



Neumografía por impedancia como alternativa para la valoración de la apnea obstructiva del sueño

Olmos D.,* Rodríguez J.L.,*
Gaitán M.J.,**
Pimentel A.B.***

- * Licenciatura en Ingeniería Biomédica, Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa, México.
** Departamento de Ciencias de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa, México.
*** Departamento de Ingeniería Biomédica, Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias, D.F. México

Correspondencia:
Mercedes Jatziri Gaitán González,
mjgg@xanum.uam.mx

Artículo recibido: 6/noviembre/2006
Artículo aceptado: 8/mayo/2007

RESUMEN

Para la valoración de la apnea obstructiva del sueño es común utilizar la polisomnografía, donde este padecimiento se manifiesta en las señales respiratorias como esfuerzos respiratorios (movimientos torácico-abdominales) en ausencia de flujo aéreo, reduciendo la saturación de oxígeno. La técnica empleada en el Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias para la detección de las señales respiratorias es la pletismografía por inductancia, dada su gran capacidad de detección del esfuerzo. Sin embargo, en nuestro país presenta problemas de disponibilidad tecnológica por la falta de proveedor y por tanto de mantenimiento e insumos. En este trabajo se realiza una evaluación de las capacidades de medición volumétrica de la neumografía por impedancia y de la respirometría por desplazamiento, al comparar los volúmenes y frecuencias respiradas con las obtenidas por neumotacografía. Así mismo, se realizó una evaluación de costos de la primera técnica para su utilización en caso de una sustitución tecnológica para la Clínica del Sueño. Al comparar con un neumotacógrafo, la neumografía por impedancia mostró una alta correlación para la medición de volumen, así como el seguimiento adecuado de movimientos torácicos, simulando apnea obstructiva del sueño. En la evaluación de costos, si bien mostró costos cuantitativos ligeramente superiores a los de la técnica actualmente empleada, los costos cualitativos y los beneficios apuntan a considerar su utilización.

Palabras clave:

Apnea obstructiva del sueño, evaluación tecnológica, respirometría por impedancia.

ABSTRACT

The evaluation of the obstructive sleep apnea is commonly done by polysomnography. During this disease the respiratory signals can be observed as respiratory efforts (thoracic/abdominal movements) without airflow and a consequent oxygen saturation reduction. The technique used to define the respiratory signal by the Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias is the inductance plethysmography. However, in Mexico there is a technology availability trouble for the absence of a technology provider of the instrument itself, transducers or service. In this work, an evaluation of two other technological technologies is presented, the impedance neumography and the dis-

placement respirometry. For the primer, a cost evaluation was also done. Using a Fleish neumotacometer as reference signal, the volume and frequency obtained by these two techniques showed that the impedance neumography presented high correlations and it was capable of follow the respiratory movements in obstructive sleep apnea simulations. Although the cost evaluation resulted in slightly higher costs than the inductance technique, the qualitative costs of using impedance neumography suggest benefits for the technological substitution.

Key Words:

Obstructive sleep apnea, Technological assessment, Impedance respirometry.

I. INTRODUCCIÓN

La apnea obstructiva del sueño es un trastorno crónico que deteriora en forma importante la calidad de vida del paciente, además de considerarse como factor de riesgo para padecimientos como la hipertensión y problemas cardíacos¹. Para su diagnóstico y valoración se emplean diversas señales fisiológicas entre las que se encuentran los esfuerzos respiratorios. Durante una apnea obstructiva, dichos esfuerzos están presentes ya que el sujeto intenta inspirar, pero no existe una entrada de aire al sistema respiratorio debido a la obstrucción de la vía². Actualmente, la Clínica del Sueño del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias (INER) emplea la pletismografía por inductancia (Respirace) para la valoración de dichas señales. Este es uno de los métodos más usados para la detección de los movimientos respiratorios³; sin embargo, esta tecnología tiene la desventaja de que los elementos que componen el transductor se rompen con mucha facilidad, requiriendo de continuos mantenimientos. El Departamento de Ingeniería Biomédica del INER se ha enfrentado a diversos problemas por la falta de un proveedor o fabricante directo de Respirace en México, por lo que se complica el servicio de mantenimiento correctivo oportuno; por esta razón ha surgido la necesidad de buscar otras alternativas para la detección de las señales de movimientos respiratorios, con el fin de brindar un servicio continuo, evitando tiempos de espera largos por falta de soporte a la tecnología. La valoración de una tecnología debe considerar tanto aspectos técnicos y de seguridad, como de disponibilidad, aplicabilidad para el uso específico y costos⁴.

