

# El frasco humidificador como sistema de humidificación del gas inspirado no cumple con las recomendaciones. Evaluación y comparación de tres sistemas de humidificación. Estudio de laboratorio

ROUX, N G<sup>1,2,3</sup>; FELD, V<sup>1,2</sup>; GOGNIAT, E<sup>1,2</sup>; VILLALBA, D<sup>1,2</sup>; PLOTNIKOW, G<sup>1,2,4</sup>; RIBERO VAIRO, N<sup>1,2</sup>; SARTORE, M<sup>1,2</sup>; BOSSO, M<sup>1,2</sup>; QUIROGA, C<sup>1,2</sup>; EWDOKIMOFF, N<sup>1</sup>; LEIVA, V<sup>1,2</sup>; SCRIGNA, M<sup>1,2</sup>; SCAPELLATO, J<sup>4</sup>; INTILE, D<sup>4</sup>; PLANELLS, F<sup>1</sup>; NOVAL, D.; BUÑIRIGO, P<sup>1</sup>; JOFRÉ, R<sup>1</sup>; DÍAZ NIELSEN, E<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Clínica Basilea. Solís 1025. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Argentina.

<sup>2</sup> Grupo A.I.R.E. Kinesiología Respiratoria

<sup>3</sup> Hospital Italiano de Buenos Aires

<sup>4</sup> Sanatorio Anchorena

**Correspondencia:** Lic. Nicolás Roux. [nicoroux73@yahoo.com.ar](mailto:nicoroux73@yahoo.com.ar)

## Conflicto de intereses

Los autores no tienen ningún interés financiero o comercial con los equipos utilizados y descriptos en el presente trabajo.

## Agradecimientos

A MEDIX i.c.s.a. por haber provisto el SAH para el estudio.

## Palabras clave

- humidificación
- oxigenoterapia
- frasco humidificador
- humidificación activa
- humedad relativa
- humedad absoluta.

## Resumen

**Objetivos.** Demostrar que el frasco humidificador (FH), como sistema de humidificación del gas inspirado, no alcanza los valores mínimos de humedad relativa (HR), humedad absoluta (HA) y temperatura (T°) recomendados por la literatura. Secundariamente, comparar el rendimiento del FH y dos sistemas activos de humidificación (SAH).

**Materiales y métodos.** Las variables principales fueron T° del agua, HR, T° y HA del gas entregado.

Se realizaron mediciones a diferentes niveles de T°, volumen de agua y flujos.

**Resultados.** El FH no alcanzó los valores recomendados de HR 100%, HA 30 mg/l y T° 31°C.

El SAH *sin circuito calefaccionado* alcanzó valores recomendados en el NIVEL III con flujos de 20-60lpm, y en el NIVEL II con flujos de 20-30lpm.

El SAH *con circuito calefaccionado* logró valores sugeridos en los NIVELES II y III (20-60lpm).

Se encontró diferencia significativa ( $p < 0,001$  Global) para flujo, T° y tipo de humidificador.

El modelo ANOVA arrojó significación estadística ( $p < 0,001$ ) del término interacción de flujo y tipo de humidificador en cada nivel de T°.

**Conclusiones.** El FH no acondiciona el gas de acuerdo a lo recomendado. El mejor rendimiento fue con 300 ml y flujo de 1 lpm: T° 23,92(±0,69), HR 74,02%(±6,53) y HA 16,02 mg/l (±1,86), estos valores apenas superan el 50% de lo mínimo sugerido en la literatura.

Los SAH acondicionaron el gas adecuadamente.

El modelo ANOVA arroja que existen otros factores involucrados en mantener la HA y que la significación varía en cada tipo de humidificador a cada nivel de flujo.

## Key words

- humidification
- humidifier bottle
- active humidification
- relative humidity
- absolute humidity

## Abstract

**Objective.** To demonstrate that humidifier bottle (HB) as inspired gas humidification system does not attain the minimum values of relative humidity (RH), absolute humidity (AH) and temperature (T°) as recommended by the literature. Furthermore, to compare the HB performance with two active humidification systems (AHS).

**Materials and Methods.** Main variables were: water T°, RH, T° and AH of delivered gas.

Measurements were made at different levels of T°, water and flows volume.

**Results.** Recommended values of RH 100%, AH 30 mg/l and T° 31° C were not reached by the HB.

AHS *without heating circuit* reached recommended values in LEVEL III with flows of 20-60 lpm, and in LEVEL II with flows of 20-30lpm.

AHS *with heating circuit* obtained recommended values in LEVELS II and III (20-60lpm).

A significant difference ( $p < 0.001$  Global) for flow, T° and humidifier type was found.

ANOVA model showed statistical evidence ( $p < 0.001$ ) of interaction between flow and type of humidifier in each T° level.

**Conclusions.** The HB does not condition gas in accordance with recommended values. The best performance was with 300ml and 1lpm flow: T° 23.92 ( $\pm 0.69$ ), RH 74.02% ( $\pm 6.53$ ) and AH 16.02 mg/l ( $\pm 1.86$ ) and these values hardly exceed the 50% of minimum recommended by literature.

AHS conditioned gas in a proper way.

ANOVA model shows that there exist other factors involved to maintain AH and that there are important differences between each type of humidifier and each flow level.

## Introducción

En el sistema respiratorio la vía aérea superior, sobre todo a nivel de la nasofaringe, es la principal encargada del acondicionamiento del gas inspirado: humidificación, calentamiento y filtración. Luego de pasar por la nasofaringe el gas alcanza 100% de humedad relativa (HR) y 29-32 °C de T°, posterior a su paso por la carina la T° del gas es de 32-34 °C y su HR de 100%. Finalmente a nivel alveolar el gas se encuentra a una T° de 37 °C, 100% HR y 43,9 mg/l de humedad absoluta (HA).<sup>1</sup>

El punto en el cual los gases alcanzan las condiciones alveolares se conoce como Límite de Saturación Isotérmico (LSI) y generalmente reside entre la cuarta y quinta generación bronquial.

Con la instalación de una vía aérea artificial se omite la función de la nasofaringe de acondicionar el aire inspirado y el LSI se desplaza hacia la perife-

ria pulmonar, en consecuencia la humidificación del tracto respiratorio migra hacia regiones que normalmente no están preparadas para ello. Esta situación se ve agravada por el hecho de que los gases medicinales contienen mucha menos humedad que el aire ambiente.<sup>2</sup>

Una mala humidificación del gas inspirado puede generar atelectasias, incremento de la resistencia de la vía aérea, mayor incidencia de infecciones, aumento del trabajo respiratorio, secreciones espesas y daño de mucosas. El enlentecimiento de la actividad ciliar es la consecuencia de la alteración funcional de la mucosa y aparece antes de las tres horas de ventilación mecánica con gases que transportan una HA inferior a 25 mg/l.<sup>2,3</sup>

La Asociación Americana de Cuidados Respiratorios sugiere que el gas entregado en una vía aérea artificial debe estar entre 31° y 35°C de T°, HR 100% y con un mínimo de HA de 30 mg/l.<sup>4,5</sup>

- El frasco humidificador como sistema de humidificación del gas inspirado no cumple con las recomendaciones. Evaluación y comparación de tres sistemas de humidificación. Estudio de laboratorio

Esto se puede lograr con sistemas activos de humidificación (SAH) o con humidificadores pasivos (HME).

