

MONITOREO DE LA MECANICA RESPIRATORIA DURANTE LA VENTILACION MECANICA

Introducción

La monitorización de la mecánica respiratoria durante la ventilación mecánica es útil para conocer las características mecánicas del sistema respiratorio en sus dos componentes: elástico y resistivo; ajustar el patrón ventilatorio de manera de garantizar una ventilación mecánica segura y suficiente para las demandas ventilatorias del paciente preservando en todo momento la protección pulmonar y la sincronía paciente-ventilador. Finalmente el monitoreo de la mecánica es fundamental junto con el del intercambio de gases, para evaluar la respuesta al tratamiento.

1. Curva de Presión de vía aérea

Modo controlado por volumen (VCV)

A RECORDAR:

La morfología y los valores de la onda de presión de vía aérea en VCV son dependientes de:

- ✓ ***Volumen corriente insuflado***
- ✓ ***Nivel de PEEP***
- ✓ ***Características mecánicas del sistema respiratorio***
- ✓ ***Presencia y grado de esfuerzo inspiratorio del paciente***

- Durante la Ventilación con Volumen Controlado (VCV) la onda de presión en vía aérea tiene una morfología ascendente con un valor máximo inspiratorio (P_{max}). Este valor de P_{max} tiene dos componentes que lo determinan, el componente elástico y el resistivo del sistema respiratorio, de manera que el valor de P_{max} va a variar en función de las variaciones en las condiciones elásticas y resistivas del sistema respiratorio. En el paciente en ventilación mecánica el componente resistivo incluye, además de la resistencia de vía aérea del paciente, la resistencia que genera el tubo

endotraqueal y el propio circuito del ventilador.

- Cuando en ausencia de actividad muscular (paciente paralizado) se realiza una maniobra de oclusión al final de la inspiración (OFI) durante 2-5 segundos, se observa que la P_{max} de vía aérea no se mantiene en su valor máximo sino que se produce una caída de presión hasta un valor determinado, a partir del cual la presión se permanece constante mientras dura la oclusión inspiratoria. Este nivel de presión corresponde a la presión meseta (P_{mes}) y refleja la presión de retroceso elástico o de distensión pulmonar.

Al interrumpir la oclusión inspiratoria, la presión cae hasta el nivel correspondiente a la presión al final de la espiración (Figura 1)

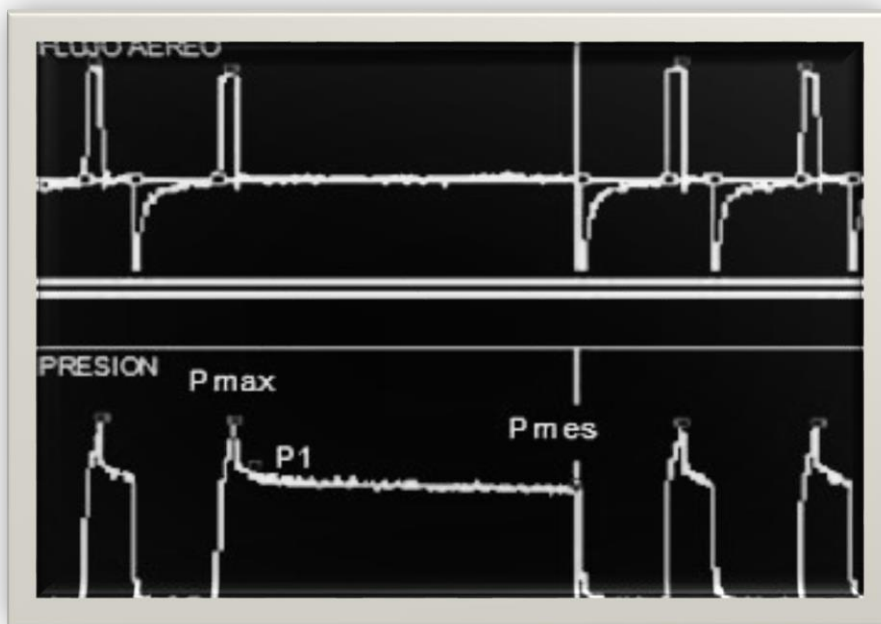


Figura 1: Registro gráfico de Flujo aéreo y Presión de vía aérea durante VCV

Después de interrumpir el flujo con una oclusión al final de la inspiración de 2-5 segundos (maniobra de OFI) se observa una caída inicial y brusca de la presión de vía aérea (P_1) que representa el componente resistivo de la vía aérea y un descenso posterior más lento que refleja el componente visco-elástico del sistema respiratorio. La presión al final de la oclusión corresponde a la presión meseta y representa la presión de retroceso del sistema respiratorio.