Existen diversas técnicas para la medición de señales respiratorias. En cuanto a la medición de flujos y volúmenes, es común utilizar a la neumota-

cografía. Sin embargo, esta técnica no es adecuada para la polisomnografía, ya que requiere que el paciente respire por la boca a través del transductor, lo que resulta sumamente molesto y difícil de realizar durante un estudio de sueño.

Dos alternativas que se han considerado para la detección de los movimientos respiratorios son: la respirometría por sensores de desplazamiento y la neumografía por impedancia. Los sensores de desplazamiento tienen un costo bajo, comparado con las otras técnicas, pero se ha considerado que no permiten evaluar adecuadamente el volumen, ya que la señal obtenida es altamente sensible a interferencias por movimiento, además de que la detección correcta de la misma depende de forma importante de lograr una ubicación adecuada del sensor⁵. Por su parte, se ha reportado que la neumografía por impedancia sólo provee información cualitativa de los movimientos torácicos, no presenta una relación directa con el aire inspirado, es susceptible a los movimientos y a artefactos cardíacos, se degrada con los cambios de posición del cuerpo y que no permite diferenciar los episodios apneicos obstructivos de los centrales ante la ausencia directa del flujo nasal u oral⁴. Otros autores han encontrado una buena correlación entre el volumen de aire inspirado y la impedancia de la cavidad torácica, con una coherencia de la función de transferencia entre la espirometría y la impedancia de aproximadamente 90% y sin fase⁷. Otra ventaja potencial de esta señal es que, con el procesamiento adecuado, permitiría obtener otras mediciones como la frecuencia cardíaca, el volumen y tiempo de eyección, y junto con una señal de pulso periférica, el tiempo de propagación de la onda de pulso, al que se ha relacionado con la presión esofágica⁸, principal índice de esfuerzo respiratorio.

En este trabajo se presenta una evaluación de estos métodos alternativos, la neumografía por impedancia y la respirometría por sensores de desplazamiento, para la determinación de los movimientos respiratorios respecto a su capacidad de medición volumétrica, su desempeño en maniobras que simulan los fenómenos que se presentan durante la apnea obstructiva del sueño, junto con un análisis de costos comparados con los de la pletismografía por inductancia para un equipo que permite la medición de la técnica que resultó más adecuada.

II. METODOLOGÍA

La evaluación consistió en dos partes, en la primera se realizó la valoración técnica de los métodos para determinar su capacidad de medición volumétrica así como su desempeño en maniobras que simulan la apnea del sueño, incluyendo la susceptibilidad a problemas por movimiento del sujeto. La segunda parte se enfocó a realizar un análisis de costos de la técnica que resultó más adecuada en la primera evaluación.

A. Valoración técnica

1) *Sujetos*: Se estudiaron nueve voluntarios, ocho hombres y una mujer, de 24.6 ± 3.6 (22-32) años de edad, no fumadores, sin historial de enfermedades cardiopulmonares, sin restricciones específicas de alimentación o condición física. A todos los participantes se les informó sobre los riesgos y beneficios del estudio.

2) *Mediciones*: Se obtuvieron tres señales respiratorias: por neumografía, por impedancia, por respirometría, por sensores de desplazamiento y por neumotacografía, siendo las dos primeras las señales bajo prueba y la tercera la de referencia. La señal de neumografía por impedancia se registró utilizando un amplificador de bioimpedancia (EB100C Biopac, California EUA). Se usó un arreglo de ocho electrodos colocados entre la base del lóbulo de la oreja y la clavícula superior, a ambos lados del cuello y en la línea media axilar, a la altura de la xifoides, a ambos lados del tórax. El movimiento respiratorio abdominal se obtuvo por un sensor de desplazamiento (TSD101B Biopac, Santa Barbara EUA) acoplado a un amplificador de respiración neumográfica (RSP100B Biopac, Santa Barbara EUA). El transductor se colocó en el abdomen, a la altura umbilical. El flujo respiratorio se registró por medio de

un neumotacógrafo (TSD117 Biopac, Santa Barbara EUA), acoplado a un amplificador de propósito general (DA100C Biopac, Santa Barbara EUA). El transductor se colocó en la boca del sujeto por medio de un adaptador bucal y se ocluyó la nariz por medio de pinzas nasales. Todas las señales fueron adquiridas por medio del sistema de adquisición de señales Biopac MP100 System (Santa Barbara, EUA) a una frecuencia de muestreo de 100 Hz.

