

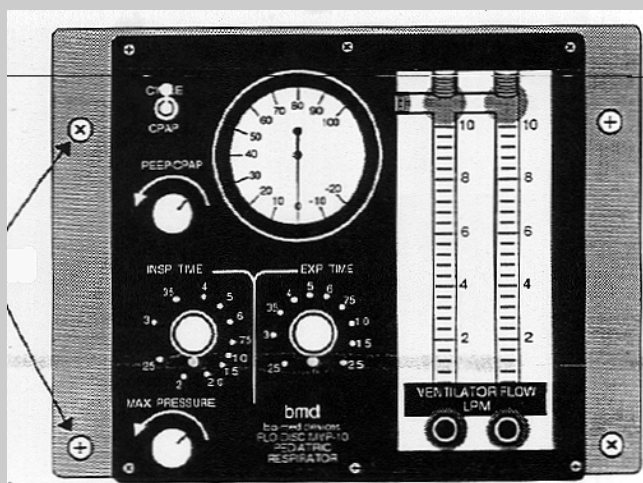


Ministerio de Salud Pública  
y Asistencia social  
Zusammenarbeit

## PROYECTO DE MANTENIMIENTO HOSPITALARIO



Deutsche Gesellschaft für  
Technische



## Manual de Operación para Ventiladores

San Salvador, Marzo de 1997

## **Indice**

	<b>Página</b>
1. Introducción .....	1
2. Objetivos .....	1
3. Descripción Funcional .....	1
3.1. Ventilación con Presión Positiva	
3.2. Modelo Mecánico Eléctrico	
3.3 Modos de Funcionamiento Generales	
3.4. Modos de Operación en los Ventiladores	
4. Descripción del Equipo de Ventilación .....	4
5. Operación .....	5
5.1. Operación con Ciclo de Tiempo para Ventilación Automática	
5.2. Operación sin Ciclo	
5.3. Consejos para una Buena Operación	
6. Limpieza y Mantenimiento .....	7
7. Problemas Comunes .....	8
<b>Apéndice</b> .....	9

# MANUAL DE OPERACION PARA VENTILADORES

## 1. INTRODUCCION

Este manual está dirigido al personal que opera los sistemas médicos de ventilación. Aquí se da especial énfasis a la funcionalidad y operatividad de los diferentes modos en que pueden trabajar los equipos de ventilación actuales.

## 2. OBJETIVOS

- Describir las propiedades físicas y fisiológicas básicas del equipo de ventilación.
- Describir los pasos generales para la operación de los sistemas de ventilación.
- Presentar consejos al operario para una buena práctica de limpieza y mantenimiento del equipo

## 3. DESCRIPCION FUNCIONAL

En fisiología, el término ventilación se refiere al suministro de oxígeno a los pulmones. En general, existen 3 maneras de conseguir este objetivo:

- La aplicación intermitente de presión negativa al cuerpo
- La aplicación intermitente de presión positiva de aire, y
- Estimulación eléctrica a nervios y músculos que producen la inspiración.

De estos métodos, comercialmente, es más popular el método de suministro de presión positiva.

### 3.1 Ventilación con Presión Positiva

Los ventiladores proporcionan asistencia respiratoria a pacientes que no pueden

respirar normalmente debido a enfermedades, traumas, defectos congénitos, o drogas (ej. anestésicos).

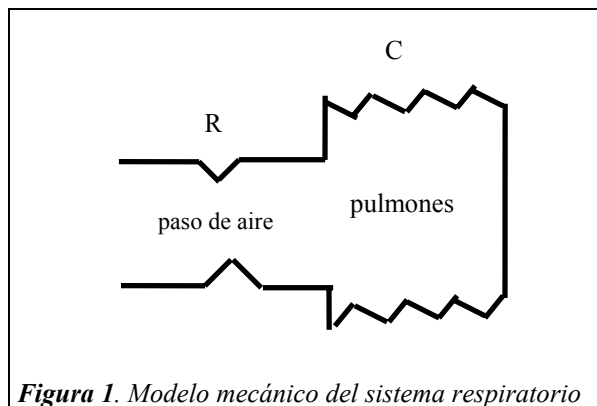
En la mayoría de ventiladores mecánicos, una fuente de presión positiva infla los pulmones del paciente, a través de una máscara, tubo endotraqueal o una traqueotomía. La presión en los pulmones incrementa en proporción al volumen del gas suministrado. El gas es exhalado a través de una vía de exhalación donde la presión es renovada.

