

Mejoras del método oscilométrico de medición de la presión no invasiva en el monitor de paciente DOCTUS VI

Mario J. García Valdés¹, Daria Vasilievna Kuchinskaia²

¹Instituto Central de Investigación Digital . Cuba. Calle 202 #1704, Siboney, Playa. Correo: marioj@icid.cu

²Instituto Central de Investigación Digital (ICID), La Habana, Cuba. Correo: dasha@icid.cu

RESUMEN/ABSTRACT

Este trabajo recoge algunas mejoras en la medición de la presión arterial de forma no invasiva, por el método oscilométrico tales como: la utilización de servo válvulas para el control del desinflado lento, la detección de casos cuando el brazalete del paciente está suelto, el tratamiento especial a los casos de pacientes con bradicardia y se hace una detección preliminar del movimiento del paciente. Todo esto permite un proceso de medición más eficiente y exacto con rangos de medición amplios.

Palabras Claves: Método oscilométrico, Presión no Invasiva, servo válvulas.

Some improvements in non invasive measurement of arterial blood pressure by oscillometric method are presented in this paper. They are the use of servo valves in slow deflation control, detection of the case the patient cuff is free, special treatment of patients with bradychardia and preliminary detection of patient movements. All of that allows measurement process more efficient and accurate with wider measurement ranges.

KeyWords: Non Invasive Blood Pressure, Oscillometric method, Servo Valves.

Improvement in Oscillometric Method for measuring Non Invasive Blood Pressure in Patient Monitor DOCTUS VI.

INTRODUCCIÓN

La medición de la presión arterial en el Monitor DOCTUS IV y su uso en muchos hospitales data de hace más de 10 años. Para ello se utilizó el método oscilométrico con un respaldo en la parte electrónica de válvulas de desinflado lento, con un ajuste mecánico manual, muy susceptible de modificarse de forma no intencional con el paso del tiempo y cambios de temperatura, lo cual genera constantes llamados al Servicio Técnico para su reajuste, toda vez que ello provoca mediciones incorrectas de ese parámetro.

Por otro lado, el *software* asociado no garantiza la medición adecuada, ni la indicación correcta en condiciones de pacientes con arritmia de Bradicardia, lo que por la esencia del método en sí mismo, puede ocasionar valores no reales.

De igual forma, dado que el equipo puede ejecutar la medición en el Modo Automático, en el que se fija un tiempo o intervalo entre mediciones y éste las ejecuta de forma autónoma, ello puede ocurrir aún cuando el brazalete (*cuff*) no se encuentra en

el brazo del paciente, lo que provoca un inflado excesivo de éste y su posible ruptura.

Finalmente, uno de los aspectos inherentes a este método es su falta de exactitud, e incluso la posibilidad de no poder ejecutar la medición, cuando el paciente se mueve.

MATERIALES Y MÉTODOS

La medición no invasiva de la presión arterial (PNI) se realiza utilizando un brazalete que se infla y desinfla, envuelto alrededor del brazo del paciente. Se emplea el método oscilométrico que permite realizar la medición de la presión arterial de forma no invasiva brindando como resultado el valor de las presiones sistólica, diastólica y media del paciente. Estos valores se actualizan cada vez que se ejecuta una medición y se almacenan para la visualización. En la medición de las presiones, adicionalmente, se calcula el valor de la Frecuencia Cardíaca.

La técnica oscilométrica funciona sobre el principio de que, mientras la banda se desinfla lentamente desde un nivel por encima a la presión sistólica, las paredes de la arteria comienzan a vibrar u oscilar a medida que la sangre fluye a través de la arteria parcialmente ocluida, y estas vibraciones son captadas en el transductor que monitorea la presión sanguínea. Cuando la presión en la banda sigue disminuyendo, las oscilaciones aumentan hasta una amplitud máxima y luego disminuyen hasta desaparecer, momento en que la banda se desinfla completamente y el flujo de sangre regresa a la normalidad [1].

La presión en la banda en el punto de máxima oscilación normalmente se corresponde con la presión arterial media, tal y como se muestra en la figura 1. El instante en que las oscilaciones (punto por encima de la presión media en la figura 1) comienzan rápidamente a aumentar en amplitud, se corresponde con la presión sistólica. De igual forma, el instante en que esta variación de las oscilaciones finaliza se corresponde con la presión diastólica (punto por debajo de la presión media en la figura 1) [2].