- Si una vez completado el vaciado pulmonar e inmediatamente antes de iniciarse el ciclo siguiente, se realiza una maniobra de oclusión espiratoria (OFE) de 2-5 segundos, la presión en vía aérea se mantiene constante (Figura 2) o, en algunas situaciones, se incrementa (Figura 3). El gradiente de presión entre P_{max} y P_{mes} permite conocer el componente resistivo de la presión en vía aérea.

La importancia de realizar maniobra de OFI y OFE es que permite estimar la presión alveolar:

La presión de distensión pulmonar (P_{mes}) refleja la presión alveolar máxima, o sea, el volumen alveolar inspiratorio.

La presión al final de la espiración refleja la presión alveolar espiratoria, o sea el volumen alveolar al final de la espiración

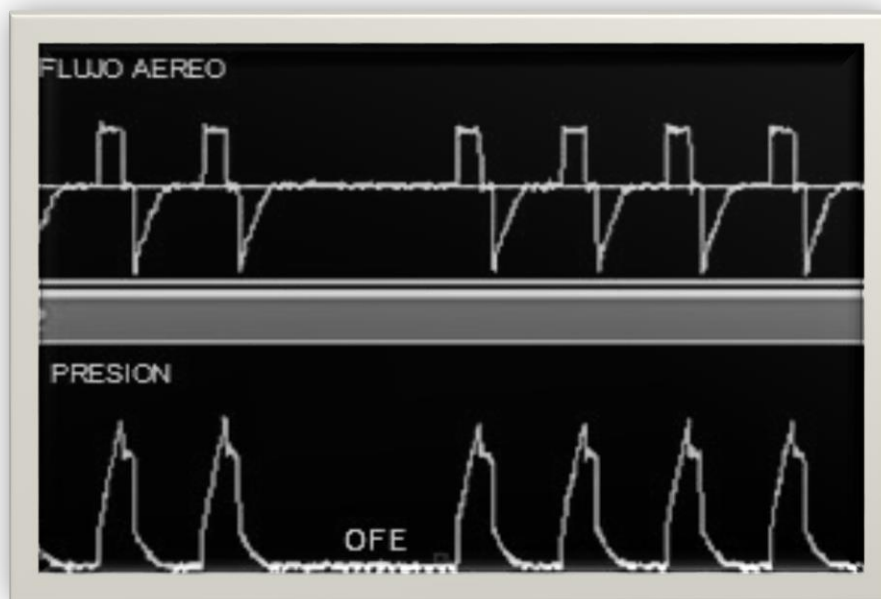


Figura 2: Registro gráfico de Flujo aéreo y Presión de vía aérea durante VCV

Se observa que después de la oclusión al final de la espiración de 2-5 segundos (maniobra de OFE) la presión de vía aérea no se modifica. En esta situación, el volumen alveolar al final de la espiración es igual al volumen de reposo pulmonar o capacidad residual funcional (CRF).