3) *Protocolo*: A cada sujeto se le realizaron dos registros. En el primero, con el sujeto en posición supina, se le pidió que realizara respiraciones a volumen corriente normal por un minuto para después aumentar cada minuto el volumen con incrementos aproximados del 50, 25, 12 y 6% del volumen inicial. En el último minuto se realizó una maniobra de respiración forzada. Para el segundo registro, durante 7 minutos también en posición supina, cada sujeto realizó maniobras consistentes en simulaciones de apnea obstructiva, apnea central y ronquidos: después de un minuto con respiración espontánea, se iniciaron las maniobras de simulación/ recuperación con respiración espontánea de 10 s por 50 s para las apneas y de 10 s por 20 s para los ronquidos, dos simulaciones de cada tipo. Durante el último minuto, bajo respiración espontánea el sujeto realizó movimientos de decúbito lateral izquierdo a decúbito lateral derecho. Para simular la maniobra de apnea obstructiva se ocluyó la vía aérea nasal-bucal y se pidió al sujeto que realizara esfuerzos por inspirar; para la maniobra de apnea central se ocluyó la vía aérea nasal-bucal al tiempo que el sujeto evitó realizar esfuerzos respiratorios. Durante los periodos de recuperación se permitió respirar al sujeto en forma espontánea. Entre ambos registros se permitió un periodo de descanso de 5 minutos.

4) *Procesamiento de datos*: La señal de flujo del neumotacógrafo se integró numéricamente para obtener el volumen respiratorio patrón, con una eliminación posterior de la tendencia lineal; en esta señal se consideró el volumen respiratorio, después de haber sido calibrada siguiendo el método propuesto por el fabricante. Las señales del transductor de desplazamiento y de las señales de neumografía por impedancia se filtraron por medio de un filtro pasa bajas con una frecuencia de corte a 0.6 Hz. Se eliminaron las tendencias de baja frecuencia para cada una de las señales. Se realizó la calibración en amplitud de ambas señales, tomando como patrón los volú-

menes de la señal integrada del neumotacógrafo. En dicha calibración se desplegaron al usuario los volúmenes respirados en pantalla, permitiéndole elegir un volumen respirado bajo y otro alto, con los cuales se realizó una calibración lineal de dos puntos. Para cada señal respiratoria, el volumen a comparar, se obtuvo como la diferencia entre amplitudes pico a pico de cada respiración y la frecuencia respiratoria se calculó como la diferencia en el tiempo de máximos consecutivos. Para una descripción más detallada del procesamiento se presentó en [9].

- 5) *Análisis estadístico*: Para la comparación de los métodos, se determinó la regresión lineal punto a punto de las señales bajo prueba contra la señal de volumen respiratorio por neumotacografía, a la que se le llamó volumen respiratorio (neumografía por impedancia vs volumen respiratorio y movimientos respiratorios abdominales vs volumen respiratorio), así como de amplitudes y frecuencias obtenidas de los volúmenes respiración a respiración obtenidos de las mismas señales. Para los valores medios de cada minuto (1 al 4) y la respiración forzada, se realizó un análisis de varianza de mediciones repetidas. El nivel de significado estadístico utilizado fue $p < 0.05$. En el segundo registro se evaluó de forma cualitativa el comportamiento de las señales obtenidas durante las simulaciones.

B. Análisis de costos

De la evaluación anterior se definió cuál de las metodologías era más adecuada en cuanto al seguimiento de volumen, frecuencia cardíaca y que permitiera el mejor seguimiento de las simulaciones realizadas. Para un equipo que empleara dicha metodología y para la tecnología actualmente utilizada, pletismografía por inductancia, se identifica-

ron los costos y los beneficios asociados. De los costos se determinaron aquellos que representaban un posible gasto diferente entre ambas metodologías. Se realizó un análisis de costo, los cálculos realizados fueron calculados a un año (52 semanas) en dólares, considerando 260 estudios de polisomnografía en un año, con un promedio de 5 estudios por semana. La recopilación de información fue del año 2005.