Una ventilación mecánica, para ser efectiva, debe tener al menos cuatro características operativas básicas:

- a. Un medio para inflar los pulmones con aire (u otra mezcla de gases).
- b. Un medio de interrumpir el suministro de gases a los pulmones.
- c. Un medio que permita que la espiración tenga lugar con la restauración elástica de los pulmones y del tórax.
- d. Un medio para repetir estos pasos.

### 3.2 Modelo Mecánico-Eléctrico

Para apreciar los diferentes parámetros en un ventilador, es útil entender el principio del circuito neumático. En su forma más simple, el sistema pulmón-tráquea puede ser modelado a través de una resistencia  $R$ , que representa la oposición al paso del aire, y de una elasticidad o docilidad  $C$  que resume los componentes mecánicos del sistema respiratorio.



**Figura 1.** Modelo mecánico del sistema respiratorio

R= resistencia. [5-10 cm H<sub>2</sub>O/(L/seg.)]

C= elasticidad [0.05 L/cm H<sub>2</sub>O]

P= presión aplicada.

El aire debe fluir a través de la resistencia, “R”, para expandir la cámara elástica, “C”, que modela los pulmones.

La magnitud del flujo de gas instantáneo depende directamente de la presión y en forma inversa de la resistencia. Cuando los pulmones se expanden, el flujo “F” disminuye exponencialmente.

Hay 6 cantidades importantes asociadas con la ventilación de pulmones:

- Volumen “minute” (V<sub>m</sub>): volumen de gas suministrado a los pulmones en un minuto.
- Volumen “tidal” (V<sub>t</sub>): volumen de gas suministrado al pulmón en cada inspiración.
- Velocidad de respiración (F<sub>r</sub>): El número de inspiraciones por minuto.
- Presión de Espiración (P<sub>e</sub>): es la presión que indica el inicio de la espiración.
- Elasticidad (C): describe la naturaleza dócil y elástica de los pulmones y tórax.
- Resistencia al flujo de aire (R).

La elasticidad y resistencia en el tórax y los pulmones son determinados por el paciente. La presión de espiración y el período de inspiración determina el volumen "tidal".

$$V_t [L] = P_e [cm H_2O] \times C [L/cm H_2O] \quad (1)$$

### 3.3 Modos de Funcionamiento Generales

Los ventiladores poseen algunos modos de funcionamiento que se acomodan a las necesidades del paciente. La respiración controlada, la cual es usada por pacientes que no pueden respirar por si solos, sustituye totalmente la función respiratoria del paciente. Es el equipo quien fija el ciclo respiratorio, con independencia del paciente.

El modo de asistencia respiratoria, ayuda a la función respiratoria del paciente sin competir con ella, esta diseñado para pacientes que tienen dificultades para respirar pero quienes pueden iniciar la inspiración; la presión negativa que el paciente crea cuando intenta inhalar, dispara una respiración.

Hay modelos con servocontrol que pasan de respiración controlada a respiración asistida cuando el paciente respira por su cuenta.