El método oscilométrico se basa en los pulsos oscilatorios de presión que se generan en la banda durante el desinflado de la misma. Las presiones se determinan aplicando criterios matemáticos a la curva envolvente formada al dibujar, en un plano XY, cierta característica de los pulsos oscilatorios (denominada *pulso índice oscilométrico*) contra la presión base de la banda [3].

En la figura 2 se muestra un diagrama en bloques del módulo electrónico para la medición de PNI [4]. En este diagrama se observan:

- **Amplificador:** Basado en el AD620. Posee ganancia ajustable para asumir las variaciones de las características del sensor de presión. A su salida se obtiene la Presión Absoluta.
- **Filtro Pasabanda:** Con frecuencias de corte en 0,6 y 6,2 Hz. A su salida se obtiene la Presión Oscilatoria.
- **Multiplexor:** Deja pasar la Presión Absoluta o la Presión Oscilatoria hacia el Conversor A/D, según solicite el *firmware* de control.
- **Conversor A/D:** Envía al PIC el valor digital, en 12 bits, de la presión de la banda. (Presión Absoluta y Presión Oscilatoria).
- **Protección de Sobrepresión:** Introduce al PIC la señal resultante de la comparación entre la presión absoluta y la de referencia de límite (150 mmHg en neonatos y 300 mmHg en adultos y niños). La referencia puede ser ajustada, a partir de la tolerancia de las componentes.
- **PIC Parámetros:** El *firmware* de este PIC:
 - controla los elementos del bloque electrónico,
 - recibe comandos del *firmware* desde el PIC PNI (accionar la bomba, apagar la bomba, abrir la válvula solenoide, etc.)
 - envía al PIC PNI las muestras de presión absoluta y oscilatoria cada 5 ms, así como la información de

eventos (como: presión excedida y tecla presionada).

- realiza otras funciones asociadas al resto de los parámetros
- **PIC PNI:** El *firmware* de este PIC
 - recibe los datos instantáneos de las presiones Absoluta y Oscilatoria
 - envía comandos al PIC Parámetros
 - ejecuta el algoritmo de cálculo de las presiones y la frecuencia cardíaca
 - envía los datos calculados a la *motherboard* del equipo.

El *firmware* del PIC PNI se desarrolló sobre el ambiente MPLAB (*Microchip Development Systems*) en el lenguaje C para el un microcontrolador tipo PIC [5]. El programa ejecutable es grabado en la memoria interna de dicho microcontrolador.

Para realizar una medición, DOCTUS VI infla, inicialmente, el brazalete hasta un valor estándar que depende del tipo de paciente:

- Adulto: 180 mmHg
- Niño: 140 mmHg
- Neonato: 100 mmHg

y luego comienza a desinflar el brazalete lentamente para tomar los valores de presión instantáneos y realizar el cálculo de las presiones.

Una de las mejoras del nuevo método está en utilizar una servo válvula (válvula controlada por voltaje) para realizar el desinflado lento, a una razón promedio aproximada de 3 mmHg/s. La válvula se maneja por el *firmware*, dejando pasar más o menos flujo de aire en dependencia del tipo de paciente y si existe, o no, bradicardia.

Para inflar el brazalete se cierran la válvula solenoide y la servo válvula y se activa la bomba hasta que se alcanza la presión requerida en el sistema neumático. A partir de ese instante comienza el desinflado lento abriendo la servo válvula según el volumen total de aire en el sistema, lo cual depende de varios factores entre los que se encuentra el tipo de paciente.

El programa va chequeando la presión en el sistema y va tomando la decisión, en cada instante, de la abertura de la servo válvula para lograr el propósito de la razón de desinflado que corresponde a cada tipo de paciente. Este control garantiza un razón de desinflado lineal y constante en todo el rango de medición, desde que comienzan los pulsos, hasta que desaparecen.

En ese momento, cuando ya se ha definido que es posible la medición y que se pueden obtener los 3 valores de presión, se abren simultáneamente la válvula solenoide y la servo válvula y con ello se libera todo el aire contenido en el sistema neumático. De este modo, la servo válvula también garantiza que no se quede comprimido el brazo del paciente.

Si el resultado es satisfactorio, DOCTUS VI memoriza la presión sistólica obtenida y cuando vuelva a realizar la medición del parámetro PNI, inflará el brazalete hasta un valor que será un tanto superior al valor de la presión sistólica, para proteger el brazo del paciente. De esta manera, en cada medición se realiza un proceso de “Aprendizaje”.

En el proceso de medición es muy importante el número de muestras que se obtienen durante el proceso de desinflado. Ello depende de la frecuencia cardíaca del paciente.

