

**FORMACIÓN MÉDICA****Vaporizadores anestésicos***Gironés Muriel A.**Hospital Universitario Sanitas La Moraleja Madrid.***Resumen**

Acercarnos a un respirador anestésico (o a una estación de trabajo para los más finos) es acercarnos a una maquinaria relativamente reciente. Y a pesar de que los actuales modelos se presentan con diseños futuristas, mostrando variedad de pantallas y lucecitas, acercándolos más a la consola de un vehículo Tesla que a un dispositivo para ventilar pacientes, la verdad es que la tecnología de un respirador descansa más sobre aspectos mecánicos que sobre aspectos puramente electrónicos. Y junto al respirador está, casi siempre, el vaporizador. El vaporizador anestésico se ha convertido en un elemento fundamental dentro de la obra de ingeniería que es un respirador y representa, en sí mismo, la labor de un anestesiólogo en el quirófano. Hay que admirar también cómo su funcionamiento tiene mucho de física y poco de electrónica siendo el propósito de este escrito mostrar algo más sobre la evolución y el funcionamiento de estos aparatos que nos acompañan en nuestra vida profesional.

Introducción

Acercarnos a un respirador anestésico (o a una estación de trabajo para los más finos) es acercarnos a una maquinaria relativamente reciente. Y a pesar de que los actuales modelos se presentan con diseños futuristas, mostrando variedad de pantallas y lucecitas, acercándolos más a la consola de un vehículo Tesla que a un dispositivo para ventilar pacientes, la verdad es que la tecnología de un respirador descansa más sobre aspectos mecánicos que sobre aspectos puramente electrónicos. Y junto al respirador está, casi siempre, el vaporizador. El vaporizador anestésico se ha convertido en un elemento fundamental dentro de la obra de ingeniería que es un respirador y representa, en sí mismo, la labor de un anestesiólogo en el quirófano. Hay que admirar también cómo su funcionamiento tiene mucho de física y poco de electrónica siendo el propósito de este escrito mostrar algo más sobre la

evolución y el funcionamiento de estos aparatos que nos acompañan en nuestra vida profesional.

El vaporizador

Tomado de equipomedicotm

El vaporizador vaporiza; esa es su función. Y tras esta perogrullada se esconde una serie de procesos que todo

anestesiólogo debería, al menos, intentar conocer. Tenemos el desflurano, el sevoflurano, el isoflurano y el halotano como los principales anestésicos inhalatorios, éste último resistente a ser relegado en algunos países. Podemos considerarlos como líquidos volátiles a temperatura ambiente. Es decir, son líquidos que deben convertirse en gas para pasar al territorio sanguíneo a través del alveolo pulmonar. Sin embargo, al tener el desflurano una temperatura de ebullición por encima de los 23, 5° C a nivel del mar (algo menor según ascendemos en altura) podríamos considerarlo, siendo más quisquillosos, como un semi-gas o un líquido muy volátil.

Si miramos el mundo en su globalidad podemos constatar como en muchos de los quirófanos donde trabajan los anestesiólogos no existe un potente y carísimo aire acondicionado que establezca la temperatura. Tampoco veremos modernos vaporizadores autocompensados y una monitorización tipo *Star Trek* que nos informe del flujo de gas administrado. En otros ambientes hospitalarios, en cambio, los abnegados anestesiólogos trabajan en un agradable ambiente glacial y futurista. Un entorno ideal para el paciente, para el funcionamiento de los gases anestésicos y para el propio anestesista, generalmente semicongelado sentado a la cabecera del paciente. Esa es la estupenda diversidad del mundo y de nuestra profesión, que solo reseño, para advertir que aplicar gas anestésico no es, ni ha sido, tan fácil como lo es hoy en día en el mal llamado primer mundo.

	Punto ebullición	Presión de Vapor en C.N
Xenon	-108.1°C	
CO2	-78.5°C	
O2	-183°C	
N2	-196°C	
N2O	-88.5°C	58,8 atm
Enflurano	56.5°C	
Isoflurano	48.5°C	250 mmHg
Halotano	50.2°C	243 mmHg
Sevoflurano	58.6°C	157 mmHg
Desflurano	23.5 °C	667 mmHg
Agua	100°C	17,5 mmHg

Porque controlar la temperatura ambiente de un quirófano, la velocidad de flujo de gas fresco, la cantidad residual de anestésico que nos queda... Todo eso y más, importa en la cantidad de anestésico gaseoso que queramos administrar a un paciente y los vaporizadores actuales lo hacen por nosotros, como veremos más adelante.

