
PESOPAC: DISPOSITIVO INTELIGENTE PARA EL REGISTRO DEL PESO DE PACIENTES CRÍTICOS

F. Haim*, R. Hernández*, R. Suárez*, F. Simini* y H. Píriz**

* Universidad de la República / Núcleo de Ingeniería Biomédica, Montevideo, Uruguay

** Universidad de la República / Departamento de Fisiopatología, Montevideo, Uruguay

e-mail: fiorella@fing.edu.uy

Abstract: *PesoPac is an intelligent system that weights the bed and records the patient's weight evolution with a 100 g accuracy. The measure filters variations other than from the patient, as those due to objects present on the bed.*

PesoPac shows the weight, records and displays it in a graphical way and prepares a detailed report for the clinical history. It is used in Intensive Medicine and Nephrology where its connection to the local network enables the feeding of a database.

PesoPac has four metallic bases upon which one can slide the bed and has a mini-computer at the head of the bed to display the data, with a network connection.

Palabras clave: weight measure

Introducción

Variaciones en el peso de los pacientes reflejan variaciones en la cantidad de agua del organismo ya que 65% de su peso es agua. Estas variaciones pueden indicar cambios en los tratamientos o diagnosticar enfermedades que se caracterizan por acumular líquidos en el cuerpo. Si bien resulta vital conocer la evolución del peso de los pacientes críticos, no es conveniente moverlos debido a su condición, por lo que se descarta la posibilidad de pesarlos en una balanza común. Actualmente en Uruguay se utilizan métodos indirectos de medición: se estima la pérdida de líquido debida a la transpiración, mediante tablas o se realizan balances anotando todo lo que ingiere y elimina el paciente. Durante la investigación preliminar del proyecto se encontraron dos camas adaptadas para alojar balanzas industriales, ambas inutilizadas debido a desperfectos. Estas balanzas cuentan con un indicador de peso que despliega el peso actual. No se almacenan los datos, no se procesan en forma inteligente, ni se generan informes. En el mercado internacional tampoco se encuentran equipos con estas características, aunque algunos son más flexibles, ya que pueden utilizarse en cualquier cama, pero los precios son altos para la realidad nacional. *PesoPac* (PESO del PACiente) es un sistema de medida de la evolución de la masa corporal de un paciente. Consta de: elementos pesantes, un medio de adquisición y despliegue del peso y su evolución, comunicación con la red hospitalaria y un

programa para bajar esos datos, visualizarlos y realizar informes.

El objetivo general era determinar el peso de pacientes críticos y registrar su evolución sin moverlos. Los objetivos específicos:

- medir las variaciones de peso del paciente.
- discriminar entre variaciones del peso del paciente y otras alteraciones de la señal peso.
- desplegar la información obtenida.
- almacenar los últimos datos y generar un informe para adjuntar a la historia clínica del paciente.

En el marco de los proyectos de fin de carrera del Núcleo de Ingeniería Biomédica (NIB) descritos en otra publicación [1] se emprendió el desarrollo de *PesoPac* al haber comprobado que era posible aportar elementos de originalidad a la solución del problema del monitoreo del peso. En el proyecto de *PesoPac* participa el Departamento de Fisiopatología de la Facultad de Medicina, en la financiación el Consejo de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICYT) y en las pruebas el Departamento de Medicina Intensiva del Hospital de Clínicas. Las actividades del NIB son coordinadas en el Departamento de Control y Electrónica Industrial del Instituto de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería.

Materiales y Métodos

Uno de los desafíos consiste en medir pesos del orden de centenas de kilos con una precisión de 100 g (del orden del 1 ‰). Otro, distinguir las variaciones de peso no atribuibles al paciente. Además, las interfaces de usuario deben ser sencillas de utilizar, para que sea útil en la clínica. Se presentan a continuación los criterios de diseño y las tecnologías empleadas en cada bloque de *PesoPac*.