En los casos de pacientes que presentan bradicardia pronunciada (con la cantidad de pulsos por debajo de 50 latidos por minuto), la precisión de medición puede empeorar por la pequeña cantidad de pulsos que se recoja durante el proceso de desinflado.

Si en el proceso de medición se detecta una bradicardia, el programa indica el resultado de la medición en la pantalla, muestra la curva y avisa de la presencia de bradicardia. El equipo repite la medición, con la misma presión de inflado de la banda, alargando el tiempo de desinflado lento para recoger más pulsos y hacer la medición más precisa. Así, el nuevo intento de medición deberá arrojar un valor más cercano a la realidad.

Es conocido que los movimientos del paciente alteran el valor de la medición [6]. Al programa del PIC PNI se ha adicionado, como otro elemento de mejora, un módulo que detecta si el paciente se ha movido. Si durante la medición de la presión arterial se detectan los movimientos de paciente, se muestra el mensaje “**Paciente inquieto o pulsos irregulares**” y se repite, de manera automática, la medición con la misma presión de inflado.

Si en el reintento de medición se repiten los movimientos, el programa termina el segundo intento de medir la presión y no habrá más reintentos, quedando la indicación de que los valores corresponden a un paciente en movimiento. En caso de que no haya movimientos, aparecen los valores sin la indicación.

En el DOCTUS VI hay tres modos de medir la PNI:

- **Medición Manual:** la medición se realiza una sola vez después que se da la orden manualmente.
- **Medición Automática:** la medición se realiza periódicamente, de forma automática, a intervalos de tiempo preestablecidos. El intervalo puede ser seleccionado en la configuración del parámetro. Los intervalos en minutos son: **2, 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240, 480.**
- **Medición Continua:** se realizan mediciones durante 5 minutos de forma continua, después que se da la orden de medir.

El equipo permite la ejecución de una medición manual o continua dentro de un intervalo en el modo de Medición Automática, lo cual constituye una ventaja en el caso de que la situación del paciente requiera de la medición sin esperar a concluir el tiempo correspondiente al intervalo.

El Monitor es capaz de detectar la situación que ocurre cuando el brazalete del paciente está suelto, o sea, no está ajustado en

su brazo y, si el equipo estaba en Modo Automático de medición, abortar este Modo, entrar en el Modo Manual para evitar inflados innecesarios del brazalete y emitir una indicación de **Brazalete Suelto**.

El *firmware* tiene previsto controlar las situaciones erróneas en el sistema neumático, como por ejemplo, se mide el tiempo de inflado de la banda, el tiempo de desinflado lento, el tiempo general de la medición y la sobrepresión en el sistema. En caso de error, se visualiza el aviso y termina cualquier medición, liberando la presión existente en el sistema. Si esto ocurre durante una medición por intervalo, se aborta el Modo Automático y entra en el Modo Manual.

RESULTADOS

Para comprobar los resultados de las mejoras implementadas, se realizaron ensayos técnicos de los Monitores y ensayos de uso en varios hospitales y todos arrojaron un índice satisfactorio en su explotación durante el tiempo previsto para éstos.

El método descrito en este trabajo, con todas las mejoras mencionadas, está implementado en el Monitor de Paciente DOCTUS VI, y se encuentra instalado y en explotación en varias instituciones hospitalarias de Salud Pública de Cuba y Venezuela.

CONCLUSIONES

Los cambios realizados en el módulo de medición de PNI de los Monitores DOCTUS VI ofrecen una mayor fiabilidad en las mediciones del equipo, así como elimina la necesidad de ajustes por parte del Servicio Técnico, a menos que suceda alguna rotura.

De igual forma, se resolvió el problema de la rotura de brazaletes cuando se dejaba el equipo encendido, con medición Automática y sin colocar el brazalete en el brazo del paciente.

Un importante aspecto ha sido el trabajo realizado para la medición de la presión arterial no invasiva a pacientes con bradicardia, así como la mejora obtenida en la medición e indicaciones en los pacientes que tienen movimientos en el momento de la misma.

Por otra parte, el personal médico y paramédico tiene una herramienta más segura en sus manos.

Hoy se trabaja en nuevas mejoras para este método con el propósito de reducir el tiempo en el inflado y el tiempo total de medición.

RECONOCIMIENTOS

Los autores desean expresar su reconocimiento por el apoyo y contribución que en todo este trabajo ha brindado la Lic. Adria R. Fernández Fornés.

