

# **Manual de cuidados respiratorios en recién nacidos**

**Un enfoque práctico.**

**Autor Dra. Carolina Méndez B.**  
**Jefe(s) Servicio de Neonatología**  
**Hospital San Juan de Dios**  
**Docente Universidad de Chile**  
**Mayo – Junio 2020**

## ÍNDICE

|                                                               |          |
|---------------------------------------------------------------|----------|
| <b>PRINCIPIOS FISIOLÓGICOS DE LA VM NEONATAL.....</b>         | <b>3</b> |
| <b>VENTILACIÓN MECÁNICA NEONATAL.....</b>                     | <b>8</b> |
| VENTILACIÓN MANDATORIA INTERMITENTE SINCRONIZADA (SIMV) ..... | 9        |
| Asistido controlado (AC).....                                 | 10       |
| Presión soporte (PS) .....                                    | 11       |
| Volumen Garantizado (VG) en VM convencional.....              | 13       |
| Ventilación de alta frecuencia.....                           | 22       |
| Volumen garantizado en ventilación de alta frecuencia.....    | 26       |
| Bibliografía.....                                             | 32       |

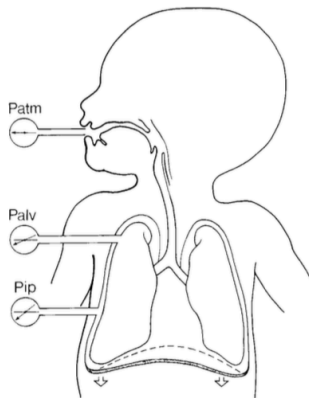
## Introducción

La ventilación mecánica (VM) neonatal es un desafío en la práctica clínica habitual, desde el año 1960 los avances en esta área han mejorado los resultados neonatales sobre todo en los cuidados respiratorios <sup>(1)</sup>. El objetivo principal de la VM es corregir la función pulmonar comprometida, restaurar el intercambio de gases y reducir el trabajo respiratorio. Conocer los principios fisiológicos de la VM nos permite un mejor manejo ventilatorio de nuestros pacientes.

## Principios fisiológicos de la VM neonatal.

La expansión pulmonar es generada por las fuerzas que provienen del diafragma y de los músculos intercostales, y lo contrario ocurre por las fuerzas de tensión elásticas y superficiales, estas fuerzas son las que permiten la entrada y salida de gases respiratorios y permitir la ventilación pulmonar. Durante la inspiración, el diafragma se contrae, se aplanan y el volumen de la cavidad torácica se agranda, lo que produce una disminución de la presión intrapleural (gradiente de presión negativa) que da por resultado que ingrese un flujo de gas hacia el pulmón, los músculos intercostales y accesorios permiten estabilizar la pared torácica mientras el diafragma se contrae (figura 1).

**Figura 1: Respiración espontánea: gradiente de presión negativa**



## **Características anatómicas torácicas del recién nacido**

El tórax del recién nacido (RN) es más cilíndrico (adulto elipsoide) y las costillas son más horizontales (adulto oblicuas), los músculos intercostales son más cortos con menos ventaja mecánica para elevar las costillas y aumentar el volumen intratorácico durante la inspiración. La inserción del diafragma es más horizontal que los adultos, las costillas tienden a moverse hacia adentro en vez de hacia arriba durante la inspiración, que es mayor dada la alta compliance torácica del RN.

El RN sano tiene una frecuencia respiratoria (FR) entre 30 a 60 respiraciones por minuto, con una duración del ciclo respiratorio entre 1 a 2 segundos. La fase inspiratoria es activa y el tiempo inspiratorio dura entre 0,3 a 0,6 segundos, la fase espiratoria es pasiva y dura el resto del ciclo.

respiratorio. Es importante respetar el tiempo inspiratorio, la FR y la relación inspiración espiración (I:E) estableciendo lo más fisiológico para ventilar y no producir el daño pulmonar <sup>(2)</sup>.

### Compliance

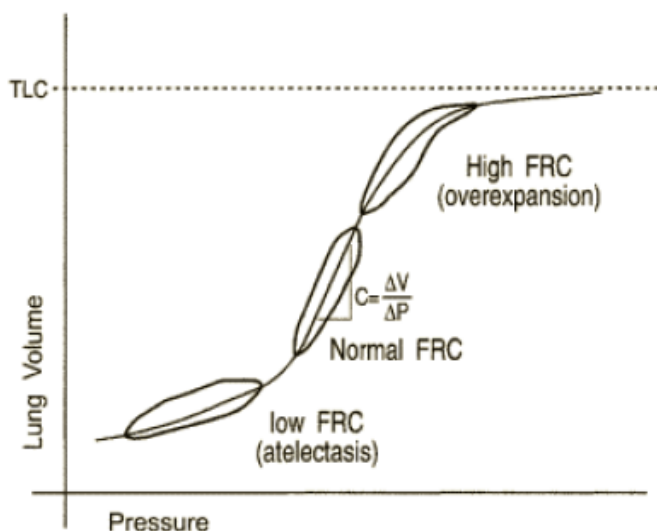
Elasticidad o adaptabilidad del tejido pulmonar. Expresa un cambio de volumen por unidad de cambio de presión. Como se observa en la figura 2 cuanto mejor sea la compliance más volumen de gas entrará al pulmón con igual cambio de presión y a menor compliance, mayor presión se requerirá para mantener el volumen corriente (Vc) <sup>(2)</sup>. Patologías con disminución de compliance: enfermedad de membrana hialina, edema pulmonar, trastornos pulmonares restrictivos (neumotórax, derrame pleural, distensión abdominal). Valor en RN de término normal: 2-3 ml/cmH<sub>2</sub>O/Kg (2-5).

$$C \text{ (ml/ cm H}_2\text{O)} : \frac{\Delta \text{ Volumen (ml)}}{\Delta \text{ Presión (cm H}_2\text{O)}}$$

**Figura 2:** Comparación de compliance en pulmón sano versus pulmón con compliance disminuida por enfermedad de membrana hialina (EMH).



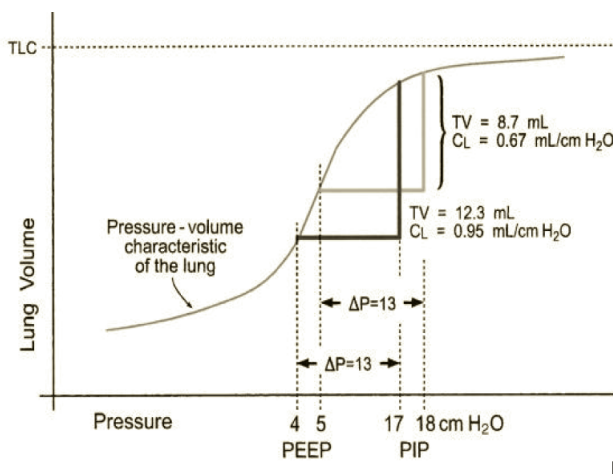
**Figura 3:** Curva Presión Volumen – Compliance



La capacidad residual funcional (CRF) es el volumen de aire que queda en los pulmones después de realizar una espiración normal, y es un pilar fundamental para evitar el colapso alveolar y se relaciona con la compliance pulmonar. En la figura 3 se expresan 3 zonas en la curva de compliance y su relación con la CRF:

1. **CRF disminuida:** que favorece las atelectasia. (donde se necesitan generar reclutamiento alveolar, por tendencia al colapso).
2. **CRF normal:** la zona ideal de la curva de compliance (donde pequeños cambios de presión generen grandes cambios de volumen)
3. **CRF alta:** zona de sobredistensión (donde los cambios de presión no generarán cambios de volumen significativos)

**Figura 4: Curva de compliance con diferentes CRF**



En la figura 4 se expresa dependiendo de la ubicación en la curva de compliance, como es la CRF en esas condiciones pulmonares, con iguales delta de presiones administradas por el ventilador mecánico la entrega de volumen puede ser diferente. En el caso de una compliance de 0,95ml/cmH<sub>2</sub>O con parámetros de PIM 17 y PEEP de 4 con una delta de presión (deltaP) de 13 el Vt entregado es de 12,3 mL esto en condiciones de CRF normal, en cambio a igual deltaP (con PIM de 18 con PEEP de 5) pero en una zona de sobredistensión con compliance disminuida de 0,67ml/cmH<sub>2</sub>O la entrega de Vt es menor (8,7ml). Es por esto la importancia de un adecuado reclutamiento alveolar y de intentar mantener una CRF funcional normal, para que pequeños cambios de presión generen grandes cambios de volumen disminuyendo el riesgo de daño asociado a la ventilación mecánica.

### **Resistencia**

La resistencia (R) es la dificultad que encuentra el gas al pasar por la vía respiratoria, es una fuerza que se opone al movimiento del aire, y corresponde a un cambio de presión por unidad de cambio de flujo.

#### **La resistencia depende de:**

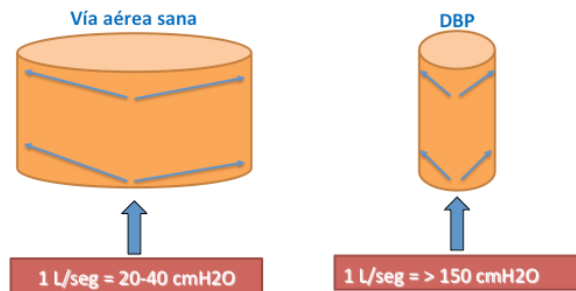
- Área seccional VA (radio)
- Longitud
- Flujo

$$R \text{ (cm H}_2\text{O/ L/seg)} : \frac{\Delta \text{ Presión (cm H}_2\text{O)}}{\Delta \text{ flujo (L/seg)}}$$

**Valores de la resistencia en RN según condiciones clínicas:**

- **RN normal:** 20-40 cmH<sub>2</sub>O/L/ seg
- **RN SDR:** > 40 cmH<sub>2</sub>O/L/ seg
- **RN con DBP:** > 150 cmH<sub>2</sub>O/L/ seg

**Figura 5: Representación de la resistencia en pulmón sano versus pulmón con displasia broncopulmonar (DBP)**



La resistencia es linealmente proporcional a la longitud del tubo. Cuanto más corto es el tubo, menor es la resistencia; por lo tanto, es una buena práctica reducir los TET a la longitud práctica más corta.

**Contante de tiempo**

La constante de tiempo (Ct) es el tiempo necesario para alcanzar un equilibrio entre las presiones alveolares y de la vía aérea (tiempo necesario para que el pulmón se infle o desinfe). La Ct nos permite determinar los tiempos requeridos para la inspiración y la espiración. En una Ct se espira el 63% del Vt. Existe un equilibrio entre las presiones al cabo de 3 a 5 Ct. Si no se respetan las Ct puede generar PEEP inadvertido (atrapamiento aéreo y mayor riesgo de escapes aéreos) <sup>(2)</sup>.

1 Ct en RNT sano = 0.12 – 0,15 seg

3 – 5 Ct = 0.36 - 0.45 seg

Por esta razón que RN con pulmón sano un TIM de 0,40 en el ventilador mecánico es adecuado.

$$\text{Constante de tiempo} = \text{Compliance} \times \text{Resistencia}$$

La Ct es directamente proporcional a la compliance y a la resistencia, así un RN compliance disminuida tendrán constante de tiempo más bajas y por ende los tiempos inspiratorios necesarios en el ciclo respiratorio serán más cortos (TIM 0,30-0.35), o en casos donde la resistencia respiratoria sea elevada (DBP, pulmón sano, cardiopatías) la Ct será elevada los tiempos inspiratorios requeridos serán más largos (TIM 0,40- 0,55).