Recordemos que la presión de vapor de un gas anestésico nos informa de su **volatilidad**. Esa presión de vapor indica la presión que ejerce el líquido dentro de un sistema cerrado cuando éste alcanza una temperatura determinada. El hecho físico relevante es que la **evaporación** es la fuga de moléculas en la superficie de un líquido hacia una fase gaseosa (hasta aquí todo son temas de una educación general básica). Lo interesante sucede cuando la presión del líquido (presión de vapor) supera la presión que existe en el ambiente o sistema que lo contiene, cuando eso sucede, todo el líquido anestésico **ebulliciona** y se transforma en vapor.

El vaporizador es, por tanto, un dispositivo diseñado para facilitar este cambio de estado y administrar una cantidad controlada de vapor de gas al paciente, ya sea evaporándolo o

ebullicionándolo. Para comprender totalmente el funcionamiento de un vaporizador es preciso haber entendido el concepto de la presión de vapor de un elemento y las leyes que gobiernan el comportamiento de los gases, pero esa es otra historia.

La física importa

La forma más sencilla de vaporización es hacer pasar un flujo de aire a través de un recipiente cerrado que contiene un líquido. En plan poético sería la imagen del viento transformado en agradable brisa marina al acariciar las olas. Este flujo (llamado **flujo vector**) arrastrará consigo moléculas del agente líquido en forma de vapor y las llevará fuera del recipiente. Para recuperar el equilibrio en la presión de vapor del recipiente, nuevas moléculas del líquido deberán pasar a la forma gaseosa hasta nivelar de nuevo las presiones. Así pues, se origina una paulatina evaporación de una parte del líquido, una disminución del propio líquido y una pérdida de temperatura, también del propio líquido. Esto no me lo invento yo, ya lo dijeron unos señores muy sabios y algo antiguos llamados Joule y el Barón de Kelvin con su *famosísimo* efecto Joule-Kelvin.

Nos encontramos así con el primer problema. Esta pérdida de temperatura condicionaría una menor evaporación y, por consiguiente, un cambio en la cantidad de moléculas arrastradas por el flujo de aire. Pero esta es solo una característica física que incide en la precisión de gas anestésico aportado al paciente. El vaporizador anestésico es, por tanto, el encargado de mantener una evaporación más o menos constante sin importar, en lo posible, los factores que inciden en la vaporización de un líquido. Es preciso, por tanto, conocer esos factores para comprender el diseño y la evolución de estos mecanismos:

1. La disminución de la temperatura del líquido volátil por la propia evaporación como hemos comentado.
2. La temperatura ambiente existente en el quirófano.
3. La altura o la presión atmosférica a la que nos encontremos.
4. El flujo de aire que atraviesa el vaporizador.
5. Las fluctuaciones de presión dentro del vaporizador.
6. La presión retrógrada a la salida del vaporizador.

Una clasificación para entenderlos mejor

Vaporizadores anestésicos hay muchos y los que tenemos ya canas y algunas décadas de oficio hemos conocido unos cuantos. La mejor manera de estudiar esta preciosa obra de ingeniería es catalogándola de alguna manera. Para ello usaremos la clasificación propuesta por Dorsch en 1994 según cinco características funcionales de los vaporizadores (tipo de flujos, tipo de vaporización, método de compensación de temperatura, tipo de presión interna y tipo de calibración). Desde luego hay otras clasificaciones, pero a mi modo de entender, ésta se acerca a los objetivos del presente documento, si bien, es preciso modificarla para interpretar mejor el funcionamiento de estos aparatos.

Alguno de los vaporizadores Datex-Ohmeda



VAPOR 19



VAPOR 2000



VAPOR 3000

Otros vaporizadores



COPPER KETTLE



BOYLE

Alguno de los vaporizadores North American Drager



VERNITROL

	Tec 4, 5 y 7 Savo Tec Aladin Vapor 19 y Vapor 2000 y 3000	Copper Kettle Vaporizer Boyle	Tec 8 (Desflurano) Engstrom EAS 5010
Método de separación del flujo de aire	De cortocircuito variable. El vaporizador determina la proporción del flujo de aire que atraviesa la cámara de vaporización	De medición de flujo. El anestesiólogo determina la dirección del flujo de aire que atraviesa la cámara de vaporización	De circuito doble: (medición de flujo automática). Flujos de aire independientes. El sistema controla automáticamente el flujo de aire vector
Método de vaporización	Por sobreflujo	Por burbujeo	Por mezcla de Gas/Vapor: El calor produce vapor que es inyectado directamente en el flujo de gas fresco.
Por método de compensación de la temperatura	Por mecanismos automáticos de compensación	Por medios manuales. Cambios en el caudal de flujo.	Temperatura controlada termoelectrónicamente
Por tipo de calibración	Calibrado para un agente específicamente	Para múltiples agentes inhalatorios	Tec 8: Calibrado para desflurano Engstrom: 3 adaptadores para halotano, enflurano e isoflurano
Por capacidad	Tec 4, con 125ml Tec 5, con 300 ml Vapor 19, con 200ml Aladin, con 250ml	De 200 a 600ml	Tec con 390 ml Engstrom (la botella original)

Adaptación de la Clasificación de Dorsch

Hasta aquí la introducción a los vaporizadores. En una próxima entrega se definirán las características de diseño que pueden diferenciar a estas máquinas y se explicará su evolución en base a sus diseños.