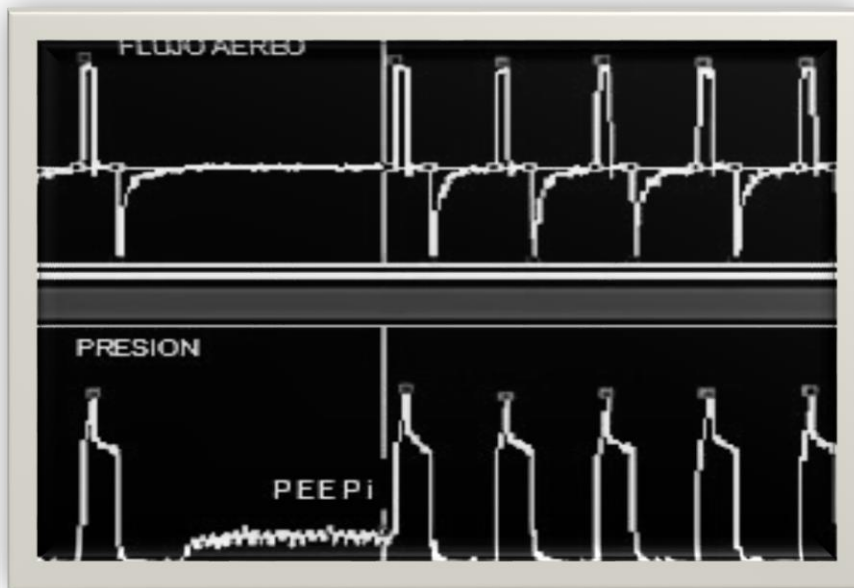


Figura 3: Registro gráfico de Flujo aéreo y Presión de vía aérea durante VCV

Se observa que después de la oclusión al final de la espiración de 2-5 segundos (maniobra de OFE) la presión de vía aérea se incrementa los que corresponde al nivel de PEEP intrínseca (PEEPi).

- La Presión Media de la Vía Aérea representa la media de presión positiva durante el ciclo de ventilación mecánica e integra la presión de vía aérea desde el inicio de la inspiración hasta el final de la espiración dividido la duración del ciclo respiratorio. Su valor depende del volumen corriente (V_c), el nivel de PEEP, la duración del tiempo inspiratorio (T_i) y espiratorio (T_e) y la duración del ciclo respiratorio (T_T). Por tanto, si bien la PEEP es un determinante importante no es la única variable que la condiciona. Su importancia radica en que es el determinante principal del intercambio de gases y del incremento de la precarga del ventrículo derecho durante la VM.

Diferentes situaciones clínicas pueden modificar el valor y/o la morfología de la onda de presión de vía aérea.

✓ AUMENTO DE VOLUMEN CORRIENTE	Aumenta P_{max} y P_{mes} No modifica $\Delta P_{max-P_{mes}}$ Aumenta driving pressure
✓ AUMENTO DE PEEP	Aumenta P_{max} y P_{mes} No modifica $\Delta P_{max-P_{mes}}$ No modifica driving pressure
✓ AUMENTO DE RESISTENCIA DE VIA AEREA	Aumenta P_{max} Aumenta $\Delta P_{max-P_{mes}}$
✓ DISMINUCION DE COMPLIANCE	Aumenta P_{max} y P_{mes} Disminuye $\Delta P_{max-P_{mes}}$ Aumenta driving pressure

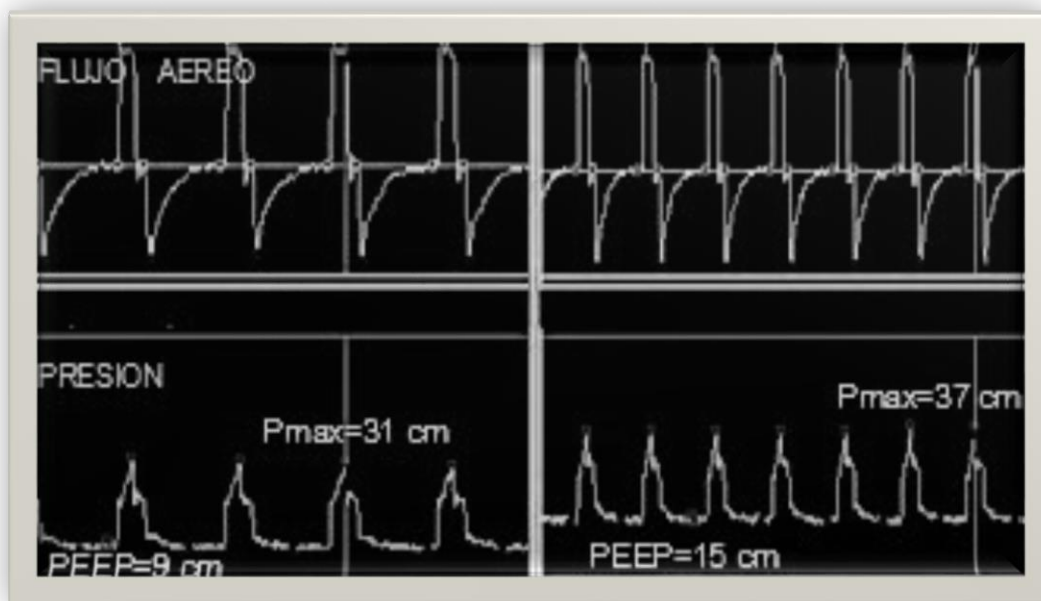


Figura 4: Registro gráfico de Flujo aéreo y Presión de vía aérea durante VCV

Se observa que el incremento de PEEP aumenta Presión máxima y meseta de vía aérea.