## Volúmenes pulmonares

Los volúmenes pulmonares y su comportamiento durante la VM neonatal nos facilitará estrategias ventilatorias protectoras contra el daño pulmonar.

### Volumen corriente o tidal (Vc o Vt)

Es el volumen de gas movilizado en cada ciclo respiratorio. En un RN el Vc que se mueve es entre 4 a 6 ml/kg, y se modifica con los cambios en el delta de presión (diferencia PIM y PEEP) a mayor delta de presión mayor es el Vc movilizado. Los RN prematuros extremos pueden requerir Vc más altos entre 7 a 8 ml/Kg pasadas las 2 semanas de vida asociado a traqueomegalia.

### **Volumen espacio muerto**

Volumen de gas movilizado en cada ciclo, pero que no realiza intercambio gaseoso 1,5-2 ml/kg

### **Ventilación minuto (Vm)**

La Vm es el producto del Vt por la FR, y se relaciona con el barrido de CO<sub>2</sub> a mayor Vm mayor barrido y por ende PCO<sub>2</sub> baja a menor Vm el barrido disminuye y con ello la PCO<sub>2</sub> aumenta. El valor de Vm para mantener una PCO<sub>2</sub> dentro de rangos normales es de alrededor de 200ml/kg/min, pero esto puede ser variable y dependiendo de cada recién nacido, por lo que se recomienda evaluar cual es el valor de Vm en el cual el RN logra una PCO<sub>2</sub> dentro del rango deseado.

$$Vm = Vt \times FR$$

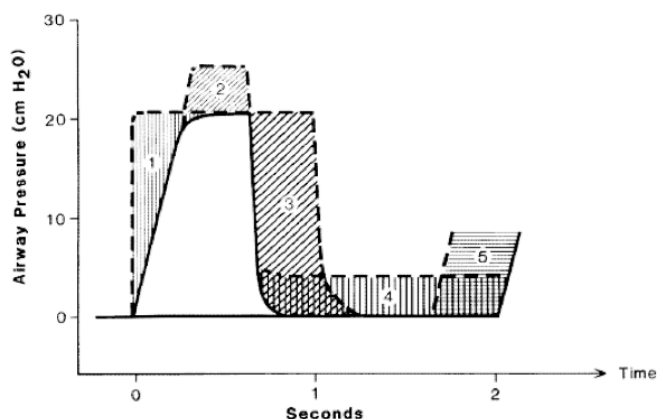
Durante el manejo de la VM convencional debemos tomar en cuenta los elementos que influyen en la oxigenación y en la ventilación.

| Oxigenación                                                                                                                                                                        | Ventilación                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>PMVA</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempo inspiratorio</li> <li>• Tiempo espiratorio</li> <li>• Presión inspiratoria</li> <li>• PEEP</li> <li>• Flujo</li> </ul> | <b>Ventilación Minuto</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vt <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Delta de presión</li> <li>○ Compliance</li> </ul> </li> <li>• FR</li> </ul> |
| <b>FiO<sub>2</sub></b>                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                            |

**La oxigenación en la VM mejora si:**

- 1) Aumentamos la FiO<sub>2</sub>
- 2) Aumentamos la PMVA (según modificaciones expresadas en Figura 6)

**Figura 6: Modificaciones ventilatorias para aumentar la PMVA y mejorar la oxigenación**



**Figura 6: 1:** Aumento del flujo, **2:** Aumento de la PIM, **3:** Aumento del TIM, **4:** Aumento del PEEP, **5:** Disminución del Te o aumento de la FR:

#### La ventilación en la VM mejora si:

- Aumentamos el Vm
  - Al aumentar el Vt
    - Aumentando el  $\Delta P$
  - Al aumentar la FR

Las modificaciones de los parámetros ventilatorios para mejorar el volumen minuto dependen de la compliance. Mejoría de la compliance puede generar cambios bruscos en la entrega de Vm y generar volutrauma o atelectrauma, es por eso que la monitorización del volumen durante la VM neonatal es fundamental para evitar el daño asociado a VM.

#### Ventilación mecánica neonatal

En la VM invasiva se entrega un flujo de gas continuo, calentado y humidificado, a través del circuito respiratorio, permitiendo la respiración espontánea del paciente.

La VM entrega una presión positiva al final de la espiración (PEEP) que permite mantener el volumen pulmonar. La presión positiva se incrementa a una presión inspiratoria máxima o peak (PIM o PIP) que es predetermina (limitada por presión) y que se mantienen durante el tiempo inspiratorio establecido (ciclado por tiempo), que son las modalidades más frecuentemente utilizadas en VM neonatal (TCPL, SIMV, AC).

#### Trigger

El trigger es el tiempo de respuesta, entre que se detecta el esfuerzo inspiratorio del RN y este recorre longitud del tubo, para luego desencadenar la VM. El tiempo varía de 6 a 100 ms (la mayoría 50 ms). Para la sincronización de la VM, el inicio de una respiración espontánea debe ser detectado por un sensor de trigger conectado al ventilador (lo más proximal al paciente) para luego proceder a la entrega el soporte mecánico, este tiempo debe ser lo más corto posible. La sincronización reduce la duración de la VM en comparación a las modalidades no sincronizadas, sin embargo no ha demostrado reducir la mortalidad o la DBP. La asincronía puede causar que el

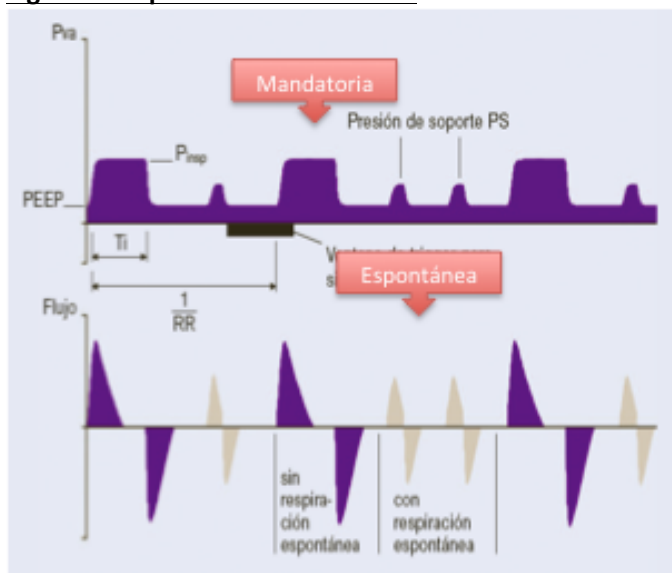


RN se desacople de la VM, alterando la oxigenación y la ventilación, entregando presiones altas de las vías respiratorias, con mayor riesgo de escapes aéreos y de hemorragia intraventricular. Se usan diferentes tipos de trigger para determinar el inicio o terminación de las respiraciones espontáneas, el tipo de trigger recomendado en RN es el medido a través del sensor de flujo. El clínico determina la sensibilidad del trigger para establecer el umbral de flujo o cambio de volumen que determinará el inicio de la inspiración, y puede utilizarse para sincronizar el final de la inspiración en modalidades que usan patrón inspiratorio desacelerado (porcentaje de un 15% del flujo máximo en VN 500). Las desventajas del uso de sensores de flujo es que aumentan el espacio muerto anatómico, la condensación del sensor puede generar autociclado o la fuga alrededor de TET puede afectar la medición precisa del volumen <sup>(3)</sup>. La programación del trigger en Babylog 8000 va de 1 a 10, debe ser programada en 1, y en el VN 500 va de 0,2 a 5 L/min, debe ser programada en 0,2 L/min.

### Ventilación mandatoria intermitente sincronizada (SIMV)

Es una modalidad limitada por presión y ciclada por tiempo. Asiste las ventilaciones programadas de forma sincronizada con el esfuerzo respiratorio del RN. Si la FR del paciente es mayor a la programada, se intercalan respiraciones espontáneas y asistidas. Es importante un adecuado tiempo inspiratorio para evitar asincronismo (expiración cuando el ventilador está en fase inspiratoria). Respiraciones espontáneas no asistidas representan un mayor trabajo respiratorio para el paciente (cuidado en el weaning) <sup>(4)</sup>.

**Figura 7: Representación de SIMV**



### Asistido controlado (AC)

Todos los esfuerzos de los pacientes son asistidos por el ventilador, es una modalidad limitada por presión y ciclada por tiempo. El ventilador garantiza un mínimo de ventilaciones asistidas programadas en caso de apnea. La FR de respaldo debe ser menor a la del paciente para no evitar las respiraciones espontáneas. Cuidado con el Ti y Te para que no se invierta la relación inspiración – espiración (PEEP inadvertido). El Vt es entregado de forma más uniforme y con menor trabajo respiratorio. El weaning ventilatorio en esta modalidad se realiza disminuyendo el PIM, y no la frecuencia del ventilador, lo que disminuye el apoyo en cada respiración permitiendo que el RN se haga cargo gradualmente del trabajo respiratorio<sup>(4)</sup>.

El cálculo del ciclo respiratorio en la modalidad AC es fundamental para evitar atrapamiento aéreo al invertirse la relación inspiración espiración. Se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Ciclo respiratorio: } \frac{60 \text{ seg}}{\text{FR}}$$

#### Ejemplos del cálculo del ciclo respiratorio

##### **1) RN en modalidad SIMV con FR 40x y TIM 0,35. FR paciente 100 rpm**

$$\text{Ciclo resp: } \frac{60 \text{ seg}}{40} = 1,5 \text{ seg}$$

$$\text{Ciclo resp (1,5) – TIM (0,35) = Te (1,15)}$$

En este caso el tiempo espiratorio es mayor (1,15) que el tiempo inspiratorio (0,35) permitiendo que todo el gas inspirado sea espirado.

##### **2) RN en modalidad AC con FR 40x y TIM 0,35. FR paciente 100 rpm**

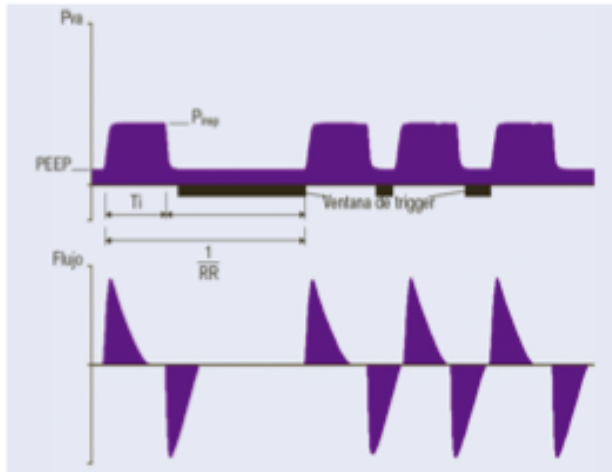
$$\text{Ciclo respiratorio: } \frac{60 \text{ seg}}{100} = 0,6 \text{ seg}$$

$$\text{Ciclo resp (0,6) – TIM (0,35) = Te (0,25)}$$

En este caso el tiempo espiratorio es más corto (0,25) que el tiempo inspiratorio (0,35) permitiendo que no se elimine todo el gas inspirado y favoreciendo el atrapamiento aéreo y el riesgo del escape aéreo.

