

# ¿Sabías qué?

Número 3. Julio 2021

## Humidificación y circuitos

### Introducción

Más que un dispositivo, la "humidificación activa" es un sistema, compuesto por tres partes, no solo por el equipo. Las partes que conforman este sistema son: el *equipo*, la *cámara* o *carcasa* y el *circuito*.

Durante la ventilación espontánea, el aire que inspiramos es calentado y humidificado desde su ingreso por la nariz y boca, con el objetivo de llegar en condiciones óptimas al tracto respiratorio inferior. Cuando los pacientes se encuentran bajo algún tipo de soporte ventilatorio, estas funciones se pueden alterar de manera crítica. Es por esto que surge la necesidad de proveer externamente calor y humedad a las vías aéreas para evitar daños potenciales sobre la estructura y función del epitelio respiratorio.

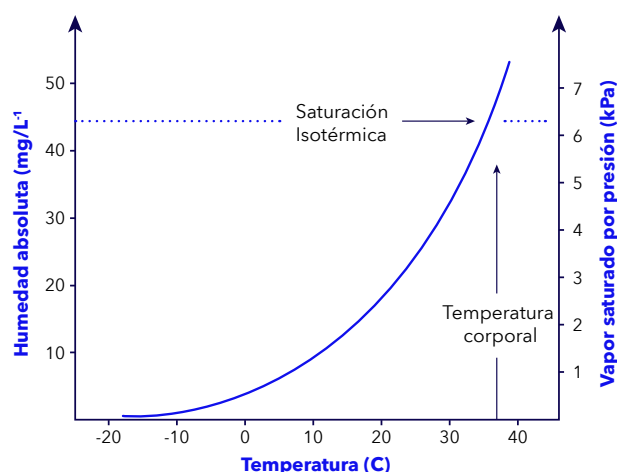
Desde hace ya varios años el acondicionamiento del gas inspirado es un estándar de cuidado en los pacientes en ventilación mecánica, así como durante la terapia con  $O_2$  a alto flujo. Se encuentran en el mercado un número importante de opciones disponibles, sin embargo, existe una enorme variabilidad en cuanto a la *performance* de los distintos sistemas de humidificación.

### Repaso sobre aspectos físicos de la humidificación

El flujo de gas que se moviliza durante la inspiración, es turbulento, esto asegura un máximo contacto del gas con la mucosa del tracto respiratorio, que se encuentra caliente y húmeda, siendo la nariz la zona en la que se realiza la mayor transferencia de calor y humedad. Este intercambio de calor y humedad ocurre siempre que existan gradientes térmicos y de humedad entre el aire y la mucosa de las vías respiratorias, de esta manera cuanto más altos sean los gradientes, mayor será la transferencia de calor y humedad<sup>1</sup>. Durante la inspiración, el aire se calienta y humidifica por la evaporación del agua de la superficie de la mucosa. El proceso continúa hasta que el gas alcanza los 37°C y se satura de vapor de agua. El lugar en el que se alcanza esta condición se conoce como punto de saturación isotérmica, y anatómicamente se encuentra alrededor de la 4ª a 5ª generación bronquial. El punto de saturación isotérmica se mueve, es dinámico, se desplaza, así, durante la hiperventilación, se desplaza hacia distal, tal y como ocurre cuando inspiramos gases más fríos y/o secos<sup>1</sup>.

Mientras espiramos, el gas caliente que proviene del comportamiento alveolar, en la medida que avanza hacia la boca, transfiere temperatura a la mucosa, al perder temperatura, también pierde humedad, de esta manera se rehidrata y recalienta la mucosa de la vía aérea minimizando así la pérdida de calor y humedad relacionada con el proceso de humidificación, haciendo a este un mecanismo más eficiente en términos energéticos.

Se define a la humedad como a la cantidad de agua vaporizada que contiene una mezcla de gas<sup>2</sup>. La capacidad de un gas de contener agua en forma de vapor tiene relación directa con su temperatura, ver Figura 1. En la medida que la temperatura de un gas aumenta, aumenta la capacidad de este de contener humedad. Por el contrario, la disminución de la temperatura del gas disminuye dicha capacidad.



**Figura 1:** Relación entre la humedad absoluta y la temperatura. En la medida que aumenta la temperatura del gas aumenta su capacidad de contener humedad. A 37 °C de temperatura corporal, a nivel de la 4ª a 5ª generación bronquial, el gas encuentra su condición óptima, se encuentra saturado de vapor de agua con una humedad absoluta de 44 mg/L, este punto se denomina punto de saturación isotérmica. **Fuente:** Elaboración propia.