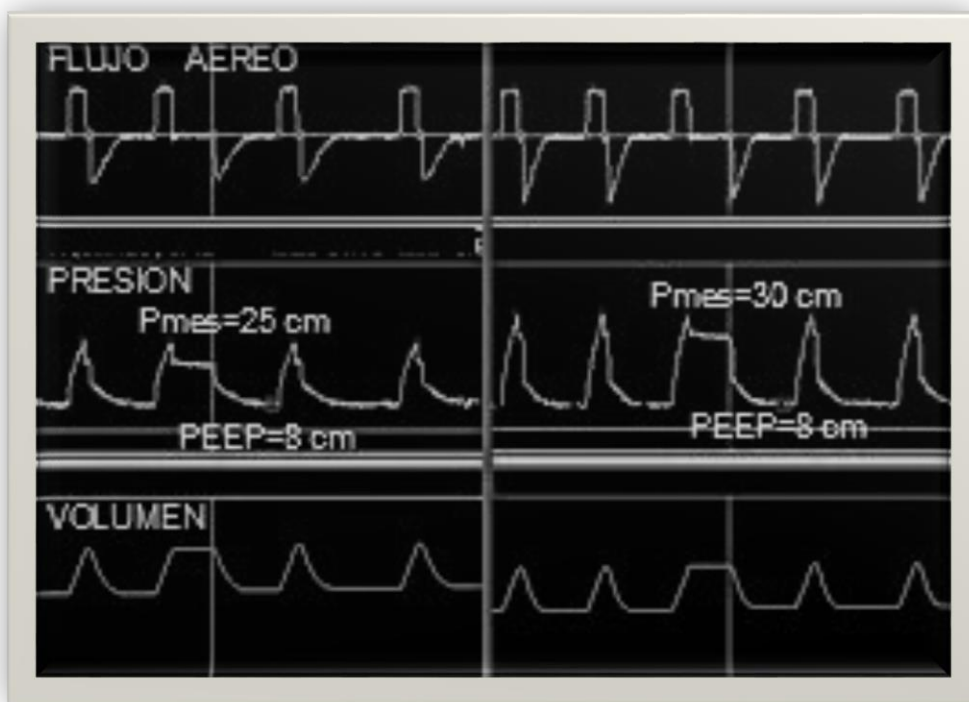
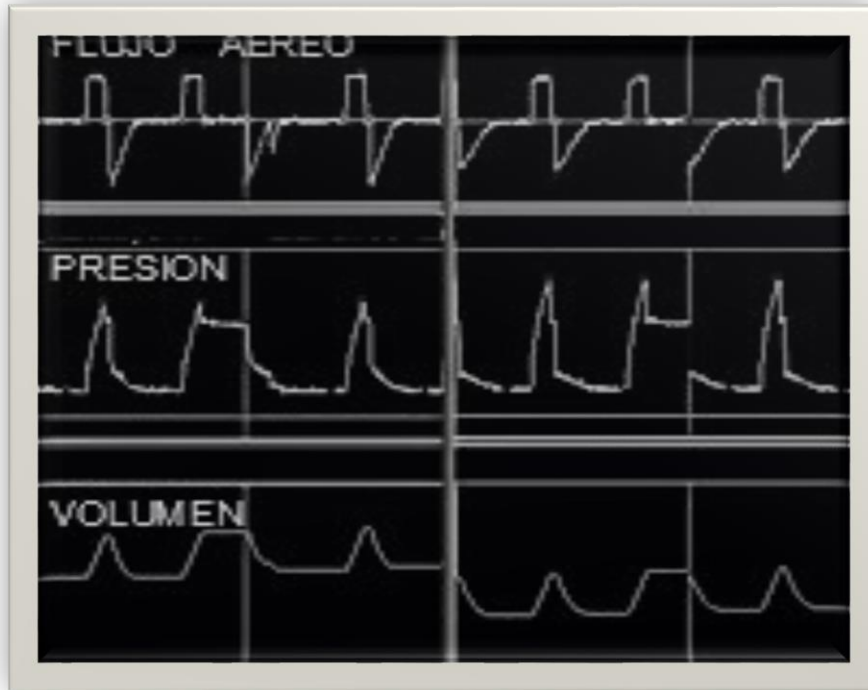