### 3.4 Modos de Operación en los Ventiladores

#### a. Ventiladores con Ciclo de Presión

En los ventiladores de ciclo de presión, la presión del aire es medida en la boca, mientras una alta presión positiva (P<sub>v</sub>) es desarrollada en el ventilador. Cuando los pulmones se inflan, la presión en la boca

empieza a aumentar, tendiendo a alcanzar la presión aplicada  $P_v$ . En estas condiciones, el flujo de aire a los pulmones es casi constante, y el volumen suministrado es prácticamente lineal con el tiempo. Cuando la presión en la boca alcanza la presión de espiración ( $P_e$ ), previamente fijada, la fase de espiración inicia. La próxima inhalación ocurrirá de acuerdo a la velocidad de respiración fijada. La velocidad del ciclo debe ser definida, de tal manera que la espiración pueda ser completada antes que se inicie la próxima inspiración. Variaciones en la elasticidad y resistencia en el paso del aire llegan a afectar la operación del ventilador. Por ejemplo, si la elasticidad (C) disminuye a la mitad, el flujo inicial de gas debería ser el mismo; sin embargo como la presión de espiración ha sido previamente definida, y la disminución en la elasticidad producen una reducción en el tiempo para alcanzar dicha presión. Esto da como resultado que el volumen "tidal" sea mucho menor que el esperado. Por otro lado, si existe una fuga en el tubo que conecta la tráquea con el ventilador, el equipo entregará gas hasta alcanzar la presión de espiración ( $P_e$ ) o hasta que el ventilador no pueda suministrar más gas. Por lo que es necesario exigir al sistema que esté libre de toda fuga.

#### ***b. Ventiladores con Ciclo de Volumen.***

En este modo de operación, el ventilador suspende la inspiración cuando un determinado volumen de gas es suministrado a los pulmones. Aquí de nuevo una presión positiva relativamente alta,  $P_v$ , es desarrollada en el ventilador. La duración de la inspiración depende de

la presión aplicada, volumen de gas a entregar, y de la elasticidad y resistencia del circuito pulmonar. El siguiente ciclo de inspiración depende de la velocidad de respiración seleccionada en el ventilador. Es importante tomar nota, sin embargo, que la dependencia solamente en volumen para fijar la inspiración podría desarrollar una presión demasiado alta (especialmente en condiciones de baja elasticidad). Así que es práctica común fijar la presión de espiración un poco arriba de la presión desarrollada en el circuito para prevenir el desarrollo de una alta presión alveolar.

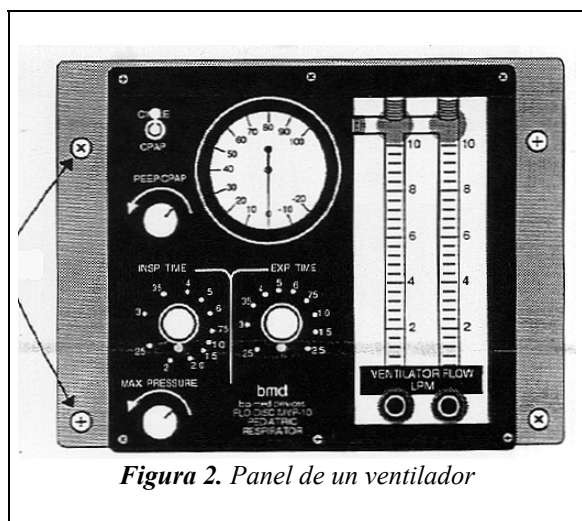
#### ***c. Ventilador con Ciclo de Tiempo.***

En los ventiladores con ciclo de tiempo, la duración de la inspiración es predeterminada. El volumen de gas suministrado depende de la presión del ventilador,  $P_v$ , y de la resistencia y elasticidad del sistema pulmonar. Circuitos neumáticos, mecánicos o electrónicos pueden ser utilizados para controlar el tiempo.

En este modo de operación, el volumen de gas suministrado puede incrementar, si aumenta la presión en el ventilador o si se prolonga la duración de la inhalación. Una fuga, en este modo de operación, reducirá el volumen "tidal".

