

## DISEÑO DE PROCEDIMIENTOS PARA LA CALIBRACIÓN DE VENTILADORES PULMONARES

### Design of procedures for the calibration of pulmonar ventilators

#### RESUMEN

En el contenido de éste artículo se hace referencia al procedimiento de calibración de ventiladores pulmonares; procedimiento para el cual no existe una norma técnica específica y que el Laboratorio de Metrología – Variables Eléctricas diseñó para implementarlo en la prestación de servicios de calibración en el área de equipo electromédico a las diferentes entidades prestadoras de servicios de salud.

**PALABRAS CLAVES:** Calibración, equipos de fototerapia, equipo electromédico, Metrología electromédica, trazabilidad.

#### ABSTRACT

*In the content of this one article reference to the procedure is made of calibration of pulmonary ventilators ; procedure for which a technical norm doesn't exist specifies and that the Metrology Laboratory of electric parameters designed for implement it in the calibration services at the different companies that work on health services.*

**KEYWORDS:** *Calibration, electromedical equipment, Electromedical metrology, pulmonar ventilators, tests, trazability.*

#### ANDRES FELIPE GALVIS T.

Ingeniero Físico  
Profesor Auxiliar Depto de Física  
Universidad Tecnológica de Pereira  
docente@utp.edu.co

#### LUIS G. MEZA CONTRERAS

Profesor Auxiliar Dpto. de Física  
Director del Laboratorio de Metrología - Variables Eléctricas  
Universidad Tecnológica de Pereira  
lgmeza@utp.edu.co

#### MARCELA BOTERO ARBELAEZ

Docente Dpto. de Física  
Universidad Tecnológica de Pereira  
maboar@utp.edu.co

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Historia y fundamento fisiológico

Aunque la introducción de la ventilación mecánica (VM) en la clínica es un fenómeno muy reciente, las primeras descripciones se remontan a 400 años a.C., cuando Hipócrates en su “tratado sobre el aire” menciona la intubación traqueal como método para ventilar los pulmones. Posteriormente, en el año 175 d.C., Galeno utiliza un fuelle para inflar los pulmones de un animal. No se encuentran nuevas descripciones hasta el siglo XVI cuando Paracelso y Vesalio, a través de experiencias similares, establecen el concepto de respiración artificial. En 1911, la casa Dräger construyó un primer aparato de presión positiva intermitente (PPI) (Pulmotor), y fue utilizado en pacientes con problemas respiratorios. En 1928, Drinker y Shaw diseñaron un prototipo del pulmón de acero para VM de larga duración que, mejorado por Emmerson en 1931, tuvo una amplia difusión en las epidemias de poliomielitis de la década de 1940. Debido a las limitaciones en el acceso a los pacientes que implicaban los pulmones de acero, en los años 1940-1950 se desarrolló la técnica de PPI con intubación endotraqueal que, desde las epidemias de poliomielitis de los años 1950, se ha impuesto como técnica de VM convencional en el paciente grave [1]. En los últimos 30 años y particularmente en los últimos 15 años, con el desarrollo tecnológico e informático, los ventiladores han ido evolucionando de forma incesante, permitiendo una mejor monitorización de los pacientes e incorporado nuevas técnicas ventilatorias, con el fin de mejorar su

eficacia y limitar sus efectos adversos. Por desgracia, aunque el número de opciones ventilatorias disponibles por el facultativo ha ido aumentando de forma exponencial, todavía no se han desarrollado ensayos clínicos controlados que definan claramente la utilidad de muchas de ellas [1].

En la actualidad, la VM es una herramienta clave en el tratamiento del paciente pediátrico crítico, ya sea esta situación debida a enfermedad pulmonar o extrapulmonar, tanto en el medio extrahospitalario (sistemas de urgencias y transporte sanitario) como en el hospitalario (urgencias, quirófano, unidad de cuidados intensivos pediátricos, etc.). Además, el aumento de la supervivencia de niños con insuficiencia respiratoria crónica está condicionando el desarrollo de programas de VM domiciliaria pediátrica, encaminados a mejorar la calidad de vida de estos niños y sus familias [1].

