

Monitorización de la función respiratoria: curvas de presión, volumen y flujo

J. Balcells Ramírez

Unidad de Cuidados Intensivos Pediátricos. Área Materno-Infantil. Hospital Vall d'Hebron. Barcelona. España.

Las curvas de función respiratoria son la representación gráfica de los cambios de volumen, presión o flujo durante el ciclo respiratorio. Estos cambios pueden representarse respecto al tiempo (curvas de volumen-tiempo, presión-tiempo y flujo-tiempo) o bien puede representarse los cambios de una variable respecto a otra (curvas de flujo-volumen y de volumen-presión). Las curvas de función respiratoria permiten analizar la fisiopatología en un paciente determinado, detectar cambios en el estado clínico, optimizar la estrategia ventilatoria, valorar la respuesta al tratamiento, facilitar la comodidad del paciente, evitar complicaciones y yatrogenia, evaluar el curso de la retirada de la ventilación mecánica y ayudar a establecer un pronóstico. En la práctica clínica, las curvas permiten evidenciar la presencia de fugas aéreas, sospechar la existencia de una resistencia aumentada en la vía aérea, sugerir la posibilidad de atrapamiento de aire, detectar la presencia de volúmenes espiratorios anómalos, advertir la presencia de secreciones en la vía aérea o agua en el circuito, indicar cuál puede ser la PEEP óptima, y evidenciar cambios en la distensibilidad pulmonar.

Palabras clave:

Ventilación mecánica. Curvas de función respiratoria. Monitorización respiratoria. Distensibilidad pulmonar. Niños.

RESPIRATORY FUNCTION MONITORING: PRESSURE, VOLUME AND FLOW CURVES

Respiratory function curves are a graphic representation of changes in volume, pressure or flow during the respiratory cycle. These changes can represent changes with respect to time (curves of volume-time, pressure-time and flow-time) or changes in one variable with respect to another (curves of flow-volume and of volume-pressure). Respiratory function curves enable analysis of the physiopathology in a patient, detection of changes in clinical status, optimization of ventilatory strategy, and evaluation of treatment response. They can also be used to facilitate patient comfort, prevent complications and iatrogeny, evaluate the course of weaning from mechanical ventilation, and help to establish a prognosis. In clinical

Correspondencia: Dr. J. Balcells Ramírez.
Área Materno-Infantil. Hospital Vall d'Hebron.
Pº Vall d'Hebron, 119-129. 08035 Barcelona. España.
Correo electrónico: 30054jbr@comb.es

Recibido en abril de 2003.
Aceptado para su publicación en abril de 2003.

practice these curves can show the presence of air leaks, indicate possible high resistance in the airway, suggest the possibility of trapped air, detect the presence of anomalous expiratory volume, identify the presence of secretions in the airway or water in the circuit, indicate the optimal PEEP, and reveal changes in pulmonary compliance.

Key words:

Mechanical ventilation. Respiratory function curves. Respiratory monitoring. Pulmonary distensibility. Children.

INTRODUCCIÓN

Los avances en la aplicación de la VM que se han producido en los últimos años son la consecuencia de los avances tecnológicos que han permitido una notable sofisticación de los respiradores y una mejor comprensión de la repercusión que el modo de aplicar la ventilación mecánica puede tener sobre el pulmón y sobre el resto del organismo. En relación con los avances tecnológicos, la incorporación de microprocesadores cada vez más rápidos y potentes, y el desarrollo de transductores y neumatógrafos de respuesta rápida y alta precisión han convertido a los respiradores no sólo en un recurso terapéutico, sino también en instrumentos de monitorización.

El respirador como monitor ha evolucionado desde una primera etapa en la que sólo disponía de alarmas (visuales y/o sonoras) para señalar una situación anómala, pasando después por la disponibilidad de presentar valores numéricos (presión pico, presión meseta, PEEP, VC, etc.), para, finalmente, poder presentar de forma gráfica y en tiempo real los cambios que se producen en algunas de estas variables durante el ciclo respiratorio. Algunos respiradores pueden memorizar estos datos y presentar incluso un resumen de las tendencias en un intervalo de tiempo determinado. Lamentablemente, no todos los respiradores de todas las unidades de cuidados intensivos pediátricos disponen de gráficas de monitorización respiratoria. Por ello, el seguimiento de la evolución del paciente mediante el análisis de estas gráficas no es todavía una práctica habitual, y el pediatra que atiende al niño crítico está, en general, poco familiarizado con el uso de este tipo de monitorización. Aun así, dado que las gráficas de función respiratoria pueden aportar información útil para la práctica asistencial y puesto prácticamente todas las nuevas generaciones de respiradores destinados a unidades de cuidados intensivos disponen de gráficas de función respiratoria, vamos a dedicar este capítulo a describir las principales curvas de función respiratoria y a señalar cuál es su utilidad práctica a la cabecera del niño crítico.

CURVAS DE FUNCIÓN RESPIRATORIA

Concepto

Las curvas de función respiratoria no son más que la representación gráfica de los cambios que presenta una

variable determinada (volumen, presión o flujo) durante el ciclo respiratorio. Dichos cambios pueden representarse respecto al tiempo (curvas de volumen-tiempo, presión-tiempo y flujo-tiempo) o bien puede representarse los cambios de una variable respecto a otra (curvas de flujo-volumen y de volumen-presión)^{1,2}.

Utilidad

La monitorización de la función respiratoria mediante gráficas permite:

1. Analizar la fisiopatología en un paciente determinado.
2. Detectar cambios en el estado clínico.
3. Optimizar la estrategia ventilatoria.
4. Valorar la respuesta al tratamiento.
5. Facilitar la comodidad del paciente.
6. Evitar complicaciones y yatrogenia.
7. Evaluar el curso de la retirada de la VM.
8. Ayudar a establecer un pronóstico.

CURVAS DE VOLUMEN-TIEMPO

Concepto

La gráfica volumen-tiempo (fig. 1) representa los cambios que se producen en el VC durante el ciclo respiratorio. El volumen se representa en el eje de ordenadas y en tiempo en el de abscisas. La rama ascendente de la curva corresponde al volumen inspirado, el tramo horizontal (si existe) corresponde a la pausa inspiratoria durante la cual ni entra ni sale aire del pulmón, y la rama descendente corresponde al volumen espirado. Por lo que respecta a la correlación con las distintas fases del ciclo respiratorio: la rama ascendente y horizontal de la curva comprenden la inspiración (tiempo inspiratorio y tiempo de pausa inspiratoria); la rama descendente y el tramo horizontal hasta el inicio de la siguiente respiración comprenden el período espiratorio^{1,2}.

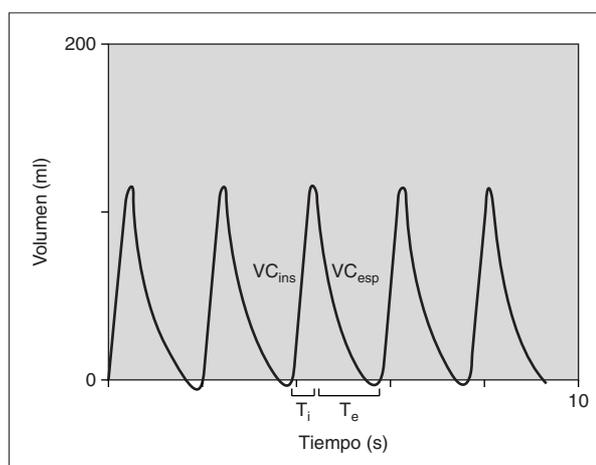


Figura 1. Curva volumen-tiempo. VC_{ins} : volumen corriente inspirado; VC_{esp} : volumen corriente espirado; T_i : tiempo inspiratorio; T_e : tiempo espiratorio.

Modificaciones de la curva en función de la programación del respirador

La morfología de la curva de volumen-tiempo es similar en modalidades reguladas por volumen o por presión. La altura de la curva (volumen corriente inspirado) será constante en las modalidades de volumen, mientras que puede ser variable en las modalidades de presión, según el estado del paciente. El aspecto de la rama ascendente y la rama horizontal variará en función de la programación del tiempo inspiratorio y/o pausa inspiratoria. La morfología de la rama descendente y la porción horizontal espiratoria depende del tiempo reservado para la espiración (fig. 2).

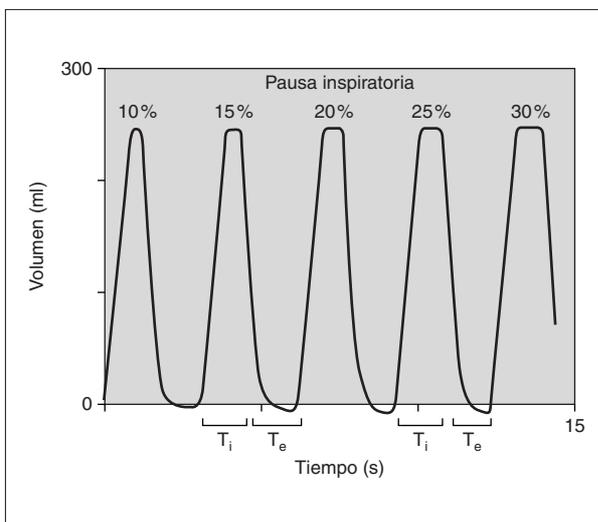


Figura 2. Curva volumen-tiempo en modalidad volumen control. Obsérvese cómo aumenta el tramo horizontal al final de la inspiración a medida que aumenta el porcentaje de pausa inspiratoria. T_i : tiempo inspiratorio; T_e : tiempo espiratorio.

