

# INICIO DE LA VENTILACION MECANICA INVASIVA CONVENCIONAL.

Dr. Alberto Jarillo Quijada.

## INTRODUCCIÓN

La insuficiencia respiratoria representa hasta un 50% de las causas de ingreso a unidades de terapia intensiva pediátricas. La ventilación mecánica (VM) es el soporte avanzado a la respiración que de manera artificial que introduce gas en el sistema respiratorio del paciente, por medio de un sistema mecánico externo o ventilador. Existen diferentes tipos de ventiladores y modas de VM, esta guía se limita exclusivamente al uso de VM invasiva, con presión positiva y modas convencionales de ventilación.

Como en cualquier otra terapia empleada, al utilizar la VM deben considerarse los riesgos y beneficios que esta intervención tiene y trazarse una serie de metas a cumplir, siendo las principales:

- Mantener adecuado intercambio de gases:
  - Garantizar la oxigenación
  - Garantizar la ventilación.
- Reducir el trabajo respiratorio.
- Garantizar la permeabilidad de la vía aérea

Los objetivos de la VM no se limitan exclusivamente a las metas anteriormente descritas. Además de garantizar las necesidades respiratorias del paciente, el clínico debe procurar hacerlo limitado los efectos colaterales a nivel pulmonar, hemodinámico y sin generar angustia en el paciente. Existe acuerdo general en los principios que deben guiar el uso de la VM:

1. Para minimizar los efectos colaterales, los objetivos fisiológicos de la VM no tienen que estar en el rango normal, a veces puede ser beneficioso permitir una PaCO<sub>2</sub> aumentada en lugar de los riesgos que provoca la hiperinsuflación pulmonar.
2. La sobredistensión alveolar puede causar daño alveolar por volutrauma y o/ barotrauma. Las maniobras para prevenirlo deben instituirse siempre. La presión meseta es el mejor parámetro clínicamente aplicable del promedio de la presión alveolar máxima, un valor alto de esta (>35 centímetros H<sub>2</sub>O y posiblemente  $\geq$  de 30CmH<sub>2</sub>O) puede causar más daño a los pacientes que los valores altos de FiO<sub>2</sub>.
3. La hiperinsuflación dinámica (HD) (auto PEEP o PEEP intrínseca) a menudo pasa inadvertida y debe medirse o estimarse, sobre todo en los pacientes con obstrucción de la vía aérea. El tratamiento debe dirigirse a limitar el desarrollo de la HD y sus consecuencias adversas en estos pacientes.

## INDICACIONES PARA EL INICIO DE LA VM.

Son múltiples las indicaciones por las cuales un paciente puede requerir el soporte con VM, de manera general estas incluyen: 1) mantener el intercambio gaseoso (ventilación y oxigenación), 2) disminuir o sustituir el trabajo respiratorio, 3) conseguir la expansión pulmonar, 4) disminuir el consumo de oxígeno sistémico y por el corazón.

### Insuficiencia Respiratoria.

La indicación principal para la asistencia a la VM es la insuficiencia respiratoria, definida como la presencia de oxigenación inadecuada ó ventilación alveolar inadecuada ó ambos. La apnea ó paro respiratorio es una forma extrema de la misma y una absoluta indicación de VM.

Una de las causas más frecuentes de hipoxemia e hipoventilación alveolar es la disminución de la capacidad residual pulmonar, dando lugar a la disminución de la relación ventilación/perfusión pulmonar (V/Q) o incremento de los cortos circuitos intra pulmonares de derecha- izquierda. Establecer una presión positiva como meta en estos pacientes (presión media de la vía aérea) para reclutar alveolos colapsados o poco ventilados, tiene el objetivo de restituir la capacidad residual funcional fisiológica, mejorar la relación V/Q, disminuir los cortos circuitos intra pulmonares de derecha-izquierda, mejorar la distensibilidad pulmonar y disminuir el trabajo respiratorio. Lo anterior se verá reflejado en mejoría de la oxigenación arterial (aumento en la  $paO_2$  y saturación arterial de oxígeno) y en la ventilación alveolar (disminución de la  $paCO_2$ ).