La ventilación mecánica (VM) puede definirse como la técnica por la cual se realiza el movimiento de gas hacia y desde los pulmones por medio de un equipo externo conectado directamente al paciente.

El equipo puede ser una bolsa de resucitación o un ventilador mecánico, y puede conectarse al paciente por medio de una mascarilla facial, un tubo endotraqueal (lo más frecuente), una traqueostomía o el tórax (aparatos de presión negativa extratorácica) [1].

Un ventilador generalmente es un dispositivo médico que genera un flujo de gas en las vías aéreas del paciente. El ventilador controla tanto la dirección y magnitud del flujo, como su presión, humedad, temperatura y mezcla de gases. Puede controlar la duración de las diferentes fases de la inspiración y la espiración y monitorizar diversos parámetros durante las mismas. Finalmente, un ventilador cuenta con sistemas de alarma que alertan al operador de fallas en el funcionamiento o cambios en la condición del paciente. El cambio de dirección del flujo de gas en el ventilador se realiza al alcanzarse ya sea una presión o un volumen determinados por el médico tratante. Se les conoce respectivamente como ventiladores de presión y ventiladores de volumen [2].

Objetivos [1]:

- Mantener el intercambio de gases
- Reducir o sustituir el trabajo respiratorio
- Disminuir el consumo de oxígeno sistémico y/o miocárdico
- Conseguir la expansión pulmonar
- Permitir la sedación, anestesia y relajación muscular
- Estabilizar la pared torácica
- Minimizar los daños a los pulmones y vías respiratorias

En general las variables fisiológicas que se miden en el ensayo de ventiladores pulmonares encontradas en el alcance de este proyecto son:

- Presión
- Flujo
- Volumen

La inspiración o inhalación y la espiración o exhalación del aire hacia y desde los pulmones, habitualmente ocurre a través de la nariz donde son atrapadas partículas extrañas y polvo. El aire entra a los pulmones a través de la tráquea y avanza desde allí hasta una red de túbulos cada vez más pequeños, los bronquios y bronquiolos, que terminan en pequeños sacos aéreos, los alvéolos. El intercambio gaseoso tiene lugar realmente a través de las paredes alveolares. El aire entra y sale de los pulmones como resultado de cambios en la presión pulmonar que, a su vez, resultan de cambios en el tamaño de la cavidad torácica.

En la figura 1 se observa:

- El aire entra a través de la nariz o de la boca y pasa a la faringe, entra en la laringe y sigue hacia abajo por la tráquea, bronquios y bronquiolos hasta los alvéolos de los pulmones.
- Los alvéolos, de los que hay aproximadamente 300 millones en un par de pulmones, son los sitios de intercambio gaseoso.
- El oxígeno y el dióxido de carbono difunden a través de la pared de los alvéolos y de los capilares sanguíneos.

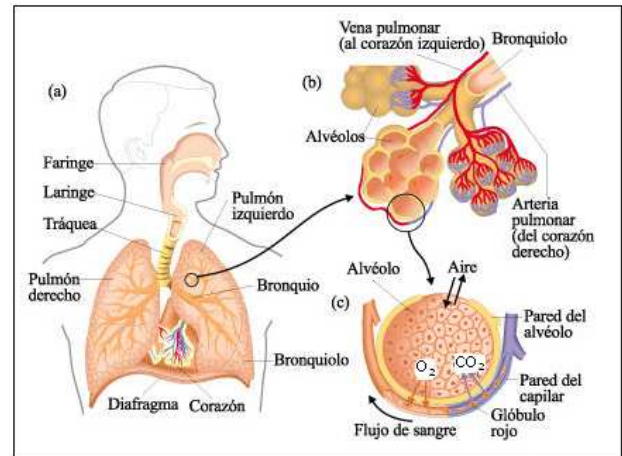


Figura 1. Fisiología de la respiración

Desde las cavidades nasales, el aire pasa a la faringe y desde allí a la laringe que contiene las cuerdas vocales y está situada en la parte superior y anterior del cuello. El aire que pasa a través de las cuerdas vocales al espirar las hace vibrar y esto causa los sonidos del habla [3].