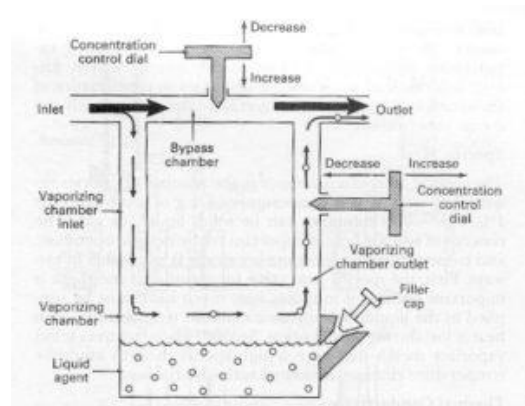
Clasificando vaporizadores



equipomedicotm.blogspot.com

Aclarar, que se pueden encontrar diferentes características de diseño en el mismo vaporizador, y que por tanto, algunas características no excluyen la incorporación de otras.

1. Vaporizadores Con Cortocircuito variable (“bypass”)



Esquema vaporizador de cortocircuito variable

Es una característica de diseño muy utilizada en los vaporizadores que se usan hoy. La característica que lo define es la existencia, dentro del propio vaporizador, de dos circuitos interconectados por donde circula el gas fresco: 1- El circuito de vaporización y 2- El circuito derivado que *bypasea* (perdonen el aforismo) la cámara de vaporización para volver a juntarse a su salida con el primer circuito. A este grupo pertenecen la mayoría de los vaporizadores actuales como son los Tec 4, 5, 7, los Aladin, los Vapor 19, Vapor 2000 y los Vapor 3000, entre otros.

Estos dos circuitos para el paso del flujo de gas fresco tienen su función, ¡claro está! Por un lado se encuentra el circuito de vaporización que contiene el gas vector, cuya función es recoger el anestésico volátil. El gas vector debe pasar lo más cerca posible de la superficie líquida del halogenado, pues de esta forma, se consigue un eficaz arrastre de vapor anestésico. De hecho, consigue alcanzar casi su presión de vapor.

El pequeño problema es que, a unos 20° C, el sevoflurano, el desflurano y el isoflurano tienen una presión de vapor de 157, 667 y 250 mmHg respectivamente. Como resultado de la tozuda ley que el Sr. Dalton formuló hace años, estas presiones de vapor ofrecerían a la salida del vaporizador un

flujo de gas con unas sádicas concentraciones de anestésico. Para más señas en torno al 20%, el 87% y el 32% de halogenado respectivamente. Para no sobredosificar al pobre paciente es necesario diluir piadosamente la concentración de gas anestésico hasta unos niveles clínicos. Esta dilución se consigue mediante el desvío de la mayor parte del flujo de gas fresco a través del otro circuito existente, que no pasa por la superficie del anestésico volátil (el flujo de gas derivado). Los ingenieros han necesitado estrujarse la cabeza para diseñar una máquina que ajuste automáticamente la relación entre el flujo derivado y el flujo de vaporización para así aportar al paciente una concentración de gas anestésico adecuada según queramos nosotros, los anesthesiólogos.

Cómo se calibra ese porcentaje de gas anestésico

Un poco de ciencia básica: Para el cálculo de la concentración del anestésico a la salida del vaporizador es necesario asumir que la cámara de vaporización está saturada con vapor anestésico y también conocer ciertos parámetros físicos que hacen posible ajustar el porcentaje de anestésico a la salida del vaporizador. Estos parámetros son: 1- la presión de vapor del agente (PV), 2- la presión atmosférica ambiental (Patm), 3- el flujo total de gases aportados al paciente (FGF), 4- la relación entre el flujo derivado (Fd) /Flujo de vaporización (Fv), y por último, 5- la temperatura.