Los SAH agregan en forma activa humedad y calor al gas inspirado.<sup>6</sup> Estos sistemas están recomendados en pacientes con un volumen minuto (VM) mayor a 12 lpm o en pacientes con contraindicación para el uso de HME.<sup>7</sup>

El SAH con *circuito calefaccionado* a través de un alambre caliente mantiene o atenúa la disminución la T° del gas en el circuito inspiratorio, además de evitar la condensación.

En términos de acondicionamiento de gas inspirado, la variable más importante es la HA. Ésta se encuentra íntimamente relacionada con la T° del gas, la cual depende directamente de la T° del agua de la carcasa. En consecuencia la HA entregada por un SAH es directamente proporcional a la T° del agua del calentador.<sup>8</sup>

Los HME también llamados “nariz artificial” reproducen la función de la vía aérea superior atrapando el calor y la humedad del gas exhalado, posteriormente utilizan la T° y humedad retenidas para acondicionar el gas inspirado.<sup>6</sup> La eficacia de los HME está en relación al volumen corriente (VC), al tiempo inspiratorio, al VM y a la T° corporal.<sup>1</sup>

El frasco humidificador (FH) acondiciona el gas inspirado a través de su pasaje desde el fondo hacia la superficie del agua que se encuentra en el dispositivo. El agua se encuentra a T° ambiente.

Chanques<sup>9</sup> testeó dos sistemas de humidificación (SAH y FH) de oxígeno a alto flujo. Por un lado evaluó el confort manifestado por los pacientes y por otro evaluó el rendimiento en el laboratorio de estos equipos utilizando flujos de 3, 6, 9, 12 y 15 lpm. Los pacientes manifestaron mayor disconfort (sequedad de la boca y garganta) con el FH vs el SAH. En el laboratorio el SAH alcanzó una T° de 34,1°C, HR de 77,6% y HA de 29,7 mg/l, mientras que el FH tuvo un rendimiento de T° de 26,7 °C, HR 60,7% y HA de 15,6 mg/l.

Darin<sup>10</sup> evaluó el rendimiento de cuatro tipos de FH en el laboratorio con flujos de oxígeno de 2, 4, 6 y 8 lpm. Analizó la T° y la HR del gas y calculó la HA si ese gas estuviese a 37°C. La máxima T° alcanzada por los FH fue la T° del ambiente y la HR, si el gas estuviese a 37°C, no superó los 50%.

El FH se ha transformado en el método más utilizado para la humidificación del oxígeno, tanto en pacientes con vía aérea natural como con vía aérea artificial ventilando espontáneamente. Este sistema no logra acondicionar el oxígeno en términos de HR, T° y HA de acuerdo a lo sugerido en la literatura, por lo tanto no está recomendado su uso en pacientes con vía aérea artificial. Sin embargo sigue siendo el método de elección a la hora de poner a un paciente en prueba de tubo “T”. ¿Por qué sigue utilizándose?, ¿de qué de-

pende el rendimiento de este sistema?, ¿del volumen de llenado?, ¿del flujo de oxígeno?, ¿de la T° del gas a la salida del flujímetro?, ¿de la T° ambiente?. Para responder estas preguntas se diseñó el presente trabajo y se plantearon los siguientes objetivos: demostrar que el FH como sistema de humidificación del gas inspirado no logra alcanzar los valores mínimos de humedad relativa (HR), humedad absoluta (HA) y temperatura del gas (T°) recomendados por la literatura. Secundariamente comparar entre sí el rendimiento del FH y dos SAH *con y sin circuito calefaccionado*.

## Materiales y métodos

El presente estudio se llevó a cabo en la Clínica de Rehabilitación Médica Neurológica, Ortopédica y Respiratoria Basilea, Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Argentina, entre enero y noviembre de 2008.

Se evaluaron tres sistemas de humidificación: un Sistema Activo de Humidificación (SAH) *sin circuito calefaccionado*, un Frasco Humidificador (FH) y un SAH *con circuito calefaccionado* por alambre caliente. Las variables principales de estudio fueron: Humedad Absoluta (HA), Humedad Relativa (HR) y Temperatura (T°) del gas entregado.

En total se obtuvieron 8505 mediciones y se realizaron 2010 cálculos.

Materiales utilizados: Ventilómetro Ohmeda 5420 Boc Health Care, Termohigrómetro Testo 605-H, Sistema Activo Humidificación (SAH) Fisher & Paykel MR 810, Carcasa Fisher & Paykel HC325, Circuito calefaccionado Fisher & Paykel RT 106, Frasco Humidificador Hudson BH-1 Dry Bubble Humidifier 6 PSI, Termómetro Luft-Germany, Tubuladura de 1,5 mts de largo y 22 mm de diámetro con trampa de agua, Flujímetro Praxair (calibrado a 21°C – 3,45 bar) y pieza de oxigenoterapia 24% (para lograr efecto Venturi).

Sólo con fines descriptivos y con intención de ordenar el relato del trabajo, el estudio se puede dividir en tres etapas.

### Etapas 1 y 2

**Dispositivo humidificador:** SAH *sin circuito calefaccionado* y *con circuito calefaccionado* por alambre caliente respectivamente.

**Gas medicinal utilizado:** aire comprimido.

Las variables medidas se detallan en la **Tabla 1**.

Uno de los extremos de la tubuladura se conectó a una de las entradas de la carcasa del SAH. En el otro extremo de la tubuladura se conectó una pieza en “T”. A continuación se llenó la carcasa del SAH con 200 ml de agua destilada y se encendió el equipo. Posteriormente se abrió el flujímetro y se insertó la pieza de oxigenoterapia para lograr los flujos deseados.