**Programar la alarma de FR alta en el ventilador mecánico es fundamental para disminuir este riesgo cuando utilizamos la modalidad AC. Debe quedar registro en indicaciones del paciente.**

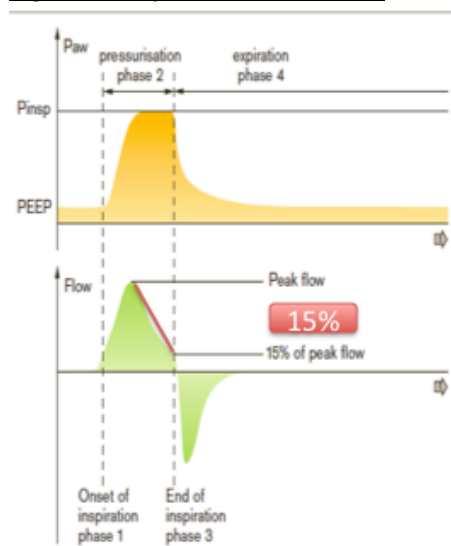
**Figura 8 Representación de AC**



### Presión soporte (PS)

Asiste todas las ventilaciones del paciente. Similar AC pero ciclada por flujo (sincronización más óptima). Al ciclar por flujo, la inspiración finaliza cuando el flujo inspiratorio disminuye a un umbral predeterminado (15% del flujo máximo en VN 500). Se fijan respiraciones de respaldo y un tiempo inspiratorio máximo, el TIM entregado es determinado por el paciente. Puede generar T<sub>i</sub> muy cortos (0,2) entregando baja presión media, y por esta razón la modalidad puede fracasar. Esta modalidad se utiliza frecuentemente asociada a SIMV para apoyar las respiraciones espontáneas entre las respiraciones mandatorias del SIMV sobre todo cuando la FR de apoyo son bajas y así apoyar el esfuerzo respiratorio inadecuado y la alta resistencia del TET <sup>(4)</sup>.

**Figura 9: Representación de PS**

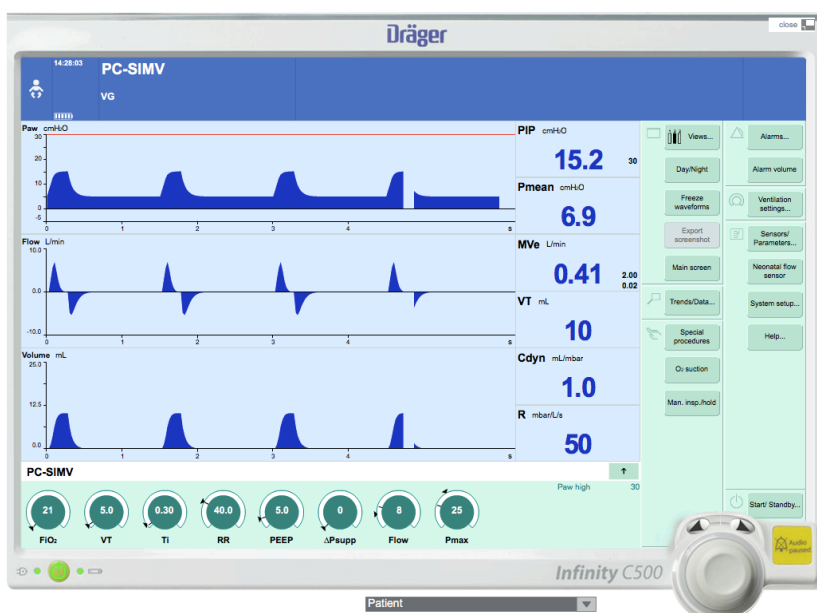


## **SIMV + PS**

La presión de soporte asiste las ventilaciones espontáneas del paciente que no son asistidas por el ventilador mecánico (FR seteada).

### **¿ Cómo programar la presión de soporte a programar?**

La presión de soporte se determina en un 30 a 50% del delta de presión (Ejemplo PIM 20 PEEP 5 delta P 15 a PS a programar 5-8 soporte total 10 -13). Ayuda a disminuir los tiempos de weaning ventilatorios y el trabajo respiratorio. Excelente modalidad para weaning.



**Figura 10** Representación de SIMV + VG en ventilador VN 500

## **Características de los diferentes modos ventilatorios**

| Modo ventilatorio | Trigger | Asistencia a cada respiración | FR ventilador | Tiempo inspiratorio | Presión inspiratoria |
|-------------------|---------|-------------------------------|---------------|---------------------|----------------------|
| IMV               | No      | No                            | Fija          | Fija                | Fija                 |
| SIMV              | Si      | No                            | Fija          | Fija                | Fija                 |
| AC                | Si      | Si                            | Variable      | Fija                | Fija                 |
| PSV               | Si      | Si                            | Variable      | Variable            | Fija                 |
| PSV + VG          | Si      | Si                            | Variable      | Variable            | Variable             |

No hay estudios grandes que demuestren superioridad de una modalidad sobre otra.

### **Comparación de la modalidad AC versus SIMV**

La modalidad AC resulta en menos variabilidad del volumen corriente, menor taquipnea, con weaning más rápido, y pequeñas fluctuaciones de la presión arterial en comparación con SIMV. <sup>(5)</sup>

### **Consideraciones en SIMV en prematuros**

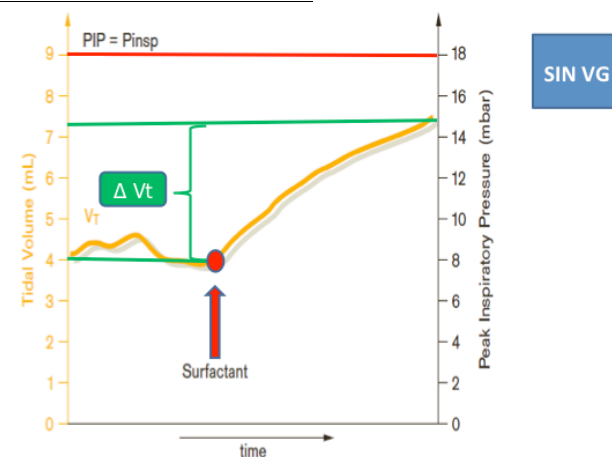
Esta modalidad en prematuros, que utilizan TET pequeños no provee un óptimo soporte dada la alta resistencia de la vía aérea y el > trabajo respiratorio. Cuando se realiza el weaning y se disminuye la FR, ocurre que a < FR el daño es mayor porque se requiere > Vt para mantener el Vm.

Al seleccionar una modalidad debes utilizar la modalidad más fisiológica para el paciente y de preferencia utilizando protocolo locales.

### **¿Qué cuidados debemos tener en la VM limitada por presión?**

- Cambios en la compliance, entregan Vt mayores generando volutrauma.
- Existe una disminución manual de parámetros que es lenta.
- Se generan episodios de hipocarbía inadvertida, con PCO<sub>2</sub> < 25 mmHg puede ocurrir en aproximadamente el 30% de los RN ventilados durante el 1er día de vida.

**Figura 11 Representación del Vt entregado en modalidad ventilatoria sin VG con cambios de compliance posterior a administración de surfactante.**



Para disminuir volutrauma (Vt altos y bajos) aparece como una estrategia ventilatoria la utilización de volumen garantizado en el manejo ventilatorio de los RN.

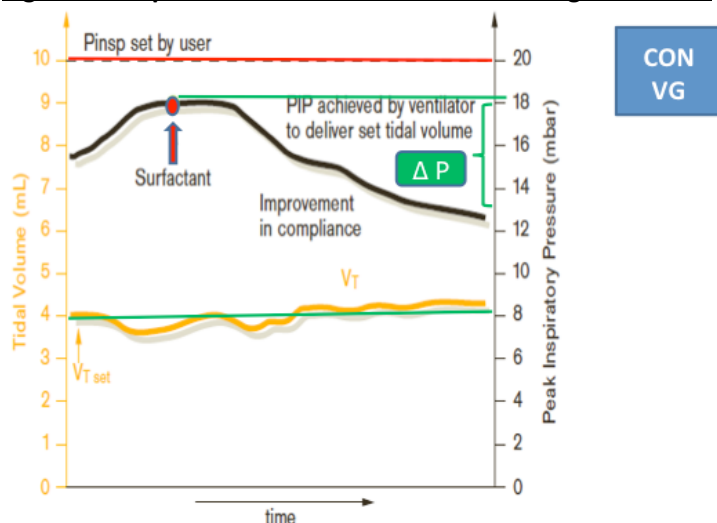
### **Volumen Garantizado (VG) en VM convencional**

Tiene el potencial de reducir el volutrauma (injurias pulmonares). Mantiene un Vt más estable. Estudios han demostrado menos mediadores inflamatorios al utilizar VG.

El ventilador mecánico compara el Vt exhalado del paciente en la inflación anterior y ajusta la presión inspiratoria hacia arriba o hacia abajo (presión de trabajo) para lograr el Vt programado (se utiliza el Vt espirado que es medido por el sensor de flujo para minimizar el artefacto por la fuga alrededor del TET)(6). El aumento del PIM en cada respiración es de 2 a 3 cmH<sub>2</sub>O (una modificación de alrededor del 25% de la presión de trabajo). Cuando el VT excede el 130% del VT

programado el ventilador abre automáticamente la válvula exhalatoria para terminar la inspiración para proteger de  $V_t$  excesivos. La presión inspiratoria máxima (PIM max) programada se sugiere que sea de 3 cmH<sub>2</sub>O por sobre la presión de trabajo (en algunos casos se debe subir hasta 5 cmH<sub>2</sub>O, pero con cautela con confirmación de posición de TET en Rx de tórax).

**Figura 12 Representación de VM con volumen garantizado**



En VM convencional utilizamos  $V_t$  objetivo de 4 a 6 ml/kg, el valor depende del PN, de la edad posnatal y la patología respiratoria (mayor  $V_t$  a < PN por mayor impacto del espacio muerto asociado al sensor de flujo, mayor  $V_t$  para la DBP o el síndrome aspirativo meconial) según  $pCO_2$  se debe ajustar de a 0,5 ml/kg. El  $V_t$  objetivo puede aumentar si el paciente permanece largos períodos en VM secundario a que la presión positiva tiende a estirar los tejidos inmaduros de la tráquea y la laringe (traqueomegalia adquirida) (6).

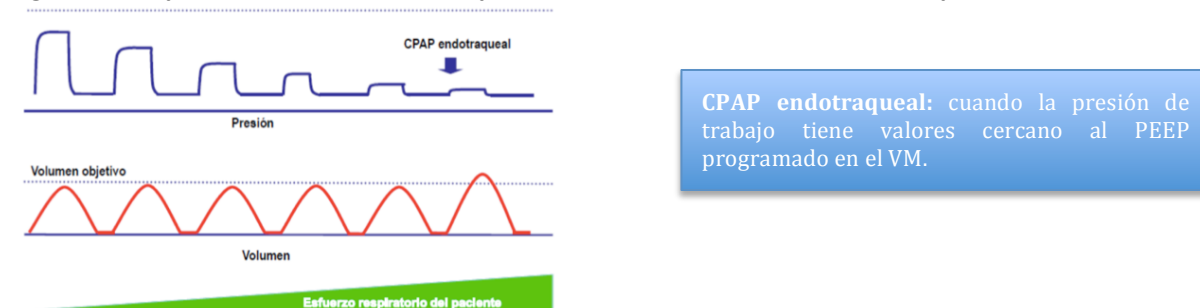
Se recomienda no utilizar el VG si existe una fuga mayor a 30% en ventiladores Babylog 8000 o de 50% de fuga en ventilador VN 500 porque se subestima el  $V_t$  (aumenta el riesgo de hipocapnea) (6). El VG se puede asociar a SIMV(+ PS), AC, PSV, VAFO.