III. RESULTADOS

Parte de la evaluación de estas metodologías de detección de las señales respiratorias para la valoración de la apnea obstructiva del sueño fueron presentadas previamente⁹. Aquí se reporta el estudio completo, incluyendo la evaluación de costos.

A. Evaluación técnica

El Cuadro 1 muestra los parámetros de la regresión lineal entre las señales de volúmenes respirados por (VR) y la señal de neumografía por impedancia (NI), los volúmenes respirados y la señal de movimiento respiratorio abdominal (MRA) del sensor de desplazamiento. Se presentan los valores para las regresiones de volúmenes instantáneos, del volumen respirado y de la frecuencia respiratoria. Los métodos muestran una alta correlación tanto en los volúmenes instantáneos como en la amplitud y frecuencia respiratoria, además de valores de pendiente e intercepto aceptables (pendiente cercana a uno e intercepto cercano a cero).

En la Figura 1 se muestran las gráficas de las variables de volumen respiratorio vs NI y volumen respiratorio vs MRA, para los volúmenes instantáneos, las frecuencias y las amplitudes respiratorias de un sujeto típico; se observa el comportamiento lineal de ambos métodos con respecto de la señal de

Cuadro 1. Resultados del análisis de regresión lineal entre las señales (media \pm desviación estándar).

	Pendiente		Ordenada al origen		Coeficiente de correlación	
	VR vs NI	VR vs MRA	VR vs NI	VR vs MRA	VR vs NI	VR vs MRA
Volumen instantáneo	0.881 \pm 0.306	0.832 \pm 0.700	-0.063 \pm 0.341	-0.232 \pm 1.165	0.932 \pm 0.049	0.678 \pm 0.560
Volumen respirado	0.847 \pm 0.296	0.835 \pm 0.699	0.106 \pm 0.182	0.91 \pm 0.288	0.907 \pm 0.139	0.702 \pm 0.192
Frecuencia respiratoria	0.966 \pm 0.055	0.970 \pm 0.023	0.006 \pm 0.012	0.006 \pm 0.004	0.981 \pm 0.026	0.972 \pm 0.025

VR: volumen respiratorio por neumotacografía, NI: volumen por neumografía por impedancia, MRA: volumen de movimientos respiratorios abdominales por sensor de desplazamiento.