Los transductores utilizados son celdas de carga. Para tener un diseño flexible se utilizan celdas de plataforma, que no exigen una unión rígida con la cama e internamente corrigen el efecto de las fuerzas en ángulos que no sean los del eje de medida. Las celdas son de capacidad nominal de 100 Kg, contando con un rango de medida de hasta 400 Kg. Para cumplir con los objetivos y distinguir variaciones de 200 g, el error total

de cada celda debe ser menor a 0,03%, las celdas utilizadas tienen un error total de 0,02%. Para la elección de las celdas, se consideraron además aspectos constructivos: el tamaño máximo de plataforma que admiten, que es una medida indirecta de la compensación de la celda y debe ser suficiente para colocar una rueda de cama; la altura de la celda, que debe permitir colocar las bases bajo las patas de una cama sin gran esfuerzo; la protección ambiental necesaria para poder ser instaladas en un entorno donde podrían entrar en contacto con agua.

Bases. A cada celda se le coloca una plataforma de 15 x 15 cm y una rampa para facilitar la subida de una cama con ruedas. Se agregan barandas laterales que además de alojar a la rueda o pata de la cama impiden que la plataforma se doble, asas y goma deslizante. Se protegen los cables y los conectores. El esquema del diseño de las bases es el de la Figura 1. A partir de las 4 celdas de carga, se obtienen 4 señales de voltaje que se suman para obtener el peso total. Se realiza la suma analógica y luego se adquiere, según [2].

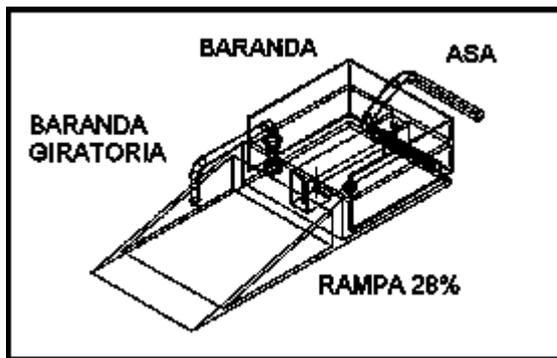


Figura 1 Perspectiva de una de las bases de PesoPac.

Estación PesoPac. La estación PesoPac transforma el voltaje de las celdas de carga en pesos, los presenta y recibe comandos del usuario, y asegura la comunicación por la red local.

El rango de datos de interés es extenso. La frecuencia de conversión necesaria es baja, ya que las variaciones de peso son lentas. Se opta por utilizar un chip conversor analógico digital (ADC) de al menos 14 bits, de bajo costo, en conjunto con la entrada digital de un terminal inteligente (TI) sencillo. Se buscó un TI con: interfaz con Ethernet; pantalla y teclado básicos; 2 entradas digitales; 2 salidas digitales; memoria RAM de 32 Kbytes; memoria ROM de 128 Kbytes. Se opta por el OP 6700 de ZWORLD [3], ya que es el TI que reúne todos los requisitos al precio más bajo.

Las características eléctricas de la señal a adquirir son:
 Rango de salida: de 0 a $2\text{mV/V} * V_{\text{excitación}}$
 $V_{\text{excitación}} = 5\text{V}$, entonces Fondo de Escala = 10 mV
 Resolución: 5000 divisiones del fondo de escala.
 Voltaje de modo común: $0,46 * V_{\text{excitación}}$
 Frecuencia de interés: desde continua hasta pocos Hz

Varios diseños proporcionarían la precisión deseada, es decir, la resolución de la conversión sería menor a 2,5 μV . La alternativa clásica consiste en amplificar la señal para aprovechar todo el rango de un ADC. La alternativa elegida es la de utilizar un ADC de mayor número de bits que el necesario, sin amplificación previa y solo en una región de su rango de entrada. Este método simplifica notoriamente la complejidad del circuito. La arquitectura interna de estos conversores consiste en un pre-amplificador seguido de un ADC, por lo tanto se tiene un circuito equivalente al de la opción clásica, pero con la ventaja de ser integrado.