Desde la laringe, el aire inspirado pasa a través de la tráquea, un tubo membranoso largo también revestido de células epiteliales ciliadas [3].

La tráquea desemboca en los bronquios, que se subdividen en pasajes aéreos cada vez más pequeños llamados bronquiolos [3].

Los bronquios y los bronquiolos están rodeados por capas delgadas de músculo liso. La contracción y relajación de este músculo, que se halla bajo control del sistema nervioso autónomo ajustan el flujo de aire según las demandas metabólicas [3].

Los cilios de la tráquea, bronquios y bronquiolos baten continuamente, empujando el moco y las partículas extrañas embebidas en él hacia la faringe, desde donde generalmente son tragados [3].

El objetivo general de la ventilación mecánica, es el de llevar un cierto volumen de gas a los pulmones, para que en los alveolos se produzca el intercambio gaseoso.

Para poder sustituir la función respiratoria con aparatos mecánicos; se requiere la generación de una fuerza que supla la fase activa del ciclo respiratorio. Una vez generada la fuerza necesaria, para que la inspiración se lleve a cabo, debe establecerse el mecanismo de ciclado que permita realizar cada una de las fases del ciclo ventilatorio, es decir, obtener las condiciones para que se inicie la inspiración, regular cuando debe terminar esta y facilitar que se realice la espiración.

## 2. DEFINICIONES

**2.1 Definiciones metrológicas fundamentales:** Este procedimiento utiliza las definiciones metrológicas de conformidad con la norma NTC-2194, vocabulario de términos básicos y generales en metrología y la norma NTC-IEC-60601-1, Equipo Electromédico. Parte 1: Requisitos Generales para la seguridad, ellas son:

**2.1.1 Exactitud de medición.** Cercanía del acuerdo entre el resultado de una medición y un valor verdadero de la magnitud por medir [4].

**2.1.2 Instrumento de medición digital.** Instrumento de medición que suministra una señal de salida en forma digital [4].

**2.1.3 Instrumento de medición análogo.** Instrumento de medición en el cual la salida o la presentación de la información es una función continua de la magnitud por medir o de la señal de entrada [4].

**2.1.4 Patrón de trabajo.** Patrón que se utiliza rutinariamente para calibrar o comprobar, instrumentos de medida [4].

**2.1.5 Error de medición.** Resultado de una medición menos un valor verdadero de la magnitud por medir.

Nota. Cuando se necesita distinguir entre "error" y "error relativo", el primero a veces se denomina *error absoluto demedición*. Este no se debe confundir con el *valor absoluto de error*, que es el módulo del error [4].

**2.1.6 Repetibilidad de un instrumento de medición.**

Aptitud de un instrumento de medición para dar indicaciones muy cercanas, en aplicaciones repetidas de la misma magnitud por medir bajo las mismas condiciones de medición [4].

**2.1.7 Incertidumbre de la medición.** Parámetro asociado con el resultado de una medición, que caracteriza a la dispersión de los valores que en forma razonable se le podrían atribuir a la magnitud por medir.

Nota 1: El parámetro puede ser, por ejemplo, una desviación estándar (o un múltiplo dado de ella), o la semi-longitud de un intervalo que tenga un nivel de confianza determinado [4].

**2.1.8 Evaluación (de incertidumbre) Tipo A.**

Método para evaluar la incertidumbre mediante el análisis estadístico de una serie de observaciones [5].

**2.1.9 Evaluación (de incertidumbre) Tipo B.**

Método para evaluar la incertidumbre por otro medio que no sea el análisis estadístico de una serie de observaciones [5].