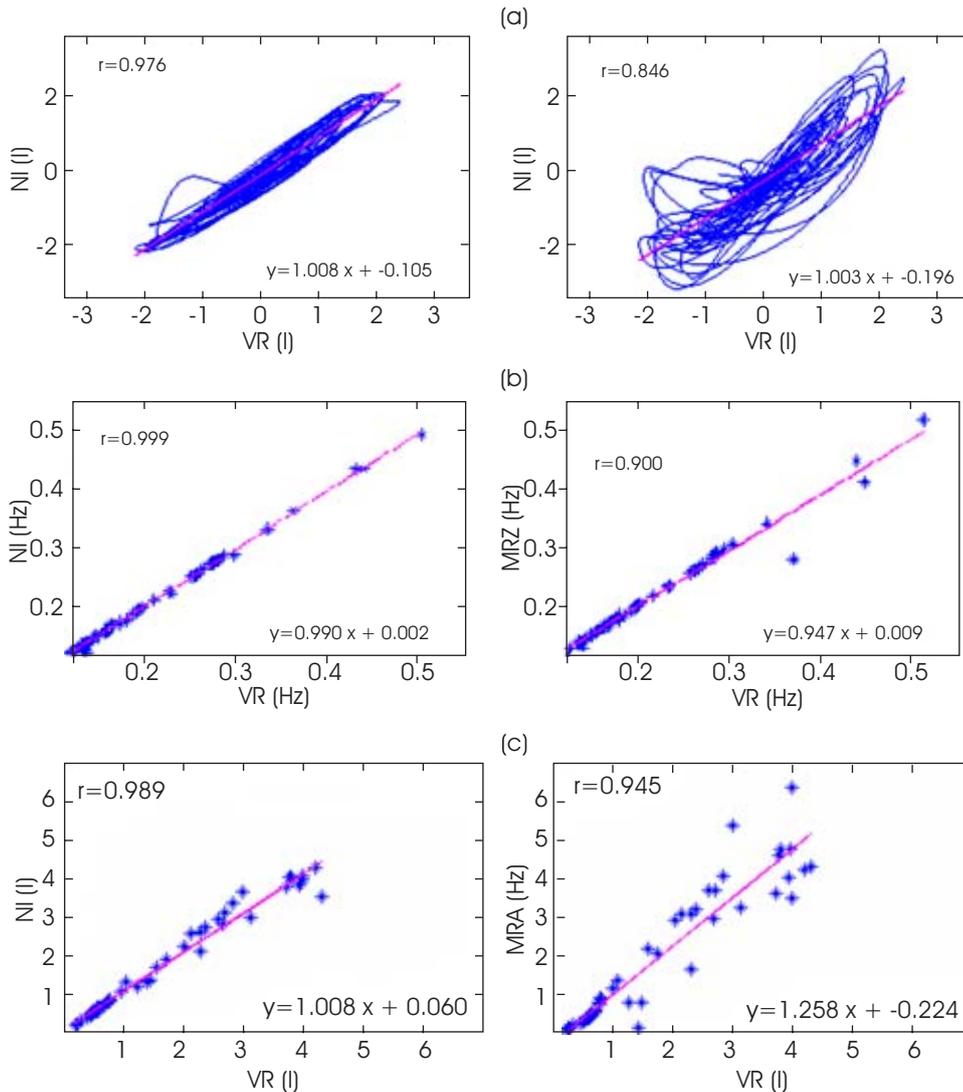


Figura 1. Relación de los volúmenes instantáneos **(a)**, las frecuencias respiratorias **(b)** y las amplitudes respiratorias **(c)** entre las señales de volumen respiratorio por neumotacografía (VR) vs neumografía por impedancia (NI) y volumen respiratorio por neumotacografía (VR) vs movimiento respiratorio abdominal (MRA) por el sensor de desplazamiento.

volumen respiratorio (neumotacográfico), además de reflejar altos coeficientes de correlación.

Por ANOVA para muestras repetidas, la frecuencia respiratoria no presentó diferencias significativas en cuanto a la comparación de métodos ($p > 0.05$). Para el caso del volumen respirado, se encontraron diferencias significativas entre las amplitudes obtenidas por MRA diferentes de las otras dos señales ($p < 0.01$).

En la Figura 2 se muestran las maniobras realizadas por un sujeto típico durante este protocolo. Las marcas separan los cambios de maniobra descritos. En todos los casos durante la simulación de la apnea central se observó de manera adecuada una disminución significativa de la señal. A pesar de que quedó algún remanente cardíaco en la

señal de NI, este remanente no interfirió en la valoración de la misma. Durante las maniobras de apnea obstructiva, en todos los sujetos el esfuerzo respiratorio se apreció de manera considerable para ambos métodos. Lo mismo ocurrió durante la respiración normal y la simulación de ronquido.

Si bien se corroboró la alta correlación en general entre el método de respirometría por sensores de desplazamiento y la neumografía por impedancia con respecto a la señal patrón de volumen, los resultados mostraron ser mayores para el método de neumografía por impedancia, tanto en morfología (coeficiente de correlación punto a punto), como en amplitud (coeficiente de correlación volumen respirado) y frecuencia (coeficiente de correlación frecuencia respiratoria). La co-