#### ***d. Combinación de Modos de Operación.***

La mayoría de ventiladores no pueden ubicarse en una única categoría de las arriba descritas. Algunos ventiladores permiten la selección de uno o más de estas modalidades. Otros usan una combinación de ellos. Así por ejemplo, un ciclo de volumen puede ser combinado con un ciclo de tiempo. Si el

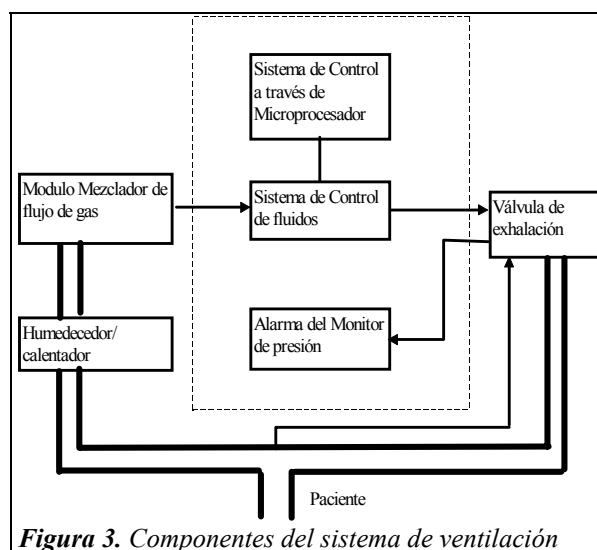


*Figura 2. Panel de un ventilador*

volumen "tidal" deseado es suministrado en menos tiempo que el fijado, la fase de espiración puede ser iniciada.

#### 4. DESCRIPCION DEL EQUIPO DE VENTILACION.

El sistema de control de un sistema de ventilación interactúa con el paciente a través del circuito de respiración. Las partes principales que constituyen este sistema son:



*Figura 3. Componentes del sistema de ventilación*

##### a. Humedecedor / Calentador

El gas que se administra al paciente debería ser humedecido y calentado a determinados valores fisiológicos. El volumen comprensible del humedecedor normalmente compresiona la mayoría de la elasticidad interna del circuito. Recordemos que la elasticidad (C) es uno de los factores que debe ser considerado cuando un sistema de ventilación es usado. Así por ejemplo, en estas condiciones, el tiempo para alcanzar la presión de descarga durante el proceso de respiración será bien corto. Esto puede o no ser deseable y debería ser considerado a la hora de configurar el circuito.

**Nota:** Las conexiones tanto del humedecedor como de la alarma de presión pueden llegar a afectar la elasticidad (C) del sistema.

**Precaución:** Siempre instale el humedecedor abajo de la posición que ocupe el paciente y de la posición del circuito respiratorio. Así lo que se condense no se drenará hacia el paciente ni se acumulará en el sistema..

##### b. El Conector al Paciente.

El conector al paciente permite que tanto la tubería de inspiración y espiración se acoplen al paso de aire en el paciente, ya sea por una máscara o un tubo endotraqueal. Con un adaptador adicional se podría monitorear la presión en el paciente.

##### c. Trampa de Agua.

Este accesorio puede ser colocado dentro del circuito, inmediatamente antes de donde se ramifica el lado de inspiración con el de espiración.

#### d. Válvula de Espiración

La válvula de espiración es el principal componente activo que controla la presión creada dentro del circuito en el paciente.

Cuando una presión es creada en la parte superior del diafragma en la válvula, éste se moverá hasta cerrar la válvula. El flujo del gas que entra en el circuito del paciente hará aumentar lo suficiente la presión dentro de él, que se opondrá al movimiento de cierre del diafragma. Es así que al cambiar la presión de control en la válvula habrá un cambio en la presión dentro del sistema

**Precaución:** No aplique ninguna fuerza sobre el diafragma una vez colocado en la válvula. Pues se podría romper o romper el sello a su alrededor.

#### e. Tubería.

El diámetro de la tubería utilizada para el circuito del paciente oscila entre 1/4 a 1/2 de pulgada. La selección del tamaño es principalmente dictado por características como flexibilidad y ligereza en peso. Los tramos tanto de inspiración y espiración normalmente cuentan con una longitud de 24 pulgadas cada uno.