Todas las variables del estudio, listadas en la **Tabla 1**, se evaluaron una vez por hora durante las 10 horas que duró cada jornada:

- a) Temperatura Ambiente (T°A) y Humedad Relativa Ambiente (HRA) del laboratorio. La medición se realizó durante dos minutos, tiempo suficiente para que los valores alcanzaran una meseta. **Esquema 1.**
- b) Humedad Relativa (HRGs/hum) y la Temperatura del Gas sin humidificación (T°Gs/hum). Con un adaptador se conectó directamente el termohigrómetro al flujímetro durante dos minutos. **Esquema 1.**
- c) Temperatura máxima del agua alcanzada a los 30' (meseta) en cada uno de los 3 niveles de intensidad del SAH *sin flujo de gas circulante* (T°AGUAs/flujo). Se sumergió el termómetro de mercurio en el agua hasta la mitad de la profundidad, evitando que entre en contacto con la base de la carcasa, durante 1 minuto. Se encendió el equipo en el primer nivel de intensidad. El procedimiento se repitió con los otros dos niveles de intensidad. **Esquema 1.**

Se evaluó además la máxima temperatura del agua alcanzada en cada uno de los 3 niveles de intensidad del SAH *con flujo de gas circulante* (T°AGUA c/flujo). Los flujos aplicados en la entrada de la carcasa fueron de: 20, 30, 40, 50 y 60 lpm.

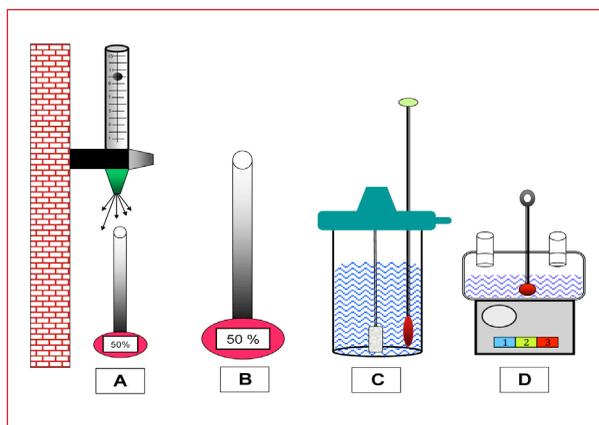
- d) Se midió el flujo de gas de entrada al dispositivo humidificador (FGedh). Los flujos se lograron de la siguiente manera: se conectó un extremo de una guía "T63" al flujímetro, en el otro extremo se adaptó una pieza de oxigenoterapia para concentraciones del 24%. Esta pieza de oxigenoterapia se conectó al ventilómetro y éste a su vez a la carcasa. Se aumentó gradualmente el flujo de pared hasta que el flujo final adquirió los valores deseados. El flujo original de salida del flujímetro (entre 1,5 y 6 lpm) se transformó en 20, 30, 40, 50 y 60 lpm de acuerdo al teorema de Bernoulli y principio de Venturi. **Esquema 2.**
- e) Se midió el flujo de gas de salida del dispositivo humidificador (FGsdh) con un adaptador entre la salida de la carcasa y la tubuladura para el ventilómetro.

TABLA 1

SAH: Sistema Activo de Humidificación con y sin circuito calefaccionado: Gas Medicinal: aire comprimido. Frasco Humidificador. Gas Medicinal: oxígeno gaseoso.

VARIABLES MEDIDAS Y CALCULADAS	SAH <i>sin circuito calefaccionado</i>	SAH <i>con circuito calefaccionado</i>	Frasco Humidificador
1. Humedad Relativa Ambiente: <b>HR A</b>	X	X	X
2. Temperatura Ambiente: <b>T° A</b>	X	X	X
3. Temperatura del agua sin flujo: <b>T° AGUAs/flujo</b>	X	X	X
4. Temperatura del agua con flujo: <b>T° AGUAc/flujo</b>	X	X	X
5. Flujo de Gas a la entrada del dispositivo humidificador: <b>FGedh</b>	X	X	
6. Flujo de Gas a la salida del dispositivo humidificador: <b>FGsdh</b>	X	X	
7. Flujo de Gas proximal paciente: <b>FGpp</b>	X	X	
8. Humedad Relativa del Gas a la salida del dispositivo humidificador: <b>HRGsdh</b>	X	X	X
9. Temperatura del Gas a la salida del dispositivo humidificador: <b>T°Gsdh</b>	X	X	X
10. Humedad Absoluta del Gas a la salida del dispositivo humidificador: <b>HAGsdh</b>	X	X	X
11. Humedad Relativa del Gas proximal al paciente: <b>HRGpp</b>	X	X	X
12. Temperatura del Gas proximal al paciente: <b>T°Gpp</b>	X	X	X
13. Humedad Absoluta del Gas proximal al paciente: <b>HAGpp</b>	X	X	X
14. Humedad Relativa del Gas sin humidificación: <b>HRGs/hum</b>	X	X	X
15. Temperatura del Gas sin humidificación: <b>T°Gs/hum</b>	X	X	X
16. Humedad Absoluta del Gas sin humidificación: <b>HAGs/hum</b>	X	X	X
17. Presencia de condensación proximal al paciente: <b>CONDpp</b>	X	X	X

- El frasco humidificador como sistema de humidificación del gas inspirado no cumple con las recomendaciones. Evaluación y comparación de tres sistemas de humidificación. Estudio de laboratorio



Esquema 1.

- A: Medición de T° y HR del Gas sin humidificación.
- B: Medición de T° y HR ambiente.
- C: Medición de la T° del agua sin flujo de gas circulante.
- D: Medición de la T° del agua sin flujo de gas circulante en cada nivel de intensidad del SAH.

- f) Se midió el flujo de llegada al extremo distal de la tubuladura, es decir proximal al paciente (FGpp) con un adaptador entre la tubuladura y la pieza "T".
- g) Para las mediciones de T° y HR del Gas a la salida del dispositivo humidificador (HRGsdh y T°Gsdh), se utilizó un adaptador que se colocó a la salida del gas de la carcasa, en el otro extremo de la pieza se adaptó la tubuladura, quedando la pieza adaptadora con el termohigrómetro entre la carcasa y la tubuladura.
- h) En las mediciones de T° y HR del Gas proximal al paciente (T°Gpp y HRGpp) se colocó el termohigrómetro al final de la tubuladura antes de la pieza en "T".  
Una vez por hora y luego de realizar las mediciones se completó la carcasa con agua destilada hasta llegar a los 200 ml.