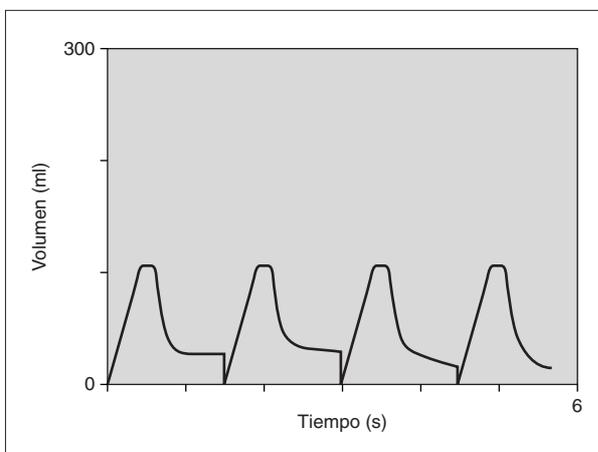


Figura 3. Curva volumen-tiempo en modalidad de volumen control en un paciente que presenta fugas del 17% del volumen inspiratorio.

Utilidad práctica de la curva volumen-tiempo

En la práctica clínica, la curva volumen-tiempo permite:

1. Evidenciar la presencia de fugas aéreas (figs. 3 y 4). La existencia de una fuga de aire hace que el volumen espiratorio detectado por el respirador sea inferior al volumen inspiratorio. En la curva de volumen-tiempo se observa que la rama descendente no llega al valor cero, sino que se hace horizontal y es bruscamente interrumpida al inicio de la siguiente inspiración. La altura a la cual la curva se vuelve horizontal depende del grado de fuga.

2. Sugerir la posibilidad de atrapamiento de aire (fig. 5). En caso de que la espiración sea demasiado cor-

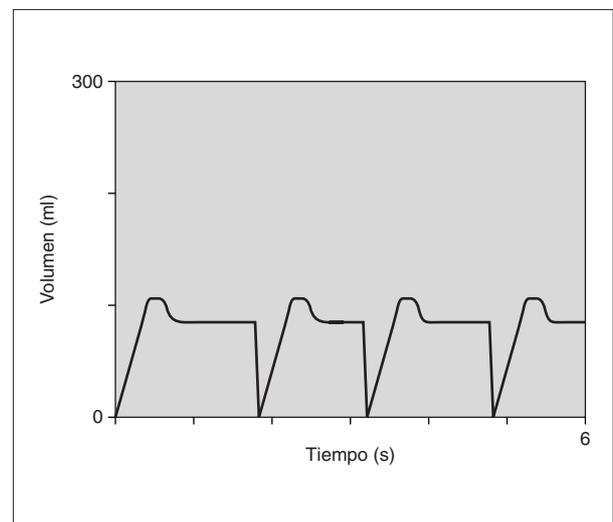


Figura 4. Curva volumen-tiempo en modalidad de volumen control en un paciente que presenta fugas del 88% del volumen inspiratorio.

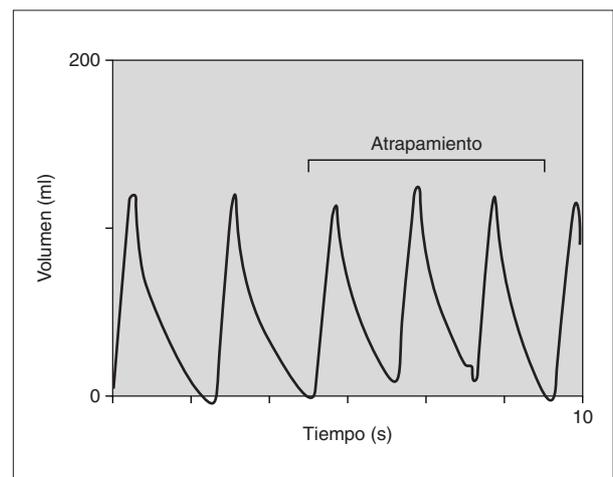


Figura 5. Curva volumen-tiempo en modalidad de volumen control. Obsérvese cómo se inicia la inspiración antes de que haya salido todo el volumen espiratorio, generándose así atrapamiento de aire.

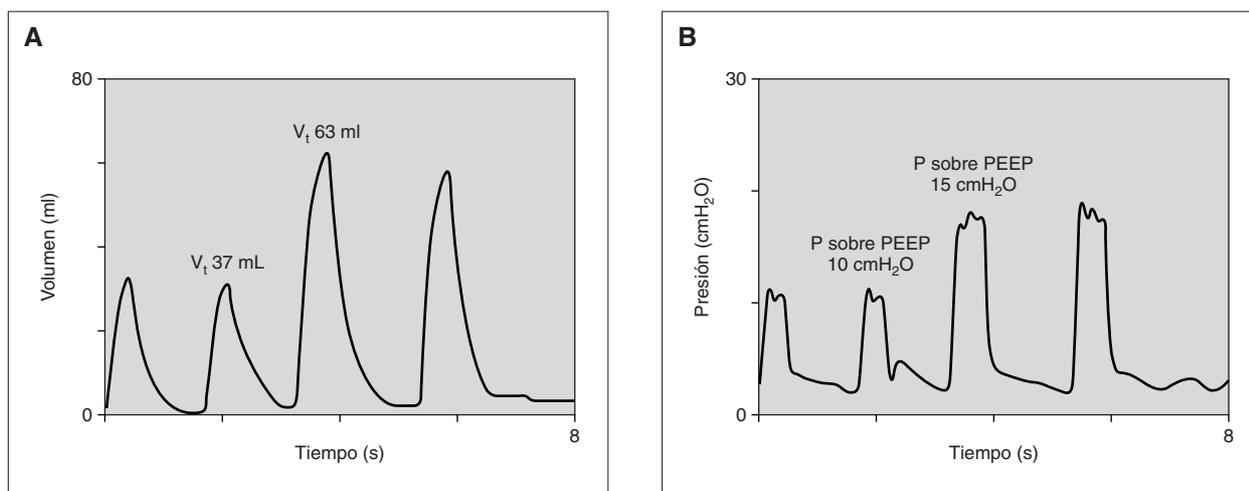


Figura 6. Curva volumen-tiempo y presión-tiempo en modalidad de CPAP con presión de soporte. Obsérvese cómo el incremento de la presión de soporte se traduce en un mayor volumen corriente inspiratorio. V_t : volumen corriente o tidal; P sobre PEEP: presión de soporte sobre PEEP.

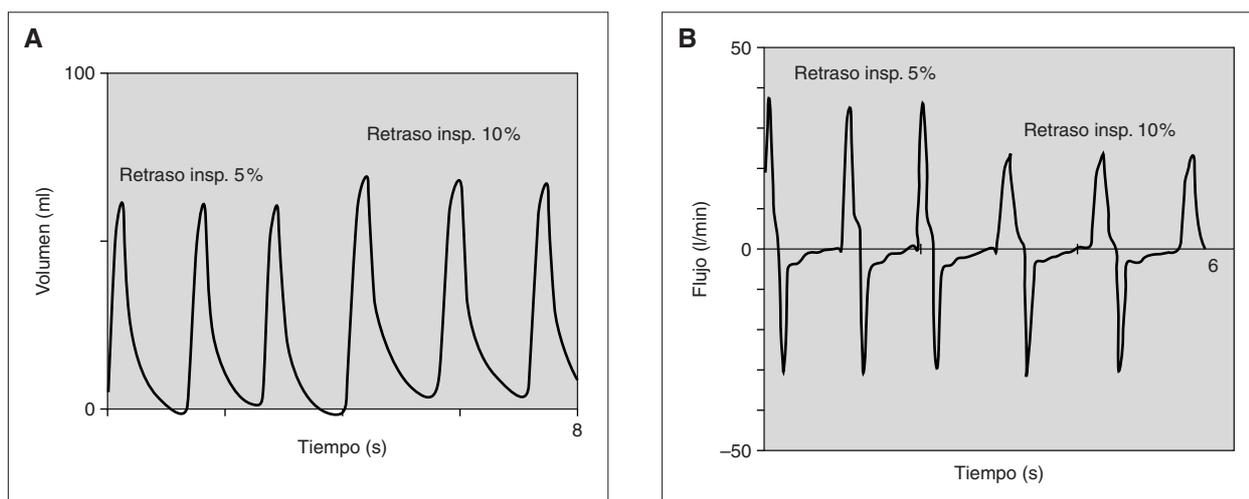


Figura 7. Curva volumen-tiempo y flujo-tiempo en modalidad de CPAP con presión de soporte. Obsérvese cómo un incremento del retraso inspiratorio, es decir, una reducción de la velocidad con la que alcanza el flujo inspiratorio máximo (curva de flujo-tiempo), puede mejorar la adaptación del paciente al respirador y traducirse en un incremento del volumen inspiratorio (curva volumen-tiempo) sin haber aumentado la presión de soporte. Retraso insp: retraso inspiratorio o rampa.

ta y no permita la salida completa del aire, en la curva de volumen-tiempo se observará que la rama descendente tampoco llega al valor cero, pero en este caso no se produce una horizontalización de la curva previo al inicio de la siguiente inspiración.

3. Valorar la repercusión que sobre el volumen corriente puede tener la modificación de la programación del respirador. La curva volumen-tiempo puede ser muy útil para evidenciar cómo se afecta el volumen corriente en función de la programación del respirador en modalidades de soporte parcial. La repercusión puede ser evidente en el caso de modificar la presión de soporte

(fig. 6), o ser más sutil al modificar la velocidad a la que se alcanza el flujo inspiratorio máximo (pendiente, rampa o porcentaje de retraso inspiratorio) (fig. 7).

4. Detectar la presencia de volúmenes espiratorios anómalos. En caso de que el volumen espirado sea mayor que el inspirado, se apreciará que la rama descendente de la curva se hace negativa (fig. 8). Este fenómeno se observa fundamentalmente en dos situaciones: espiración forzada por parte del paciente o bien en caso de adicción al circuito respiratorio de un flujo de gas no administrado por el respirador (p. ej., la administración de óxido nítrico o de medicación nebulizada).