**2.1.10 Calibración.** Conjunto de operaciones que establecen, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores de las magnitudes que indiquen un instrumento de medición o un sistema de medición, o valores representados por una medida materializada o por un material de referencia, y los valores correspondientes determinados por medio de los patrones [4].

**2.1.11 Equipo electromédico.** Equipo eléctrico, provisto de una sola conexión con la red de alimentación y destinado a diagnosticar, tratar rehabilitar y/o vigilar al

paciente bajo supervisión médica y que tiene contacto físico con el paciente y/o transfiere energía, y/o recibe energía [6].

## 3. CALIBRACIÓN DE VENTILADORES PULMONARES

El VT PLUS HF, es un analizador de flujo de gas para uso general, evalúa la presión, el flujo y el volumen entregados por una variedad de dispositivos. El VT PLUS HF ofrece los modos especiales diseñados específicamente para probar los ventiladores de pacientes mecánicos, incluyendo los ventiladores oscilatorios de alta frecuencia (HFOV). [7]



Figura 2. Analizador de Flujo de Gas Bidireccional: FLUKE BIOMEDICAL VT-PLUS HF

El equipo analizador se utiliza en los siguientes equipos de ventilación mecánica pulmonar:

- Ventiladores ciclados por presión.
- Ventiladores ciclados por tiempo.
- Ventiladores ciclados por volumen.
- Ventiladores ciclados por flujo
- Ventiladores mixtos.
- Ventiladores de flujo continuo
- Ventiladores de flujo intermitente
- Ventiladores con flujo básico constante

El VT PLUS HF tiene las siguientes especificaciones técnicas:

Parámetro	Rango	Exactitud
Volumen tidal inspiratorio y expiratorio	Rango de volumen: $> \pm 60$ l Rango de flujo máximo (valor absoluto): 500 lpm	$\pm 2\%$ del rango
Volumen minuto	0 – 60 l	3 %
Frecuencia respiratoria	0,5 – 150 bpm	1 %
Relación de tiempo inspiratorio expiratorio (I:E Ratio)	1:200 hasta 200:1	2 % ó 1
Presión máxima inspiratoria (PIP)	$\pm 120$ cmH <sub>2</sub> O	$\pm 3\%$ ó 1 cmH <sub>2</sub> O

Parámetro	Rango	Exactitud
Pausa de presión inspiratoria (IPP)	± 120 cmH <sub>2</sub> O	± 3 % ó 1 cmH <sub>2</sub> O
Presión media vía aérea (MAP)	± 80 cmH <sub>2</sub> O	± 3 % ó 0,5 cmH <sub>2</sub> O
Presión positiva al final de la espiración (PEEP)	-5 a 40 cmH <sub>2</sub> O	± 3 % ó 0,5 cmH <sub>2</sub> O
Flujo máximo expiratorio (PEF)	0 – 300 lpm	3 % ó 2 lpm
Flujo máximo inspiratorio (PIF)	0 – 300 lpm	3 % ó 2 lpm

Tabla 1. Especificaciones del Analizador de Flujo de Gas Bidireccional: FLUKE BIOMEDICAL VT-PLUS HF [8]

### 3.1 EQUIPO Y MATERIALES EMPLEADOS.

Patrón de trabajo: Analizador de flujo de gas y ventiladores pulmonares VT PLUS-HF, simulador de pulmón y adaptadores.

### 3.2 PREPARACION Y PRECAUCIONES PARA EL ENSAYO

**3.2.1 Condiciones de temperatura y humedad relativa.**<sup>1</sup> El laboratorio realiza los ensayos de los ventiladores pulmonares bajo las siguientes condiciones ambientales:

Humedad Relativa: 30% a 75%  
Temperatura ambiente: 10 °C a 40 °C.

Para verificar estos valores, el laboratorio emplea un termohigrómetro que proporciona el registro de las variables de Temperatura y Humedad Relativa presentes en el lugar donde se realiza el ensayo.