Figura 5: Registro gráfico de Flujo aéreo, Presión de vía aérea y Volumen Corriente durante VCV

Se observa a la derecha que la disminución de la compliance incrementa la Presión máxima y meseta de la vía aérea. El gradiente entre presión meseta y PEEP (driving pressure) aumenta al disminuir la compliance para un mismo volumen corriente. El gradiente entre presión máxima y meseta se mantiene. Cuando la compliance disminuye marcadamente y hay hiperdistensión, el gradiente entre ambas disminuye por incremento predominante de la P_{meseta}.

Figura 6: Registro gráfico de Flujo aéreo, Presión de vía aérea y Volumen Corriente durante VCV



Se observa a la derecha que el aumento de la resistencia de vía aérea incrementa la Presión máxima y el gradiente entre presión máxima y presión meseta. El volumen corriente se mantiene constante (siempre que no se alcance el límite máximo de presión prefijado).

La morfología de la curva de presión de vía aérea puede modificarse en función de la distensibilidad del sistema respiratorio y de la presencia y grado del esfuerzo inspiratorio del paciente (Figuras 7 y 8).

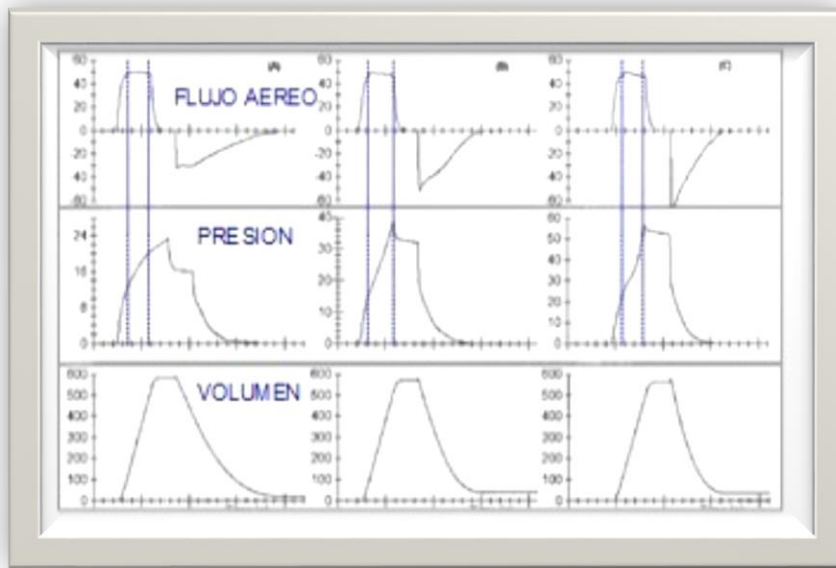


Figura 7: Registro gráfico de Flujo aéreo, Presión de vía aérea y Volumen Corriente durante VCV Se representan los cambios en el ascenso de la presión de vía aérea en función de la situación en la curva de compliance.

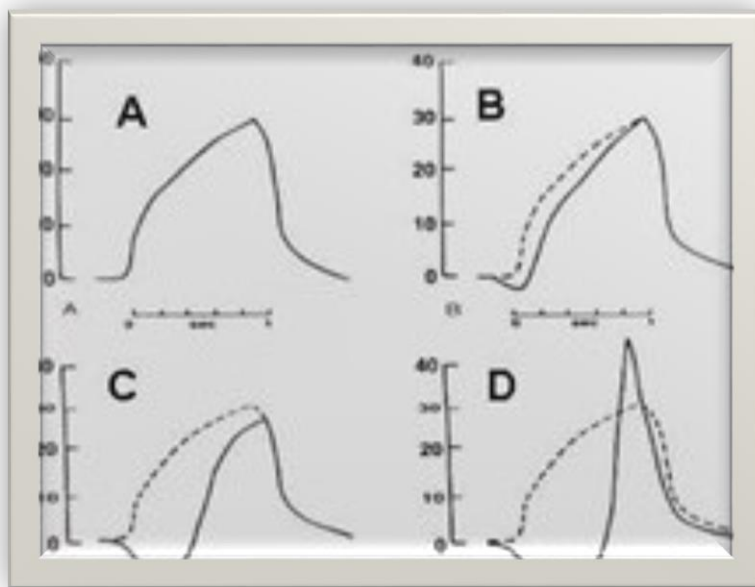


Figura 8: Esquema en el que se representan los cambios de la morfología de la curva de presión de vía aérea en función del esfuerzo inspiratorio.