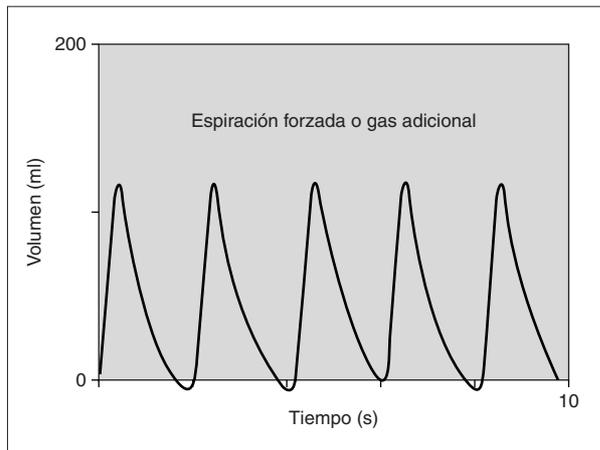


Figura 8. Curva volumen-tiempo. Obsérvese la inflexión negativa, por debajo del eje de abscisas, debida a un esfuerzo espiratorio forzado del paciente.

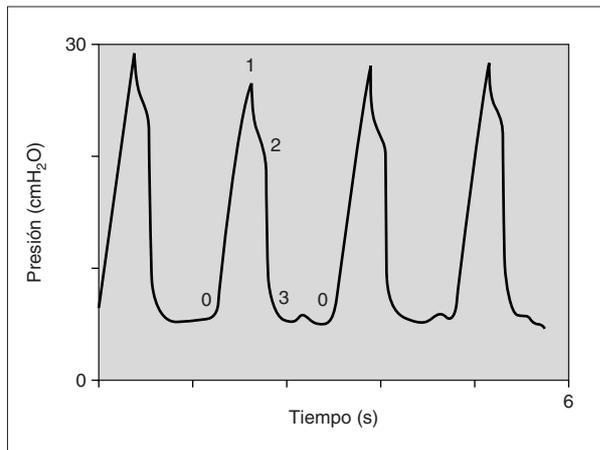


Figura 9. Curva de presión-tiempo en modalidad ciclada por volumen (volumen control o SIMV por volumen).

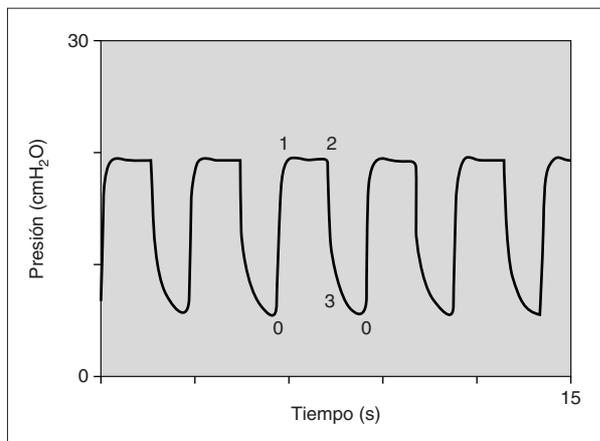


Figura 10. Curva de presión-tiempo en modalidad ciclada por presión (presión control, volumen control regulado por presión, SIMV por presión o presión de soporte).

CURVAS DE PRESIÓN-TIEMPO

Concepto

La gráfica de presión-tiempo representa los cambios que se producen en la presión de la vía aérea (medida en el circuito del respirador) durante el ciclo respiratorio. La presión se representa en el eje de ordenadas y el tiempo en el de abscisas^{1,2}.

Modificaciones de la curva en función de la programación del respirador

La gráfica de presión-tiempo es significativamente distinta en modalidades cicladas por volumen y por presión.

1. En las modalidades cicladas por volumen, es decir, con flujo inspiratorio constante (volumen control, SIMV por volumen) (fig. 9) la curva presión-tiempo presenta cuatro tramos: tramo A (del punto 0 al punto 1), ascenso de presión inspiratorio; tramo B (del punto 1 al punto 2), descenso de presión durante la pausa inspiratoria; tramo C (del punto 2 al punto 3), descenso de presión durante la espiración; tramo D (del punto 3 al punto 0): presión espiratoria. En esta curva, se distinguen tres puntos: punto 1, corresponde a la presión inspiratoria pico o máxima; punto 2, corresponde a la presión meseta o presión al final de la pausa inspiratoria; y punto 0, corresponde a la presión espiratoria final positiva (PEEP).

2. En las modalidades cicladas por presión (fig. 10), es decir, con flujo inspiratorio decreciente (presión control, volumen control regulado por presión, SIMV por presión, presión de soporte), la curva de presión-tiempo presenta los mismos tramos (A, B, C y D), ahora bien, el tramo B no es una línea descendente sino horizontal, ya que por definición, en estas modalidades el respirador mantiene la presión inspiratoria máxima durante toda la inspiración. Así, en esta curva en modalidad ciclada por presión, la presión pico es igual a la presión meseta.

Es preciso señalar que la presión meseta que señalan ambas curvas durante el ciclo respiratorio normal no es la que debe emplearse para los cálculos de distensibilidad estática (compliance estática). Si se lleva a cabo una pausa inspiratoria prolongada, en ambas curvas se observará un descenso de la presión meseta hasta su verdadero valor (figs. 11 y 12).

Utilidad práctica de la curva presión-tiempo

En la práctica clínica, la curva presión tiempo permite:

1. Distinguir rápidamente la modalidad ventilatoria o tipo de respiración. El patrón característico de la curva de presión-tiempo en modalidades de volumen o de presión permite identificar inmediatamente en qué modalidad está programado el espirador. Por otro lado, en modalidades de soporte parcial (p. ej., SIMV por volumen con

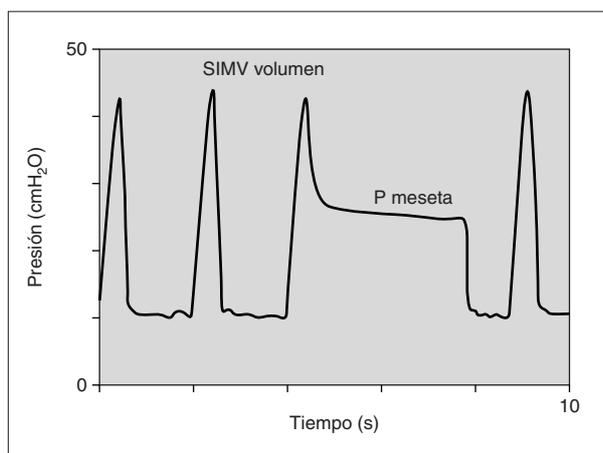


Figura 11. Curva presión-tiempo en modalidad SIMV por volumen (SIMV volumen). Obsérvese el descenso de la presión pico hasta una presión meseta (P meseta) estable al efectuar una pausa inspiratoria prolongada.

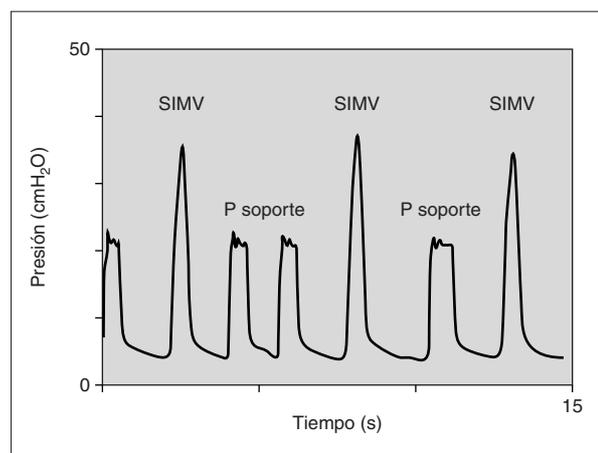


Figura 13. Curva presión-tiempo en modalidad SIMV por volumen con presión de soporte. Obsérvese que resulta fácil distinguir las respiraciones mandatorias (SIMV) de las respiraciones espontáneas con presión de soporte (P soporte).

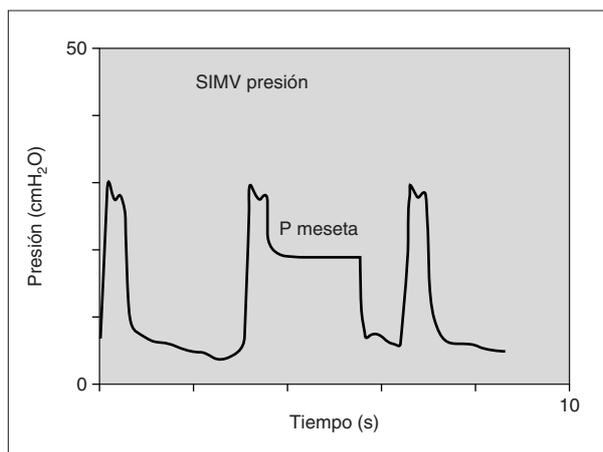


Figura 12. Curva presión-tiempo en modalidad SIMV por presión (SIMV presión). Obsérvese el descenso de la presión pico-meseta hasta la verdadera presión meseta (P meseta) al efectuar una pausa inspiratoria prolongada.