### **Insuficiencia Cardíaca.**

Ya sea moderada o severa, la insuficiencia cardíaca tarde o temprano provocará una pobre reserva respiratoria, lo que resulta en un incremento en el trabajo respiratorio y finalmente falla respiratoria. El soporte con VM disminuye el trabajo respiratorio y disminuye las demandas de oxígeno del corazón.

### **Alteraciones Neurológicas y Neuromusculares.**

Este tipo de alteraciones requieren VM por muchas razones: primero, ciertos problemas neuromusculares como síndrome de Guillán Barré, mielitis transversa, botulismo e ingestión de drogas puede resultar en disminución de la ventilación por debilidad neuromuscular e hipoventilación hipercarbica e hipoxemia; segundo las alteraciones del sistema nervioso central que provocan disminución o pérdida del estado de alerta existe también pérdida de los reflejos protectores de la vía aérea, siendo necesario garantizar su permeabilidad mediante la intubación; tercero, la VM se instituye deliberadamente para controlar la ventilación y prevenir isquemia cerebral ya sea secundaria a hiperventilación hipocarbica y vasoconstricción cerebral o a hipoventilación, hipercarbica, vasodilatación cerebral e incremento en la presión intracraneal. La VM puede iniciarse hasta que el paciente se recupere de su problema primario agudo, o bien en desórdenes neuromusculares crónicos como distrofia neuromuscular, sección del cordón espinal, etc., para soporte prolongado.

### **CRITERIOS PARA EL INICIO DE LA VM.**

Existen diferentes criterios para iniciar la VM, los cuales se dividen en:

#### **Criterios Absolutos:**

- Apnea
- Ventilación alveolar inadecuada inminente:
  - $PaCO_2$  mayor de 50-55 torr (en ausencia de hipercapnea crónica).
  - Capacidad vital menor de 15ml/kg.
  - Espacio muerto ó índice volumen corriente mayor de 6.
- Falla en la oxigenación arterial (excepto hipoxemia crónica y cardiopatías cianógenas).
  - Cianosis con  $FiO_2$  mayor de 60%.
  - Hipoxemia:  $PaO_2 < 60$  mmHg con  $FiO_2 > 60\%$ .
  - Gradiente A-a $O_2$  mayor de 300 torr con  $FiO_2$  del 100%.
  - Relación V/Q disminuida (cortos circuitos) mayor de 15-20%.
- Paro cardiorespiratorio.

#### **Criterios Relativos**

- Asegurar función ventilatoria.
- Hipertensión intracraneal.
- Insuficiencia cardíaca.
- Disminuir el costo metabólico de la respiración.
- Falla respiratoria crónica.
- Insuficiencia cardíaca o choque.

## CLASIFICACION DE LOS VENTILADORES MECANICOS CONVENCIONALES DE PRESION POSITIVA.

Un ventilador mecánico es esencialmente un generador de flujo, por lo que de manera primaria se clasifican por esta característica en ventiladores de flujo continuo y de flujo intermitente, lo cual no debe confundirse con el patrón de flujo (ver programación).

**Ventiladores de flujo continuo:** se trata de los ventiladores neonatales los cuales mantienen un flujo continuo de gas en el circuito de VM durante todo el ciclo respiratorio, por lo que el paciente puede respirar espontáneamente en cualquier momento sin necesidad de abrir ninguna válvula. Generalmente son iniciados por tiempo, presión y algunos por flujo, limitados por presión, la cual mantienen durante el tiempo inspiratorio programado y ciclados por tiempo.

- Ventajas:
  - Sencillos y fáciles de usar.
  - Ofrecen poca resistencia a la respiración espontánea del paciente.
  - Algunos ventiladores ofrecen inicio y ciclado por flujo (Bear 750, Baby Log 800 plus, SLE 2000 y SLE 5000)
  - Algunos ventiladores ofrecen VMC y ventilación de alta frecuencia (SLE 2000, SLE 5000, Baby Log 8000 plus)
- Desventajas:
  - Tienen modas de ventilación limitadas, algunos ventiladores recientes incluyen modas controladas por presión soporte y doble control (presión o volumen).
  - Solo pueden ser usados en recién nacidos y lactantes menores a 10 kg de peso.
  - Solo algunos ventiladores cuentan con la posibilidad de presión soporte.