En A es ausente y aumenta progresivamente hasta D en que casi toda la fase inspiratoria depende del trabajo realizado por el paciente.

Modalidad Presión Controlada (PCV)

A RECORDAR:

La morfología y los valores de la onda de presión de vía aérea en PCV son INDEPENDIENTES del volumen corriente insuflado y de las características mecánicas del sistema respiratorio

Durante la Ventilación Presión Controlada (VPC) la morfología de la onda de presión en vía aérea tiene un ascenso rápido, llega a un valor máximo inspiratorio programado y se mantiene constante mientras dura el tiempo inspiratorio (**Figura 9**). No hay caída de presión durante la inspiración. Por tanto la curva de presión en PC no da información acerca de la resistencia de la vía aérea.

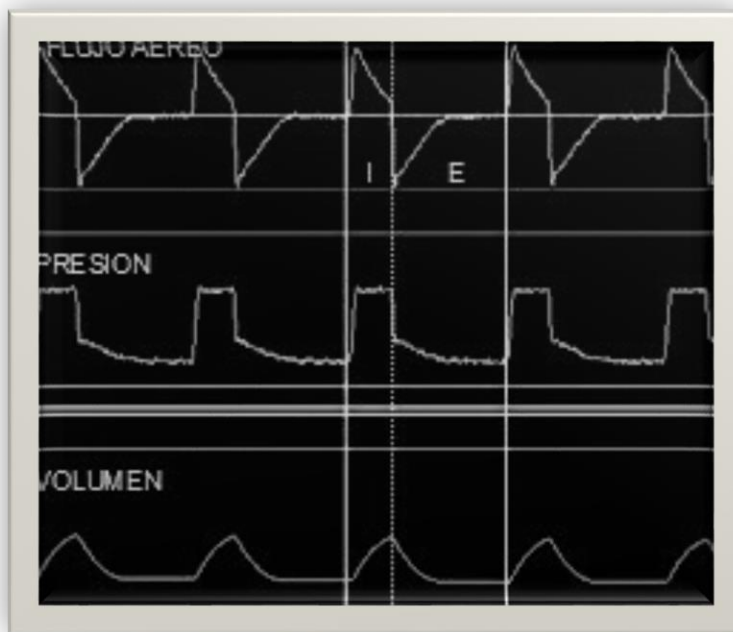


Figura 9: Registro gráfico de Flujo aéreo, Presión de vía aérea y Volumen Corriente durante PCV

La presión es constante durante todo el tiempo inspiratorio por lo que no permite el cálculo de resistencia de vía aérea. El flujo al inicio es máximo cuando existe el máximo gradiente de presión, para luego descender progresivamente durante el tiempo inspiratorio (I) a medida que el volumen corriente ingresa. Cuando la presión alveolar se iguala con la presión externa no hay más gradiente de presión y el flujo se interrumpe. La espiración (E) se inicia cuando se completa el tiempo inspiratorio fijado.

2. Curva de Flujo aéreo

Modo controlado por volumen (VCV)

A RECORDAR:

La importancia de monitorizar el flujo inspiratorio es que permite calcular la resistencia inspiratoria de vía aérea

Con flujo inspiratorio constante (VCV) la compliance y resistencia no modifican la morfología del componente inspiratorio de la onda de flujo.

La importancia de monitorizar el componente espiratorio del flujo aéreo es que identifica presencia de limitación al flujo aéreo espiratorio y presencia de PEEP intrínseca (PEEPi) o atrapamiento aéreo.