**Precaución:** Si un tubo es comprimido o mal tratado puede resultar con daños permanentes. Cuando se desarme al circuito se debe hacer con sumo

cuidado. Se recomienda que el sistema debe ser armado en la secuencia de como fluye el gas desde la fuente hacia la válvula de exhalación.

## 5. OPERACION

### 5.1 Operación con Ciclo de Tiempo para Ventilación Automática

Los parámetros que deben ser elegidos para definir las características de operación del equipo son el *volumen "tidal"*, la *frecuencia de respiración*, *razón I/E* (inspiración / espiración) y la *concentración de oxígeno*. Con estos datos se puede calcular los tiempos de inspiración y espiración, como también la velocidad del flujo.

En general, la secuencia que se debe seguir para una normal operación es (para detalle en el cálculo ver Apéndice):

- Fijar la presión máxima.
- Fijar el tiempo para inspiración y para espiración.
- Determinar el flujo total a suministrar.
- Seleccionar la operación en ciclo (CPAP).
- Fije la concentración de oxígeno.
- Ajuste la válvula de seguridad de inspiración a 5 cm H<sub>2</sub>O arriba de la presión máxima deseada.
- Revise que el equipo funcione apropiadamente.
- Determine la elasticidad (C) del sistema:
  - Cubra o tape la conexión al paciente.
  - Con los parámetros definidos para el volumen "tidal" (V<sub>T</sub>), observe la lectura máxima en los manómetros durante el tiempo de inspiración. Si la

lectura es mayor a los 70 cm H<sub>2</sub>O, temporalmente reduzca el volumen "tidal" disminuyendo la velocidad del flujo y/o el tiempo de inspiración.

- El factor de elasticidad del sistema, sin paciente conectado es:

$$C = (V_T) / P \quad (2)$$

El factor de elasticidad en algunos equipos es de 0.13 ml./cm H<sub>2</sub>O. Si un humidificador es conectado, el factor estará entre 0.1 y 0.5ml./cmH<sub>2</sub>O. Un factor elástico (C) de

0.5 ml./cm H<sub>2</sub>O significa que 0.5ml. de gas se pierde para la expansión del circuito del paciente y del humidificador por cada cmH<sub>2</sub>O de presión durante el ciclo de ventilación.

- El sistema debe ser compensado en elasticidad incrementando el flujo total.
- Limitar la operación por presión o volumen
  - En la operación limitada en presión, se debe observar cuál es la máxima presión durante el tiempo de inspiración. Ajuste el control de presión máxima alrededor del valor de presión observada.
  - En la operación limitada en volumen, se debe observar cual es la máxima presión durante un ciclo completo. Ajuste el control de presión máxima de 5 a 10

cmH<sub>2</sub>O más arriba que la presión observada.

## 5.2 Operación sin Ciclo

- Seleccione la posición de presión positiva continua (CPAP).
- Determine empíricamente el flujo total necesario, eligiendo un flujo que no reporte caídas en la lectura de presión durante el período de inhalación.
- Ajuste la concentración de oxígeno.
- Revise que el sistema trabaje correctamente.

## 5.3. Consejos para una buena Operación.

- Nunca utilice un ventilador sin instalar y ajustar la válvula de alivio. Verificar que no este obstruida.
- No utilice ningún instrumento o equipo que puede o pudo estar expuesto a contaminación de aceites o grasas, para evitar el riesgo de una explosión.
- Siempre se debe monitorear la concentración de oxígeno con un analizador de oxígeno confiable de preferencia con alarma que asegure el apropiado FIO<sub>2</sub> está siendo suministrado al paciente.
- No permita que la presión leída en el manómetro aumente más allá del rango permisible, ya que el manómetro puede dañarse permanentemente.
- Se recomienda reemplazar los manómetros periódicamente. Dentro del Stock de repuestos se deben incluir estos manómetros, para que



cuando se presenten anomalías puedan ser sustituidos de forma inmediata.