El porcentaje de anestésico (A%) que sale de la cámara de vaporización siguiendo la ley de Dalton es $A\% = PV / Patm \times 100\%$ (PV= Presión de vapor del anestésico y Patm = Presión Atmosférica En el caso del Sevoflurano; $(157/760) \times 100=20,65\%$

Otra formulación para calcular el porcentaje de anestésico que sale de

la cámara de vaporización es $A\% = (VA / (VA + Fv)) \times 100\%$ donde VA es el Volumen de anestésico y Fv el Flujo de gas a la cámara de vaporización)

Por lo tanto, a igualdad de la ecuación, despejamos y nos queda la fórmula: $PV / Patm = VA / (VA + Fv)$. Hasta aquí sencillo ¿verdad?

En un vaporizador con dos flujos (el de vaporización y el derivado) podemos decir también que el porcentaje de anestésico obtenido a la salida del vaporizador es la mezcla de los dos flujos que se juntan, tanto el de vaporización (Fv) como el flujo derivado (Fd), por lo que el porcentaje de anestésico se puede expresar como: $C\% = VA / (VA + Fv + Fd) \times 100\%$

Dado que el volumen de anestésico no se conoce, despejamos el volumen de anestésico (VA) de las ecuaciones anteriores y podemos calcular la concentración del anestésico si conocemos los flujos de gas a través de la cámara de vaporización y del circuito derivado. O a la inversa, pues a partir de una concentración de anestésico conocida se puede calcular la relación de ambos flujos.

Concentración de anestésico (%) = $100 \times Fv \times (PV / Fd) \times (Patm - PV) / Patm$

Resultando esta fórmula que nos sirve para calibrar el vaporizador en condiciones controladas o para ajustar la concentración si solo disponemos del flujo y la temperatura como datos.



Tabla de Vernitrol para control del gas anestésico mediante el control del flujo y la temperatura del halogenado

Pero no hay que asustarse. No se suele ver a un anestesiólogo con calculadora, papel y bolígrafo ajustando el vaporizador mediante el flujo de aire.

Pero tampoco es una exageración, pues sí era algo habitual, con el uso de los vaporizadores de burbujeo tipo Vernitrol, la utilización de unas tablillas o reglas que “facilitaban” la artesana labor de ajustar la concentración de halotano, isoflurano o enflurano mediante los litros/minuto de flujo aportado. Hoy en día eso ya viene de fábrica. El vaporizador queda calibrado y ajustado para ofrecer un flujo estable y una concentración de gas adecuada.

Al final, toda esta formulación necesaria para comprender cómo se calibran los respiradores se simplifica a la “titánica labor” de girar el dial para elegir concentración.

Así pues, recordar que tras el simple gesto de ajustar un vaporizador de sevoflurano al 2% se esconde un cuidadoso proceso de calibración previo que ajusta los flujos de gases dentro de los circuitos del vaporizador.

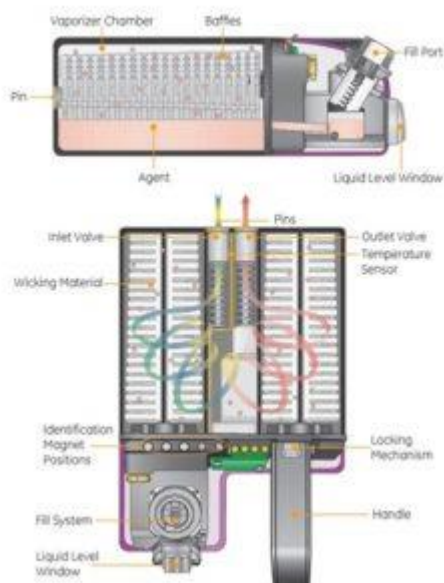
2. Vaporizadores con flujo cuantificado



Datex Engstrom

¿Y no es mejor elegir el flujo para ajustar la adecuada concentración en vez de calibrar el vaporizador a determinadas concentraciones y flujos de gas fresco? Esta es una pregunta sencilla pero con una respuesta más complicada. Existen vaporizadores cuyo diseño se basa en la existencia de dos circuitos independientes entre ellos que necesitan regularse. Son los vaporizadores con flujo cuantificado. Al principio existía un elemento más o menos pensante que se encargaba de controlar los dos flujos para diluir el flujo vector cargado de anestésico. Me refiero al propio anestesiista con los viejos vaporizadores Copper Kettle o Vernitrol. Después vino la electrónica e hizo posible que dicho flujo fuera controlado electrónicamente. Este diseño de control electrónico fue asumido por el vaporizador del Datex-Engström EAS 9010, que controlaba electrónicamente el flujo en los dos circuitos. Después, los modernos vaporizadores electrónicos tipo TEC 6 para el desflurano o el Aladin asumieron este tipo de flujo controlado en sus diseños. Mucho más exactos, pero también mucho más caros.