**Registro:** Registro del ensayo para ventiladores pulmonares, código: LME-FOR-068.

### 3.2.2 Preparación del patrón de trabajo FLUKE BIOMEDICAL VT PLUS-HF.

- El analizador de flujo de gas y ventiladores pulmonares se activa después de encenderse y se necesita un calentamiento de cinco (5) minutos para su operación. Se recomienda si es necesario, un tiempo de cuarenta (40) minutos para una máxima exactitud y estabilidad del analizador.

- Todos los sensores de presión y presiones diferenciales (flujo) en el VT PLUS-HF necesitan ser periódicamente ajustados a cero. Esta función puede ser fijada para que ocurra automáticamente en intervalos predeterminados, o únicamente cuando el usuario lo requiera puede presionar la tecla etiquetada como “ZERO/7” del panel frontal del VT PLUS-HF.

### 3.2.3 Preparación del equipo bajo prueba.

- Ubicar el equipo bajo prueba en un área segura, alejado de los pacientes.
- Conectar el equipo bajo prueba a la red de alimentación referenciada a tierra.

### 4. CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE VENTILACIÓN MECÁNICA PULMONAR [5], [9], [10].

Se presenta a continuación el certificado de calibración de un ventilador pulmonar mecánico, acorde con el requisito 5.10 de la norma técnica NTC-ISO/IEC 17025.

Certificado de Calibración de Equipo Electromédico  
No. CCEM-011-2007

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPO ELECTROMÉDICO

*Calibration Certificate Electromedical Equipment*

SOLICITANTE : HOSPITAL UNIVERSITARIO  
CUSTOMER : SAN MATEO E.S.E  
Ingeniero Ricardo López

DIRECCIÓN : Portal de Corales, Pereira.  
ADDRESS

AREA : HOSPITAL UNIVERSITARIO  
ZONE : SAN MATEO E.S.E  
Mantenimiento

EQUIPO: : Ventilador Pulmonar  
EQUIPMENT

FABRICANTE : VIASYS HEALTHCARE  
MANUFACTURER

MODELO : AVEA  
MODEL

NÚMERO DE : AGV05631A  
SERIE  
SERIAL NUMBER

FECHA DE : -----  
RECEPCIÓN  
DATE OF RECEPCION

FECHA DE : 2007-10-17  
ENSAYO  
DATE OF REPORT

NÚMERO DE : Cinco (5) incluyendo anexos  
PÁGINAS:  
NUMBER OF PAGES

Este Informe expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas y no podrá ser reproducido total o parcialmente, excepto cuando se haya obtenido previamente permiso por escrito del laboratorio que lo emite.

Los resultados contenidos en el presente Informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El

<sup>1</sup> NTC-IEC-60601-1. Numeral 10.2.1

laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de la información aquí contenida y de los equipos involucrados en el ensayo.

Auxiliares de Calibración  
Elaboró

Jefe de Calibración  
Revisó

Luis Gregorio Meza Contreras  
Director de Laboratorio

**TRABAJO REALIZADO:** Calibración

### MÉTODO DE MEDICIÓN E IDENTIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO:

Comparación de lecturas entre el Patrón de trabajo y el equipo electromédico.

Procedimiento interno LME-PDE-018.

### CONDICIONES AMBIENTALES:

Temperatura: 25,2 °C

Humedad Relativa: 68,5 %

Voltaje de red: 123,35 V

### EQUIPO UTILIZADO:

Equipo: Analizador de Flujo de Gas FLUKE VT PLUS HF

No Serie: 8922043

### INFORMACIÓN DE TRAZABILIDAD:

Equipo: Analizador de Flujo de Gas FLUKE VT PLUS HF

No Serie : 8922043

Certificado No:2128272-8922043:1164903016

El Analizador de Flujo de Gas FLUKE VT PLUS HF es calibrado con instrumentos trazados a estándares internacionales.

El laboratorio establece la trazabilidad del patrón de trabajo "Analizador de Flujo de Gas FLUKE VT PLUS HF" con el Sistema Internacional de Unidades (SI) por medio de una cadena ininterrumpida de calibraciones que lo vincula a los patrones primarios pertinentes de las unidades de medición del SI.