Cuando no se logra el  $V_t$  programado sonará una alarma de  $V_t$  bajo, lo que debe ser evaluado por el equipo médico(6):

- 1) Secreciones bronquiales, necesidad de aspiración de secreciones.
- 2) Controlar Rx de tórax y evaluar atelectasia, neumotórax, posición del TET.
- 3) Evaluar distensión abdominal que genere una presión ascendente sobre el diafragma.

El RN puede generar espontáneamente el  $V_t$  programado, si esto ocurre el ventilador automática continuará bajando la presión de trabajo llegando a valores cercanos al PEEP programado (lo que llamamos caer en CPAP endotraqueal), que puede desencadenar que el RN se agote y ya no pueda sostener el esfuerzo, el ventilador puede nuevamente restablecer la ventilación programada pero en ausencia de contribución de RN la presión de trabajo volverá a subir para alcanzar el  $V_t$  objetivo, esto puede generar fluctuaciones de  $PCO_2$  y de pH con caídas intermitentes de la PMVA que puede contribuir a hemorragia intracraneana y atelectasias (6).

**Figura 13 Representación en curva de presión cuando RN cae CPAP endotraqueal**



Se recomienda que si el paciente comienza a caer en CPAP endotraqueal se debe tomar una conducta activa ya sea extubar o considerar suspender el VG y programar soporte mínimo para evitar el agotamiento del RN.

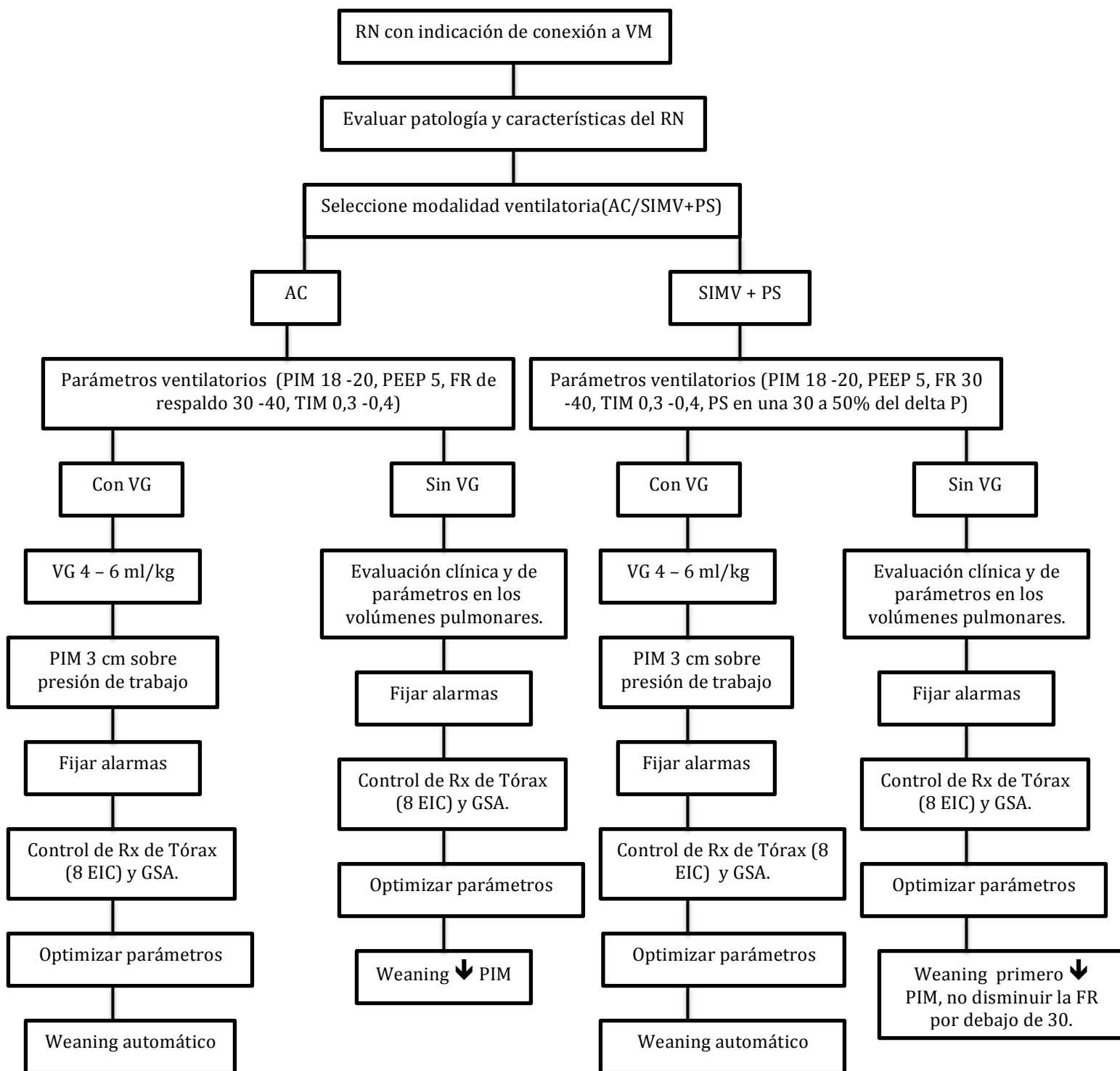
Otro punto importante a considerar es que el pH es el principal impulsor del control respiratorio, y que la respuesta fisiológica de la acidosis metabólica es la hiperventilación, es por esta razón que los valores de PCO<sub>2</sub> deben siempre interpretarse bajo este contexto. La acidosis metabólica es frecuente en los prematuros extremos por la función tubular renal inmadura y el alto consumo de proteínas los primeros días de vida, necesitando PCO<sub>2</sub> más bajas para lograr mantener un pH relativamente normal y para evitar el trabajo respiratorio excesivo y pérdida del reclutamiento pulmonar.

Durante el weaning no es necesario disminuir el Vt objetivo si eso mantiene la PCO<sub>2</sub> normal y al recién nacido cómodo sin apremio respiratorio, lo que importa es la disminución de la presión de trabajo para lograr ese volumen. Si el Vt objetivo es alto, aun requiere presiones de trabajo muy altas y la PCO<sub>2</sub> del paciente es normal se debe considerar disminuir el VG porque la presión de trabajo puede ser alta porque el VT objetivo que se esta administrando al paciente es mayor a la que requiere para lograr una ventilación adecuada. El VG ha demostrado ser más efectivo cuando se usa con la modalidad A/C que con SIMV.

La modalidad de VG ha demostrado diferentes beneficios (7) :

- Muerte o DBP RR 0.73 (0,59, 0,89)
- Duración de la VPP (días) 1,35 (-1,83 , -0,86)
- Hipocarbía PCO<sub>2</sub> < 35mmHg RR 0,49 (0,33,0,72)
- Neumotórax RR 0,52 (0,31,0,87)
- Leucomalacia periventricular RR 0,45 (0,21,0,98)
- HIV grado III – IV -0.09 (-0,14, -0,04)
- HIV grado III – IV o LPV RR 0,47 (0,27, 0,80)
- DBP (O2 36 sem) RR 0,68 (0,53,0,87)
- Sin diferencias en mortalidad
- Sin diferencias en menores de 1000 gramos.

### Algoritmo de manejo ventilatorio en recién nacidos





## **Preparación para conexión de paciente a ventilación mecánica invasiva**

### **Pasos generales**

- Elección del mejor ventilador mecánico disponible:
  - Según patología.
  - Según EG y PN.
- Elección de modalidad ventilatoria.
  - AC o SIMV + PS <sup>(5)</sup>.
  - Si selecciona SIMV + PS
    - PS debe ser entre un 30 a un 50% del delta de presión (diferencia entre PIM y PEEP), inicialmente programar el mayor soporte posible.
  - Si selecciona AC, fijar alarma de FR para evitar invertir relación I:E.
  - Si esta disponible siempre utilizar VG.
  - Trigger de Babylog 8000 es 1.
  - Trigger de VN 500 es 0,2 L/min.
  - Flujo iniciar en 8 litros, se puede aumentar flujo hasta 10 litros.
- Instalación de PCO<sub>2</sub>Tc en caso de que este disponible.

### **Programación de parámetros ventilatorios sin utilizar VG.**

- **Programación de presión inspiratoria máxima (PIM).**
  - PIM inicial entre 18 a 20 y evaluar con movilización del tórax y Vt movilizadas.
- **Programación de presión espiratoria al final de la espiración (PEEP).**
  - PEEP inicial 5 (PEEP entre 4 a 6, modificar según radiografía de tórax, pacientes crónicos pueden requerir PEEP más altos).
- **Programación del Tiempo inspiratorio máximo (TIM).**
  - Según patología y Ct de tiempo.
  - Ct corta TIM cortos (0,30 - 0,35) (EMH)
  - Ct largo TIM largos (0,40 - 0,50). (DBP, pulmón sano)
  - Evaluar el TIM en la curva de flujo/tiempo.
- **Programación de frecuencia respiratoria (FR).**
  - Setear FR entre 30 a 40 respiraciones por minuto.
  - Modificar FR según Vm o PCO<sub>2</sub>.
- **Evaluación luego de programación de parámetros ventilatorios.**
  - Evaluar las mediciones entregadas por el ventilador mecánico de:
    - Vt que movilice entre 4 a 6ml/Kg <sup>(5)</sup>.
    - Evaluar el Vt espontáneo en modalidad SIMV+ PS.
    - Vm que movilice 200ml/kg/min y correlacionar con PCO<sub>2</sub> del paciente.
    - Compliance (normal o disminuida)
    - Resistencia (normal o alta)
    - Fuga (evaluar por % de fuga, permitir entre 30 a 50%)
    - PIM entregado, PEEP entregado, FR del paciente.
  - Control de radiografía de tórax.
  - Control de gases arteriales.
  - Correlacionar PCO<sub>2</sub> de gases arteriales con PCO<sub>2</sub>Tc.

### **Programación de parámetros ventilatorios con VG**

- **Programación de presión inspiratoria máxima (PIM).**
  - PIM inicial entre 18 a 20 y evaluar con movilización del tórax y Vt movilizado.
  - Programar el VG entre 4 a 6 ml/kg.
  - Evaluar presión de trabajo con VG programado y nuevamente establecer el PIM máxima (3 puntos más que presión de trabajo).
- **Programación de presión espiratoria al final de la espiración (PEEP).**
  - PEEP inicial 5 (PEEP entre 4 a 6, modificar según radiografía de tórax, pacientes crónicos pueden requerir PEEP más altos).
- **Programación del Tiempo inspiratorio máximo (TIM).**
  - Según patología y Ct de tiempo.
  - Ct corta TIM cortos (0,30 - 0,35). (EMH)
  - Ct largo TIM largos (0,40 -0,50). (DBP, pulmón sano)
  - Evaluar el TIM en la curva de flujo/tiempo.
- **Programación de frecuencia respiratoria (FR).**
  - Setear FR entre 30 a 40 respiraciones por minuto.
  - Modificar FR según Vm o PCO<sub>2</sub>.
- **Evaluación luego de programación de parámetros ventilatorios.**
  - Evaluar las mediciones entregadas por el ventilador mecánico de:
    - Vt que logre el Vt programado, si no lo lograr modificar PIM máxima con control de Rx tórax.
    - Evaluar el Vt espontáneo en modalidad SIMV+ PS.
    - Vm que movilice 200ml/kg/min y correlacionar con PCO<sub>2</sub> del paciente.
    - Compliance (normal o disminuida)
    - Resistencia (normal o alta)
    - Fuga (evaluar por % de fuga, permitir entre 30 a 50%)
    - PIM entregado, PEEP entregado, FR del paciente.
  - Control de radiografía de tórax.
  - Control de gases arteriales.
  - Correlacionar PCO<sub>2</sub> de gases arteriales con PCO<sub>2</sub>Tc.