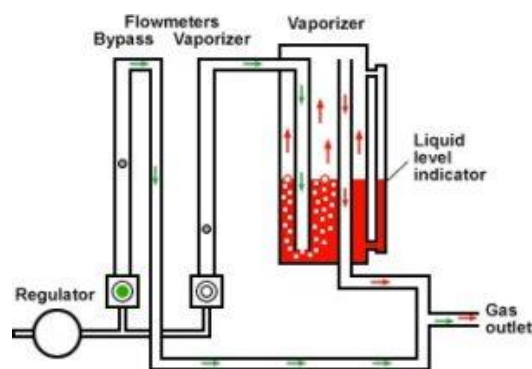
3. Vaporizadores con sistema de vaporización por arrastre o sobreflujo (Flow-over)



Esquema vaporizador Aladin

Otra gran pregunta que deberíamos hacernos a la hora de catalogar un vaporizador es: cómo vaporiza. Gran número de los vaporizadores actuales tienen la tecnología de sobreflujo en su diseño frente a la de burbujeo. Los de sobreflujo se basan en el simple paso (controlado o no) de un flujo de aire a través de una cámara donde hay una fase líquida y una fase gaseosa (el lugar de almacenaje del anestésico) que condiciona un arrastre de moléculas. Dicha cámara debe tener unas características físicas estables de temperatura y presión para que dicho espacio esté saturado de vapor anestésico en su interior y genere así una presión de vapor estable. Los TEC (salvo el Tec 6) y los VAPOR tiene esta forma de vaporización. El vaporizador Aladin también incorpora este tipo de vaporización, aunque cuando se requieren altas necesidades de concentración anestésico (como en el caso de inducciones inhalatorias) o con el empleo de desflurano) presenta un comportamiento más acorde al de un vaporizador de inyección con la puesta en marcha de un ventilador en su interior que fuerza la circulación del flujo de gas vector.

4. Vaporizadores con sistema de vaporización por burbujeo.



Esquema vaporizador por burbujeo

Este tipo de vaporización es la más sencilla, y por ello, la primera en utilizarse frente a la de sobreflujo. El uso de esta técnica para producir vapor de gas de un líquido se puede ver en los abundantes “humidificadores” de oxígeno que están presentes en el ambiente hospitalario (pues usan el mismo principio). El paso de una mezcla de aire u oxígeno a través del líquido anestésico origina un burbujeo y una saturación de halogenado a su paso, aunque es menos eficiente y exacto que en la vaporización por arrastre. A estas alturas del presente escrito tengo que romper una lanza evocando a esos vaporizadores pioneros y a esos clásicos gases anestésicos, pues no olvidemos que los hipnóticos intravenosos son unos advenedizos en esto del campo anestésico comparado con la larga evolución que los gases tienen en nuestra especialidad. No hay que menospreciar, por tanto, a los vaporizadores de burbujeo pues son el origen real de nuestra especialidad. Son duraderos, no tienen necesidad de enchufe y desde los tiempos en que Morton desarrolló el primer vaporizador para



Vaporizador de Boyle

el éter han ido evolucionando a la par que los halogenados para poder administrar gas con seguridad. Por ello dejó en un lugar muy especial a los viejos vaporizadores Boyle, Copper Kettle y Vernitrol, que utilizan esta forma de vaporización, unos vaporizadores que no precisan de una cámara de vaporización saturada de vapor de anestésico y que no disponen de la tecnología de diseño actual pero que han contribuido al desarrollo de nuestra gran especialidad.

5. Vaporizadores de Inyección o con mezcla controlada del gas vapor.

Este tipo de tecnología tiene similitudes con los actuales motores diesel. Es un diseño más actual, más fino...Y más caro, pues precisa de un sistema que busca el control en la mezcla final del flujo del gas vector con el gas fresco. La forma de hacerlo es inyectando un flujo de gas saturado de anestésico en el flujo de gas fresco que se dirige hacia el paciente (obviamente de ahí su nombre).

Para ello es preciso producir un vapor de anestésico muy controlado. El TEC 6, usado para el desflurano, y el Datex-Engström EAS 9010 utilizan esta inyección controlada del gas contenido en la parte alta de la cámara de vaporización. En este diseño de vaporizador es preciso calentar y tener la cámara de vaporización a una

temperatura constante que sobrepase la temperatura de ebullición del anestésico. Hemos comentado también como el Aladin se comporta de manera similar cuando existen circunstancias que requieren aumentar la concentración de anestésico.