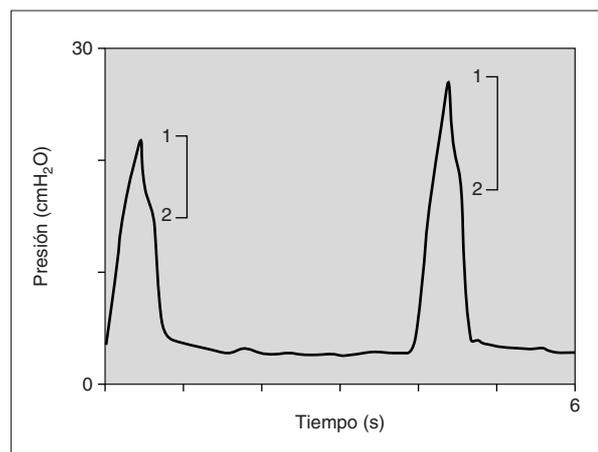


Figura 14. Curva presión-tiempo en modalidad ciclada por volumen. Obsérvese cómo un acodamiento del tubo endotraqueal produce un incremento de la presión pico (1) sin aumento de la presión meseta (2), aumentando la presión de resistencia (distancia de 1 a 2).

presión de soporte) permite distinguir con mayor facilidad las respiraciones realizadas por el respirador y las realizadas por el paciente (fig. 13).

2. Sospechar, en las modalidades de volumen, la existencia de una resistencia aumentada en la vía aérea. Cuanto mayor es la resistencia de la vía aérea, mayor es la diferencia entre la presión pico y la presión meseta (presión de resistencia). Ello es debido fundamentalmente a un incremento de la presión pico, manteniéndose la presión meseta constante. Estos cambios se traducen en la gráfica en un mayor descenso o pendiente del tramo B de la curva (fig. 14).

3. Sospechar la presencia de fugas. La imposibilidad de alcanzar una presión pico mantenida (en modalidades de presión) o una meseta estable durante una pausa ins-

piratoria prolongada (fig. 15) o bien la imposibilidad de mantener la PEEP durante una pausa espiratoria prolongada, delatan la presencia de una fuga en el sistema.

4. Sospechar la presencia de auto-PEEP. La maniobra de realizar una pausa espiratoria prolongada para detectar la presencia de auto-PEEP se traduce en un ascenso característico de la curva presión-tiempo durante dicha pausa espiratoria (fig. 16).

CURVAS DE FLUJO-TIEMPO

Concepto

La gráfica de flujo-tiempo representa los cambios que se producen en el flujo de la vía aérea (medido en el circuito

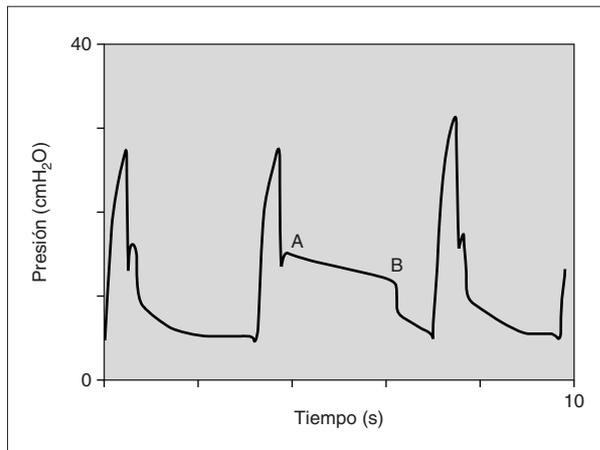


Figura 15. Curva presión-tiempo en modalidad ciclada por volumen. Obsérvese cómo no se consigue una presión meseta estable (trazado del punto A al punto B) durante una pausa inspiratoria prolongada, debido a la existencia de fugas en el circuito.

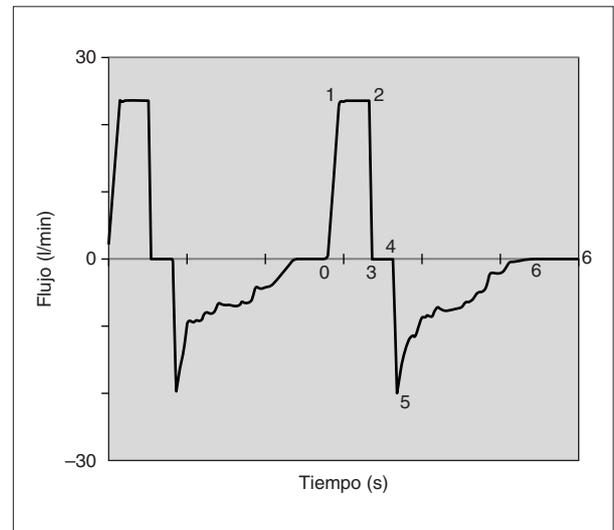


Figura 17. Curva flujo-tiempo en modalidad ciclada por volumen (volumen control o SIMV por volumen).

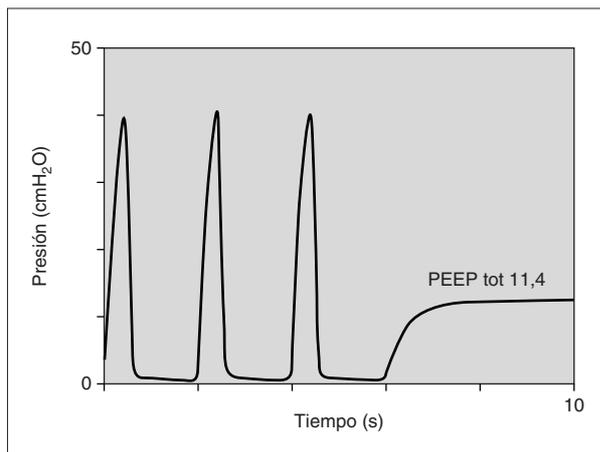


Figura 16. Curva presión-tiempo en modalidad volumen control. Determinación de la auto-PEEP: obsérvese el aumento de presión espiratoria hasta 11,4 cmH₂O al realizar una pausa espiratoria prolongada en un paciente afectado de bronquiolitis obliterante grave.

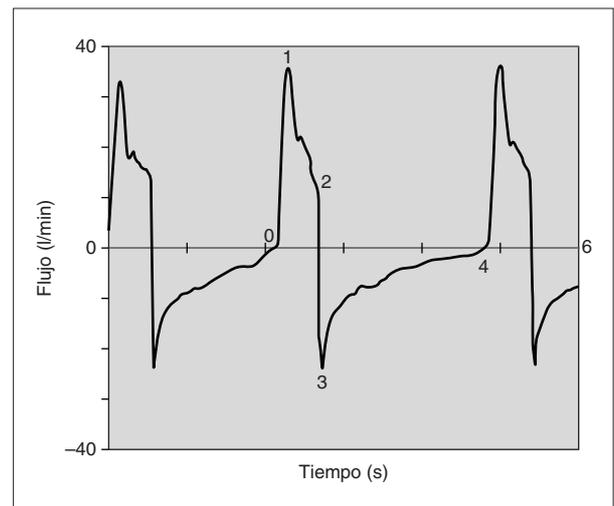


Figura 18. Curva de flujo-tiempo en modalidad ciclada por presión (presión control, volumen control regulado por presión, SIMV por presión o presión de soporte).

del respirador) durante el ciclo respiratorio. El flujo se representa en el eje de ordenadas y el tiempo en el de abscisas^{1,2}.

Modificaciones de la curva en función de la programación del respirador

La gráfica de flujo-tiempo es distinta en las modalidades cicladas por volumen (con flujo inspiratorio constante) de las modalidades cicladas por presión (con flujo inspiratorio decreciente). La diferencia se limita a la parte inspiratoria de la curva, ya que la espiración es un fenómeno pasivo y depende de las características del paciente y no de la modalidad programada en el respirador.

1. En las modalidades cicladas por volumen (fig. 17) la curva flujo-tiempo presenta los siguientes tramos: tramo A (del punto 0 al punto 1), ascenso inicial hasta el flujo inspiratorio máximo; algunos respiradores permiten regular la velocidad de este ascenso (flujo inspiratorio, retraso inspiratorio, pendiente o rampa); tramo B (del punto 1 al punto 2), flujo constante durante la inspiración; tramo C (del punto 2 al punto 3), cese del flujo inspiratorio al final de la inspiración; tramo D (del punto 3 al punto 4), pausa inspiratoria durante la cual el flujo es cero; tramo E (del punto 4 al punto 5), inicio de la espiración hasta alcanzar el flujo espiratorio máximo (el flujo

espiratorio se representa en valores negativos); Tramo F (del punto 5 al punto 6), flujo decreciente durante la espiración, hasta llegar a flujo 0.

2. En las modalidades cicladas por presión (fig. 18) la curva flujo-tiempo presenta los siguientes tramos: tramo A (del punto 0 al punto 1), ascenso inicial hasta el flujo inspiratorio máximo; algunos respiradores permiten regular la velocidad de este ascenso (flujo inspiratorio, retardo inspiratorio, pendiente o rampa); tramo B (del punto 1 al punto 2) flujo decreciente durante la inspiración; tramo C (del punto 2 al punto 3) cese del flujo inspiratorio al final de la inspiración e inicio de la espiración hasta alcanzar el flujo espiratorio máximo (el flujo espiratorio se representa en valores negativos); tramo D (del punto 3 al punto 4) flujo decreciente durante la espiración hasta llegar a flujo 0.

Utilidad práctica de la curva flujo-tiempo

En la práctica clínica, la curva flujo-tiempo permite:

1. Distinguir rápidamente la modalidad ventilatoria o tipo de respiración, debido a que tienen patrones de curvas muy diferentes. Por otro lado, en modalidades de soporte parcial (p. ej., SIMV por volumen con presión de soporte) permite distinguir con mayor facilidad las respiraciones realizadas por el respirador y las realizadas por el paciente (fig. 19).