### **Fijar alarmas del ventilador mecánico**

- Vm ideal (aprox 200 ml/kg): ajustar con VM requerido por el paciente para lograr PCO<sub>2</sub> normal.
- Vm mínimo: 100 a 150 ml/kg (dependerá del Vm ideal +- 30% menos)
- Vm máximo aproximadamente 300 a 350 ml/Kg( +- 30% más)
- FR máxima (para evitar inversión relación I:E).
- Registrar alarmas en indicaciones médicas.

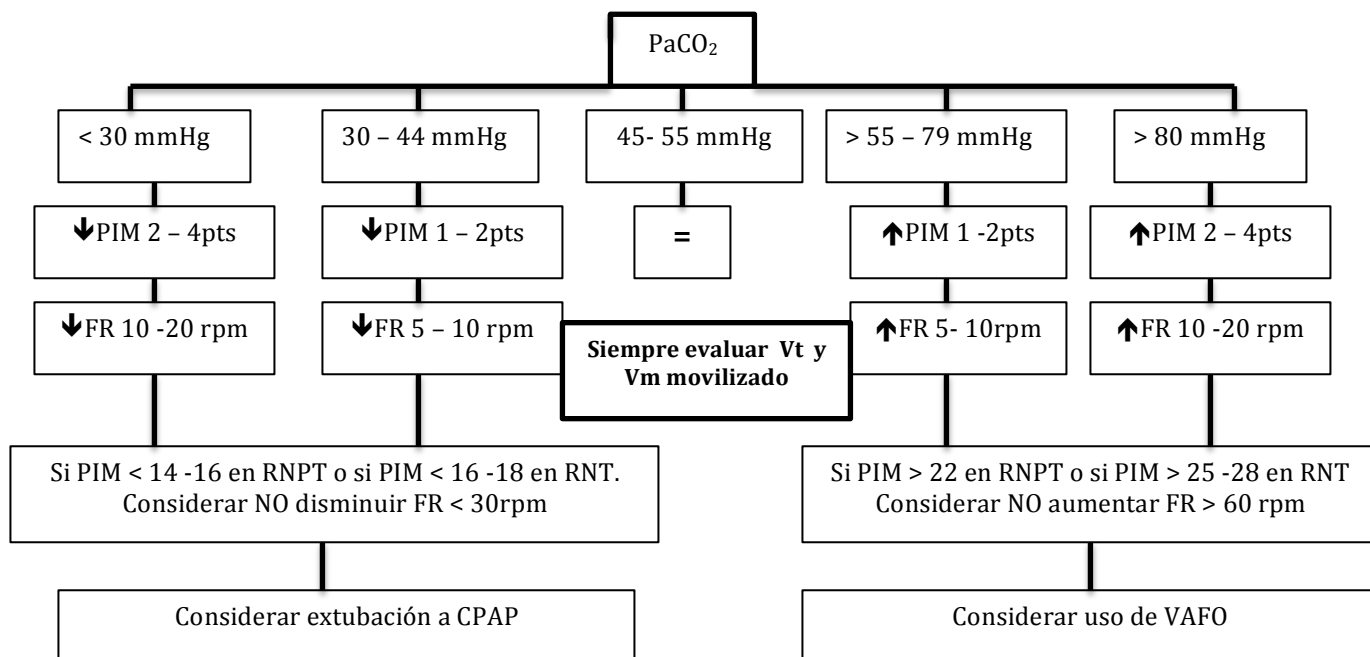
### Enfoque práctico de modificaciones de parámetros ventilatorios según valor de $PCO_2$

Las modificaciones se deben realizar según resultado de  $PCO_2$  arterial, en caso de no estar disponible corregir a un valor estimado de  $PCO_2$  arterial, ejemplo  $PCO_2$  venosa habitualmente 5 puntos mayor que la  $PCO_2$  arterial, y en los casos de  $PCO_2$  Tc establecer correlación de  $PCO_2$  arterial con la del  $PCO_2$  Tc para establecer los puntos de diferencia que existen entre estos valores (con valores  $< 30$  o  $> 90$  de  $PCO_2$  Tc considerar si es factible controlar GSA antes de modificar los parámetros ventilatorios a esos rangos de  $PCO_2$  los puntos de correlación pueden modificarse)

### ¿Cómo modificar parámetros según valor de $PaCO_2$ o $PaO_2$ ?

| Meta deseada       | PIP       | PEEP      | FR        |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|
| Disminuir $PaCO_2$ | Aumentar  | Disminuir | Aumentar  |
| Aumentar $PaCO_2$  | Disminuir | Aumentar  | Disminuir |
| Disminuir $PaO_2$  | Disminuir | Disminuir |           |
| Aumentar $PaO_2$   | Aumentar  | Aumentar  |           |

### Recomendaciones de modificación de parámetros ventilatorios según $PaCO_2$



### Destete de ventilación mecánica neonatal

Las modalidades ventilatorias seleccionadas AC o SIMV + PS, no son necesarias de cambiar para iniciar el destete de VM mecánica. Cuando utiliza la modalidad VG el weaning es automático. Si la modalidad es sin VG se deben realizar weaning disminuyendo el PIM, manteniendo la FR entre 30 a 40 respiraciones por minuto de respaldo (5) .

### Valores objetivos de gases arteriales (5).

- Mantener  $PCO_2$  en rangos de 45 a 55 mmHg.
- Mantener ph entre 7,25 – 7,35
- $FiO_2$  para mantener Saturación entre 88-92% o objetivos de 90 -95% en prematuros.
- $FiO_2$  para mantener Saturación entre 90 -95% en RN de término o RN con http,.

### Modificación de parámetros ventilatorios

| Mejorar oxigenación (aumento de $PaO_2$ )                                                                                                                                                                                                                                                    | Mejorar la Ventilación (Disminuir la $PCO_2$ )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Aumento de la PMVA</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de tiempo inspiratorio</li> <li>• Disminución del tiempo espiratorio</li> <li>• Aumento de la FR</li> <li>• Aumento de la presión inspiratoria</li> <li>• Aumento del PEEP</li> <li>• Aumento de Flujo</li> </ul> | <b>Aumentar la ventilación minuto (Vm)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento del <math>V_t</math> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Aumento de delta de presión <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>\uparrow</math> PIM con PEEP constante</li> <li>▪ <math>\downarrow</math> PEEP con PIM constante</li> </ul> </li> <li>○ Mejoría de compliance: surfactante</li> <li>○ Aumento del volumen garantizado de 0,5ml/kg.</li> </ul> </li> <li>• Aumento de la FR</li> </ul> |
| <b>Aumento de la <math>FiO_2</math></b>                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

### Parámetros pre extubación (5)

- Presiones de trabajo o PIM seteado entre 10 a 14.
- $FiO_2$  menor de 30 a 35%.
- PMVA < 7 cmH<sub>2</sub>O en prematuros y < 8 cmH<sub>2</sub>O en RNT.
- RN con buen esfuerzo respiratorio.
- En menores de 1000 gramos con ecocardiograma pre extubación (en la primera semana de vida para evaluar DAP).
- En menores de 1500 gramos y/o menores de 32 semanas con uso de metilxantinas.
- Rx de tórax sin atelectasias.

### Consideraciones para lograr una extubación exitosa <sup>(8) (9)</sup>.

- Uso de cánulas binasales cortas o máscara nasal.
- **Uso de CPAP**, de preferencia ciclado en prematuros menores de 1500 g y/o menores de 32 semanas.
  - Parámetros del ciclado en CPAP
    - Presión inspiratoria peak de 2 a 4 puntos mayor que el PIP en VM convencional.

- PEEP 1 a 2 puntos mayor que el utilizado en la VM convencional (ideal entre 6 a 7 cmH<sub>2</sub>O)
- FR de respaldo entre 30 a 40 x
- TIM de 0,5 seg mas largo que lo que tenía en VM convencional.
- Flujo entre 6 a 8 litros para lograr mantener la presiones entregadas puede ser necesario aumentar el flujo hasta 10 litros.
- **Uso de metilxantinas:**
  - Cafeína citrato de preferencia ev en caso de que no es posible la vía oral con dosis de carga de 20 mg/Kg seguido de una mantención entre 8 a 10 mg/Kg/d administrada cada 24 h.
  - Aminofilina ev dosis de carga de 8mg/Kg y luego dosis de mantención de 2mg/kg/dosis cada 8 horas, cambio a cafeína citrato oral cuando se logre VE entre 80 a 100ml/kg/d.
- **Corticoides posnatales** (cauteloso), uso en RN prematuros con alto riesgo de DBP severa, que requieran VM con altos parámetros ventilatorios y altos requerimientos de oxígeno y que tengan más de 2 a 3 semanas de vida.
- Coordinar **kinesioterapia** respiratoria pre extubación (cautela)

En nuestro servicio de neonatología el paso a CPAP se realiza de la siguiente manera con el objetivo de disminuir el riesgo de desreclutamiento sobre todo en prematuros, el procedimiento es realizado a 4 manos. Se aspiran secreciones de boca y luego de TET. Se realiza el retiro con removedor de las telas de fijación del TET y se instala primero la cánula nasal corta o la máscara nasal del CPAP con sus protecciones contra lesiones por presión, luego se ventila a través del tubo endotraqueal al paciente con bolsa y máscara autoinflable (con válvula de PEEP y manómetro de presión entregando los mismos parámetros ventilatorios que tenía en el ventilador mecánico) también se puede utilizar reanimador de pieza en T si esta disponible, una vez conectado el circuito del CPAP al paciente se inicia la VM no invasiva por el ventilador mecánico con los parámetros programados y se retira suavemente el TET. Posterior al retiro del TET se debe auscultar ambos campos pulmonares para asegurar un adecuada entrada de aire de forma simétrica.

Posterior a la extubación debe estar continuamente evaluando la evolución clínica del paciente para decidir si es necesario modificar los parámetros seteados (si hay apremio respiratorio o altos requerimientos de oxígeno muchas veces es necesario aumentar los parámetros programados), controlar gases arterial y radiografía de tórax a las 6 a 8 horas posterior a la extubación.

#### **Parámetros de falla de extubación para considerar reintubar al paciente. (5)**

Considerar intubación si a pesar de apoyo ventilatorio no invasivo máximo (PIM 25, PEEP 7, FR 50 TIM 0,45 – 0,5, flujo de 10 litros) cumple con los siguientes criterios:

- 1) FiO<sub>2</sub> > 50%.
- 2) Ph menor a 7,2 y/o PCO<sub>2</sub> mayor a 60 mmHg.
- 3) Apneas mayor de 6 episodios cada 6 horas.
- 4) 1 a 2 Apneas que requieran ventilación a presión positiva.

## Ventilación de alta frecuencia

La ventilación de alta frecuencia llama la atención en la comunidad médica en 1970 donde aparecen los primeros reportes. Primer reporte en la literatura en recién nacidos por Frantz y col en el año 1983. Genera FR suprafisiológicas (240-900 respiraciones por minuto 4-15 Hertz). VC muy pequeños (1-2ml/kg) = o < al espacio muerto alveolar. La ventilación ocurre en una pulmón continuamente abierto, reduciendo así notablemente la sobredistensión alveolar, condicionante del daño por VM <sup>(10)</sup>.