**Ventiladores de Flujo Intermitente:** en estos no existe un flujo continuo en el circuito de VM. Durante la fase espiratoria si el paciente requiere conseguir aire, tiene que abrir la válvula inspiratoria del ventilador. Son iniciados por tiempo, presión o flujo, controlados y ciclados por volumen.

- Ventajas:
  - Con mayor número de modas que permite control por presión, por volumen o de doble control.
  - Pueden ser utilizados en pacientes de cualquier edad y peso.
- Desventajas:
  - Más complejos y difíciles de usar.
  - Mayor resistencia a la respiración espontánea del paciente.

## MODAS CONVENCIONALES DE VM.

Una moda de VM es la forma mediante la cual un ventilador alcanza los objetivos de la VM. En la actualidad no existe una moda única de ventilación que se adapte a todas las afecciones pulmonares o extra pulmonares para las cuales se encuentra indicada. Además, para el mismo paciente, su situación clínica varía en el tiempo, por lo que hay que adaptar a ella el régimen del ventilador. De entre las diferentes alternativas disponibles, la elección la moda de VM debe considerar:

- a) El objetivo u objetivos que se pretenden lograr con la VM.
- b) La causa y tipo del fracaso respiratorio; su carácter agudo o crónico.
- c) Si la patología pulmonar es obstructiva o restrictiva.
- d) El patrón ventilatorio y estado hemodinámico del paciente.

El primer punto es discernir si hay necesidad de suplir total o parcialmente la función ventilatoria. Posteriormente seleccionar la moda más apropiada de acuerdo con el estado del paciente y los objetivos pretendidos con la VM.

Las modas de VM se definen en primer lugar por la variable de control del ventilador en dos grandes grupos: ventilación controlada por volumen y ventilación controlada por presión. La variable de control o límite (p. ej.: presión, volumen o flujo), es aquella que al cumplirse el ventilador detiene el flujo inspiratorio.

### **Ventilación Controlada por Volumen.**

De acuerdo con la ecuación del movimiento del sistema respiratorio, si el volumen o el flujo son las variables de control, entonces la PTR es dependiente de las resistencias del pulmón, la pared torácica y del circuito respiratorio, así como de la distensibilidad y el esfuerzo muscular. Es una ventilación con  $V_t$  constante y presión variable, con el inconveniente de alcanzar presiones elevadas en la vía aérea y riesgo de barotrauma.

El flujo generalmente es constante y puede controlarse su velocidad. En esta, el tiempo inspiratorio, tiempo espiratorio y la relación inspiración espiración dependen de la velocidad de flujo, la frecuencia respiratoria y el volumen corriente programados.

### **Ventilación controlada por presión.**

Si la presión transrespiratoria (PTR) es la variable de control, entonces el volumen y el flujo son dependientes de la resistencia del pulmón, la pared torácica y el circuito respiratorio, así como de la distensibilidad y el esfuerzo muscular. Es una ventilación con presión constante y VC variable, que depende del estado de la vía aérea y el pulmón del paciente y por tanto tiene mayor riesgo de volutrauma. El flujo generalmente es desacelerado.

En esta moda, el tiempo inspiratorio y espiratorio son constantes y la presión pico es controlada en los parámetros determinados. Por lo general llegan a requerir flujo pico hasta de 4-10L. La tasa de flujo inspiratorio generalmente es constante, y la presión es alcanzada antes de que termine el tiempo inspiratorio. Una vez que la presión pico es alcanzada no ingresa más flujo al paciente. El volumen corriente total se alcanza en el tiempo en que se alcanza la P<sub>imax</sub> antes de que termine el tiempo inspiratorio.