2. Detección del atrapamiento aéreo (no se espira todo el aire que se ha inspirado). Es la principal utilidad de la curva flujo-tiempo. Esta curva permite evidenciar si la patología del paciente genera atrapamiento, o bien si la programación del respirador es o no la idónea para evitar el atrapamiento de aire en un paciente determinado. Para apreciar si existe atrapamiento debe examinarse el tramo correspondiente al flujo espiratorio final (tramo F en las modalidades de volumen o D en las de presión). Si se observa que el flujo espiratorio final no llega a 0, es decir, no llega al eje de abscisas antes de iniciarse el siguiente ciclo respiratorio, debe considerarse que se produce atrapamiento de aire (fig. 20).

3. Valorar la respuesta al tratamiento. La curva flujo-tiempo permite apreciar el efecto que determinadas maniobras terapéuticas (p. ej., broncodilatadores, ajuste del PEEP, alargamiento del tiempo espiratorio) pueden tener sobre la situación de atrapamiento de aire (figs. 21 y 22).

CURVAS DE FLUJO-VOLUMEN

Concepto

La gráfica de flujo-volumen representa los cambios que se producen en el flujo de la vía aérea (medida en el circuito del respirador) respecto a los cambios en el volumen pulmonar durante el ciclo respiratorio. El flujo se representa en el eje de ordenadas y el volumen en el de abscisas. La curva resultante es un bucle que se “abre”

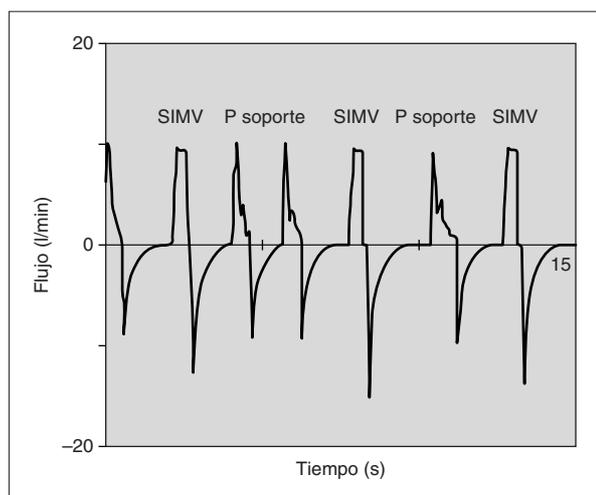


Figura 19. Curva flujo-tiempo en modalidad SIMV por volumen con presión de soporte. Obsérvese que resulta fácil distinguir las respiraciones mandatorias (SIMV) de las respiraciones espontáneas con presión de soporte (P soporte).

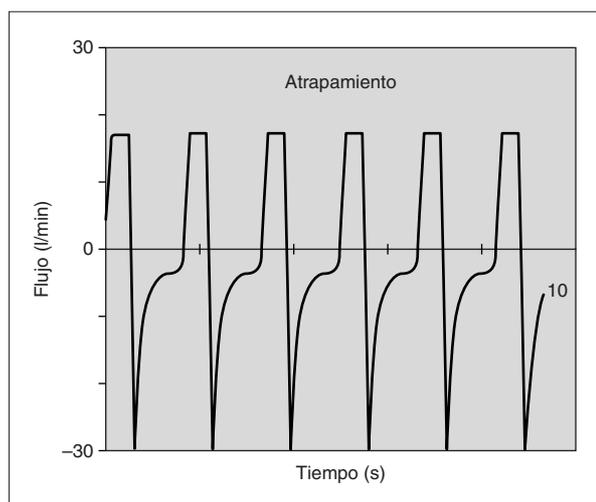


Figura 20. Curva de flujo-tiempo en modalidad de volumen control. Obsérvese que el flujo espiratorio final no ha llegado a 0 en el momento de iniciarse un nuevo ciclo respiratorio.

con el inicio de la inspiración y se “cierra” al final de la espiración. Puesto que no se representa la variable tiempo, sólo se muestra el bucle correspondiente al ciclo respiratorio en curso. Algunos respiradores de última generación pueden almacenar en la memoria bucles seleccionados para comparar los cambios que puedan producirse a lo largo del tiempo^{1,2}.

Modificaciones de la curva en función de la programación del respirador

La gráfica de flujo-volumen es distinta en modalidades cicladas por volumen de modalidades cicladas por pre-

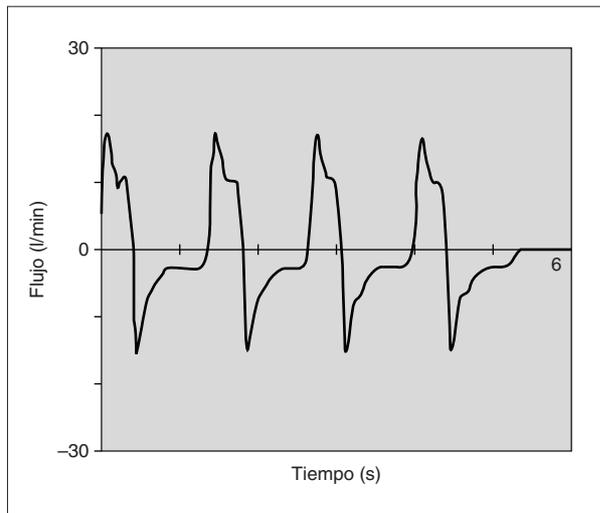


Figura 21. Curva flujo-tiempo en modalidad CPAP con presión de soporte. Paciente de 15 meses sometido a trasplante bipulmonar con broncomalacia grave postrasplante. Obsérvese cómo con el paciente despierto el colapso espiratorio de la vía aérea genera atrapamiento a pesar de una PEEP extrínseca de 7 cmH₂O.

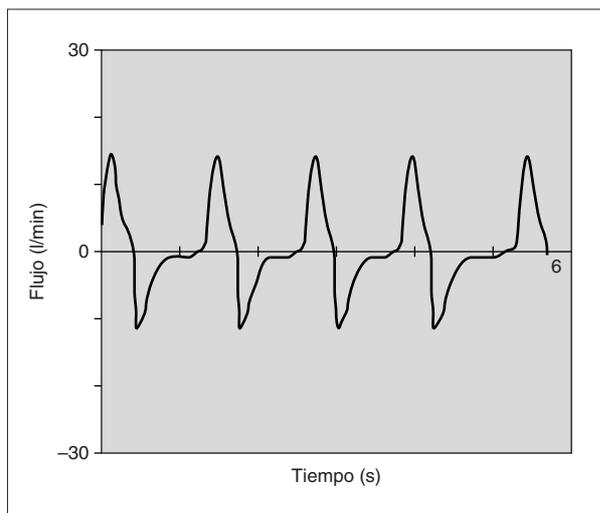


Figura 22. Curva flujo-tiempo en modalidad CPAP con presión de soporte. El mismo paciente que en la figura 21, sedado y con una PEEP extrínseca de 14 cmH₂O. Obsérvese que ya no se produce colapso espiratorio de la vía aérea y que el flujo espiratorio llega a 0 en cada respiración.

sión. La diferencia se limita a la parte de la curva que representa los cambios en el flujo inspiratorio, ya que la espiración es un fenómeno pasivo y depende de las características del paciente.

1. En las modalidades cicladas por volumen (flujo inspiratorio constante) (fig. 23) la curva flujo-volumen presenta los siguientes tramos: tramo A (del punto 0 al punto

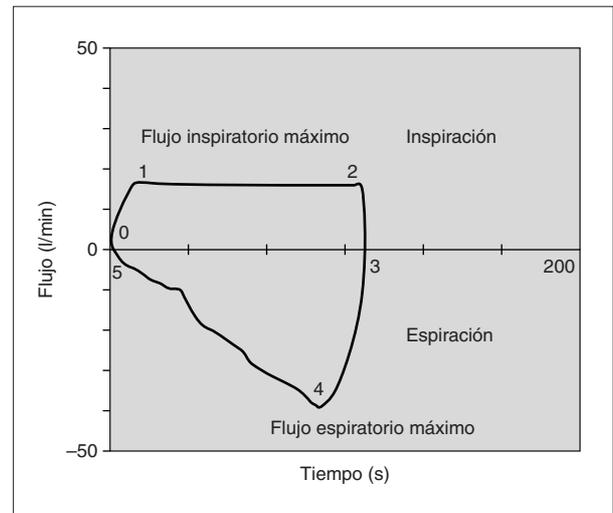


Figura 23. Curva flujo-volumen en modalidad ciclada por volumen (volumen control o SIMV por volumen).

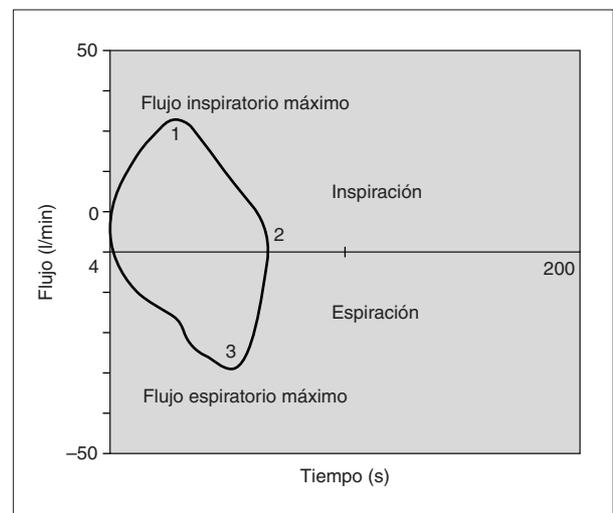


Figura 24. Curva de flujo-volumen en modalidad ciclada por presión (presión control, volumen control regulado por presión, SIMV por presión o presión de soporte).

to 1), ascenso inicial hasta el flujo inspiratorio máximo; algunos respiradores permiten regular la velocidad de este ascenso (flujo inspiratorio, retraso inspiratorio, pendiente o rampa); tramo B (del punto 1 al punto 2), flujo constante durante la inspiración; tramo C (del punto 2 al punto 3), cese del flujo inspiratorio al final de la inspiración; tramo D (del punto 3 al punto 4), inicio de la espiración hasta alcanzar el flujo espiratorio máximo (el flujo espiratorio se representa en valores negativos); tramo F (del punto 4 al punto 5) flujo decreciente durante la espiración hasta alcanzar el flujo cero.