Existe una capacidad máxima para contener humedad que está determinada por la temperatura del gas, ver Figura 1.

### La humedad puede expresarse en términos absolutos o relativos

La humedad absoluta (HA) de un gas es la masa de vapor de agua presente en una mezcla gaseosa, se mide en miligramos de agua por litro de gas (mg/L). A nivel alveolar la  $T^\circ$  es de 37°C y la HA de 44 mg/L (Figura 1)

La humedad relativa (HR) de un gas, se expresa en porcentaje, y está determinada por la relación

que existe entre la HA presente en el gas, y la capacidad máxima de contener humedad para esa T°. Por ejemplo, si tenemos un gas a 37 °C con una HA de 22 mg/L, la HR del mismo es del 50%, debido a que  $HR = 22/44 * 100$ , esto quiere decir que el gas tiene la mitad de la humedad que podría tener para esa T°. Por el contrario, si un gas a 37 °C tiene una HA de 44 mg/L, la HR es del 100%, esto quiere decir que el gas está saturado de vapor de agua, y alcanzó su máxima capacidad para esa T°, de acuerdo con:  $HR = 44/44 * 100$ . De lo dicho anteriormente se desprende que conocer la HR de un gas no nos informa nada sobre la real humedad del gas si no conocemos la T° del mismo<sup>3</sup>.

### **Acondicionamiento del gas en pacientes intubados, con una cánula de traqueotomía, o que reciben soporte ventilatorio no invasivo**

Los pacientes intubados o traqueostomizados necesitan un cuidado especial respecto del acondicionamiento del gas inspirado. Debido a que la vía aérea superior no participa del intercambio de calor y humedad ya que se encuentra salteada, el calor y la humedad se deben aportar de manera artificial.

Durante la ventilación no invasiva (VNI) o durante el soporte con terapia de O<sub>2</sub> a alto flujo por cánula nasal, los altos flujos y volúmenes que se movilizan representan un enorme desafío para la eficiencia de la vía aérea superior y su capacidad de acondicionar el gas.

Para evitar efectos negativos o adversos, el gas debe administrarse con un contenido de vapor de agua de entre 32 y 35 mg/L de HA en la tráquea, esto corresponde a un gas a 32 °C y con 100% de HR. La Asociación Americana de Cuidados Respiratorios (AARC) en sus Guía de Práctica Clínica<sup>4</sup>, recomienda para pacientes en ventilación mecánica invasiva con HME (humidificación pasiva de acuerdo a sus siglas en inglés) una HA mayor a 30 mg/L, y con humidificación activa una HA entre 33 y 44 mg/L con una temperatura de entre 34 y 41 °C en la "Y" del circuito, con 100% de HR.

Existen dos potenciales riesgos a la hora de administrar de manera externa calor y humedad al tracto respiratorio, agregar menos calor y humedad de la recomendada, esto es sub-humidificación, o, agregar más calor y humedad de la recomendada, esto es sobre-humidificación<sup>5</sup>. Ambas tienen sus potenciales efectos negativos.

Consecuencias de la sub-humidificación:  
Se generan daños estructurales, que acarrearán cambios funcionales que conducen a consecuencias clínicas negativas tales como:

- Retención de secreciones
- Incrustación del moco
- Atelectasias
- Aumento del trabajo respiratorio
- Alteraciones en la oxigenación
- Oclusión del tubo oro traqueal o cánula de traqueostomía

Una situación que merece una mención aparte es la que sucede cuando se entregan gases a alta temperatura, mayor a la corporal, y con baja HR. Cuando un gas caliente con baja HR pasa sobre la superficie del agua, la evaporación del agua se acelera, debido a que una alta T° del gas se asocia a una mayor presión de vapor de agua, y a una mayor transferencia de energía a las moléculas en estado líquido. En otras palabras, un gas caliente y seco tiene una mayor capacidad para extraer humedad, esto es, una alta capacidad para "secar" una superficie. La evaporación del agua de la superficie de las vías respiratorias por este mecanismo genera un efecto de secado local. Estas condiciones pueden llevar a la obstrucción del tubo oro traqueal por secreciones espesas. En el lumen del tubo no existe una fuente de humedad, por lo que el riesgo de obstrucción aumenta. Esta situación podría darse cuando se utilizan humidificadores activos con circuito calefaccionado y una temperatura en el circuito muy elevada<sup>6,7</sup>.