### Tipos de ventiladores de alta frecuencia (VAF)

#### 1) Oscilador:

- Diafragma vía exhalatoria (Drager Babylog 8000®, Drager VN 500)
- Diafragma vía inspiratoria (Sensor Medics®, Fabian®, SLE 5000®)
- Pistón (Hummingbird V®)

#### 2) Jet:

- Bunnell Lifepulse jet ventilator

#### 3) Interruptor de flujo:

- Infant Star

Los ventiladores híbridos son ventiladores mecánicos que pueden administrar VM convencional y VAF, los modelos de ventiladores híbridos son: Drager Babylog 8000®, Drager VN 500, Fabian®, SLE 5000®, Leoni plus y Sophie.

La VAF oscilatoria utiliza un pistón o diafragma para producir flujos de gas oscilatorio dentro de las vías respiratorias. Estos flujos de gas oscilatorio dan como resultado pequeños volúmenes de gas que se mueven hacia y desde el paciente. Tanto el Fabian como el VN500 proporcionan una forma de onda de presión sinusoidal, y SM3100A ofrece una forma de onda de presión más cuadrada <sup>(11)</sup>.

### Intercambio de gases en VAF

- Ventilación alveolar directa de alvéolos proximales (unidades con mínimo espacio muerto).
- Aumento de difusión en vías aéreas grandes y medianas dado por un perfil de velocidad asimétrica de flujo en inspiración/expiración
- Efecto Pendelluft: recirculación de gas entre alvéolos con distinta cte. de tiempo (tiende a equilibrar [gas] facilitando el intercambio en las unidades alveolares distales).
- Difusión molecular en alvéolos terminales, cerca de la membrana alvéolo capilar
- Ventilación colateral: alvéolos terminales comunicados

### Indicaciones de VAFO

#### 1) Falla respiratoria aguda refractaria a VM convencional

- Índice de Oxigenación (IO) > 15, o PIM altos > 22 en RN prematuros
- IO > 20 o PIM altos > 25 en RN de término

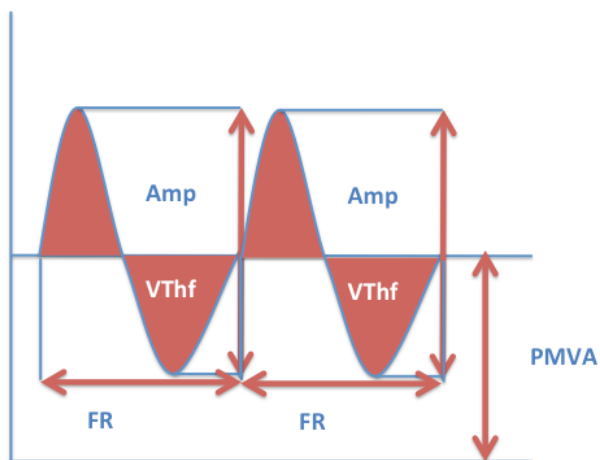
#### 2) Candidatos a ECMO

#### 3) Escapes aéreos

- Enfisema intersticial, Neumotórax, fístula broncopleurales, neumopericardio, etc.

#### 4) Hipertensión pulmonar persistente primaria o 2ª (SAM, HDC)

**Figura 14: Curva en VAF**



- **Amp:** Representa la amplitud de la curva.
- **VThf:** el Volumen tidal de alta frecuencia entregado
- **FR:** Frecuencia respiratoria.
- **PMVA:** Presión media de la vía aérea

#### **Manejo ventilatorio en VAF <sup>(11)</sup>**

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Mejorar oxigenación (aumento de PaO<sub>2</sub>)</b>                           | <b>Mejorar la Ventilación (Disminuir la PCO<sub>2</sub>)</b>                                                                                                                                                                                                   |
|                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Confirmado reclutamiento adecuado con Rx de tórax 8 a 9 EIC.</li> </ul>                                                                                                                                               |
| <b>Aumento de la PMVA hasta lograr un adecuado reclutamiento Rx con 8 a 9 EIC</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Aumentar el Volumen tidal de alta frecuencia</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Aumentar amplitud</li> <li>○ Disminuir la FR</li> <li>○ Modificar relación I:E (1:2 cambio a 1:1)</li> </ul> </li> </ul> |
| <b>Aumento de la FiO<sub>2</sub></b>                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Aumento de DCO<sub>2</sub></b></li> </ul>                                                                                                                                                                          |

**VThf:** volumen tidal de alta frecuencia

**DCO<sub>2</sub>:** coeficiente de difusión

El DCO<sub>2</sub> es el equivalente del Vm de la VM convencional. La fórmula de DCO<sub>2</sub> es <sup>(10)</sup>:

$$\text{DCO}_2: \text{Vthf}^2 \times \text{FR}$$

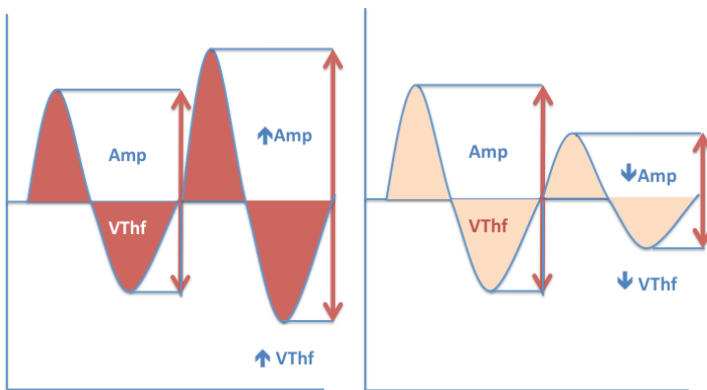
El DCO<sub>2</sub> requerido es relativamente estable durante un período de unos pocos días. Los requisitos de DCO<sub>2</sub> son más bajos si el RN que respiran espontáneamente y contribuye a su propio intercambio de gases.

- Se requieren DCO<sub>2</sub> de 60-80 mL<sup>2</sup>/kg<sup>2</sup>/s para el RN con respiración espontánea mínima.
- Se requieren DCO<sub>2</sub> de 40-60 mL<sup>2</sup>/kg<sup>2</sup>/s para el RN con respiración espontánea.

**Se reduce la entrega de volumen corriente cuando se utiliza VAF sin garantía de volumen si hay:**

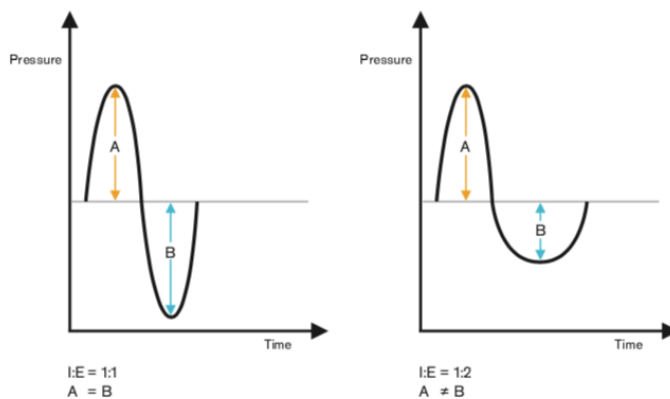
- Disminución de la amplitud ( $\Delta P$ ).
- Disminución de la distensibilidad pulmonar (especialmente cuando se utilizan FR bajas en el ventilador).
- Cambio de la relación I:E de 1:1 a 1:2 (se reduce el tiempo inspiratorio, por lo tanto, disminuye el tiempo para entregar el volumen corriente al pulmón).
- Aumento de la frecuencia (reduce el tiempo inspiratorio absoluto para cualquier relación I:E dada, lo que también disminuye el tiempo para administrar el Vc al pulmón).
- Aumento de la resistencia de la vía aérea (aumenta la constante de tiempo, por lo tanto, se entrega menos volumen corriente dentro del mismo tiempo inspiratorio).

**Figura 15: Modificación de la amplitud y efecto en VThf**



A mayor amplitud mayor VThf, a menor amplitud menor VThf.

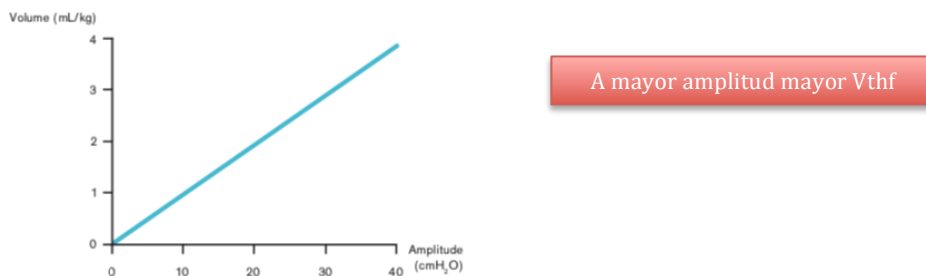
**Figura 16: Representación de curva de presión al modificar la relación I:E**



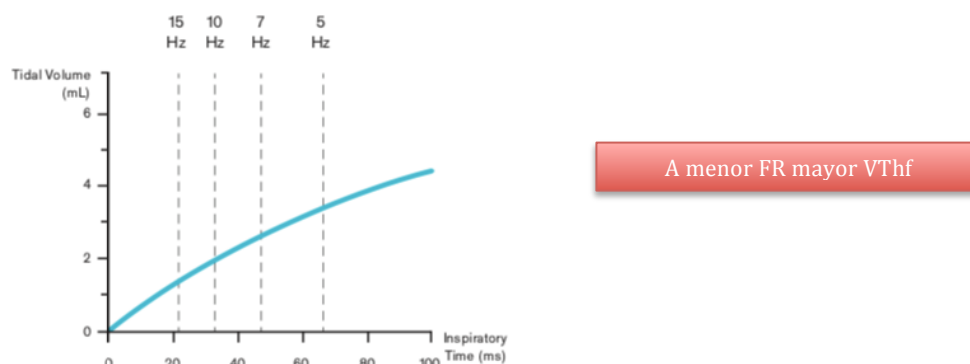
Con relación I:E 1:1 se entrega mayor VThf que con relación I:E 1:2



**Figura 17: Modificación del VThf al modificar la amplitud**



**Figura 18: Modificación del VThg al modificar la FR**



Cuando se utiliza VAF sin volumen garantizado, el volumen corriente se modifica en respuesta de la PCO<sub>2</sub> sanguínea o PCO<sub>2</sub>Tc:

- **Amplitud o Delta-P (lo más importante)**

Las modificaciones de la PaCO<sub>2</sub> se logran alterando la amplitud de presión oscilatoria (o potencia). Aumentar la amplitud aumenta el desplazamiento del diafragma/pistón, lo que aumenta la Vt entregada al paciente, bajando la PaCO<sub>2</sub>.

- **Frecuencia (Hz)**

Bajar la frecuencia aumenta el volumen corriente (cuando hay una relación I: E fija), bajando así la PaCO<sub>2</sub>. Sin embargo, a medida que disminuye la frecuencia, aumenta el porcentaje de la amplitud oscilatoria transmitida a las vías aéreas proximales. La frecuencia, a la cual esta amplitud aumenta significativamente, está influenciada por las propiedades mecánicas del pulmón. La frecuencia apropiada depende de la enfermedad a tratar. Para el SM3100A, se usan frecuencias más altas (12-15 Hz) para pacientes con baja compliance (por ejemplo, EMH), mientras que las frecuencias más bajas (8-10 Hz) se usan en presencia de alta resistencia (por ejemplo, SAM, DBP). Los RN más pequeños con pulmones mal adaptados requieren frecuencias más altas que los RN más maduros. Los ventiladores híbridos pueden tener una capacidad limitada para alcanzar los volúmenes corrientes requeridos a altas frecuencias, en ausencia de respiración espontánea. Puede ser necesario usar frecuencias más bajas en ventiladores híbridos que los seleccionados previamente cuando se usa el SM3100A (Figura 20). En general, **se debe utilizar la frecuencia más alta posible** para reducir el riesgo de barotrauma cuando se utiliza el modo VAF en ventiladores híbridos.