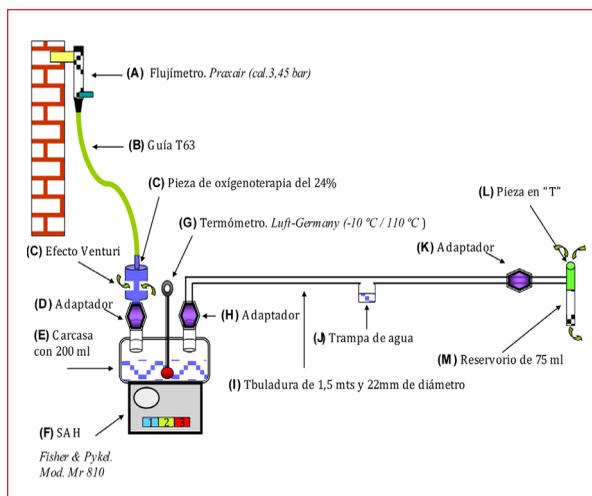
### Etapa 3

**Dispositivo humidificador:** Frasco Humidificador (FH).

**Gas medicinal utilizado:** oxígeno gaseoso.

Las variables medidas se detallan en la **Tabla 1**.

En primer lugar se armó una tubuladura "T63" con una trampa de agua en el medio. Uno de los extremos de la tubuladura se conectó a la salida del FH, el otro extremo a una pieza en "T". Se llenó el FH con 100 ml de agua destilada y se midió la T° del agua sin flujo circulante. Posteriormente se abrió el flujímetro y se midieron las variables (**Tabla 1**) a diferentes flujos de oxígeno: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15 lpm. Las variables se evaluaron de la siguiente manera:



Esquema 2. Sistema Activo de Humidificación con y sin circuito calefaccionado

- A: Flujímetro. *Praxair (cal.3,45 bar)* de 1 a 15 lpm.
- B: Tubuladura para administración de gases tipo "T 63"
- C: Sitio en el que se produce en efecto Venturi.
- D: Sitio de medición del Flujo de Gas a la Entrada de la Carcasa (FGedh).
- E: Carcasa Fisher & Paykel mod. HC325 con 200ml de agua destilada.
- F: Humidificador activo Fisher & Pykel mod MR 810.
- G: Sitio de medición de la temperatura del agua con flujo (T°AGUAc/flujo).
- H: Sitio de medición de: Flujo de Gas a la salida de la carcasa (FGsdh), Temperatura Gas salida carcasa (T°Gsdh), Humedad Relativa Gas salida carcasa (HRGssh).
- I: Tubuladura de 1,5 mts y 22 mm de diámetro. En el modelo SAH con circuito calefaccionado por dentro de la tubuladura viaja un cable que se conecta al equipo Fisher & Paykel MR 810 y calienta el circuito.
- J: Trampa de agua.
- K: Sitio de medición del Flujo de Gas Proximal al Paciente (FGpp), Temperatura Gas proximal al paciente (T°Gpp), Humedad Relativa Gas Proximal al Paciente (HRGpp).
- L: Conector universal en "T" de 15 mm para tubo endotraqueal o cánula de traqueostomía.
- M: Reservorio de 75 ml, conexión con la atmósfera.

- a) Temperatura Ambiente (T°A) y Humedad Relativa Ambiente (HRA) del laboratorio: ídem ETAPAS 1 y 2.
- b) Humedad Relativa (HRGs/hum) y la Temperatura del oxígeno sin humidificar (T°Gs/hum): ídem ETAPAS 1 y 2. **Esquema 1.**
- c) Se midió la Temperatura del Agua sin flujo al inicio de cada jornada durante dos minutos.
- d) Las mediciones de Temperatura y Humedad Relativa del oxígeno distal al frasco, es decir proximal al paciente (T°Gc/humpp y HRGc/humpp) se realizaron durante 2 minutos con el termohigrómetro insertado al final de la tubuladura antes de la pieza en "T". Para las mediciones de Temperatura

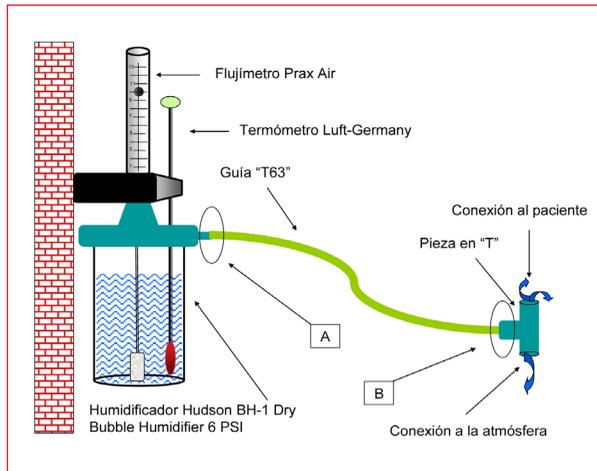
y Humedad Relativa del oxígeno a la salida del dispositivo humidificador (T°Gc/humsdh y HRGc/humsdh) el termohigrómetro se colocó inmediatamente al pico de salida del FH. El proceso se repitió una vez por hora y durante las diez horas que duró

la jornada de medición con los tres niveles de agua (100, 200 y 300 ml) y con flujos de 1 a 15 lpm. de oxígeno para cada nivel. **Esquema 3.**

Una vez por hora y luego de realizar las mediciones se completó el frasco con agua destilada hasta llegar al nivel de agua prefijado.

En las tres etapas, la humedad absoluta se calculó de acuerdo a la siguiente fórmula:  $HA = 216,9 \times PV / T^\circ$ . Donde HA es humedad absoluta, PV es presión de vapor de agua en milibares, 216,9 es una constante y T° es la temperatura del gas en Kelvin. La presión de vapor de agua se obtuvo a través de la T° del gas de acuerdo a los valores expresados en la literatura.<sup>12</sup>

Los datos que se obtuvieron se volcaron en una planilla para su agrupación y posterior análisis. **Ver anexo.**



Esquema 3.  
**A:** Sitio de medición de HR, T° y HA el gas inmediatamente a la salida del FH.  
**B:** Sitio de medición de HR, T° y HA del gas proximal al paciente.

**Resultados**

Para el análisis conjunto se utilizó el Test ANOVA para mediciones repetidas con análisis de residuos. Valor significativo  $p < 0,05$ .

Se encontró diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0,001$  Global) para flujo, T° y tipo de humidificador.

En el modelo ANOVA se observa significación estadística ( $p < 0,001$ ) del término interacción de flujo y tipo

TABLA 2  
 Características del gas entregado (proximal al paciente) en términos de T°, HR y HA para los SAH.  
 Valores expresados en media  $\pm$ DS.