2. En las modalidades cicladas por presión (flujo inspiratorio decreciente) (fig. 24) la curva flujo-tiempo pre-

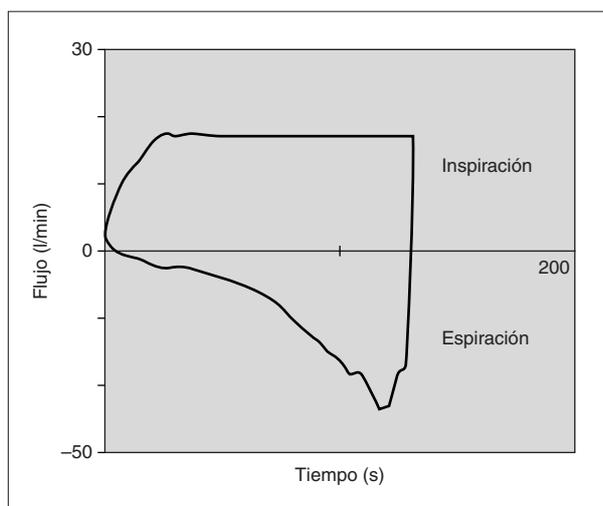


Figura 25. Curva flujo-volumen en modalidad volumen control. La morfología del asa espiratoria sugiere la existencia de una obstrucción al flujo espiratorio (comparar con figs. 23 y 24).

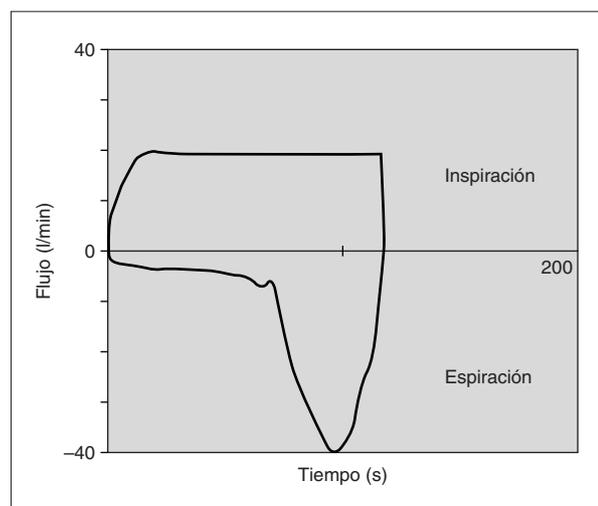


Figura 26. Curva flujo-volumen en modalidad volumen control. La morfología del asa espiratoria sugiere la existencia de una obstrucción muy grave al flujo espiratorio (compárese con las figuras 23 y 24).

senta los siguientes tramos: tramo A (del punto 0 al punto 1) ascenso inicial hasta el flujo inspiratorio máximo; algunos respiradores permiten regular la velocidad de este ascenso; tramo B (del punto 1 al punto 2), flujo decreciente durante la inspiración; tramo C (del punto 2 al punto 3), cese del flujo inspiratorio al final de la inspiración e inicio de la espiración hasta alcanzar el flujo espiratorio máximo (el flujo espiratorio se representa en valores negativos); tramo D (del punto 3 al punto 4), flujo decreciente durante la espiración hasta alcanzar el flujo cero.

Utilidad práctica de la curva flujo-volumen

En la práctica clínica, la curva flujo-volumen permite:

1. Observar la existencia de un flujo espiratorio restrictivo. Los cambios en la resistencia que la vía aérea ofrece a la salida del aire de los pulmones se reflejan en la rama espiratoria de la curva flujo-volumen. Así, la existencia de una limitación al flujo mesotelespiratorio se traduce en un cambio de morfología del asa espiratoria. En condiciones normales, el tramo de la curva que va desde el pico espiratorio máximo hasta el final de la espiración es un tramo prácticamente recto o con la convexidad hacia abajo (figs. 23 y 24). En situaciones en las que el flujo aéreo está limitado, la curva presenta la convexidad hacia arriba (fig. 25) o, en casos más graves, un descenso brusco del flujo espiratorio inicial con un flujo meso y telespiratorio enlentecido (fig. 26).

2. Detectar la presencia de atrapamiento de aire. La rama espiratoria corta el eje de ordenadas en un valor inferior a cero (fig. 27). Dicho de otro modo, el flujo espiratorio no llega a cero antes de que se inicie la siguiente respiración.

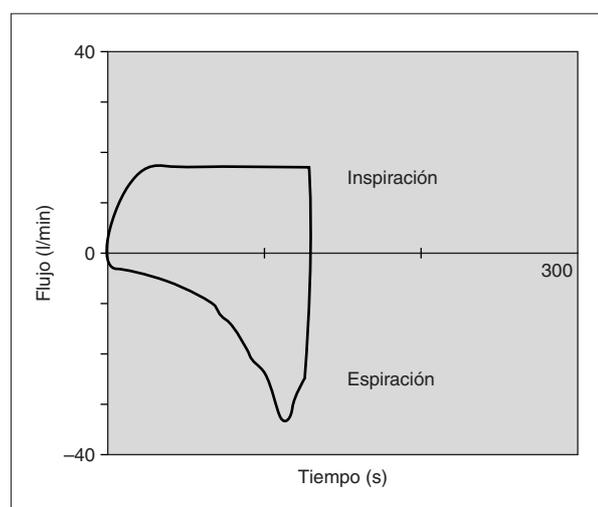


Figura 27. Curva flujo-volumen en modalidad volumen control. Obsérvese como el flujo espiratorio no llega a 0 (igual que en la curva flujo-tiempo) al inicio del siguiente ciclo respiratorio.

3. Detectar la presencia de fugas. La existencia de fugas viene señalada por el final del asa espiratoria cuando ésta corta el eje de abscisas en un valor superior a cero (fig. 28). Es decir, cuando el volumen espiratorio no llega a cero al final de la espiración.

4. Señalar la existencia de espiración forzada o flujos espiratorios anómalos. La presencia de un flujo espiratorio adicional, bien sea por una espiración forzada realizada por el paciente o bien por la adición al circuito de una fuente de gas adicional (p. ej., administración de óxido nítrico) produce un alargamiento del asa espiratoria,

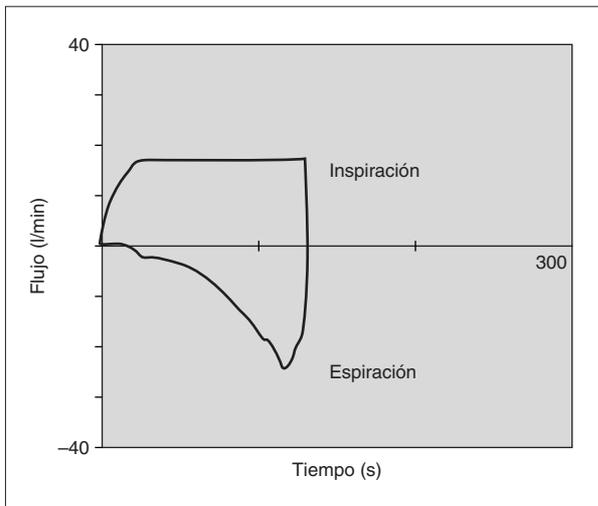


Figura 28. Curva flujo-volumen en la modalidad de volumen control. Obsérvese cómo la rama espiratoria corta el eje de abscisas en un valor superior a 0, es decir, no sale todo el aire inspirado a pesar de que el flujo sí llega a 0 (existen fugas en el circuito).

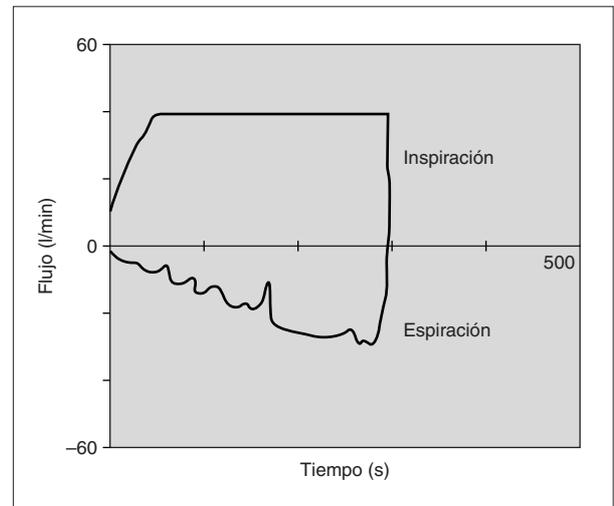


Figura 30. Curva flujo-volumen en la modalidad volumen control. La presencia de secreciones traqueales o de agua en las tubuladuras, genera irregularidades evidentes en el trazado de la rama espiratoria de la curva flujo-volumen.