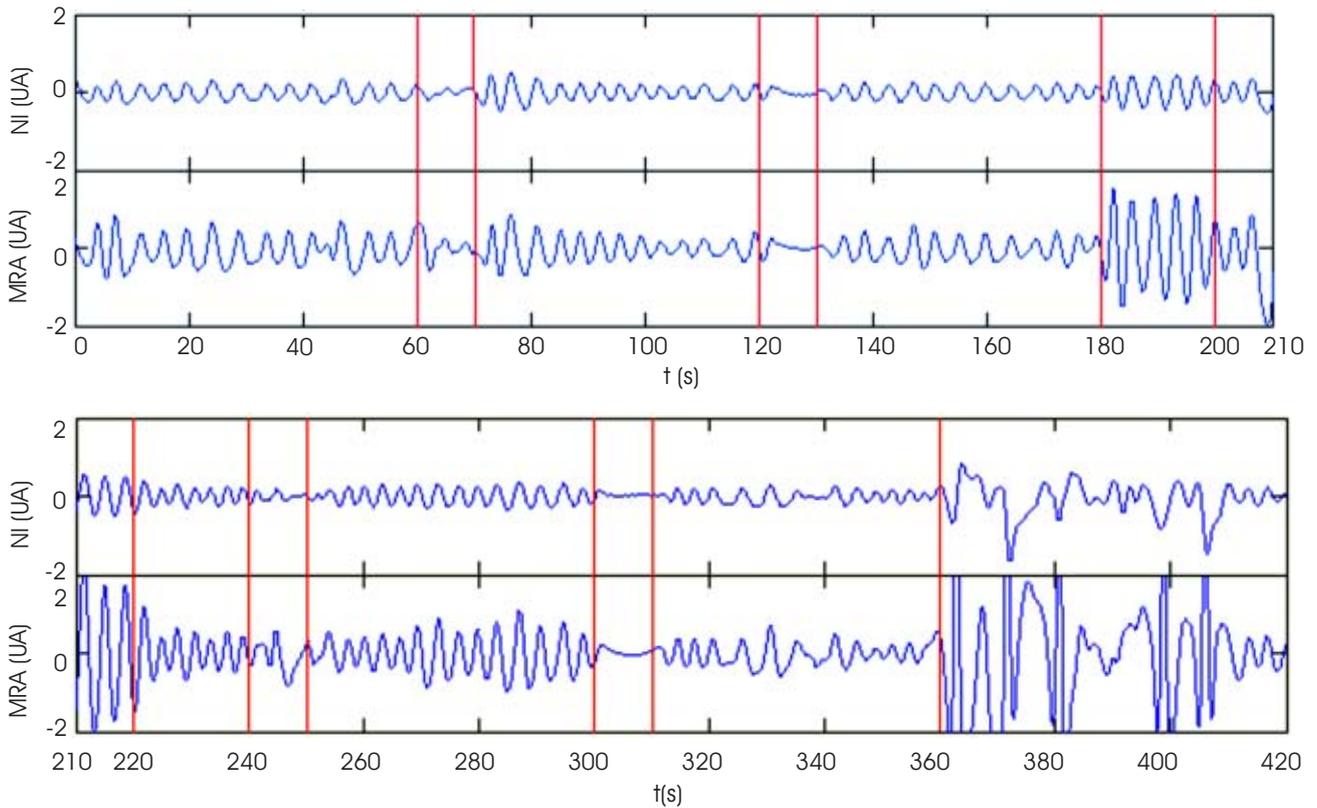


Figura 2. Ejemplo de las señales durante las maniobras de simulación. Las líneas verticales marcan el cambio de maniobras. En la figura se muestra la señal de neumografía por impedancia (NI) y de movimiento respiratorio abdominal (MRA). UA: unidades arbitrarias.

relación fue muy alta, confirmando lo reportado por Ernst y colaboradores⁶ que encontraron correlaciones mayores a 0.9. Por su parte, el coeficiente de correlación calculado por la NI es superior al coeficiente de correlación obtenido por la banda de desplazamiento.

Utilizando la calibración de volumen de dos puntos no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre el volumen por neumotacografía y a partir de la señal de NI.

Si bien hubo interferencia cardiaca en la señal NI, la aplicación de un filtro Butterworth fue suficiente para eliminarla considerablemente para que interfiriera en la valoración de las apneas centrales. La aplicación de métodos de filtrado más sofisticados, como un filtro adaptable⁸, podrían eliminar satisfactoriamente los remanentes.

Indistintamente del método utilizado, los movimientos de supino lateral izquierdo a supino lateral derecho, efectuados en las maniobras de simulación, afectaron las señales. Estos efectos han sido reportados igualmente en la pletismografía por in-

ductancia³. Dicho problema no afecta en forma importante la valoración en el estudio de sueño debido a que los pacientes no cambian de posición frecuentemente durante el estudio.

De acuerdo a los especialistas de la Clínica del Sueño del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias, para determinar la existencia de una apnea central o apnea obstructiva es necesario utilizar una señal auxiliar, indicativa de ausencia de flujo aéreo nasobucal, independientemente del método que se utilice para la detección del movimiento respiratorio. Por lo que este aspecto no representa una desventaja adicional para ningún método de respiración.

B. Análisis de costos

Los costos cuantitativos que se identificaron fueron: costos del equipo actualmente empleado y del equipo propuesto, costos de capacitación, costo de los insumos del equipo actualmente empleado y del equipo propuesto, costos por horas-ingeniero

por adaptación de tecnología, costos de mantenimiento correctivo y preventivo para la tecnología actual y para la tecnología propuesta, costos por adecuación del inmueble, costos de servicios (electricidad) y costos por incremento de personal debido a la tecnología propuesta. Para el análisis de costos sólo se consideraron los tres primeros puntos dado el peso que representaba la diferencia entre los costos al aplicar la tecnología propuesta.