Adaptadores para la colocación del halogenado en el Datex Engstrom

El Datex-Egstrom EAS 9010 es uno de los primeros vaporizadores de inyección electrónicos que se usaron. Hay que admirar la originalidad de su diseño para su tiempo y destacar cómo los ingenieros que lo desarrollaron consiguieron una presión constante de 0,4 bar en la propia botella original del halogenado (halotano, enflurano o isoflorano). Que son los anestésicos que se pueden usar con este respirador/vaporizador. Todo mediante un adaptador especial para la misma botella original del producto y un flujo de oxígeno calibrado que impulsa el halogenado a la cámara de vaporización cuando este sea requerido. Allí el vaporizador asigna una temperatura fijada según sea el agente anestésico (por ejemplo, 75° C para isoflorano). Al final, es una válvula electromagnética la que deja pasar bolos de 1ml de gas vapor hacia la corriente de gas fresco. La frecuencia de estos bolos depende de la concentración de anestésico fijada por el anestesiólogo. Así de simple, así de complicado.

6. Vaporizadores que compensan la temperatura

La temperatura del anestésico debe ser constante como hemos comentado antes. La vaporización de una sustancia implica pérdida de la fase líquida para transformarse en fase gaseosa (se agota el líquido anestésico) a una velocidad que depende mucho de la temperatura.

Esto no es magia, es simple teoría cinética. La misma que nos explica cómo la pérdida de temperatura que presenta un líquido evaporándose se origina porque: 1- Para que un líquido pase a una fase gaseosa se necesita energía para romper las fuerzas intermoleculares y la tensión superficial de las moléculas del líquido anestésico. 2- Esa energía es recogida de la energía cinética de las moléculas presente en la fase líquida. 3- La pérdida de energía cinética se traduce en disminución de la temperatura. Toda una parrafada que se resume en que la evaporación origina un enfriamiento del líquido.

¿Y por qué es importante mantener la temperatura del líquido anestésico dentro del vaporizador? Pues porque la pérdida de temperatura origina por sí misma una disminución de la presión de vapor, y una disminución de esta presión condiciona una menor saturación del anestésico en el flujo de gas vector tras haber pasado por la cámara de vaporización. Y a estas alturas ya deberías saber que esto originaría una inexactitud inaceptable en la concentración de anestésico administrado.

Así pues, para intentar minimizar este fenómeno, los vaporizadores se construyen con materiales que tengan: un alto calor específico. Esta es una magnitud que se refiere a la necesidad de transmitir una gran cantidad de calor para incrementar la temperatura del vaporizador. Un alto calor específico nos ofrece así una resistencia al cambio de temperatura.

Pero también es adecuado que los materiales del vaporizador presenten una alta conductividad térmica. Ésta última tiene una magnitud inversa a la resistencia térmica y se refiere a la capacidad o facilidad de un material de poder transferir calor o energía cinética a sustancias adyacentes a él. De este modo, la temperatura media de un quirófano (20-22° C), debería ser transmitida a la del líquido volátil contribuyendo a mantener la temperatura del líquido más estable dentro de la cámara de vaporización.

Por estas razones, el cobre es el material más empleado en la construcción de vaporizadores, pues ofrece una alta conductividad térmica y un adecuado calor específico. Hay otras medidas aparte de usar cobre, como es la colocación de mechas o dispositivos que aumentan la superficie de contacto entre el gas vector y el líquido volátil.

Estas mechas están colocadas en contacto directo con la pared del vaporizador con el fin de reemplazar el calor perdido por la evaporación.

Hacer de cobre un vaporizador no basta para alcanzar el nivel de precisión que se exige a los vaporizadores. Es necesario compensar mejor esa posible alteración de las temperaturas mediante algún sistema. Los ingenieros buscaron así unas soluciones de compensación a través del control del flujo de gas vector como manera de resolver posibles cambios de temperatura. Dicha modificación del flujo la resolvieron de varios modos:

1- Modificación del flujo mediante un ajuste manual o electrónico. Aquí hablamos del cielo o del infierno. El infierno de años heroicos y pasados con los vaporizadores Copper Kettel y los Vernitroles, que necesitaban de una compensación manual a cargo del anestesiólogo que miraba

constantemente la temperatura del líquido anestésico. Este, mediante tablas preestablecidas, modificaba manualmente el flujo de gas vector y ajustaba así la concentración de salida del anestésico. O el cielo que ofrecen los diferentes sensores de presión y temperatura dentro del propio vaporizador que ofrecen los actuales Aladin y los TEC 6, por ejemplo, y que permiten modificar automáticamente el paso de flujo de gas vector dentro del vaporizador.

2- Modificación del flujo mediante procedimientos mecánicos o físicos. Gran parte de los vaporizadores contemporáneos, especialmente los de cortocircuito variable, presentan esta solución, pues permiten la compensación de la temperatura a través del flujo de gas vector mediante el empleo de elementos metálicos que modifican el flujo.

Ya sea mediante una lámina bimetálica o con un elemento de expansión, estos pequeños dispositivos presentan, en su contracción o dilatación debida a la temperatura, un cambio de conformación o forma que condiciona un mayor o menor paso del flujo vector en la cámara de vaporización.