Esta decisión se tomó luego de comparar ambos circuitos con respecto a la comunicación digital y al efecto de ruido e interferencia. Se tomó para la comparación analógica del sistema la desviación estándar (DE) expresada en μV referidos a la entrada, de 150 muestras de adquisiciones digitales. Si la DE es 2 o 3 veces menor que el voltaje que se quiere resolver, el 95 y el 99.5% de las muestras estarán dentro del error admisible. El diseño elegido presenta un DE 4 veces menor que el valor a resolver.

Los amplificadores deben trabajar a bajas frecuencias, por lo que deben ser de bajo ruido, sobre todo en continua, prestando especial atención al ruido 1/f y a la deriva del voltaje de offset. El ADC necesita alimentación de +5V. Al circuito se le agregan reguladores de tensión para minimizar el largo de las pistas de alimentación y separar las partes digital y analógica. El integrado AD7730 se comunica con el TI por medio de una interfaz SPI. Se conecta la alimentación de la celda a las entradas Vref y se obtiene una medida radiométrica. Con condensadores a la entrada se forman filtros pasabajos de 1º orden, con $f_c \approx 18\text{ Hz}$. Se usan criterios de [4] y proporcionados por los fabricantes de los componentes utilizados [5] para reducir el ruido y la interferencia. El diagrama del circuito es el de la Figura 2.

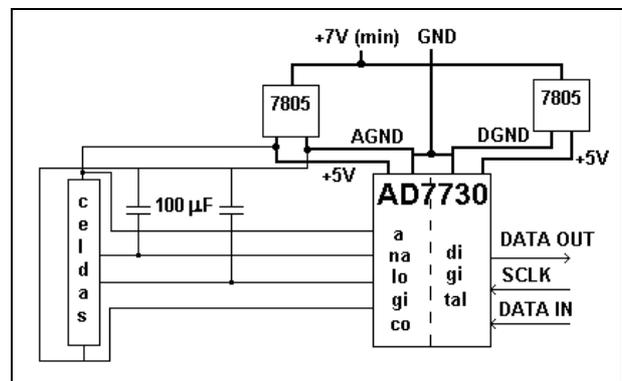


Figura 2 Diagrama del circuito de adquisición de pesos de PesoPac.

Se programa el conversor para operar en un rango de entrada diferencial de 0 a 10 mV. Se obtienen 150

adquisiciones con las 4 celdas montadas en las bases. El promedio del conjunto es de 303 μ V y la DE de 0.5 μ V que equivale a una incertidumbre a la salida de 42 g (medida de incertidumbre: 2 DE).

Para la programación del op 6700 se utilizó el lenguaje Dynamic C. El programa adquiere los datos del ADC y los despliega en la cabecera de la cama del paciente. Implementa las siguientes tareas:

- Adquirir un dato a intervalos definidos.
- Interrogar al teclado (menú)
- Actualizar la pantalla con el último peso y la hora.
- Modificar parámetros de entorno
- Procesar datos.
- Crear archivos con los pesos
- Enviar archivos al servidor PesoPac

Para atender en simultáneo estas tareas, se utiliza el sistema de multitarea cooperativa de Dynamic C. La adquisición de pesos se realiza automáticamente cada 3 segundos. El procesamiento depende del estado del sistema: normal, pausado o filtrando. En el modo normal, se guarda un dato formado por un peso y la hora de su registro. Si el sistema se encuentra en modo filtrando, se asume que las variaciones de peso corresponden a la tara, mientras que si está en modo pausa, se asume que la variación de peso es atribuible al paciente. El sistema puede ser configurado por el usuario para guardar datos automáticamente cada intervalos de tiempo entre 3 minutos y 24 horas, además en cualquier momento el usuario puede tomar un peso manual que queda guardado. Desde el menú, se puede acceder a una tabla con los pesos del paciente. La pantalla principal despliega datos del paciente, fecha y el peso actual. Los datos adquiridos se guardan en archivos que contienen los datos del paciente. La capacidad de almacenamiento autónoma a la frecuencia máxima de adquisición es de 300 días. El protocolo utilizado para mandar datos al servidor PesoPac es FTP. Los archivos son publicados por el TI y el servidor los lee proporcionando la contraseña.