SAH	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)		Humedad Absoluta (mg/l)	
		Circuito no calefaccionado	Circuito calefaccionado	Circuito no calefaccionado	Circuito calefaccionado
NIVEL 1	T° FLUJO				
	20 lpm	28,7 ( $\pm 0,42$ )	29,7 ( $\pm 1,0$ )	84,9 ( $\pm 1,37$ )	76,2 ( $\pm 3,6$ )
	30 lpm	28,6 ( $\pm 0,57$ )	30,2 ( $\pm 0,3$ )	82,6 ( $\pm 6,62$ )	81,3 ( $\pm 6,5$ )
	40 lpm	28,6 ( $\pm 0,3$ )	29,7 ( $\pm 1,1$ )	80,5 ( $\pm 6,24$ )	72,2 ( $\pm 4,7$ )
	50 lpm	28,2 ( $\pm 0,64$ )	29,5 ( $\pm 0,5$ )	75,4 ( $\pm 5,72$ )	68,7 ( $\pm 1,1$ )
NIVEL 2	60 lpm	29,1 ( $\pm 0,17$ )	29 ( $\pm 0,6$ )	65,6 ( $\pm 2,37$ )	62,7 ( $\pm 2,8$ )
	20 lpm	31,7 ( $\pm 0,55$ )	30,2 ( $\pm 2,0$ )	99,9 ( $\pm 0,0$ )	99,9 ( $\pm 0,0$ )
	30 lpm	30,5 ( $\pm 0,69$ )	31,9 ( $\pm 1,9$ )	99,9 ( $\pm 0,0$ )	99,9 ( $\pm 0,0$ )
	40 lpm	30,2 ( $\pm 0,3$ )	31,4 ( $\pm 0,6$ )	97,3 ( $\pm 2,52$ )	99,9 ( $\pm 0,0$ )
	50 lpm	29,6 ( $\pm 0,49$ )	30,8 ( $\pm 0,5$ )	94,7 ( $\pm 4,75$ )	99,9 ( $\pm 0,0$ )
NIVEL 3	60 lpm	29 ( $\pm 0,72$ )	30,6 ( $\pm 1$ )	96,2 ( $\pm 4,8$ )	96,9 ( $\pm 5,9$ )
	20 lpm	33,9 ( $\pm 0,67$ )	30,6 ( $\pm 0,5$ )	99,9 ( $\pm 0,0$ )	99,9 ( $\pm 0,0$ )
	30 lpm	33,7 ( $\pm 0,81$ )	32,9 ( $\pm 0,8$ )	99,9 ( $\pm 0,0$ )	99,9 ( $\pm 0,0$ )
	40 lpm	33,1 ( $\pm 0,76$ )	32,6 ( $\pm 0,3$ )	99,9 ( $\pm 0,0$ )	99,9 ( $\pm 0,0$ )
	50 lpm	31,6 ( $\pm 0,91$ )	31,6 ( $\pm 0,5$ )	99,9 ( $\pm 0,0$ )	99,9 ( $\pm 0,0$ )
60 lpm	31,3 ( $\pm 0,81$ )	30,9 ( $\pm 0,2$ )	99,7 ( $\pm 0,5$ )	99,9 ( $\pm 0,0$ )	

- El frasco humidificador como sistema de humidificación del gas inspirado no cumple con las recomendaciones. Evaluación y comparación de tres sistemas de humidificación. Estudio de laboratorio

de humidificador en cada nivel de T°, demostrando diferencia entre los distintos sistemas.

Las variables principales del estudio, tanto para el SAH *sin circuito calefaccionado* como para el SAH *con circuito calefaccionado*, se midieron en los 3 niveles de intensidad y con los 5 niveles de flujo estudiados.

**Tabla 2.**

Los valores promedio de todas las variables estudiadas y calculadas para los SAH y el FH se pueden ver en las tablas de resultados generales. **Ver anexo.**

Si se observa el comportamiento de la HAGpp en relación a los 3 niveles de T° y a los diferentes flujos utilizados en los SAH *con y sin circuito calefaccionado*, se ve que la HA aumentó proporcionalmente a la T° y disminuyó con el aumento del flujo. Los niveles de

T° de ambos SAH se comportaron de manera similar, salvo en el Nivel II, en el cual los valores de HA del SAH *con circuito calefaccionado* se mantuvieron por encima de lo recomendado, mostrando solo una leve tendencia a disminuir con flujo de 60 lpm. **Gráfico 2.**

Las mediciones del FH se realizaron en 3 niveles de llenado diferentes y con los 15 niveles de flujo.

Para el FH la mejor HApp (16,02mg/l) se encontró con un flujo de 1 lpm y un volumen de llenado de 300 ml, en cuanto al comportamiento del gas, este mostró una tendencia similar al SAH, o sea, a mayor flujo circulante menor T° y como es de esperar menor HA. Aunque esto se vio reflejado estadísticamente solo en el volumen de llenado. Dicho en otras palabras, a menor volumen de llenado del FH menor HA. **Tabla 3.**

TABLA 3  
Resultados generales de las variables principales del estudio de la Etapa 3. Características del oxígeno en términos de T°, HR y HA distales al dispositivo humidificador (de llegada al paciente). Valores expresados en media ± DS.