3. La otra solución para compensar la temperatura es que el propio vaporizador aporte una temperatura constante a través de una resistencia eléctrica y que mantenga al líquido anestésico con una temperatura superior

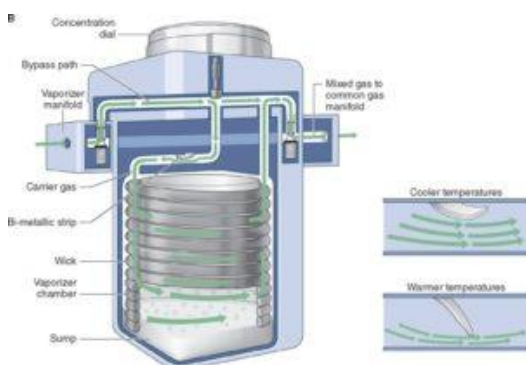
a la del medio ambiente, por encima de su temperatura de ebullición. El Tec 9 y el Egstrom EAS 9010 pertenecen a este tipo de dispositivos. El primero calienta el desflurano a 39°, mientras que el segundo calienta según el tipo de anestésico utilizado. El vaporizador Aladin tiene un control de dosificación de anestesia con un ventilador electrónico incorporado que incrementa la temperatura cuando es requerido, por ejemplo, para inducciones inhalatorias con sevoflurano o para el uso de desflurano, que necesita de altas concentraciones.

Podemos decir entonces que la tecnología actual permite homogeneizar el rendimiento de la mayoría de los vaporizadores actuales entre los 20-35° C de temperatura ambiente, mientras que fuera de esos valores la concentración de gas entregado es bastante... ¡Impredecible!

7. Vaporizadores que ajustan la presión interna del vaporizador

El manejo de las presiones durante el ciclo respiratorio también ha inspirado a los ingenieros con la resolución de un problema que se da, sobre todo, en los vaporizadores de mayor uso actual; los de cortocircuito variable. Ellos observaron como la inspiración respiratoria se genera mediante una presión positiva en el respirador de anestesia hacia el paciente que puede ser transmitida de forma retrógrada hasta la salida del vaporizador. Como resultado de esa presión que ofrece una resistencia a la salida del vaporizador se produciría un estado de ausencia de flujo en el interior del mismo vaporizador que, a su vez, originaría un aumento de la concentración de anestésico al no existir un recambio de aire en la cámara de vaporización. Luego, cuando se origina la espiración del paciente, la presión a la salida del vaporizador cae bruscamente y el vapor

de anestésico sería capaz de circular tanto por el circuito de vaporización como por el circuito de gas fresco, un lugar donde sólo debería pasar un flujo de gas fresco sin vapor de halogenado. La concentración de gas anestésico administrado iría aumentando respecto a la marcada por el dial paulatinamente en cada ciclo respiratorio mediante este efecto llamado por los eruditos: **mecanismo del efecto de bombeo**.



Source: Butterworths JI, Mackay DC, Steward SD, Pongan A. *Wiley's Clinical Anesthesiology*. 5th Edition. www.accessmedicine.com.

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved.

Esquema de los mecanismos autocompensadores de los vaporizadores de doble circuito

Este mecanismo es más pronunciado cuando usamos flujos bajos, cuando tenemos bajas concentraciones de gas marcadas en el vaporizador y cuando tenemos bajos niveles de llenado de anestésico. También el tipo de ventilación ofrecida a nuestro paciente influye en dicho efecto, pues frecuencias ventilatorias altas, el usar altas presiones pico y originar caídas bruscas de presión durante la espiración aumentan también este efecto bombeo en el vaporizador.

Los más modernos vaporizadores minimizan este efecto mediante diversas modificaciones estructurales. Una ha sido la reducción de la cámara de vaporización para disminuir la posibilidad de comprimir el gas, pues es más fácil de hacer con volúmenes de gas grandes. Otra modificación suele consistir en incrementar el recorrido del flujo de vaporización, siendo el Tec 3

de los primeros que incorporaron esa medida. Otras modificaciones aplicadas son la eliminación de las mechas en la cámara de vaporización en el lugar de entrada del gas y la implementación una válvula unidireccional en la salida común de los vaporizadores. Sin embargo, esta válvula no elimina por completo el fenómeno de bombeo, pues el flujo de gas tozudamente fluye desde los rotámetros al vaporizador durante la inspiración. Por dicha razón se incorporaron a partir de los Tec 5 y los Vapor 19.3 tubuladuras helicoidales o en espiral que minimizan este efecto al alargar el posible camino retrógrado del flujo e impedir que se reúna con el flujo de gas fresco.