- **Relación Inspiración/Espiración**

La relación I:E generalmente se establece en 1:2 para Fabian y VN500, o 33% (% de tiempo inspiratorio) en el SM3100A. Aumentar la relación I: E a 1:1 (Fabian, VN500) o 50% de tiempo

inspiratorio (SM3100A) puede mejorar la eliminación de  $\text{CO}_2$  en cualquier frecuencia dada. Al aumentar el tiempo inspiratorio absoluto de esta manera, se puede administrar más volumen corriente. Esto es más necesario hacerlo en el VN 500 para poder optimizar la entrega de  $\text{V}_{\text{Thf}}$ .

### Volumen garantizado en ventilación de alta frecuencia.

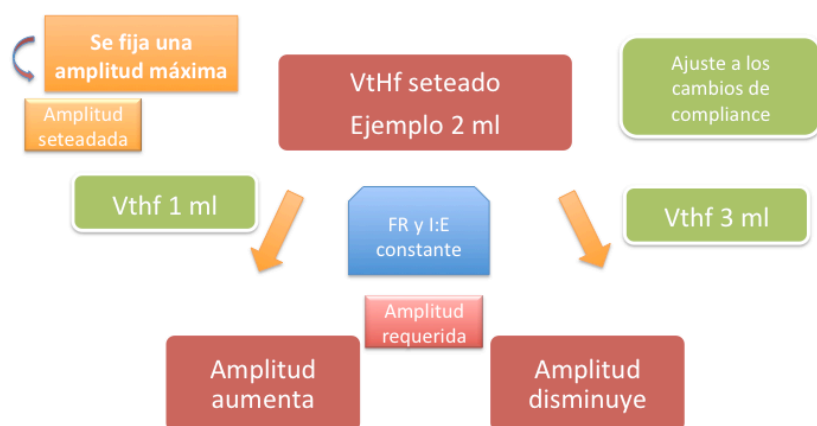
La garantía de volumen (VG) con VAF está disponible en los ventiladores VN500 y Fabian y no está disponible en el SM3100A. Permite establecer un volumen corriente predefinido, independientemente de otras variables del ventilador, como la frecuencia y la relación I:E, o las propiedades mecánicas de las vías respiratorias y los pulmones (Figura 19). El médico define una amplitud máxima, y el ventilador ajustará la amplitud suministrada según sea necesario (hasta la amplitud máxima predefinida) para lograr el volumen corriente establecido.

Existen beneficios teóricos sustanciales de usar VG durante HFOV para mantener una  $\text{PaCO}_2$  más estable (por  $\text{V}_{\text{Thf}}$  más estable) y, por lo tanto, también un flujo sanguíneo cerebral más estable, con menos incidencia de hipo o hipercapnea y menos fluctuaciones de la saturación (menos episodios de desaturación bajo 80%). La VAF con VG puede ser particularmente ventajoso en situaciones clínicas en las que es probable que la resistencia o la compliance cambien, como con las secreciones (aumento de la resistencia) o durante la optimización del volumen pulmonar (cambio de compliance) o la administración de surfactante (aumento de la resistencia inicial seguido de un aumento de la compliance).

El uso de VAF con VG está respaldado por un pequeño ECA para mejorar la estabilidad de  $\text{PaCO}_2$ , el volumen corriente administrado se mantendrá razonablemente constante a medida que se cambia la frecuencia (a menos que las limitaciones de rendimiento de la ventilación se alcancen a frecuencias más altas). Por lo tanto, a menos que el clínico disminuya el volumen corriente establecido para mantener un  $\text{DCO}_2$  constante como la frecuencia aumenta (o viceversa si se reduce la frecuencia), el RN desarrollará inestabilidad en su intercambio de gases (lo que resulta en una sobreventilación marcada o bajo ventilación, dependiendo de la dirección del cambio de frecuencia <sup>(12)</sup>).

El cambio de la relación I: E en VAF con VG no tendrá efecto en el volumen corriente entregado (pero alterará el delta P requerido para alcanzar ese volumen corriente).

**Figura 19: Ejemplo VAF con VG**



## Manejo clínico de los pacientes en VAF

El objetivo de la VAF es mantenerse en la curva óptima de compliance para proporcionar oxigenación y ventilación adecuadas <sup>(10)</sup>.

Para cambiar a VAF desde VM convencional considere y programe:

- La actual PMVA en VM convencional y programar de 2 a 3 cmH<sub>2</sub>O por encima.
- Adecuado reclutamiento pulmonar (evaluado con Rx de tórax).
- Causa del SDR (determinará la estrategia a utilizar).
- Relación I:E 1:2
- FR la más alta posible generalmente 10 Hz en VN 500.
- Aumente la amplitud hasta obtener una vibración del tercio medio del abdomen
- Cuando sea posible, coloque Monitor de PCO<sub>2</sub>Tc
- Evaluar la inflación pulmonar con una radiografía de tórax 30 a 60 minutos después de comenzar la VAF. (Rx con 8 a 9 EIC)

## Comenzando la VAF con VG <sup>(10)</sup>

- Inicie la VAF sin VG según la guía anterior.
- Debe iniciar el monitoreo de la PCO<sub>2</sub>Tc verificar la precisión antes de comenzar.
- Una vez que se ha alcanzado un estado estable con pCO<sub>2</sub>Tc estable en el rango objetivo, entonces:
  - Registre el VThf y la amplitud que está dando el ventilador.
  - Establezca VG en el VT proporcionado por el ventilador.
  - Establezca la amplitud máxima un 20% por encima de la amplitud utilizada
  - Si alarma VThf bajo, evalúa si existe un cambio en el estado clínico del paciente o en el proceso de la enfermedad (desregulación pulmonar, empeoramiento enfermedad, neumotórax, etc.).

| Variable a modificar    | Manejo                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Hipoxia</b>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Aumento de la FiO<sub>2</sub></li> <li>○ Aumento de la PMVA (por pulmón desreclutado)</li> <li>○ Disminución de la PMVA (por pulmón hiperinsuflado)</li> </ul>                                                    |
| <b>Hiperoxia</b>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Disminución de la FiO<sub>2</sub></li> <li>○ Disminución de la PMVA</li> </ul>                                                                                                                                    |
| <b>Hipercapnea</b>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Obstrucción por secreciones bronquiales.</li> <li>○ Cambios en compliance (sobredistensión o desreclutamiento).</li> <li>○ Aumentar el VThf</li> <li>○ Aumentar la amplitud y disminuir la FR (Sin VG)</li> </ul> |
| <b>Hipocapnea</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Disminuir el Vthf</li> <li>○ Disminuir la amplitud y aumentar la FR (Sin VG)</li> <li>○ Disminuir la FR con VG (al disminuir la DCO<sub>2</sub>)</li> </ul>                                                       |
| <b>Hiperinsuflación</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Disminuir la PMVA (si tolera)</li> </ul>                                                                                                                                                                          |
| <b>Hipotensión</b>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Disminuir la PMVA</li> <li>○ Manejo con apoyo vasoactivo</li> </ul>                                                                                                                                               |

### **Cálculo de índice de oxigenación (IO)**

La medición del IO debe realizarse cada vez que se controlen gases arteriales en un pacientes en VAF. La fórmula es la siguiente:

$$\text{IO: } \frac{\text{PMVA} \times \text{FiO}_2 \times 100}{\text{PaO}_2}$$

Si el IO es mayor o igual a 20, considerar uso de óxido nítrico inhalatorio.

EL VThf varía entre 1 a 3,5 ml/kg, la mayoría de las veces no se requiere un VThf mayores de 2,5ml/Kg, el volumen necesario para cada RN dependerá de su patología y estadio de la enfermedad. El ajuste de volumen debe ser según la PCO<sub>2</sub> del paciente (DCO<sub>2</sub> 40 a 60ml/kg). Siempre evaluar el VThf y DCO<sub>2</sub> del paciente <sup>(12)</sup> <sup>(13)</sup>.

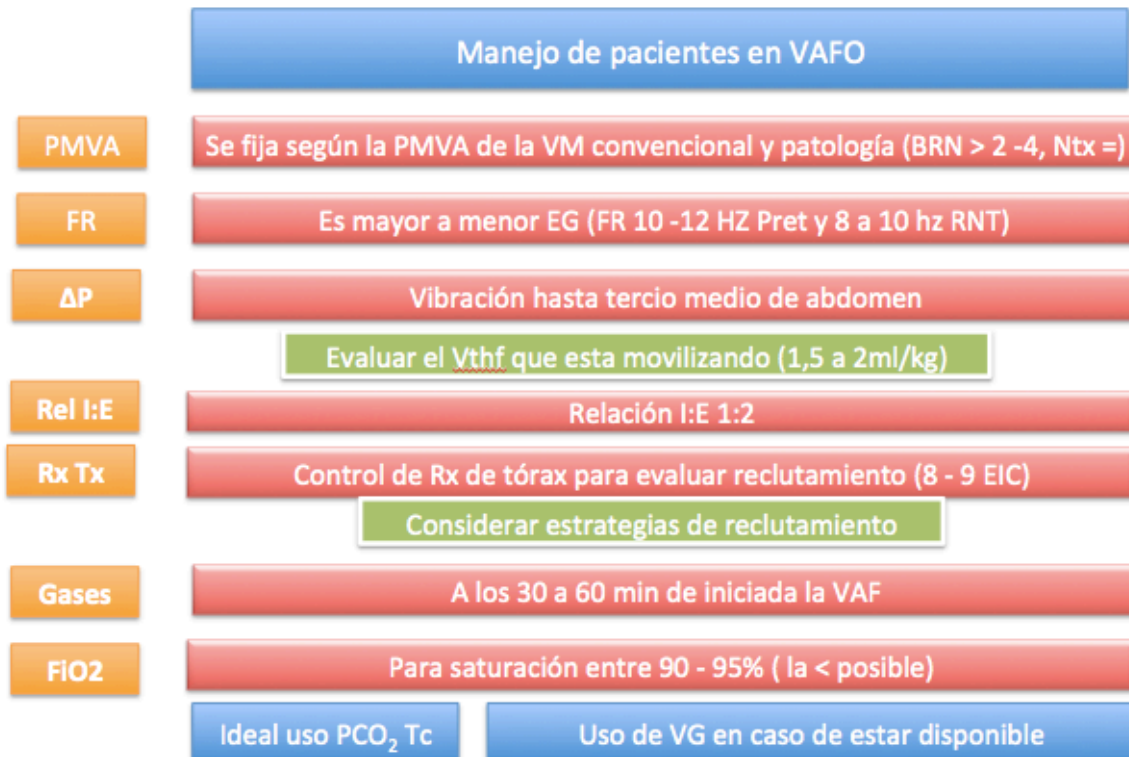
### **Modificaciones de la amplitud en VAFO con VG**

Una vez seteada la amplitud máxima se debe monitorizar la amplitud requerida para lograr el VG. En algunos casos puede ser que la amplitud seteada no sea suficiente para lograr el VG y será necesario aumentarla para que logre el objetivo de volumen. Otra opción es que el volumen garantizado no se logre porque la amplitud no aumenta a pesar de que aun le queda rango de aumento y en esos casos será necesario modificar la frecuencia (bajar la FR), para que pueda la amplitud aumentar y lograr el VG. Si la amplitud requerida es mantenida bajo 20 cm H<sub>2</sub>O debes modificar la FR para que en lo posible la amplitud no baje de 18 a 20 cmH<sub>2</sub>O. Es importante no olvidar el registro tanto de la amplitud máxima y de la amplitud requerida.