Flujo O2	TEMPERATURA (°C)			HUMEDAD RELATIVA (%)			HUMEDAD ABSOLUTA (mg/l)		
	100 ml	200 ml	300 ml	100 ml	200 ml	300 ml	100 ml	200 ml	300 ml
1 lpm	24,76 (±1,31)	23,95 (±0,58)	23,92 (±0,69)	57,01 (±4,93)	72,56 (±7,15)	74,02 (±6,53)	12,91 (±0,4)	15,49 (±1,62)	16,02 (±1,86)
2 lpm	22,03 (±0,48)	23,43 (±0,47)	23,49 (±0,7)	63,84 (±7,8)	68,91 (±8,94)	70,97 (±10,73)	12,47 (±1,8)	14,29 (±1,77)	14,96 (±2)
3 lpm	24,38 (±0,83)	24,05 (±0,51)	24,17 (±0,51)	55,12 (±2,02)	66,83 (±11,72)	69,89 (±10,66)	12,17 (±0,4)	14,59 (±2,52)	15,35 (±2,28)
4 lpm	24,03 (±0,42)	24,12 (±0,58)	24,06 (±0,42)	58,99 (±7,51)	64,09 (±9,2)	69,38 (±10,84)	12,88 (±1,61)	14,17 (±1,93)	15,12 (±1,91)
5 lpm	23,87 (±0,41)	24,09 (±0,62)	24,02 (±0,59)	59,3 (±10,58)	63,21 (±9,92)	67,34 (±10,92)	12,82 (±2,32)	13,81 (±2,14)	14,85 (±2,77)
6 lpm	23,86 (±0,32)	24,02 (±0,28)	24,22 (±0,3)	56,3 (±8,78)	60,27 (±24,02)	64,07 (±7,98)	12,16 (±1,93)	13,01 (±2,09)	13,98 (±1,69)
7 lpm	23,73 (±0,47)	23,63 (±0,36)	23,54 (±0,41)	54,69 (±8,25)	57,39 (±4,65)	61,38 (±5,81)	11,89 (±1,78)	12,92 (±3,35)	13,45 (±1,54)
8 lpm	23,53 (±0,54)	23,28 (±0,23)	23,34 (±0,25)	50,11 (±1,97)	57,79 (±6,99)	59,31 (±8,2)	10,58 (±0,51)	12,02 (±1,72)	12,41 (±1,96)
9 lpm	23,41 (±0,46)	22,78 (±1,44)	23,11 (±0,52)	53,45 (±6,75)	58,96 (±11,71)	60,13 (±14,03)	11,27 (±1,3)	12,96 (±2,98)	12,73 (±3,63)
10 lpm	23,2 (±0,55)	22,65 (±0,38)	22,48 (±0,51)	50,21 (±7,76)	57,09 (±7,77)	58,97 (±6,94)	10,35 (±1,57)	12,04 (±1,92)	11,91 (±1,44)
11 lpm	22,46 (±0,55)	22,8 (±0,64)	22,81 (±0,57)	50,71 (±8,99)	57,53 (±10,09)	60,50 (±13,69)	10,07 (±1,96)	11,90 (±2,8)	12,34 (±3,3)
12 lpm	22,95 (±1,39)	22,24 (±0,23)	22,25 (±0,35)	49,73 (±6,64)	61,81 (±8,07)	63,18 (±7,9)	10,18 (±2,26)	12,14 (±1,84)	12,4 (±1,63)
13 lpm	22,59 (±0,77)	23,66 (±0,79)	23,84 (±0,81)	50,7 (±6,02)	59,02 (±11,41)	62,01 (±8,67)	9,98 (±1,03)	12,57 (±2,18)	13,29 (±1,57)
14 lpm	21,75 (±0,63)	22,87 (±0,87)	22,73 (±0,86)	50,06 (±6,48)	57,16 (±12,13)	64,91 (±11,47)	9,67 (±1,54)	11,71 (±3,31)	13,26 (±3,05)
15 lpm	23,11 (±0,75)	22,57 (±0,63)	22,29 (±0,74)	48,09 (±5,74)	52,81 (±10,16)	64,43 (±8,04)	9,86 (±1,18)	10,67 (±2,15)	12,95 (±1,79)

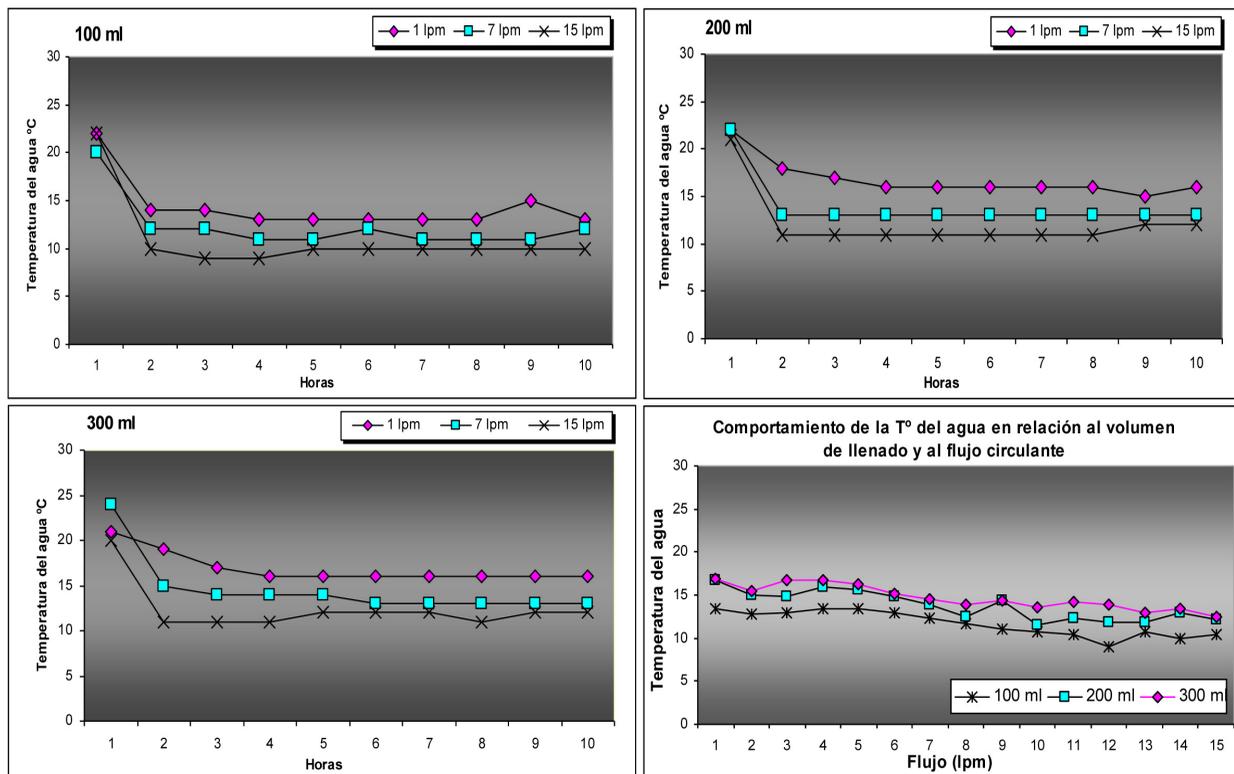


Gráfico 1. Comportamiento de la T° del agua a lo largo de las 10 horas de cada jornada para 100ml (arriba a la izquierda), 200ml (arriba a la derecha) y 300 ml (abajo a la derecha), con flujos de 1, 7 y 15 lpm. Nótese la brusca caída de la T° en las primeras dos horas, luego los valores alcanzan una meseta para todos los flujos y volúmenes. Abajo a la derecha se observa el comportamiento de la T° del agua en relación al volumen de llenado y al flujo circulante.