Consecuencias de la sobre-humidificación:

- Condensación de agua en las vías respiratorias
- Disminución de la viscosidad del moco
- Reducción del transporte de moco
- Hipo-tonicidad de las secreciones
- Dilución de surfactante
- Daño térmico de la célula (quemaduras)
- Obstrucción de las vías respiratorias

## ¿Cómo está compuesto y cómo funciona un sistema de humidificación activa?

Un sistema humidificador es un dispositivo cuyo propósito es aumentar la cantidad de humedad presente en un gas. Los humidificadores activos agregan humedad y  $T^\circ$  al gas inspirado desde un reservorio de agua caliente, llamado "cámara" o "carcasa" por el que pasa el flujo de gas que va hacia el paciente. El agua de la cámara es calentada continuamente a una  $T^\circ$  que es programada por el operador. El humidificador está conectado con el paciente mediante el circuito. Los humidificadores más modernos cuentan con sensores que supervisan la  $T^\circ$  y realizan ajustes para mantenerla constante. De manera que un sistema de humidificación activa está compuesto por 3 partes: Dispositivo humidificador, cámara y circuito<sup>3</sup>.

Los humidificadores pueden contar con un sistema de servo control que se utiliza en conjunto con un circuito que tiene un alambre en su interior o incrustado en las paredes del mismo, este alambre es calentado continuamente por el mismo dispositivo. Esta configuración tiene como objetivo evitar la caída de  $T^\circ$  que se da naturalmente en el circuito, para evitar la condensación que se genera por esta caída de  $T^\circ$ . Generalmente, la  $T^\circ$  del circuito se encuentra a unos  $2^\circ\text{C}$  por encima de  $T^\circ$  del humidificador, aunque esto puede cambiar entre los humidificadores de diferentes fabricantes. Estos dispositivos cuentan con sensores de  $T^\circ$  ubicados a la salida de humidificador y en la pieza en "Y". Dichos sensores funcionan en bucle cerrado, proporcionando retroalimentación continua a un regulador ubicado en el equipo, para así mantener la  $T^\circ$  deseada en la pieza "Y"<sup>8</sup>.

### Humidificadores:

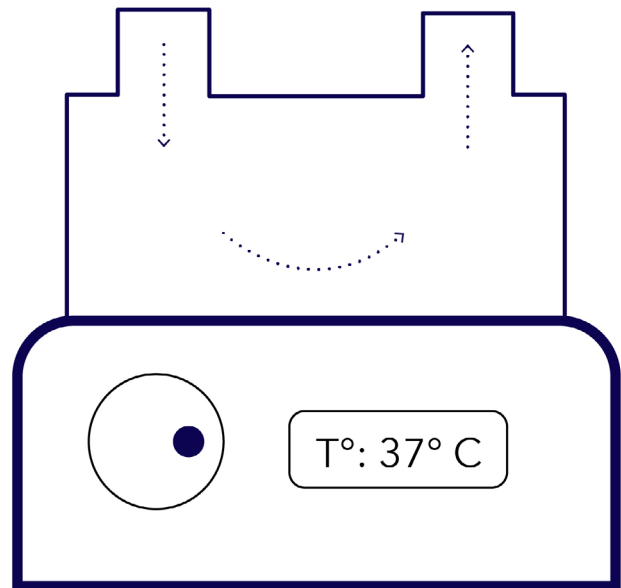
Si bien existen varios tipos de dispositivos humidificadores, los que más se encuentran en nuestro medio en la actualidad son los humidificadores tipo "pass over". En estos dispositivos el flujo de gas se dirige sobre una superficie de agua caliente, el agua se evapora en la corriente de gas, humidificándolo. La eficacia de estos dispositivos se puede mejorar aumentando la  $T^\circ$  del agua de la cámara, aumentando la capacidad de alojar vapor de agua en la cámara (tamaño de la cámara), y aumentando la superficie de contacto del agua con el gas<sup>8,9</sup>. Ver figura 2.

### Cámara o carcasa:

La cámara es el reservorio de agua que será calentado por el dispositivo. El nivel de agua de la cámara disminuye continuamente producto de la constante evaporación. De manera que, se debe reponer continuamente esta pérdida rellenando

# Humidificador

Tipo "pass over"



**Figura 2:** Esquema que representa un humidificador de tipo "pass over". **Fuente:** Elaboración propia.

la misma. Existen 3 sistemas de reposición del líquido, manual, para lo que se debe abrir el circuito, manual pero desde una "bolsa" o reservorio conectado con la cámara, para lo cual no es necesario abrir el circuito, o, puede ser automática, con una bolsa o reservorio conectado con la cámara y un sistema flotante colocado dentro de la cámara que abre el suministro cuando baja el flotante debido al descenso del nivel de agua<sup>8</sup>.

