad de cuidados intensivos.

Referencias

1. Jiménez-Ortiz, M.: Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud. Obtenido de <http://www.cenetec.salud.gob.mx>: http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/biomedica/guias_tecnologicas/24gt_centrales_monitoreo.pdf (02 de Junio de 2006)
2. Secretaria de Salud: CENETEC. Retrieved from Guía Tecnológica No. 13: Monitor de Signos Vitales.: http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/biomedica/guias_tecnologicas/13gt_monitores.pdf (enero, 2005)
3. National Instruments: Manuales de Productos. Retrieved from National Instruments: <http://www.ni.com/pdf/manuals/376047c.pdf> (febrero 27, 2018)
4. Analog Devices: Low Cost Low Power AD620. Retrieved from Technical Documentation, Datasheets: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/datasheets/AD620.pdf> (2011)

5. Vishay Semiconductor: 4N25, 4N26, 4N27, 4N28 Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection. Retrieved from Vishay Semiconductor Docs: <https://www.vishay.com/docs/83725/4n25.pdf> (2017)
6. Kligfield, P., Gettes, L. S., Bailey, J. J., Childers, R., Deal, B. J., Hancock, E. W., Mirvis, D. M.: Recommendations for the Standardization and Interpretation of the Electrocardiogram. *Journal of the American College of Cardiology*, pp. 1109–1127 (2007)
7. World Famous Electronics llc: Pulse Sensor, Easy to use heart rate sensor and kit. Retrieved from Pulse Sensor: https://cdn.shopify.com/s/files/1/0100/6632/files/Pulse_Sensor_Data_Sheet.pdf?14358792549038671331 (2016)
8. Mazón, A., Rojas, S., Sánchez, E., Ramírez, G., Cabrera, A.: Oxímetro de pulso para monitoreo no invasivo aplicado en el monitoreo atlético. En: *Memorias del VII Congreso Nacional de Tecnología Aplicada a Ciencias de la Salud*, (2016)
9. Texas Instruments: LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors. Retrieved from Texas Instruments Datasheets: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf> (2017)