### **Resumen de manejo de paciente en VAF (Figura 20)**

Primero se deberá setear los parámetros ventilatorios a programar. Se programa la PMVA dependiendo del valor en que tenía en la VM convencional y de la patología pulmonar. En el VN 500 automáticamente cuando se programa la VAF la PMVA queda 2 puntos por arriba de lo requerido en VM convencional por lo que hay tener cuidado si no es lo que quieres programar. La FR programa inicialmente en prematuros será entre 10 a 12 y en RN de término entre 8 a 10 Hz y será modificada según los requerimientos de VThf para lograr una PCO<sub>2</sub> dentro de rangos normales. Luego debemos evaluar clínicamente cual es la amplitud requerida según la vibración que debe ser hasta el tercio medio del abdomen (iniciar entre 20 a 25 cmH<sub>2</sub>) y modificar según lo que evalúas. La relación I:E programada debe ser 1:2. Una vez que programas los parámetros debes evaluar el VThf que moviliza el paciente idealmente entre 1,5 a 2 ml/kg <sup>(13)</sup>. Instalar si esta disponible el PCO<sub>2</sub>tc (lograr una PCO<sub>2</sub> Tc entre 40 a 60 mmHg) para luego correlacionar con los gases arteriales tomados para poder conocer los puntos de variaciones entre la PCO<sub>2</sub> Tc y la PaCO<sub>2</sub>. Solicitar control de Rx de tórax para poder evaluar el reclutamiento nuestro objetivo es mantener la insuflación pulmonar con 8 a 9 EIC en la Rx. Luego de eso controlar unos gases arteriales a los 30 a 60 min de iniciada la VAF. La FiO<sub>2</sub> debe ser modificada para target entre 90 a 95% (la menor FiO<sub>2</sub> posible). Se recomienda usar la VAF con VG en caso de estar disponible.

**Figura 20: Resumen de manejo de paciente en VAF en Babylog VN 500**



#### Estrategias de reclutamiento en VAF <sup>(14)</sup>

Iniciar la VAF con una PMVA de 2 a 4 cm H<sub>2</sub>O mayor que la VM convencional, y solo una PMVA igual o menor que la de VM en caso de patología pulmonar como escapes aéreos y la FIO<sub>2</sub> para mantener target de saturación entre 90 a 95% (utilizar la mínima FiO<sub>2</sub> posible). En las patologías pulmonares que no sean escapes aéreos se puede utilizar estrategias de reclutamiento pulmonar. Una vez programada la PMVA inicial se aumenta la PMVA de 1 a 2 cmH<sub>2</sub>O cada 2 a 3 minutos e iniciar disminución de la FiO<sub>2</sub> si la oxigenación mejora. Detener el reclutamiento si la FiO<sub>2</sub> baja de 30% o si la oxigenación no mejora. Luego disminuir la PMVA de 1 a 2 cm cada 2 a 3 minutos hasta que la oxigenación se deteriore. Luego de encontrada la PMVA en el cual la oxigenación se deteriore aumentarla entre 1 a 2 cmH<sub>2</sub>O para mantener reclutamiento pulmonar<sup>(14)</sup>.

#### Recomendaciones generales de paciente en VAF

- Sedación según necesidad, evitar paralizantes. Una vez que se decida realizar weaning de VAF para eventual paso a VM considerar disminución de la sedación en esa etapa.
- La monitorización de los siguientes parámetros es fundamental:
  - Presión arterial (invasiva idealmente)
  - Saturometría pulsátil preductal (en caso de pacientes cursando con hipertensión pulmonar se debe monitorizar saturación pre y posductal)
  - PCO<sub>2</sub> transcutáneo y correlacionar con gases arteriales.
  - Cerebral (NIRS, EEGa)
  - Diuresis con sonda vesical en caso de que se este usando sedación.
  - Ecocardiograma funcional (evaluar cardiopatías, función, gasto cardíaco).

### **Registro en hoja de matronería o enfermería de parámetros ventilatorios**

- PMVA
- $\text{FIO}_2$
- FR
- Amplitud seteada y entregada
- VThf entregado
- VThf seteado
- $\text{DCO}_2$  entregada

### **Cuando realizar aspiración de secreciones en VAF**

- Solo en caso necesario:
  - Disminución de la vibración del Tórax.
  - Disminución del VThf o  $\text{DCO}_2$  entregado.
  - Secreciones visibles o audibles.

Posterior a la aspiración de secreciones se recomienda aumento de la PMVA de 1 a 2 cm  $\text{H}_2\text{O}$  por 5 minutos.

### **Errores comunes cuando se ventilan pacientes en VAF**

- Reclutamiento pulmonar inicial inadecuado.
- Desreclutamiento pulmonar por desconexión (accidental o programada para aspiraciones)
- Disminución prematura de PMVA antes de la recuperación de la estabilidad alveolar intrínseca.
- No disminuir la PMVA con mejoría marcada en la oxigenación ( $\text{FiO}_2 < 0,50$ ).
- Disminución excesiva de la PMVA ( $< 0 = 7 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).
- Daño de la vía aérea por incorrecta humidificación (esto ocurre principalmente en el ventilador SM3100A por lo que es necesario estar revisando continuamente el agua del humidificador ya que se consume rápidamente).

### **Weaning de la VAF a VM convencional**<sup>(15)</sup>

El objetivo es retirar gradualmente el apoyo favoreciendo la respiración espontánea.

### **Oxigenación**

- Primero disminución de la  $\text{FiO}_2$  según el objetivo de la saturación de 90 a 95%.
- Cuando la  $\text{FIO}_2$  sea menor de 50% comenzar la disminución de la PMVA (correlacionar con saturación y con control de Rx para evitar el desreclutamiento)

### **Ventilación**

- En la modalidad de VAF más VG puede ser necesario disminuir el VG a valores de 1,5 a 2 ml/Kg cuando el VG utilizado para lograr una  $\text{PCO}_2$  normal es demasiado alto  $> 2,5 \text{ ml/kg}$ .
- La FR no es necesario modificarla (idealmente mantener entre 8 a 10 Hz para lograr que la amplitud se mantenga cercana a 20  $\text{cmH}_2\text{O}$  en VG).

Cuando llegas a parámetros ventilatorios bajos puedes pasar a VM convencional, los parámetros ventilatorios sugeridos para paso a VM convencional varían según las condiciones del paciente pero en la mayoría de los casos son <sup>(15)</sup>:

- FIO<sub>2</sub> menor 40%.
- PMVA 9 en RN prematuros y PMVA de 10 en RN de término.
- VT<sub>thf</sub> objetivo de 1,5 a 2 ml/Kg, con amplitud requerida entre 20 a 25 cmH<sub>2</sub>O, con FR 8 a 10 Hz en RN de término y FR de 10 a 12 Hz en RN prematuros.
- Disminuir la sedación previo al paso a VM convencional.

Al pasar a VM convencional hay que evaluar la PMVA programada teniendo cuidado que no sea mucho más baja que la PMVA que se tiene en la VAF (ideal 2 a 3 puntos menos), para que no se deteriore la oxigenación durante el paso a VM convencional, si hay buena tolerancia durante el cambio a VM convencional disminuir paulatinamente la sedación hasta suspender. Comenzar el weaning de VM convencional para luego extubación a CPAP de preferencia ciclado en pacientes prematuros, con uso de cafeína y según tiempo de VM con uso de corticoides posnatales, de preferencia posterior a realizar kinesioterapia <sup>(15)</sup>.

#### **Complicaciones potenciales en VAF**

- Compromiso cardiovascular por aumento excesivo PMVA: disminución del retorno venoso o hipotensión.
- Hiperinsuflación pulmonar o escape aéreo
- Atelectasias (por PMVA insuficiente)
- HIC/LPV por variaciones de la PCO<sub>2</sub> hiper – hipocapnea)
- Daño traqueal (humidificación inadecuada)

## Bibliografía

1. Carlo WA, Martin RJ. Principles of neonatal assisted ventilation. *Pediatr Clin North Am* [Internet]. 1986;33(1):221–37. Available from: [http://dx.doi.org/10.1016/S0031-3955\(16\)34977-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0031-3955(16)34977-X)
2. Cannizzaro DCM, Paladino MA. Fisiología y fisiopatología de la adaptación neonatal. *Anest Analg Reanim*. 2011;24(2):59–74.
3. van Kaam AH, De Luca D, Hentschel R, Hutten J, Sindelar R, Thome U, et al. Modes and strategies for providing conventional mechanical ventilation in neonates. *Pediatr Res* [Internet]. 2019;(September):1–6. Available from: <http://dx.doi.org/10.1038/s41390-019-0704-1>
4. Keszler M. Update on mechanical ventilatory strategies. *Neoreviews*. 2013;14(5).
5. Sant'Anna GM, Keszler M. Developing a neonatal unit ventilation protocol for the preterm baby. *Early Hum Dev* [Internet]. 2012;88(12):925–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2012.09.010>
6. Keszler M. Volume-Targeted ventilation: One size does not fit all. Evidence-based recommendations for successful use. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*. 2019;104(1):108–12.
7. Claus Klingenberg, Kevin I Wheeler, Naomi McCallion, Colin J Morley PGD. Volume-targeted versus pressure-limited ventilation in neonates. *Hagb Benumof's Airw Manag*. 2017;(Issue 10. Art. No.: CD003666.).
8. Ferguson KN, Roberts CT, Manley BJ, Davis PG. Interventions to improve rates of successful extubation in preterm infants a systematic review and meta-analysis. *JAMA Pediatr*. 2017;171(2):165–74.
9. Giaccone A, Jensen E, Davis P, Schmidt B. Definitions of extubation success in very premature infants: A systematic review. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*. 2014;99(2):124–8.
10. Sánchez-Luna MGonzález P and et al. New Ventilator Strategies : High-Frequency Oscillatory Ventilation Combined with Volume Guarantee. *Am J Perinatol*. 2018;545–8.
11. Jane Pillow. High-Frequency Oscillatory Ventilation : Theory and Practical Applications Jane Pillow Important note : Draeger. 2016;
12. Belteki G, Morley CJ. High-frequency oscillatory ventilation with volume guarantee: A single-centre experience. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*. 2019;104(4):F384–9.
13. Tuzun F, Deliloglu B, Cengiz MM, Iscan B, Duman N, Ozkan H. Volume Guarantee High-Frequency Oscillatory Ventilation in Preterm Infants With RDS: Tidal Volume and DCO2 Levels for Optimal Ventilation Using Open-Lung Strategies. *Front Pediatr*. 2020;8(March):1–6.
14. De Jaegere A, Van Veenendaal MB, Michiels A, Van Kaam AH. Lung recruitment using oxygenation during open lung high-frequency ventilation in preterm infants. *Am J Respir Crit Care Med*. 2006;174(6):639–45.
15. He MY, Lin XZ. Research advances in the methods for weaning from high-frequency oscillatory ventilation in neonates. *Chinese J Contemp Pediatr*. 2019;21(12):1234–8.