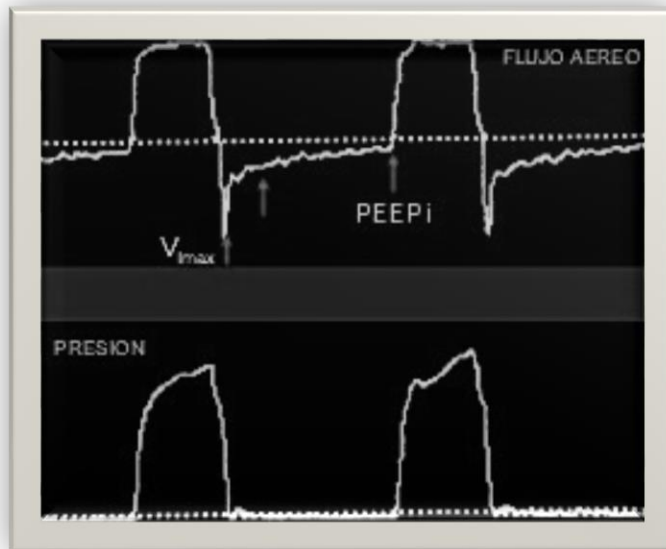
Durante VCV la onda de flujo aéreo inspiratorio tiene un ascenso inspiratorio inicial rápido cuando el gradiente de presión es máximo, que corresponde al flujo máximo inspiratorio. Como el ascenso de P en vía aérea es lineal, el flujo aéreo se mantiene constante durante toda la insuflación. El flujo cae a cero al finalizar la inspiración y comienza el flujo espiratorio. El flujo espiratorio tiene un valor inicial máximo que corresponde al flujo espiratorio máximo y luego desciende hasta cero al final de la espiración, describiendo una onda no lineal (Figura 2).

✓ **LIMITACION AL FLUJO AEREO ESPIRATORIO:** *Disminuye flujo máximo espiratorio*

Doble pendiente de caída del flujo espiratorio

✓ **PEEP i:** *Flujo espiratorio que no llega a 0 al final de la espiración*

Figura 10: Registro gráfico de Flujo aéreo y Presión de vía aérea durante VCV en pulmón con limitación al flujo aéreo espiratorio



Se observa una disminución del flujo máximo espiratorio y una doble pendiente de descenso del flujo espiratorio con una caída inicial rápida y luego más lenta y prolongada. La presencia de PEEPi se pone de manifiesto porque el flujo espiratorio no llega a cero cuando se inicia el ciclo inspiratorio siguiente.

Modalidad presión controlada (PCV)

A RECORDAR:

Con flujo inspiratorio desacelerado (PCV) la morfología del componente inspiratorio de la onda de flujo es dependiente de las características mecánicas del sistema respiratorio (resistencia y compliance).

La importancia de monitorizar el componente espiratorio del flujo aéreo es que identifica presencia de limitación al flujo aéreo espiratorio y presencia de PEEP intrínseca (PEEPI) o atrapamiento aéreo.

En esta modalidad el gradiente de presión generado entre el ventilador y el pulmón disminuye progresivamente durante la inspiración a medida que aumenta la presión intraalveolar. Como consecuencia, el flujo inspiratorio desciende progresivamente y cuando ambas presiones se igualan el flujo inspiratorio cesa. A partir de ese momento cualquier incremento del tiempo inspiratorio es inútil para incrementar el volumen insuflado. Característicamente la morfología de onda de flujo en PC es descendente con un pico máximo al inicio de la inspiración cuando el gradiente de presión es máximo (Figura 9).

La onda de flujo inspiratorio descendente es afectada por las propiedades mecánicas del sistema respiratorio.

✓ DISMINUCION DE COMPLIANCE:	<i>Disminución flujo máximo insp. Caída rápida del flujo máximo con pausa dinámica</i>
✓ AUMENTO DE RESISTENCIA:	<i>Disminución flujo máximo insp. Caída lenta del flujo máximo</i>
✓ LIMITACION AL FLUJO AEREO ESPIRATORIO:	<i>Disminuye flujo máximo espiratorio Doble pendiente de caída del flujo espiratorio</i>
✓ PEEP i:	<i>Flujo espiratorio que no llega a 0 al final de la espiración</i>