Posteriormente, las modas se clasifican por las variables de fase del ventilador. Una variable de fase (presión, flujo, tiempo, volumen) es aquella que es medida y usada por el ventilador para iniciar alguna fase del ciclo respiratorio (inicio, límite, ciclado) y determinar si la respiración ha sido controlada o mandatoria, asistida, soportada o espontánea.

#### **Variables de fase**

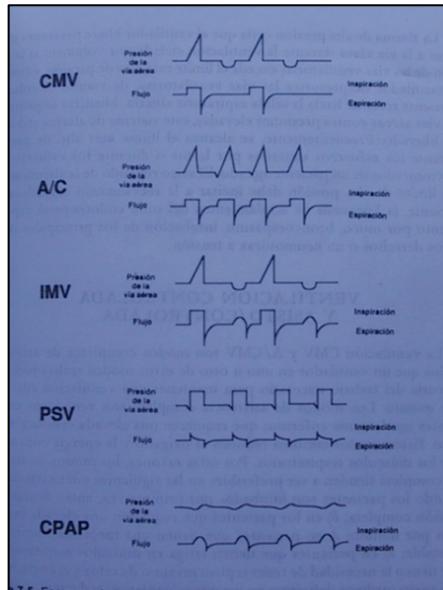
- De inicio o disparo: es aquella que indica al ventilador cuando iniciar el flujo inspiratorio o la inspiración propiamente dicha.
- La variable de control: ya referida previamente es aquella que al cumplirse indica al ventilador cuando detener el flujo inspiratorio.
- Variable de ciclado. es aquella que al cumplirse indica al ventilador cuando ciclar, es decir terminar la inspiración e iniciar la espiración.

Con lo anterior se pueden definir cuatro diferentes tipos de respiración, de hecho las modas actuales de VM resultan de una combinación de estos tipos de respiración:

- **Respiración controlada o mandatoria:** todas las variables de fase son llevadas a cabo por el ventilador, ninguna por el paciente.
- **Respiración asistida:** El paciente puede iniciar la respiración, pero las variables de límite y ciclado se controlan por el ventilador.
- **Respiración soportada:** las variables de inicio se lleva a cabo por el paciente, la variable de control y ciclado pueden ser llevadas por el paciente y/o el ventilador
- **Respiración espontánea:** todas las variables de fase son llevadas a cabo por el paciente.

## MODAS CONVENCIONALES DE VENTILACIÓN MECÁNICA

Las modas más utilizadas en VM son la controlada (VC), asistida-controlada (A/C), ventilación mandatoria intermitente (IMV), ventilación mandatoria intermitente sincrónica (SIMV) y presión positiva de soporte (PPS).

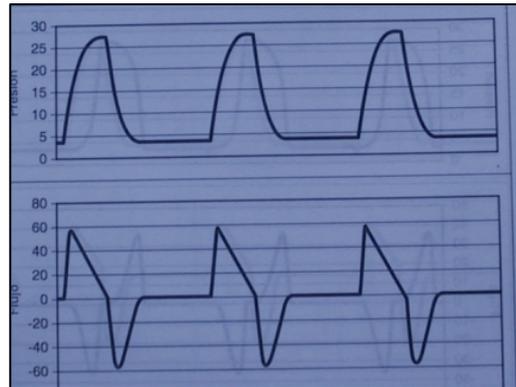


Como principio general, siempre que sea posible se deben utilizar modas que proporcionen respiraciones asistidas o espontáneas, porque aumentan la sincronía del paciente con el ventilador, disminuyen el riesgo de daño asociado a la ventilación, la necesidad de sedación, la atrofia muscular y facilitan el destete y retiro de la VM.

**Moda de Ventilación Controlada (VC).** (Figura 1). Actualmente ningún ventilador moderno ofrece la VC como una moda independiente, todos ellos se ofrecen con moda asisto-controlada, sin embargo se describe aquí ya que facilitará la comprensión general de las demás modas de VM.