Otras cuestiones

La importancia del flujo de gas en el rendimiento del vaporizador

La cantidad de flujo de gas fresco que pasa por el vaporizador tiene alguna importancia en el resultado de su rendimiento. Los vaporizadores, especialmente los de cortocircuito variable, están calibrados para aportar una determinada concentración de gas a unos determinados flujos. Por encima y por debajo de dichos niveles su rendimiento y precisión puede alterarse según las características de cada vaporizador. Los modernos vaporizadores suelen estar calibrados para flujos entre 0,2 y 10 l/min, con un rendimiento casi lineal cuando se solicitan concentraciones entre 3% y 12% de anestésico. Por regla general, a flujos menores de 250 ml/min la cosa empieza a fallar y los vaporizadores ofrecen una concentración menor que la que marca el dial, esto es patente en los vaporizadores de cortocircuito variable, pues en este caso, el flujo de gas vector es incapaz de recoger la suficiente concentración de moléculas de vapor anestésico. Por otro lado, a flujos superiores a los 10 lpm la capacidad de

ofrecer una concentración adecuada también puede quedar tocada, pues la cámara de vaporización no puede dar un rendimiento óptimo entre el ritmo de vaporización del anestésico y la cantidad de anestésico que salen de la cámara.

Así pues, ya es hora de desechar la idea que, subiendo los rotámetros al máximo, conseguimos la máxima concentración de gas necesaria para realizar con sevoflurano una inducción anestésica o un bolo de anestésico. Para disminuir este problema, los vaporizadores Tec y Vapor, a partir de sus versiones 4 y 19.1, incorporaron una amplia mecha en la cámara de vaporización y un sistema de pantalla que generan una mayor superficie de contacto entre el líquido volátil y el flujo de gas vector incrementando este rendimiento. Otra forma de solucionar este problema fue el incorporar los vaporizadores con inyección electrónica de flujo como tienen los Aladin, Tec 6 y el Datex-Egstrom.

Importancia de la composición del gas vector o transportador

Porque no es lo mismo aportar un flujo de gas con oxígeno al 100% que con una mezcla en la que exista N₂O. Aparte de lo evidente, también podemos pensar en términos de eficiencia de un vaporizador. Una razón de esto se explica por la diferente solubilidad de estos gases que aportamos en el líquido anestésico, ya que una parte del gas vector debe diluirse en el anestésico, y hasta que no se produzca un estado de equilibrio, la cantidad de gas anestésico que abandona la cámara de vaporización será algo menor. Por eso, dado que el N₂O es más soluble que el oxígeno, pueden existir pequeñas variaciones transitorias inferiores al 10% en la concentración de salida. ¡Eso sí, sin una gran significación clínica! No nos pongamos exquisitos. Este

fenómeno se mantiene hasta que el líquido halogenado se sature completamente de los gases aportados por el gas vector.

Por otro lado, la diferente viscosidad y densidad del oxígeno frente al aire y al N₂O también influye en la concentración aportada por el vaporizador a la salida del flujo de gas. En un vaporizador de tipo *by-pass*, el circuito de derivación lleva únicamente gas fresco, mientras que el circuito de vaporización lleva agente anestésico saturado. Ambos espacios influyen de diferente manera en la resistencia y en los flujos.

Esta es la razón por la que los vaporizadores tienden a suministrar mayor volumen de anestésico cuando el flujo gas tiene O₂ al 100% y menos cuando usamos una mezcla con aire o N₂O. Y aunque estos efectos son generalmente irrelevantes clínicamente, eso no quita para que conozcamos la causa real de pequeñas variaciones en torno al 10% respecto a lo marcado por el dial cuando usamos protóxido. Una diferencia que es dinámica temporalmente. Que es una forma muy cursi y *cool* de decir que la normalización de concentraciones aportadas se realiza dependiendo del tiempo y de los litros/minuto de flujo aportados, pues normalizamos concentraciones en 30 segundos cuando el flujo de gas fresco es de 5 l/m y de hasta 30 min cuando usamos flujos bajos.

Y creo que es suficiente por hoy. Este documento escrito es un homenaje para todos aquellos que han contribuido a diseñar un aparato tan familiar y de tan fácil manejo en mi vida laboral. Existen más diseños, más detalles físicos, mejores explicaciones y mayor "enjunidia científica", pero como dije a algún residente... Todo está en los libros.

Para saber más y mejor...

Miller Anestesia 5ª a la 8ª edición

Correspondencia al autor

Alberto Gironés Muriel

agirones@anestesiario.org

*Hospital Universitario Sanitas La Moraleja
Madrid.*

Aceptado para blog en julio de 2018.