Servidor PesoPac. El servidor PesoPac es un programa que corre en un PC de la red hospitalaria. Las interfaces con el usuario son sencillas y en ambiente Windows. La programación se realizó en Visual Basic. Los datos se almacenan en bases de datos según la norma Microsoft JET.

La función principal es desplegar los datos adquiridos por la estación PesoPac en un formato adecuado. Para esto es necesario obtener los datos de la estación, lo que se realiza mediante una conexión TCP/IP basada en la red hospitalaria Ethernet. El servidor PesoPac puede almacenar los datos de varios pacientes, relevados en una o varias estaciones.

Para almacenar los datos se utiliza una base de datos Microsoft Jet. En esta base se implementan 3 tablas, una con los datos de las estaciones, otra con los datos del

encabezado de cada archivo junto con los del paciente y una tercera con los pesos contenidos en todos los archivos. En las dos últimas tablas existe una relación entre los campos archivo, donde se exige integridad referencial, actualización automática y eliminación en cascada. Está articulado en dos ventanas vinculadas entre sí, que comparten una barra de botones. El informe normal imprime los datos del paciente y del archivo de evolución, una tabla y una gráfica con los últimos pesos automáticos y otras con los pesos manuales. Este informe cabe en una página. La tabla detallada de datos tiene los datos generales del paciente: estación, observaciones y patología, y a continuación una tabla con todos los datos del peso ordenados cronológicamente. Este informe puede ocupar varias carillas, dependiendo del largo de la tabla de pesos.

Resultados

Para asegurar la calidad de PesoPac se desarrolló un conjunto de pruebas (protocolo) que verifican el correcto funcionamiento de cada bloque. Se realizan además pruebas para verificar la linealidad y la repetibilidad de las medidas.

Entre el 7 de octubre y el 25 de noviembre de 2002 se verificó el correcto funcionamiento de PesoPac según las pruebas del protocolo. Los resultados de las pruebas de linealidad se muestran en la Tabla 1. Las pruebas de repetibilidad se realizaron pesando 5 objetos de pesos distintos (2,7 Kg; 8,3 Kg; 16,5 Kg; 25,2 Kg; y 55,0 Kg) repitiendo 10 veces la medida del peso con intervalos de 1 hora. Se obtuvo en todos los casos el mismo peso en centenas de gramos.

Tabla 1 Prueba de linealidad con 20 Kg y 40 Kg.

CELDA	CERO	Cuentas con 20Kg	Cuentas 20Kg - CERO
A	290	6498	6208
B	1507	7600	6093
C	992	7237	6245
D	779	6989	6210
		Cuentas con 40Kg	Cuentas 40 Kg - CERO
			$\frac{(40\text{Kg}-\text{CERO})}{2}$
A	12705	12415	6208
B	13697	12190	6095
C	13483	12491	6246
D	13201	12422	6211

La incertidumbre final del equipo se calculó como:

$$2 \times \sqrt{(\text{INCERT. tipo A})^2 + (\text{INCERT. tipo B})^2}$$

La incertidumbre tipo A es la proveniente de los patrones contra los que se realizó la calibración. En nuestro caso es la incertidumbre de las pesas patrón, y su valor es 3g.

La incertidumbre tipo B proviene del equipo a calibrar, se realiza un conjunto de medida de los patrones y se

calcula la desviación estándar. La incertidumbre final del equipo fue inferior a la apreciación de 0,1 Kg.

Desde abril de 2002 el primer prototipo de PesoPac ha estado en uso en el Departamento de Medicina Intensiva del Hospital de Clínicas (Figura 4), por diversos períodos de tiempo. Actualmente se están realizando comparaciones con las medidas tomadas por PesoPac y otros métodos de estimación de variación de peso.