Los sistemas cerrados de carga siempre son los de preferencia, ya que disminuyen la posibilidad de contaminación, y evitan la despresurización del sistema. Pero no solo por eso, un sistema "ideal" debería entregar una  $T^\circ$  de gas estable, sin fluctuaciones. Las cámaras de llenado manual generalmente son llenadas cuando el nivel de agua de la cámara se encuentra en su punto más bajo, de manera que la  $T^\circ$  de la placa necesaria para calentar el agua siempre al mismo nivel cambia continuamente. Como ejemplo extremo, en el momento en que el operador vierte el bote de agua en la cámara para rellenarla, baja la  $T^\circ$  de

esta considerablemente. Con las cámaras de auto llenado, la T° del gas de salida siempre es más estable, debido a la casi nula fluctuación del nivel de agua.

Algo similar aplica para el volumen que tiene la cámara en su interior. Si bien las paredes de la cámara son de un material rígido, que no se deforma con la presión del ventilador, el gas que aloja la cámara es compresible, cambia su volumen con los cambios en la presión. Este volumen compresible puede constituir una parte considerable del volumen compresible total del circuito paciente. En las estrategias de ventilación protectoras de bajo volumen corriente o, en la ventilación neonatal, las constantes fluctuaciones del volumen de agua de la cámara llevan a constantes fluctuaciones en el volumen de compresión. Algunos de los ventiladores en su "chequeo inicial de circuito" miden el volumen de compresión, y lo compensan, esta compensación pierde eficiencia si el volumen de compresión cambia continuamente.

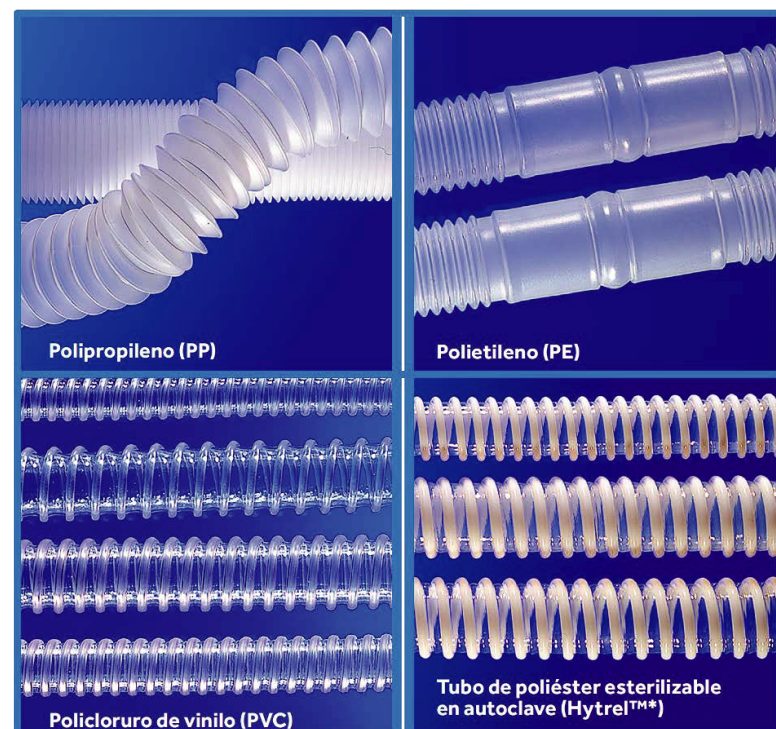
#### Circuito paciente:

Algunas de las características relevantes de los circuitos utilizados en ventilación son<sup>10</sup>:

- Tamaño del circuito
  - Adulto 22mm de diámetro
  - Pediátrico 15mm de diámetro
  - Neonatal 10mm de diámetro
- Largo del circuito: la medida estándar va de entre 1.5 a 1.8 metros, pero se pueden conseguir circuitos especiales de hasta 3 metros de largo
- Material con el que está confeccionado, ver Figura 3:
  - Polipropileno: son extensibles, esto es una ventaja respecto al almacenamiento, ya que ocupan poco espacio. Desventajas, el alma no es lisa, y se colapsan fácilmente
  - Polietileno: son livianos y económicos. Desventajas, el alma no es lisa, y se colapsan fácilmente.
  - PVC: son muy flexibles, no se colapsan, el interior es liso, son de baja complacencia, y tienen conectores flexibles. Entre su pared interna y externa tienen un espacio que forma una cavidad de aire aislante, con el objetivo de mantener la T° del gas constante dentro del circuito, ver Figura 4. Desventaja, el peso.
  - Poliéster esterilizable: son muy flexibles, no se colapsan, el interior es liso, son de baja complacencia, tienen conectores flexibles,

y son reutilizables. Su mayor desventaja es el costo y el peso.