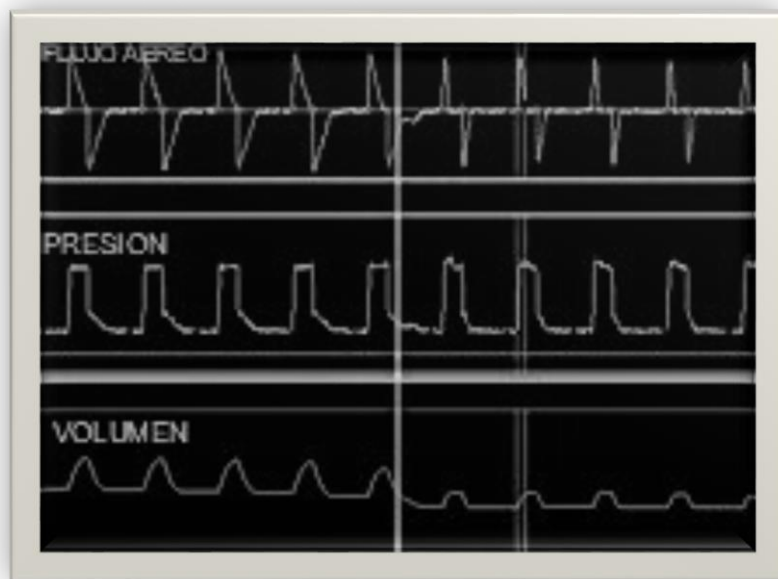


Figura 10: Registro gráfico de Flujo aéreo, presión de vía aérea y volumen corriente durante PCV en pulmón con limitación al flujo aéreo espiratorio

Los registros iniciales corresponden a un pulmón con compliance normal. A la derecha de la línea blanca se observa cómo la disminución de la compliance determina que se alcance más rápidamente el límite de presión lo que disminuye el flujo máximo inspiratorio y provoca un descenso más acelerado del flujo con aparición de una pausa dinámica. Como consecuencia el volumen corriente disminuye.

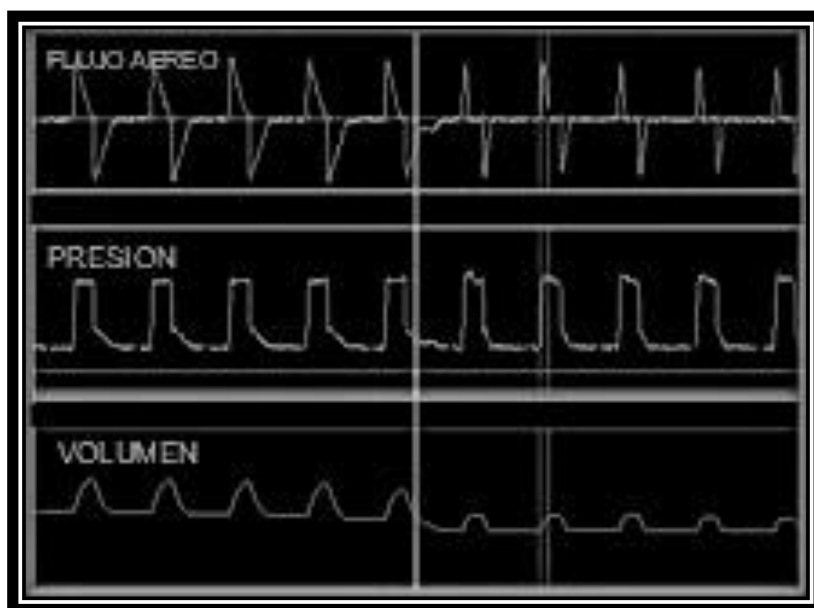


Figura 11: Registro gráfico de Flujo aéreo, presión de vía aérea y volumen corriente durante PCV en pulmón con limitación al flujo aéreo espiratorio

Los registros iniciales corresponden a un pulmón con resistencia normal. A la derecha de la línea se observa cómo la disminución el aumento de la resistencia determina disminución del flujo máximo inspiratorio y un descenso más lento del flujo ya que se requiere mayor tiempo para que se equilibren la presión pulmonar con la externa prefijada. Si el tiempo inspiratorio prefijado se mantiene constante, el ventilador cicla a espiración antes de que el gradiente de presión sea igual a cero y en consecuencia, el volumen corriente disminuye.

3. Curva de Volumen

A RECORDAR:

En VCV el volumen insuflado es INDEPENDIENTE de las características mecánicas del sistema respiratorio

El volumen espirado es inferior al inspirado cuando existe atrapamiento aéreo

En PCV el volumen insuflado es DEPENDIENTE de las características mecánicas del sistema respiratorio y del tiempo inspiratorio prefijado.

En PCV siempre que el flujo inspiratorio no ha llegado a cero cuando cicla a espiración, la prolongación del tiempo inspiratorio incrementa el volumen corriente para un mismo gradiente de presión