### OBSERVACIONES:

- Si el equipo patrón genera la variable, la *lectura promedio del equipo*, es el valor promedio de seis (6) lecturas tomadas en el equipo electromédico bajo prueba.

- Si el equipo patrón mide la variable, la *lectura promedio del patrón*, es el valor promedio de seis (6) lecturas tomadas en el equipo patrón.

- Para efectos de cálculo, el número de cifras de los datos tienen una cifra más que el número de cifras de la resolución de las lecturas del equipo electromédico o del equipo patrón.
- El solicitante es responsable del ensayo de sus equipos a intervalos adecuados.
- La actividad de ensayo del ventilador pulmonar se realizó en Hospital San Jorge de Pereira en la unidad de cuidados intensivos pediátricos.
- La actividad de ensayos de equipo electromédico se encuentra fuera del alcance acreditado por el laboratorio.

### ANEXO: RESULTADO DEL ENSAYO

#### VENTILADORES PULMÓNARES

**Tipo de prueba:** Valores de Parámetros constantes

Parámetro	Lectura del patrón
Oxígeno (%)	75,2
Tipo de Gas	Oxígeno (O <sub>2</sub> )
Presión barométrica (mmHg)	589,9

**Tipo de prueba:** Medida de fuga

Parámetro	Lectura del patrón
Compliance (ml/cmH <sub>2</sub> O)	10
Volumen perdido (ml)	2
Presión inicial (cmH <sub>2</sub> O)	0,6
Velocidad de fuga (cmH <sub>2</sub> O/s)	0,01
Tiempo total (s)	90 s

**Tipo de prueba:** Medida de flujo

Tipo de flujo: Alto

Flujo (l/min): 40

Parámetro	Lectura promedio del patrón	Lectura Equipo	Error	Tolerancia	K**	Incertidumbre Expandida
PIF (l/min)	42,000	36,428	5,572	---	1,65	1,1
PEF (l/min)	42,000	37,645	4,355	---	1,65	1,1
Relación I : E	4,600	4,453	0,147	---	1,65	0,085
Índice de respiración (bpm)	25,00	25,00	0,00	---	1,65	0,25

Flujo (l/min): 70

Parámetro	Lectura promedio del patrón	Lectura Equipo	Error	Tolerancia	K**	Incertidumbre Expandida
PIF (l/min)	67,000	58,473	8,527	---	1,65	1,7
PEF (l/min)	62,000	53,520	8,480	---	1,65	1,5
Relación I : E	5,700	5,577	0,123	---	2,06	0,18
Índice de respiración (bpm)	25,00	24,98	0,02	---	1,96	0,30

### Tipo de prueba. Medida de volumen

Rango: 210 ml

Parámetro	Lectura promedio del patrón	Lectura Equipo	Error	Tolerancia	K**	Incertidumbre Expandida
Volumen/ minuto (l/min)	4,7000	4,5382	0,1618	---	1,65	0,23
Volumen Tidal (ml)	189,00	183,28	5,72	---	2,45	1,95
Tiempo de Expiración (s)	1,970	1,962	0,008	---	1,96	0,021
Tiempo de Inspiración (s)	0,430	0,440	-0,010	---	1,96	0,0091

Rango: 210 ml

Parámetro	Lectura promedio del patrón	Lectura Equipo	Error	Tolerancia	K**	Incertidumbre Expandida
Volumen/minuto (l/min)	7,1000	6,4698	0,6302	---	1,65	0,32
Volumen Tidal (ml)	299,00	259,17	39,83	---	2,26	0,98
Tiempo de Expiración (s)	2,040	2,035	0,005	---	1,96	0,023
Tiempo de Inspiración (s)	0,360	0,365	-0,005	---	2,04	0,012

### Tipo de prueba: Medida de presión

Tipo de presión: Alta

Rango: 22 cmH<sub>2</sub>O (presión de inspiración)