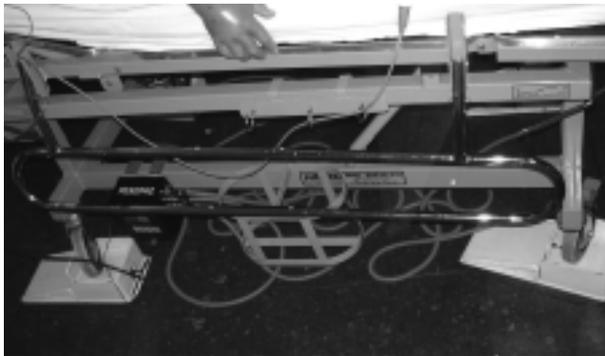


Figura 4 – PesoPac en el CTI del H. de Clínicas

Discusión

Los resultados de las pruebas de medición realizadas, muestran que PesoPac presenta gran estabilidad, linealidad y repetibilidad en las medidas.

Se descartan las variaciones de pesos mayores a 400 g en 3 segundos en forma automática. Para garantizar el filtrado total de los pesos no atribuibles al paciente se cuenta con una interfaz de usuario que permite la interacción con el operario. De esta manera, para agregar o sacar pesos que corresponden al paciente, se dispone de un comando de pausa. Esto permite, por ejemplo, retirar la orina una vez por día y distinguir del hecho de retirar un objeto de 1 Kg apoyado en la cama. Por otro lado se dispone de un comando para adquirir pesos en forma manual, con lo cual el personal sanitario puede elegir el momento y la situación que considere más conveniente. Este tipo de pesos manuales es identificado por el servidor PesoPac, destacándolos en las tablas de datos y en las gráficas.

Conclusión

PesoPac demostró ser de utilidad en la práctica y está actualmente en uso en el Departamento de Medicina Intensiva del Hospital de Clínicas.

El proyecto PesoPac se completó en el tiempo previsto (1600 horas/persona) y sin superar los costos máximos de materiales convenidos previamente (US\$ 1500). Se cumplen las especificaciones previas. Las interfaces para los usuarios son sencillas y permiten configurar parámetros que brindan mayor funcionalidad al sistema. PesoPac mide el peso de un paciente con una precisión de 100 g, filtrando pesos no atribuibles al paciente. Se obtienen fácilmente informes de la evolución del peso

de un paciente, identificado con su número de cama, de paciente y observaciones del médico.

En la estación PesoPac se pueden configurar los parámetros de red, de paciente, de almacenamiento. En el servidor se pueden obtener informes clínicos. En la Tabla 2 se compara PesoPac con las propuestas existentes en el mercado internacional.

Tabla 2: Comparación de PesoPac con propuestas análogas en el mercado internacional

Marca	Seca ¹	Detecto ²	Acme ³	PesoPac
Origen	UK	USA	USA	Uruguay
Capacidad (Kg)	500	272	272	400
Precisión (g)	50	100	45	100
Memoria	sí	no	no	sí
Conexión	no	no	no	sí
Inteligencia	no	no	no	sí
Flexibilidad	alta	media	media	alta
Peso (Kg)	25	alto	330	30
Informes	no	no	no	sí
Precio FOB (US\$)	5.026	3.700	4.350	
				100 unid.
				100 unid.
Costo (US\$) Sin amortizar				1.330
Costo Total (US\$)				5.107
				1.534

1. www.seca.com/uk 2. www.itinscale.com 3. www.acmescale.com

Referencias

- [1] SIMINI F., HAIM F., LOBO J., GONZÁLEZ S. "Biomedical Prototype Development in Uruguay: 15 years and lessons learned" WC2003 Sydney, Australia - Agosto 2003
- [2] REVERE TRANSDUCERS EUROPE, Load Cell Cabling. Application note 03/4-02/01. [Http://www.instroke.co.za/revapp02.pdf](http://www.instroke.co.za/revapp02.pdf), visitado el 27/04/04.
- [3] ZWORLD <http://www.zworld.com>, visitado el 27/04/04.
- [4] Henry W. Ott "Noise Reduction Techniques in Electronic Systems". John Wiley & sons, 2ª ed., 1988.
- [5] Hoja de datos del ADC AD7730 http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/12569351AD7730_L.pdf, visitado el 27/04/04