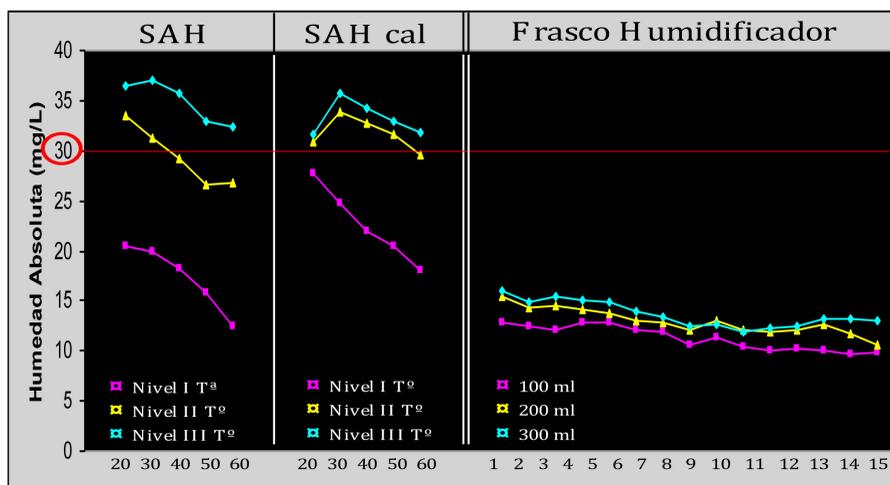


Gráfico 2. Comportamiento de la HA en relación al flujo en los tres sistemas de humidificación. SAH: Sistema Activo de Humidificación; SAH cal: Sistema Activo de Humidificación con alambre caliente. Nótese que el Frasco Humidificador no logra acondicionar el gas inspirado con ningún flujo o volumen de llenado, es decir no alcanza el valor mínimo recomendado de 30 mg/L de HA. Si lo logran los SAH en los niveles II y III de intensidad de T°.

- El frasco humidificador como sistema de humidificación del gas inspirado no cumple con las recomendaciones. Evaluación y comparación de tres sistemas de humidificación. Estudio de laboratorio

La T° del agua descendió a lo largo de las jornadas de medición. Este descenso de temperatura se vio íntimamente relacionado al volumen de llenado y al flujo de gas. El promedio de T° más bajo se observó con un volumen de 100 ml y un flujo de 15 lpm: 10,4°C ( $\pm 0,01$ ), mientras que la mayor T° se registró con un volumen de 300 ml y un flujo de 1 lpm: 16,9°C ( $\pm 1,73$ ). El comportamiento de la T° del agua con 100, 200 y 300 ml y con flujos de 1, 7 y 15 lpm a lo largo del estudio se puede observar en el **Gráfico 1**.

En la **Tabla 4** se puede observar el comportamiento de la T°, HR y HA de acuerdo al volumen de llenado, demostrándose claramente el aumento de la HA y de la HR a medida que aumenta el volumen.

El FH no alcanzó los valores mínimos recomendados en la literatura de HR 100%, HA 30 mg/l y T° 31°C, independientemente del volumen de llenado o del flujo aplicado. **Gráfico 2**.

El SAH *sin circuito calefaccionado* alcanzó los valores recomendados en el NIVEL III con flujos de 20 a 60 lpm, y en el NIVEL II con flujos de 20 y 30 lpm.

El SAH *con circuito calefaccionado* logró los valores sugeridos en los NIVELES II con flujos de 20 a 50 lpm y en el nivel III con flujos de 20 a 60 lpm.

Ninguno de los dos SAH alcanzó con el NIVEL I y flujos de 20 a 60 lpm los valores mínimos recomendados.

Se calculó el promedio de la HA y T° del gas entregado proximal al paciente para los 3 sistemas de humidificación. Se puede ver claramente que los niveles bajos de T° del gas ( $< 30^\circ\text{C}$ ) se correlacionan con valores bajos de HA. **Tabla 5**.

Para la evaluación independiente del FH se utilizó como análisis estadístico el test ANOVA para mediciones repetidas con análisis post-hoc Tukey. Valor significativo  $p < 0,05$ . Se comparó la HA del gas entregado con los tres niveles de llenado y con los 15 niveles de flujo. El modelo ANOVA arrojó diferencia significativa  $p < 0,05$  en forma global para la variable HA. El análisis post-hoc encontró diferencia significativa en la media de HA a cada uno de los volúmenes estudiados en todos los niveles de flujo ( $p = 0,05$ ).

Para el FH la HA promedio de todos los niveles de agua y todos los flujos fue de 12,62 mg/l ( $\pm 2,54$ ).

Para el SAH *sin circuito calefaccionado* la HA promedio en los diferentes niveles fue: NIVEL I 17,36 mg/l ( $\pm 3,91$ ), NIVEL II 29,41 mg/l ( $\pm 3,38$ ) y NIVEL III 35,05 mg/l ( $\pm 2,58$ ).

TABLA 4

Características del gas entregado (proximal al paciente) en términos de T°, HR y HA, para el frasco humidificador con los 15 niveles de flujo promediados para cada nivel de agua. Valores expresados en media  $\pm$  DS.

FH	Temperatura (°C)	HR (%)	HA (mg/l)
100 ml	23,31 ( $\pm 0,8$ )	53,85 ( $\pm 4,6$ )	11,28 ml/l ( $\pm 1,2$ )
200 ml	23,34 ( $\pm 0,64$ )	61,06 ( $\pm 5,25$ )	12,95 mg/l ( $\pm 1,3$ )
300 ml	23,35 ( $\pm 0,7$ )	64,7 ( $\pm 4,7$ )	13,67 mg/l ( $\pm 1,3$ )

TABLA 5

Valores promedios de HApp y TGpp para SAH convencional, SAH con Circuito Calefaccionado y Frasco Humidificador. Nótese que los niveles bajos de T° del gas ( $< 30^\circ\text{C}$ ) se correlacionan con valores bajos de HA. Valores expresados en media  $\pm$  DS.

	SAH <i>sin circuito calefaccionado</i>			SAH <i>con circuito calefaccionado</i>			Frasco Humidificador
	Nivel I	Nivel II	Nivel III	Nivel I	Nivel II	Nivel III	
HA (mg/l)	17,3 ( $\pm 3,91$ )	29,4 ( $\pm 3,38$ )	35,05 ( $\pm 2,58$ )	22,4 ( $\pm 3,42$ )	31,7 ( $\pm 2,99$ )	33,5 ( $\pm 2,17$ )	12,62 ( $\pm 2,54$ )
T° (°C)	28,6 ( $\pm 0,63$ )	30,2 ( $\pm 1,01$ )	32,7 ( $\pm 1,2$ )	29,6 ( $\pm 0,43$ )	30,9 ( $\pm 0,67$ )	31,7 ( $\pm 1,01$ )	23,3 ( $\pm 0,72$ )
HR (%)	77.8 ( $\pm 4.46$ )	97.6 ( $\pm 2.41$ )	99.86 ( $\pm 0.1$ )	72.22 (3.74)	98.7 ( $\pm 1.18$ )	99.9 ( $\pm 0$ )	59.86 ( $\pm 8.47$ )

Finalmente para el SAH con *circuito calefaccionado* la HA en los diferentes niveles fue: NIVEL I 22,42 mg/l ( $\pm 3,42$ ), NIVEL II 31,73 mg/l ( $\pm 2,99$ ) y NIVEL III 33,53 mg/l ( $\pm 2,17$ ).