Parámetro	Lectura promedio del patrón	Lectura Equipo	Error	Tolerancia	K**	Incertidumbre Expandida
PIP (cmH <sub>2</sub> O)	30,00	30,48	-0,48	---	1,65	0,88
MAP (cmH <sub>2</sub> O)	-----	-----	-----	---	---	-----
IPP (cmH <sub>2</sub> O)	-----	-----	-----	---	---	-----
PEEP (cmH <sub>2</sub> O)	7,00	7,80	-0,80	---	1,96	0,28

Tipo de presión: Alta

Rango: 22 cmH<sub>2</sub>O (presión de inspiración)

Parámetro	Lectura promedio del patrón	Lectura Equipo	Error	Tolerancia	K**	Incertidumbre Expandida
PIP (cmH <sub>2</sub> O)	43,00	43,38	-0,38	---	1,65	1,24
MAP (cmH <sub>2</sub> O)	----	----	----	----	----	----
IPP (cmH <sub>2</sub> O)	----	----	----	----	----	----
PEEP (cmH <sub>2</sub> O)	7,00	8,02	-1,02	---	1,96	0,29

PIF: velocidad máxima de flujo de inspiración.

PEF: velocidad máxima de flujo de expiración.

PIP: Presión máxima de inspiración.

MAP: Presión principal de vía aérea.

IPP: Presión promedio de inspiración.

PEEP: Presión promedio al final de la expiración.

Los valores de K\*\* se calculan para un nivel de confianza del 95% de acuerdo a una distribución normal.

### 5. CONCLUSIONES

• El anterior procedimiento está diseñado para realizar calibraciones a ventiladores pulmonares; se incluyó el correspondiente procedimiento general aplicado a un equipo marca. Viasys Healthcare modelo AVEA.

• El Laboratorio de Metrología – Variables Eléctricas en su área electromédica, cuenta ya con la documentación necesaria para cumplir con el sistema de calidad de acuerdo a la norma NTC-ISO-IEC 17025, por lo cual el laboratorio ya está acreditado ante la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC) en lo relacionado a los procedimientos e instructivos para la calibración/ensayo de equipo electromédico, con lo que será posible certificar la calidad de las entidades prestadoras de salud asegurando que los equipos de medición y diagnóstico utilizados para tal fin cumplen con la seguridad y exactitud de los valores especificados por el fabricante.

### 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] J.I. MUÑOZ, Bonet. Conceptos de ventilación mecánica. España. 2007. Documento disponible en <http://www.doyma.es>
- [2] Guía Tecnológica No. 5: Ventilador Neonatal. CENETEC (Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud). México. 2004. Documento disponible en [http://www.cenetec.salud.gob.mx/guias\\_tecnologicas\\_pdf/5gt\\_ventilador.pdf](http://www.cenetec.salud.gob.mx/guias_tecnologicas_pdf/5gt_ventilador.pdf)
- [3] Biología Capítulo 41. Energía y metabolismo II: respiración. Disponible en <http://www.educa.aragob.es/iescarin/depart/biogeno/varios/BiologiaCurtis/Seccion%207/7%20-%20Capitulo%2041.htm>
- [4] Norma NTC-2194 Vocabulario de términos básicos y generales en metrología.
- [5] GTC 51, Guía para la Expresión de Incertidumbre en Mediciones. 2000: Bogotá D.C.
- [6] Norma NTC-IEC-60601-2-4, Equipo Electromédico. Parte 2: Requisitos particulares de seguridad para los desfibriladores y monitores desfibriladores cardiacos.
- [7] Set & Gat Ltda. Analizadores de Equipo Electromédico FLUKE. <http://www.setgat.com/index.html>
- [8] Manual de uso y servicio del analizador para el Analizador de Flujo de Gas Bidireccional: FLUKE BIOMEDICAL VT-PLUS HF.
- [9] NTC-ISO-17025 Requisitos generales de competencia de laboratorios de ensayos y calibración.
- [10] EA 4/02, Expresión of the Uncertainty of Measurement in Calibration.