- No se debe exponer el bloque plástico de la válvula de espiración a temperaturas mayores de 60°C (140°F).
- Cualquier residuo de agua líquida en el suministro de aire comprimido puede producir un mal funcionamiento en el equipo.
- El suministro de gas debe estar limpio, seco, libre de aceite y tener la calidad de grado médico.

**Nota:** Normalmente para el circuito lógico se utilizan 40 +/- 5 PSI, mientras que para el circuito del paciente se utilizan 30 +/- 5 PSI.

- No debe existir ninguna restricción para el flujo de gas en la línea de suministro.
- El humidificador debería tener un bajo factor de elasticidad (C), para lo cual el nivel de agua debe mantenerse alto.
- Se debe compensar el sistema de elasticidad cuando se opere el equipo con tiempo limitado por volumen.
- La exactitud del equipo debe ser revisada periódicamente a través de la calibración de manómetros, controles de tiempo y medidores de flujo.
- Proteja el ventilador contra choques mecánicos y manténgalo en limpias condiciones.

- La válvula de espiración es desechable y deberá ser reemplazada por cada paciente.
- Se recomienda que el circuito del paciente debe ser cambiado al menos cada 24 horas.

## 6. LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO.

Para una buena limpieza el ventilador debería de ser completamente desarmado, y cada uno de sus componentes lavados con una solución con detergente médico. Luego enjuagados preferentemente con agua destilada. Se puede esterilizar usando líquidos químicos u óxido de etileno (según recomiende el fabricante). Asegúrese que el agente químico sea compatible con superficies plásticas y que la mezcla óxido de etileno se utilice a temperaturas menores que 60°C. Debe tomarse en cuenta que el uso de óxido de etileno puede causar daños en los componentes plásticos y acortará su vida útil.

**Precaución:** El óxido de etileno es tóxico. Todo componente esterilizado con esta sustancia debe ser expuesto al aire apropiadamente para disipar cualquier residuo.

## 7. PROBLEMAS COMUNES.

Problema	Posible Causa	Posible Solución
Medidor de Flujo no calibrado	<ul style="list-style-type: none"> <li>Contaminación interna por humedad o suciedad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Limpiar completamente el tubo y bola del medidor</li> </ul>
Incapaz de leer presión cero en los manómetros o pérdida de su exactitud.	<ul style="list-style-type: none"> <li>El fuelle del manómetro esta sobrepresionado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reemplace el manómetro</li> </ul>
Fuga en el circuito del paciente	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fuga en la válvula de exhalación.</li> <li>Filtros de entrada contaminadas.</li> <li>Circuito interno contaminado.</li> <li>Mala calibración en la unidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Revise fugas</li> <li>Reemplace filtro</li> <li>Revisión profesional.</li> </ul>
Alarma del mezclador no se activa con una fuente de gas activa.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Residuos del gas contrario permanece presente en el módulo neumático</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gire el mezclador hasta el 60%, y descargue el gas residual con la válvula Veriflo.</li> </ul>
Alarma del mezclador activada con ambas fuentes de gas encendidas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fuente de gas agotada o la presión de salida es demasiado baja.</li> <li>El conector no se adapta</li> <li>En el circuito de del compresor de aire, el fusible está abierto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reemplace con una fuente adecuado.</li> <li>Ajustar adecuadamente</li> <li>Verificar los daños que lo pueden haber causado y darle Reset.</li> </ul>
La luz del piloto no enciende aunque el ventilador funciona normalmente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Luz piloto dañada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reemplazar por el apropiado LED.</li> </ul>
Incapacidad de alcanzar el pico en presión	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fuga en el sistema</li> <li>Insuficiente flujo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Revise y corrija cualquier fuga en el circuito, humedecedor o trampas de agua</li> <li>Aumente el flujo o aumente el tiempo de inspiración</li> </ul>
Momentánea alta presión	<ul style="list-style-type: none"> <li>Oposición del paciente al ventilador (llanto, involuntarios movimientos)</li> <li>Uso de terapia a través de aerosol</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Usar válvula pop-off como principal limitador de presión</li> <li>Drenar toda agua del circuito de respiración</li> </ul>
Incapaz de alcanzar la velocidad en respiración deseada.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Frecuencia de ventilación y el tiempo de inspiración fijados son incompatibles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Disminuya la frecuencia de ventilación o el tiempo de inspiración</li> </ul>
La presión del cilindro cae en un rango > 200 PSIG por más de 5 minutos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>El sello DIN está defectuoso.</li> <li>Se ha soltado la llave de acoplamiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reemplace el sello.</li> <li>Apretar la llave, no apretarla demasiado</li> </ul>
Incapaz de alcanzar el deseado FiO <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Caída de la presión en la fuente del oxígeno abajo de 45 psi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Restablezca la presión en la fuente de oxígeno</li> <li>Corregir posibles daños en el bloque o salida de alta presión</li> </ul>