REFERENCIAS

1. **Sapinski, A.** "Standard algorithm of blood-pressure measurement by the oscillometric method". Letters to the Editor. Medical & Biological Engineering & Computing. Nov.1992.
2. **Rolando del Rey**, Tesis de maestría: "Método oscilométrico de medición de presión arterial", abril,1998,ICID
3. **Sapinski, A.** "Standard algorithm of blood-pressure measurement by the oscillometric method". Letters to the Editor. Medical & Biological Engineering & Computing. Sep. 1994.
4. Manual de Servicio Técnico. DOCTUS VI. Enero 2003.
5. Manual del Programa. DOCTUS VI. Agosto 2003.
6. **Kim_Gau, Ng** "Blood pressure measurement". Medical Electronics, Feb. 1997.

AUTORES

Mario J. García Valdés, Ing. Electricista, especialidad en Telecomunicaciones, Investigador Titular, Instituto Central de Investigaciones Digitales. Telf.: 2715666 ext. 1241. e_mail: marioj@icid.cu .

Jefe del Departamento de Sistemas Digitales 2 y jefe de los proyectos de Monitores DOCTUS. Ha trabajado en esa dirección desde hace más de 15 años. Además, trabajó en el diseño de sistemas automatizados, diseño de *displays* que se convirtieron en rubros de exportación, entre otras actividades.

Actualmente trabaja en el desarrollo de un nuevo modelo de monitor con mayores prestaciones y posibilidades.

Daria Vasilievna Kuchinskaia, Ing. Electricista, especialidad en Máquinas Computadoras Electrónicas, Investigadora Agregada, Instituto Central de Investigaciones Digitales. Telf.: 2715666 ext. 1242. e_mail: dasha@icid.cu .

Ha participado en la medición de PNI en los monitores DOCTUS desde hace más de 8 años. También trabajó en el desarrollo de otros equipos, en la parte del *firmware*.

Actualmente labora como parte del colectivo de desarrollo del nuevo modelo de monitor DOCTUS.

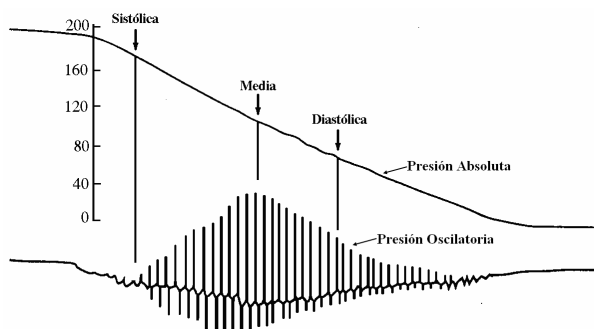


Figura 1: Curva de Presión Oscilatoria

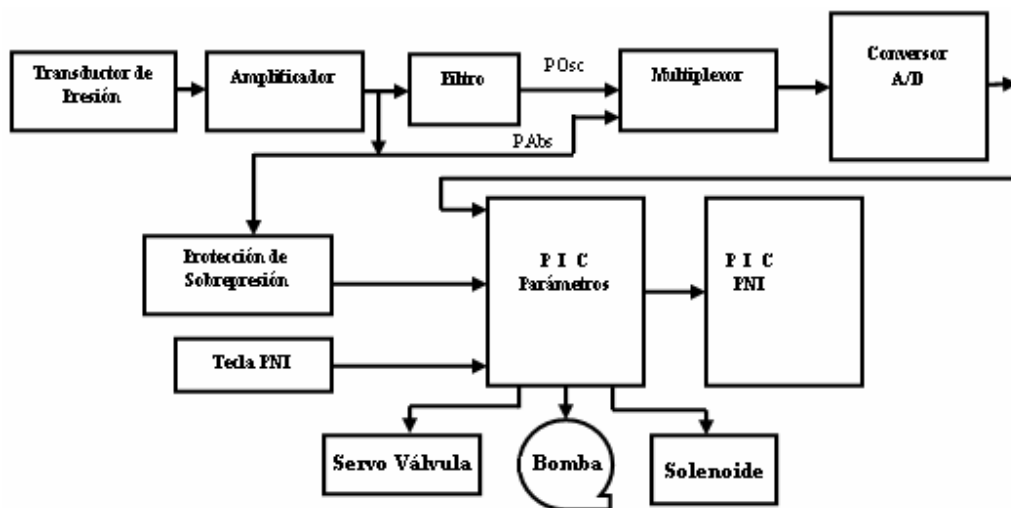


Figura 2: Diagrama en bloques del módulo electrónico para la medición de PNI