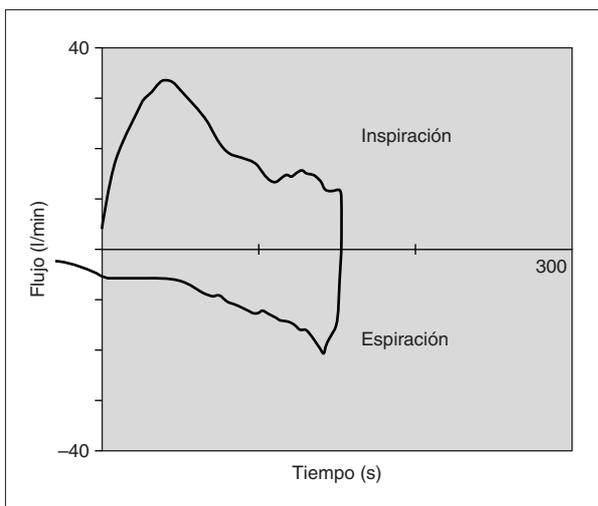


Figura 29. Curva flujo-volumen en la modalidad ciclada por presión. Obsérvese la existencia de un flujo espiratorio negativo que sugiere la existencia de una espiración forzada o bien de un aporte suplementario de gas al circuito respiratorio.

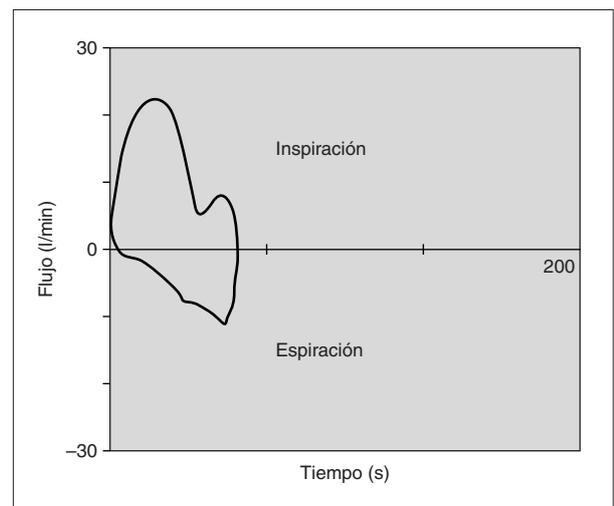


Figura 31. Curva flujo-volumen en modalidad CPAP con presión de soporte. La melladura existente en la porción final del asa inspiratoria refleja una mala adaptación entre el paciente y el respirador (asincronía), debida en este caso a un flujo inspiratorio inicial excesivamente rápido.

de modo que ésta se prolonga más allá del eje de ordenadas (fig. 29).

5. Advertir la presencia de secreciones en la vía aérea o agua en las tubuladuras del circuito. Se pone de manifiesto por la aparición de irregularidades de la curva flujo-volumen, tanto en el asa inspiratoria como espiratoria (fig. 30).

6. Optimizar la programación del respirador. La curva flujo-volumen permite demostrar pequeñas alteraciones

en el flujo inspiratorio que traducen la existencia de asincronía entre el enfermo y el respirador. En ocasiones, en modalidades de soporte parcial (p. ej., presión de soporte) puede observarse la existencia de una melladura en el asa inspiratoria (fig. 31) que puede deberse a un flujo inspiratorio inicial excesivamente rápido para el paciente. Así, la reducción de la velocidad a la que aumenta el flujo inspiratorio inicial (retraso inspiratorio o rampa) puede facilitar la adaptación del paciente (observada por la

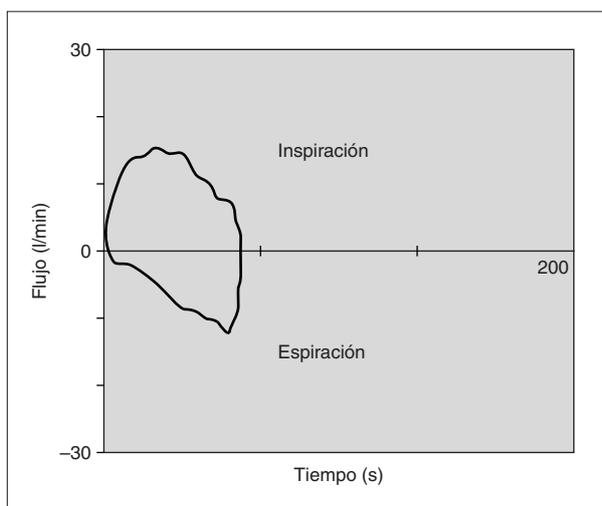


Figura 32. Curva flujo-volumen en modalidad CPAP con presión de soporte. Obsérvese cómo la reducción de la velocidad con que se alcanza el flujo inspiratorio máximo (aumento del retraso inspiratorio o disminución de la rampa) se traduce en una mejor adaptación del paciente y desaparición de la melladura en el asa inspiratoria de la curva flujo-volumen.

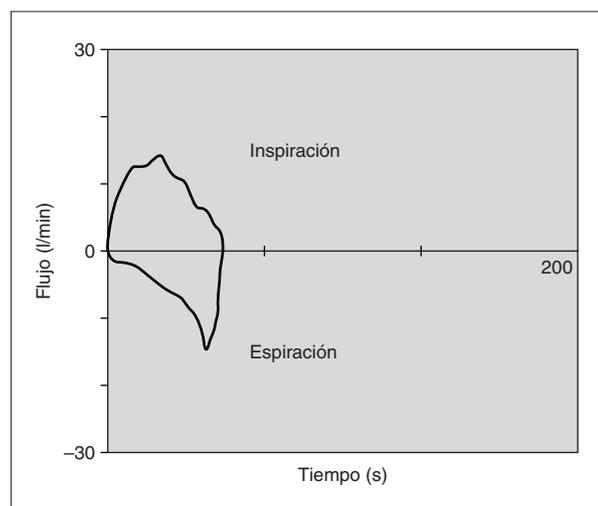


Figura 33. Curva flujo-volumen en modalidad de CPAP con presión de soporte. Paciente afectado de broncomalacia grave con PEEP de 0 cmH₂O y presión de soporte de 10 cmH₂O sobre PEEP. Obsérvese que el tramo correspondiente al flujo espiratorio final (tramo D en curvas por presión) presenta una convexidad hacia arriba (hacia el eje de abscisas), lo cual sugiere la existencia de un flujo espiratorio restrictivo.

desaparición de dicha melladura en la rama inspiratoria) (fig. 32).

7. Valorar la respuesta al tratamiento. Por ejemplo, en pacientes con enfermedad obstructiva, el asa espiratoria de la curva puede poner de manifiesto la respuesta al uso de broncodilatadores (en caso broncoespasmo) o la respuesta al empleo de PEEP elevada (en caso de broncomalacia) (figs. 33 y 34).

CURVAS DE VOLUMEN-PRESIÓN

Concepto

La gráfica de volumen-presión representa los cambios que se producen en el volumen pulmonar respecto a los cambios en la presión durante el ciclo respiratorio. El volumen se representa en el eje de ordenadas y la presión en el de abscisas. La curva resultante es un bucle que se “abre” con el inicio de la inspiración y se “cierra” al final de la espiración. Dado que no se representa la variable tiempo, sólo se muestra el bucle correspondiente al ciclo respiratorio en curso. Algunos respiradores de última generación pueden almacenar en memoria bucles seleccionados para comparar los cambios que se puedan producir a lo largo del tiempo^{1,2}.

Modificaciones de la curva en función de la programación del respirador

La gráfica de volumen-presión es distinta en modalidades cicladas por volumen de modalidades cicladas por presión (figs. 35 y 36). La diferencia se limita a la parte de

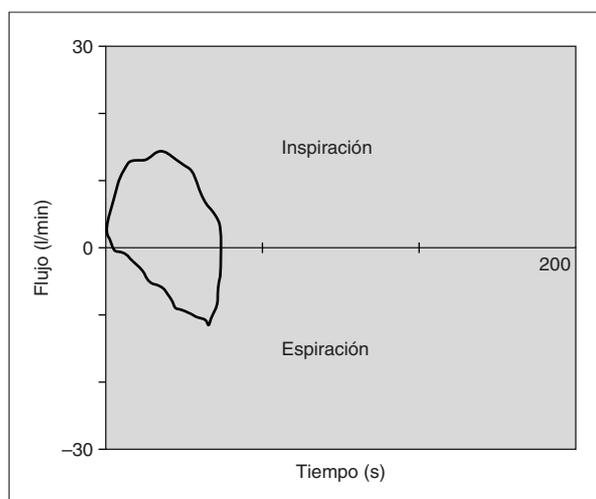


Figura 34. Curva flujo-volumen en modalidad de CPAP con presión de soporte. El mismo paciente que en la figura 33 con PEEP de 9 cmH₂O y presión de soporte de 10 cmH₂O sobre PEEP. Obsérvese que en el tramo correspondiente al flujo espiratorio final (tramo D en curvas por presión) se ha corregido la morfología, presentando un trazado casi recto o con convexidad hacia abajo, lo cual sugiere una mejoría del flujo espiratorio.

la curva que representa los cambios en el flujo inspiratorio, ya que la espiración es un fenómeno pasivo y depende de las características del paciente, y no de la modalidad programada en el respirador.

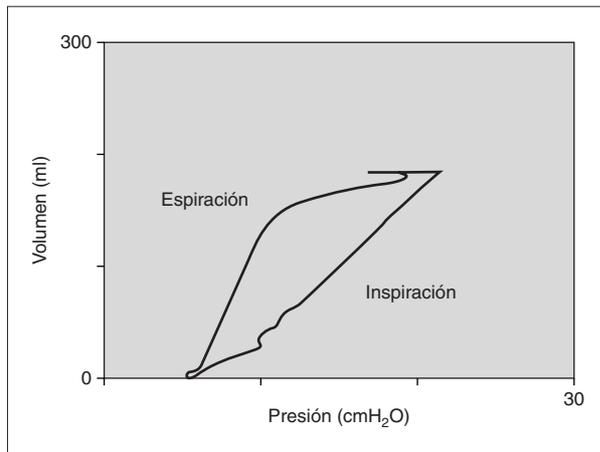


Figura 35. Curva volumen-presión en modalidad ciclada por volumen (volumen control o SIMV por volumen).