## Discusión

Uno de los puntos débiles que tiene el trabajo, justamente por ser de laboratorio, es la ausencia de pacientes, en consecuencia las variables medidas podrían comportarse de manera diferente si se midiesen en sujetos.

Las mediciones realizadas con los SAH y mencionadas como "*proximales al paciente*" en la práctica clínica podrían verse afectadas por el VM y/o la amplitud del VC del paciente. En consecuencia los valores de HA, T° y HR del gas inspirado podrían descender como resultado de una posible mezcla con el aire ambiente durante la inspiración. Para evitar este potencial problema el circuito debería tener en el extremo proximal al paciente un reservorio de 75 ml. Durante la fase espiratoria el reservorio se llenaría de gas acondicionado por el SAH, de modo que si el VC de la siguiente inspiración superara el volumen entregado por el SAH el reservorio aportaría el faltante. Teniendo en cuenta que el SAH acondiciona eficazmente flujos de 20 a 60 lpm y que el VM de un paciente por lo general se encuentra entre 8 y 10 lpm, el SAH aporta gas humidificado en cantidades superiores a las necesarias.

Otro punto de posible conflicto es la utilización de dos gases medicinales diferentes en las mediciones. Oxígeno en el FH y aire comprimido en los SAH. Desde el punto de vista de las características termodinámicas (calor específico, peso molecular y densidad), ambos gases se comportan de manera similar.<sup>13</sup> De hecho en nuestro trabajo presentaron valores equivalentes de HR, T° y HA antes de pasar por los diferentes sistemas de humidificación.

La observación de condensación en el extremo proximal al paciente, con los SAH, resultó ser un predictor independiente de HA de por lo menos 30 mg/l a una T° ambiente de 24 – 28 °C, como se vio también en los estudios de Ricard<sup>14</sup> y Chanques<sup>9</sup>. En ambientes más fríos, la presencia de condensación no necesariamente implica presencia de HA mínima recomendada.

Al abordar el comportamiento de la HA, ahora en relación al largo de la tubuladura, vemos que esta disminuye al acercarse al extremo proximal al paciente. Esto podría deberse a la pérdida de calor a lo largo del circuito del SAH sin alambre caliente. La incorporación del circuito calefaccionado permitió que el SAH logre buenos valores de HA en el NIVEL II para flujos de 40 y 50 lpm.

Del mismo modo que Chanques<sup>9</sup> nosotros no observamos presencia de condensación proximal al paciente con el FH.

La HR máxima entregada por el FH en nuestro estudio fue de 74,2%, coincidiendo con los trabajos de Darin<sup>10</sup> y Chanques<sup>9</sup>. Centrarse solamente en el valor de la HR del gas puede llevar a errores. Si bien un valor de HR de 75% se encuentra bastante cercano a lo recomendado, la HA y la T° están muy por debajo del valor necesario. La HA depende de la T° del gas. El FH nunca podrá aumentar la T° del gas y en consecuencia la HA, ya que no cuenta con una fuente de calor externa y el agua se encuentra como máximo a T° ambiente. La T° del agua del FH disminuyó con el correr de las horas. Esta caída de la T° se asoció al nivel de flujo y a la cantidad de volumen de agua. Este fenómeno obedece al principio de refrigeración por el cual la masa líquida pierde calor para permitir que el flujo gaseoso arrastre presión de vapor de agua.

A diferencia de los trabajos de Darin<sup>10</sup> y de Chanques<sup>9</sup> nosotros evaluamos las variables a diferentes niveles de agua en el FH. Nuestros resultados demostraron que a mayor nivel de agua, mayor HA entregada. De todos modos los valores siempre están muy por debajo de lo mínimo necesario.

## Conclusión

El FH no acondiciona el gas entregado de acuerdo a lo recomendado. Si bien existe una asociación con valores estadísticamente significativos entre cantidad de volumen y flujo para HA, los mejores resultados apenas superan el 50% de lo mínimo sugerido en la literatura.

Los dos SAH con y sin *circuito calefaccionado* lograron acondicionar el gas de manera adecuada. El SAH con *circuito calefaccionado* aporta una leve ventaja al acondicionar correctamente el gas en el NIVEL II de intensidad con flujos de 40 y 50 lpm.

## Bibliografía

1. Branson RD: Humidification for patients with artificial airways. *Respir Care* 44:630-642, 1999
2. Rathgeber J: Devices used to humidify respired gases. *Respir Care Clin* 12: 165-182, 2006
3. Sottiaux T: Consequences of under- and over-humidification. *Respir Care Clin* 12: 233-252, 2006
4. American Association for Respiratory Care Clinical Practice Guidelines: Humidification during mechanical ventilation. *Respir Care* 37:887-890, 1992
5. American Association for Respiratory Care: Consensus statement on the essentials of mechanical ventilators. *Respir Care* 37:1000-1008, 1992
6. Hess DR, Branson RD: humidification: humidifiers and nebulizers. In: Branson RD, Hess DR, Chatburn RL (eds): *Respiratory Care Equipment*. Philadelphia: JB Lippincott, 1995
7. *Terapia Intensiva*. Sociedad Argentina de Terapia Intensiva. 4ª edición. Editorial Médica Panamericana, 2007
8. Roux NG, Pereyra González O, Feld V y Cols: Evaluación de un sistema activo de humidificación del gas inspirado. Como lograr la humedad y temperatura adecuada. Estudio

- El frasco humidificador como sistema de humidificación del gas inspirado no cumple con las recomendaciones. Evaluación y comparación de tres sistemas de humidificación. Estudio de laboratorio

- de laboratorio. 18º Congreso Argentino de Terapia Intensiva 2008. Buenos Aires. Argentina. (Pendiente publicación)
9. Chanques G, Constantin J, Sauter M: Discomfort associated with underhumidified high-flow oxygen therapy in critically ill patients. *Intensive Care Med.* Jun;35(6):996-1003, 2009
  10. Darin J, Broadwell J, MacDonell R: An evaluation of water-vapor output from four brands of unheated, prefilled bubble humidifiers. *Respir Care* 27:41–50, 1982
  11. O'Driscoll BR, Howard LS, Davison AG: BTS guideline for emergency oxygen use in adult patients. *Thorax.* Oct; 63 Suppl 6:vi1-68, 2008
  12. Craig L. Scanlan. Physical Principles in respiratory Care, en Egan's Fundamentals of Respiratory Care. USA. Seventh edition. Mosby 1999. p.79-107
  13. Züchner K: Humidification: Measurement and Requirements. *Respir Care Clin* 12 149–163, 2006
  14. Ricard J, Markowicz P, Djedaini K, Mier L, Coste F, Dreyfuss D: Bedside evaluation of efficient airway humidification during mechanical ventilation of the critically ill. *Chest* 115:1646–1652, 1999.
-