Por su parte, los posibles beneficios de la tecnología propuesta que se identificaron fueron: menor costo del equipo, eliminación de tiempos de reparación de los cables del transductor de pletismografía por inductancia, calidad de diagnóstico similar al actual, representante en México de la tecnología propuesta, disminución de tiempos muertos de adquisición por desconexión de los electrodos de neumografía por impedancia, disminución de tiempos muertos debido a fallas del equipo, robustez ante la desconexión de los electros de neumografía por impedancia, flexibilidad de la colocación de los electrodos de neumografía por impedancia, tiempos de colocación de instrumentación similar, entre el método de neumografía por impedancia en comparación con el método de pletismografía por inductancia.

El Cuadro 2 muestra el costo de los equipos de la tecnología actualmente empleada y un equipo que utiliza la metodología propuesta. La selección de la marca del equipo de neumografía por impedancia se basó en la experiencia del Departamento de Ingeniería Biomédica con ese equipo, así como de su disponibilidad en el mercado nacional, tanto para la adquisición como para el servi-

cio. Por su parte, el Cuadro 3 presenta los costos totales de consumibles de ambas tecnologías; los costos fueron calculados a un año.

Los costos del sistema de neumografía por impedancia son más altos que el sistema de pletismografía; esto se debe a que el amplificador de bioimpedancia necesita del sistema MP100 System para funcionar, en realidad este último módulo sólo proporciona la alimentación necesaria para el funcionamiento del amplificador. En Clínica del Sueño hay un sistema MP100 System que podría brindar la alimentación necesaria para que el amplificador de bioimpedancia funcione. La utilización de este equipo reduciría los costos de la tecnología propuesta en alrededor de \$8,271.72 lo cual dejaría el costo de la tecnología de neumografía por impedancia en un costo de \$2,201.68. Otra alternativa para la reducción del costo del sistema de neumografía por impedancia es el diseño o compra de una fuente aislada que proporcione la alimentación adecuada en voltaje y corriente para que el amplificador de bioimpedancia trabaje en condiciones adecuadas tanto de funcionamiento como de seguridad.

Es un hecho que el costo de consumibles del sistema de neumografía por impedancia excede el costo de los consumibles del sistema de pletismografía por inductancia. A diferencia de los costos de las tecnologías, este costo no es reducible. Sin embargo, los beneficios del uso de los consumibles del sistema de neumografía por impedancia radican en la reducción total de los tiempos de mantenimiento destinados para la conservación de las bandas del sistema de pletismografía por inductancia, la banda de pletismografía se tiene que la-

Cuadro 2. Costo de las tecnologías en dólares.

Tecnología actual	Costo	Tecnología propuesta	Costo
Respirace	\$9,280.00	Amp. de bioimpedancia MP100 System	\$1,647.95 \$8,271.72
Total	\$9,280.00	Total	\$9,919.67

Cuadro 3. Costo de los consumibles de ambas tecnologías a un año y en dólares.

Tecnología actual			Tecnología propuesta		
Descripción	Cant.	Total (dls)	Descripción	Cant.	Total (dls)
Banda de Respirace	2	\$182.00	Cables Y para el módulo de impedancia	4	\$165.60
Precios de los cables	2	\$162.50	Cables de electrocardiografía tipo broche	8	\$169.01
			Parches de electrocardiografía	8	\$222.12
Total		\$344.50	Total		\$553.73

var, remendar y reparar, cada vez que es necesario. Los requerimientos de mantenimiento se incrementan debido a la carencia de un número suficiente de tallas en el instituto. Hay que destacar que la fragilidad de la banda de neumografía por inductancia en los estudios de polisomnografía en el INER ha obligado al personal de Clínica del Sueño a reparar dichas bandas; tal personal incluye desde técnicos hasta residentes. Los electrodos del sistema de neumografía por impedancia, al ser desechables, evitarían el tiempo de mantenimiento en su totalidad.

Por las características del sistema, la utilización del sistema de neumografía por impedancia no genera gastos adicionales de personal, adecuación de área, almacenamiento y gasto de energía eléctrica; los gastos con el sistema de pletismografía por inductancia son similares.