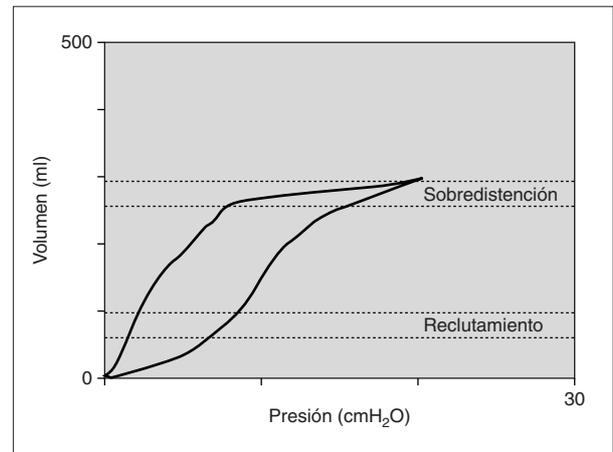


Figura 37. Curva volumen-presión en la modalidad de volumen control. En la zona superior de la curva se observa que grandes aumentos de presión sólo generan pequeños incrementos de volumen, lo cual sugiere la existencia de sobredistensión. En la zona inferior se observa otro punto de inflexión, el cual señala la presión por encima de la cual se encuentran abiertos (reclutados) la mayoría de alvéolos.

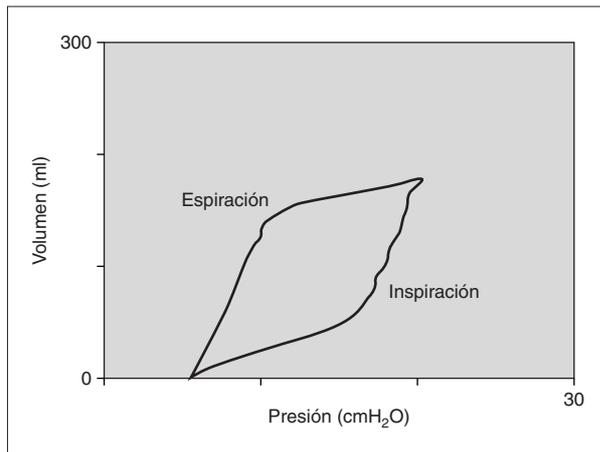


Figura 36. Curva volumen-presión en modalidad ciclada por presión (presión control, volumen control regulado por presión, SIMV por presión o presión de soporte).

Utilidad práctica de la curva volumen-presión

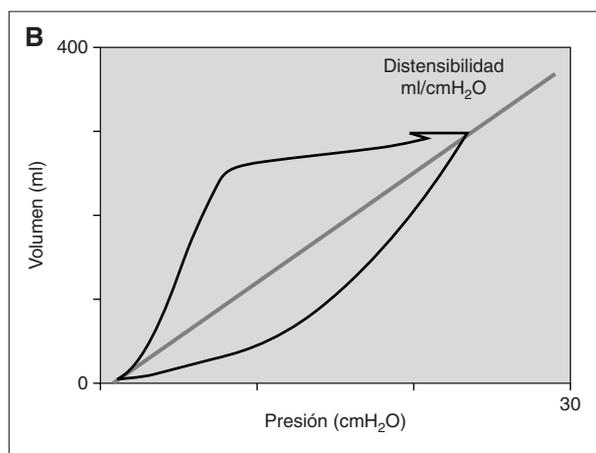
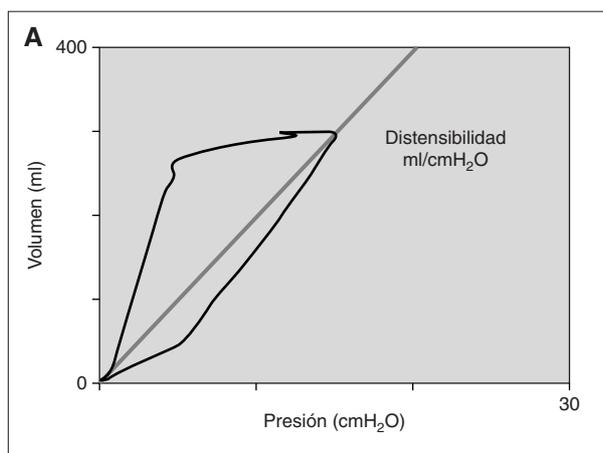
En la práctica clínica, la curva volumen-presión permite:

1. Advertir la presencia de sobredistensión o agua. Se pone de manifiesto por la aparición de un punto de inflexión en la parte superior de la rama inspiratoria de la curva (fig. 37); punto a partir del cual se observa que se requieren grandes aumentos de presión para generar pequeños incrementos de volumen. Dicho fenómeno se observa en modalidades cicladas por volumen, en las cuales el respirador introduce el volumen pautado sin importar la presión generada. En modalidades cicladas por presión, la propia distensibilidad pulmonar limita el volumen final y, por lo tanto, es difícil observar este fenómeno. En la práctica clínica es difícil observar signos de sobredistensión pulmonar en la curva de volumen-presión sal-

vo que se programen volúmenes pulmonares realmente excesivos o inapropiados.

2. Indicar cuál puede ser la PEEP óptima. En ocasiones, puede observarse la aparición de un punto de inflexión en la porción inferior de la rama inspiratoria de la curva (fig. 37). Esta inflexión señala la presión a partir de la cual se encuentran abiertos la mayoría de alvéolos ("presión de apertura") y algunos autores sugieren que esa presión se corresponde con la PEEP óptima. Otros autores proponen como PEEP óptima la señalada por el punto de inflexión de la rama espiratoria ("presión de cierre"), presión a partir de la cual se produciría desreclutamiento alveolar. En la práctica clínica no es habitual apreciar el punto de inflexión inspiratorio en la curva trazada por el respirador en cada ciclo (es más fácil apreciar ese punto cuando se construyen curvas de volumen-presión mediante la técnica de la superjeringa) y, por tanto, la utilidad de esta curva para determinar la PEEP óptima es en realidad bastante limitada.

3. Evidenciar cambios en la distensibilidad pulmonar. Se reflejan en cambios de la pendiente o inclinación de la curva (fig. 38A y B). Para apreciar dichos cambios es conveniente disponer de un respirador que pueda almacenar curvas, para poder compararlas a lo largo del tiempo, o bien imprimirlas en papel para poder así compararlas. Los cambios en la distensibilidad pulmonar raramente son tan súbitos como para poder observar las modificaciones que se producen en la inclinación de la curva en tiempo real. Es preciso tener en cuenta que la forma de la curva volumen-presión (y también la del resto de curvas) está influida por la escala a la que se representan



Figuras 38A y B. Curva volumen-presión en modalidad volumen control. En ambas figuras se ventila a un mismo paciente, con la misma modalidad y con el mismo volumen corriente (302 ml). Obsérvese cómo la colocación de un vendaje torácico apretado modifica la inclinación de la curva (disminución de la distensibilidad torácica).

cada uno de los ejes. Así, al valorar curvas separadas en el tiempo es preciso comprobar que ambas se han dibujado a la misma escala; de lo contrario, los cambios observados pueden ser debidos sólo al cambio de escala o pueden resultar difíciles de evaluar.

4. Advertir la presencia de secreciones en la vía aérea o agua condensada en las tubuladuras del circuito. Se pone de manifiesto por la aparición de irregularidades tanto en el asa inspiratoria como espiratoria de la curva volumen-presión (fig. 39).

CONCLUSIONES

Las curvas de función respiratoria son de gran utilidad en la asistencia al niño sometido a VM. Por lo general, resultan más útiles cuanto más compleja es la dinámica respiratoria del paciente. Los puntos clave para sacar el máximo partido de éstas son: tener un buen conocimiento del trazado normal de cada curva y de lo que representa; saber reconocer los patrones anómalos más frecuentes; y dedicar tiempo a la observación de las curvas y al comportamiento clínico del paciente, para intentar establecer una correlación entre ambos. Adicionalmente puede resultar de utilidad, para analizar las situaciones más complejas, representar simultáneamente varias curvas y así poner de manifiesto los distintos componentes de la patología que afecta al paciente en concreto (la posibilidad de analizar varias curvas estará limitada por la capacidad del respirador para representarlas simultáneamente y en tiempo real).

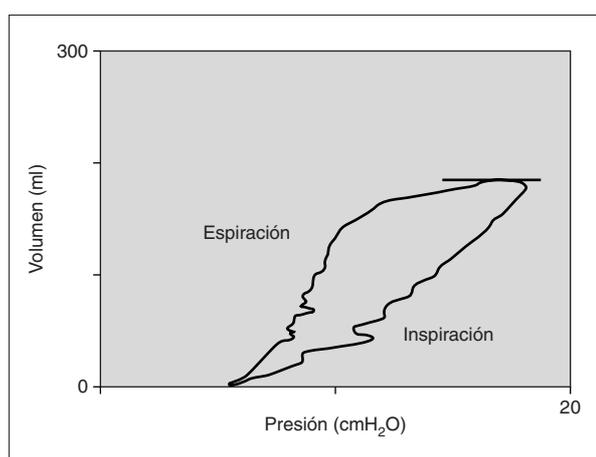


Figura 39. Curva volumen-presión en modalidad volumen control. Obsérvese cómo la presencia de agua en las tubuladuras genera irregularidades en el trazado de la curva.

BIBLIOGRAFÍA

1. Hagus CK, Donn SM. Pulmonary graphics: Basics of clinical application. En: Donn SM, editor. Neonatal and pediatric pulmonary graphics. Principles and clinical applications. New York: Futura Publishing, 1998; p. 81-128.
2. Waugh JB, Deshpande VM, Harwood RJ. Rapid interpretation of ventilators waveforms. New Jersey: Prentice-Hall, 1999.