- Condición de esterilidad: estéril o no estéril ("limpio").
- Tipo de sistema de humidificación para el que están diseñados:
  - Para utilizar con HME: circuitos sin trampa de agua.
  - Para utilizar con humidificadores activos:
    - o Circuitos con trampa de agua: tienen 22 trampas de agua una en cada rama.
    - o Circuitos con alambre caliente: el alambre puede estar posicionado en el interior del circuito, o incrustado en las paredes del mismo. Estos últimos podrían tener una ventaja respecto a la homogeneidad con la que se distribuye el calor en el interior del mismo, lo que podría tener impacto en la condensación que se genera en su interior.



**Figura 3:** Distintos tipos de circuito disponibles de acuerdo al material con el que están fabricados. Fuente: catálogo de productos Medtronic DAR™

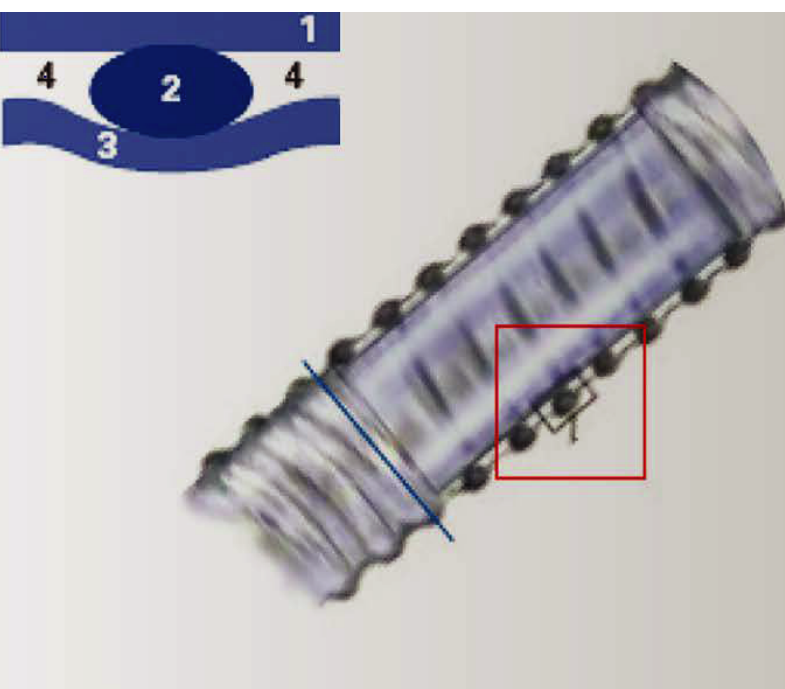
## Rendimiento de los sistemas activos de humidificación

Cuando se utilizan humidificadores activos sin circuito calefaccionado, la eficiencia del sistema va a estar determinada principalmente por la  $T^\circ$  a la que se calienta el agua, la superficie de contacto del agua con el gas, y, el tiempo que dure ese contacto. Los fabricantes se encuentran con el desafío de diseñar dispositivos pequeños, eficientes, y seguros<sup>11</sup>.

- **Temperatura:** al aumentar la  $T^\circ$  del agua, la actividad kinética de las moléculas aumenta. En la medida que las moléculas ganan energía, muchas de ellas van a tener suficiente energía como para convertirse en vapor, aumentando así la humedad de la mezcla de gas presente en la cámara. Al aumentar la  $T^\circ$  de la cámara, el gas presente en ella también se calienta. Sabemos por lo visto más arriba, que al aumentar la  $T^\circ$  del gas aumenta su capacidad de contener humedad.
- **Superficie de contacto:** la superficie de contacto gas-agua es otro de los factores que determinan la humedad. Cuanto mayor sea la superficie de contacto, mayor será la transferencia de humedad.
- **Tiempo de contacto:** a mayor tiempo de contacto, mayor transferencia de humedad. Entonces, a flujos bajos tendremos más humedad en el gas, lo contrario ocurre a flujos altos.