Los tiempos de espera para la adquisición del equipo y para mantenimiento correctivo se reducen para la neumografía por impedancia, debido a que cuenta con representación del fabricante en México; los trámites necesarios son también menores ya que no se requiere que el equipo salga o entre al país como es el caso del equipo de pletismografía por inductancia.

La tecnología propuesta no generaría gastos adicionales de capacitación debido a que en Clínica del Sueño del INER el personal tiene tiempos de sus jornadas laborales que puede dedicar a la capacitación sobre la nueva tecnología.

IV. CONCLUSIÓN

Bajo condiciones simuladas, la señal de neumografía por impedancia detectó adecuadamente los movimientos respiratorios o la ausencia de éstos, aun bajo condiciones de ronquido, al igual que la señal obtenida por sensores de desplazamiento. Además, se corroboró una correlación lineal muy alta entre la señal del neumotacógrafo y la señal de neumografía por impedancia, mayor a la obtenida a partir de la señal de respirometría por sensores de desplazamiento. Estos resultados sugieren que la neumografía por impedancia podría ser utilizada como una alternativa apropiada, técnicamente mejor que la respirometría por sensores de desplazamiento, para la detección de los movimientos respiratorios presentes durante la apnea obstructiva del sueño con suficiente calidad y con la capacidad de valoración del volumen respirado, utilizando una calibración sencilla con dos puntos. La señal de neumografía por impedancia puede dar infor-

mación con calidad similar a la obtenida por el método de pletismografía por inductancia, ya que en la Clínica del Sueño del INER solamente se utilizan las señales de movimiento respiratorio de forma cualitativa. Los costos generados por la tecnología de neumografía por impedancia son reducibles, y aunque los consumibles podrían ser más costosos, los beneficios que se obtendrían en el empleo de la neumografía por impedancia se reflejarían tanto en el mantenimiento correctivo y preventivo, como en la reducción de tiempos de adquisición de consumibles.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al personal de la Clínica del Sueño del INER por el apoyo brindado para la realización de este proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

1. Chaudhary BA. Apnea obstructiva del sueño. *Mundo Médico* 2000; 27: 21-32.
2. American Academy of Sleep Medicine Task Force. Sleep-related breathing disorders in adults: recommendations for syndrome definition and measurement techniques in clinical research. *Sleep* 1999; 22: 667-689.
3. Landon C. Respiratory monitoring: Advantages of inductive plethysmography over impedance pneumography. Disponible en: vivometrics.com/site/pdfs/wpRIPlmped.pdf, Última consulta, marzo 2007.
4. Harding GH, Epstein AL. Technology evaluation. In: *Clinical Engineering Handbook*, Editor J. Dyro, Elsevier Academic Press, San Diego 2004; pp. 114-117.
5. Alves de Mesquita J, Lopes de Melo P. Respiratory monitoring system based on the nasal pressure technique for the analysis of sleep breathing disorders: Reduction of static and dynamic errors, and comparisons with thermistors and pneumotachographs. *Review of Scientific Instruments* 2004; 75: 760-767.
6. Valencia M, Salin R, Pérez J. Técnicas de diagnóstico: polisomnografía, pruebas de latencias múltiples, actigrafía e instrumentos de informe subjetivo. *Mc Graw-Hill Interamericana*, 2002; pp. 78-92.
7. Ernst JM, Litvack DA, Lozano DL, Cacioppo JT, Berntson GG. Impedance pneumography: Noise as signal in impedance cardiography. *Psychophysiology* 1999; 36: 333-338.
8. Katz ES, Lutz J, Black C, Marcus CL. Pulse transit time as a measure of arousal and respiratory effort in children with sleep-disordered breathing. *Pediatr Res* 2003; 53: 580-588.
9. Olmos D, Rodríguez JL, Gaitán MJ, Pimentel AB. Evaluación de la respirometría por sensores de desplazamiento y de la neumografía por impedancia en la valoración de señales respiratorias en condiciones simuladas de apnea del sueño, XXVIII Congreso Nacional de Ingeniería Biomédica, Acapulco, México, Noviembre 2005.
10. YasudaY, Umenzu A, Horihata S, Yamamoto K, Miki R, Koike S. Modified thoracic impedance plethysmography to monitor sleep apnea syndromes. *Sleep Medicine* 2005; 6: 215-224.