## APENDICE.

### Ejemplo del Cálculo de Parámetros en Ventilación.

Parámetros prescritos:

- Frecuencia de respiración  
 $F_r = 30 \text{ resp./minuto}$
- Volumen "tidal"  
 $V_t = 10 \text{ ml}$
- Razón I/E = 1 / 3
- Concentración de oxígeno = 60%
- Factor elasticidad del equipo  
 $C = 0.5 \text{ ml/cm H}_2\text{O}$

Ciclo de Respiración

$$\begin{aligned} T_t &= 1/F_r \\ &= 1/30 \times 60 \text{ seg} \\ &= 2 \text{ seg} \end{aligned}$$

Tiempo de inspiración

$$\begin{aligned} T_i &= (T_t)(I)/(I+E) \\ &= 2 \text{ seg} \times 1/4 \\ &= 0.5 \text{ seg} \end{aligned}$$

Tiempo de espiración

$$\begin{aligned} T_e &= (T_t)(E)/(I+E) \\ &= 2 \text{ seg.} \times 3/4 \\ &= 1.5 \text{ seg.} \end{aligned}$$

Flujo Total

$$\begin{aligned} F_t &= V_t/T_i \\ &= 10 \text{ ml}/0.5 \text{ seg} \\ &= 20 \text{ ml/seg} (= 1.2 \text{ L/min.}) \end{aligned}$$

Si la presión (P) durante un ciclo llega a ser de 10 cm. H<sub>2</sub>O, y la elasticidad del equipo (C) es 0.5 ml./cm H<sub>2</sub>O, significa que la pérdida dentro del circuito es

5 ml., con lo que el volumen "tidal",  $V_t$ , realmente suministrado al paciente es 5 ml.

Para suministrar el volumen "tidal" prescrito, se debe ajustar el flujo para suplir 15 ml. de volumen tidal.

$$\begin{aligned} \text{Flujo ajustado} &= V_t / T_i \\ &= 15 \text{ ml.} / 0.5 \text{ seg} \\ &= 1.8 \text{ L/min.} \end{aligned}$$

La presión aumentará un poco debido al mayor volumen en el sistema; por ejemplo a 12 cm. H<sub>2</sub>O. En esta ocasión la pérdida será de 6 ml. (12 x 0.5) y el volumen "tidal" entregado al paciente será de 9 ml.

Otra aproximación más es necesaria hacer para obtener un resultado más cercano al prescrito. Así, si incrementamos el flujo (F) a 2 L/min. (33ml/seg), la presión aumentará a 13 cm H<sub>2</sub>O.

- El volumen por ciclo ahora será

$$\begin{aligned} F \times T_i &= 33 \text{ ml./seg} \times 0.5 \text{ seg.} \\ &= 16.5 \text{ ml} \end{aligned}$$

- La pérdida en volumen es

$$\begin{aligned} P \times E &= 13 \times 0.5 \\ &= 6.5 \text{ ml} \end{aligned}$$

- El volumen "tidal"

$$V_t = 10 \text{ ml}$$