Cuando se utilizan humidificadores activos con circuito calefaccionado, la eficiencia no sólo va a estar determinada por las variables antes mencionadas, sino también por la  $T^\circ$  del alambre del circuito, y por el tipo de circuito al que acoplemos el humidificador. Los circuitos

en los cuales el alambre está incrustado en las paredes de mismo tienen una mayor capacidad para mantener la  $T^\circ$  de manera homogénea en el interior del mismo, evitando zonas de menor  $T^\circ$ , que generan como consecuencia, la aparición de condensación<sup>12,13,14</sup>.



## Circuito de PVC

1. Superficie interna lisa
2. Espiral de protección
3. Pared externa
4. Espacio de aire aislante

**Figura 4:** Características del circuito de PVC. Fuente: catálogo de productos Medtronic DAR™  
**Fuente:** Elaboración propia.



**Emiliano Gogniat**

- Senior Clinical Specialist Respiratory & Monitoring Solutions, Medtronic
- Lic. en Kinesiología y Fisiatría. Universidad de Buenos Aires.
- Especialista en Kinesiología Respiratoria Crítica. Universidad Nacional de San Martín.
- Subdirector del Comité de Neumología Crítica de la Sociedad Argentina de Terapia Intensiva
- Director del Curso Superior de Kinesiología en Cuidados Intensivos de la Sociedad Argentina de Terapia Intensiva
- Miembro del Capítulo de Kinesiología Intensivista de la Sociedad Argentina de Terapia Intensiva.

#### Referencias y bibliografía

1. Shelly M. The Humidification and filtration functions of the airways. *Respir Care Clin* 2006;139-48.
2. Plotnikow G, Accoce M, Navarro E, et al. Humidification and heating of inhaled gas in patients with artificial airway. A narrative review. *Rev Bras Ter Intensiva* 2018 Mar;30(1):86-97.
3. Al Ashry HS, Modrykamien AM. Humidification during mechanical ventilation in the adult patient. *Biomed Res Int* 2014;2014:715434.
4. Restrepo R, Walsh B. Humidification During Invasive and Noninvasive Mechanical Ventilation: 2012. AARC Clinical Practice Guideline. *Respir Care* 2012;57(5):782-788.
5. Sottiaux T. Consequences of under- and over-humidification. *Respir Care Clin* 2006;12:233-52.
6. Miyao H, Hirokawa T, Miyasaka K, Kawazoe T. Relative humidity, not absolute humidity, is of great importance when using a humidifier with a heating wire. *Crit Care Med* 1992 May;20(5):674-9.
7. Pelosi P, Chiumello D, Severgnini P, et al. Performance of heated wire humidifiers: an in vitro study *J Crit Care*. 2007 Sep;22(3):258-64.
8. Branson R, Hess D, Chatburn R. *Respiratory care equipment*. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins; 1999.
9. Cairo M, Pilbeam S. *Mosby's Respiratory Care Equipment*. 6th Edition. Mosby, 1999
10. Medicines and Healthcare Products Regulatory Agency. An assesment of 16 breathing systems. Evaluation 04001. London: Medicines & Healthcare products Regulatory Agency; 2004. Available at: [www.medical-devices.nhs.uk](http://www.medical-devices.nhs.uk)
11. White G. *Equipment theory for respiratory care*. 5th ed. Cengage Learning; 2014.
12. Plotnikow GA, Villalba D, Gogniat E, Quiroga C, Pérez Calvo E, Scapellato JL. Performance of different active humidification systems in high-flow oxygen therapy. *Respir Care* 2020 Sep;65(9):1250-1257.
13. Gilmour I, Boyle M, Rozenberg A. The effect of heated wire circuits on humidification of inspired gases. *Anesth Analg*. 1994 Jul;79(1):160-4.
14. Pelosi P, Chiumello D, Severgnini P, et al. Performance of heated wire humidifiers: an in vitro study *J Crit Care*. 2007 Sep;22(3):258-64.

Contenido sólo para profesionales de la salud.

© 2022 Medtronic. Reservados todos los derechos. Medtronic, el logo de Medtronic y Otros, son en conjunto, marcas registradas de Medtronic. Todas las demás marcas son marcas registradas de una compañía Medtronic. Covidien es una compañía que forma parte del grupo Medtronic.

**Medtronic**