- Características: es la moda más básica de VM. El ventilador administra el  $V_t$  programado (ventilación controlada por volumen) o una  $P_{\text{max}}$  programada (ventilación controlada por presión) a la frecuencia programada, independientemente del esfuerzo respiratorio del paciente. Todas las variables de fase (inicio, límite y ciclado) se encuentran controladas por el ventilador de acuerdo al valor de los parámetros programados. El paciente no puede obtener un flujo de gas fresco aunque lo intente.
- Indicaciones: pacientes en coma profundo o con sedación profunda por alteraciones neurológicas, respiratorias o hemodinámicas severas que requieren la sustitución por completo de la respiración.
- Ventajas:
  - El ventilador garantiza todo el esfuerzo respiratorio, existiendo menor riesgo de hipo ó hiperventilación si la programación es la adecuada
  - Disminuye el consumo de oxígeno, ya que elimina el gasto energético utilizado en la respiración.
- Desventajas:
  - No permite las respiraciones espontáneas del paciente.
  - Produce mayor repercusión hemodinámica y riesgo de volutrauma y barotrauma que las modas asistidas y espontáneas.
  - Mayor riesgo de atrofia muscular de los músculos respiratorios.

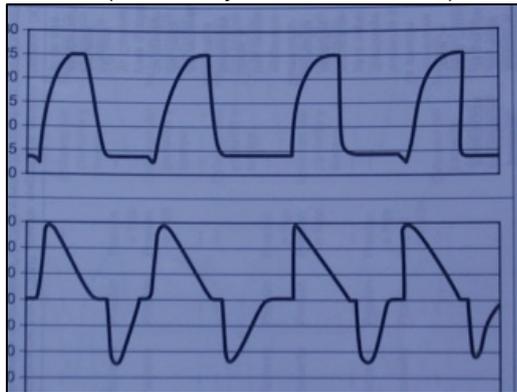
Figura 1. Graficas de presión, flujo y volumen v.s. tiempo en moda Controlada.



### Ventilación asistida/controlada (A/C). (Figura 2).

- Características: al igual que en la ventilación controlada, el ventilador proporciona el  $V_t$  (A/C por volumen o A/C en moda de doble control) o la presión (A/C por presión) programados y el número de respiraciones programadas. Además, en respuesta a cada esfuerzo respiratorio del paciente, el ventilador brinda otra respiración exactamente igual que las programadas. Durante las respiraciones programadas (controladas) que hace el ventilador, todas las variables de fase las controla el ventilador. Durante las respiraciones solicitadas por el paciente (asistidas), únicamente la variable de inicio puede ser controlada por el paciente si el control de sensibilidad del ventilador está abierto y el paciente logra vencerlo; una vez iniciada la respiración asistida, las variables de límite y ciclado son controladas por el ventilador de acuerdo al valor programado de los parámetros.
- Indicaciones: es una moda de mantenimiento para pacientes con capacidad para iniciar algunas respiraciones pero que no pueden mantener espontáneamente toda la ventilación porque realizan pocas respiraciones y/o su esfuerzo respiratorio es insuficiente.
- Ventajas:
  - No exige excesivo esfuerzo muscular al paciente.
  - Permite la sincronización de la ventilación con el esfuerzo del paciente.
  - Disminuye la necesidad de sedación.
- Desventajas:
  - El esfuerzo del paciente se limita a disparar al ventilador. No se puede saber si el esfuerzo respiratorio del paciente será suficiente para respirar espontáneamente.
  - Si la sensibilidad es inadecuada puede producirse asincronía entre el paciente y el ventilador aumentando el trabajo respiratorio y el riesgo de daño asociado a la ventilación.
  - La frecuencia respiratoria mínima que recibirá el paciente será la programada en el ventilador, por lo que puede ocurrir hipoventilación si esta es muy baja y no existen esfuerzos adicionales por parte del paciente o si estos no logran vencer el valor de sensibilidad de inicio programado, en donde además de hipoventilación puede ocurrir fatiga muscular.
  - La frecuencia respiratoria máxima será determinada por los esfuerzos del paciente que logren vencer el criterio de sensibilidad de inicio. Cada vez que esto ocurra, el paciente recibirá una respiración con los valores de  $V_t$  o  $P_{imax}$  programados, por lo que es posible que ocurra hiperventilación.

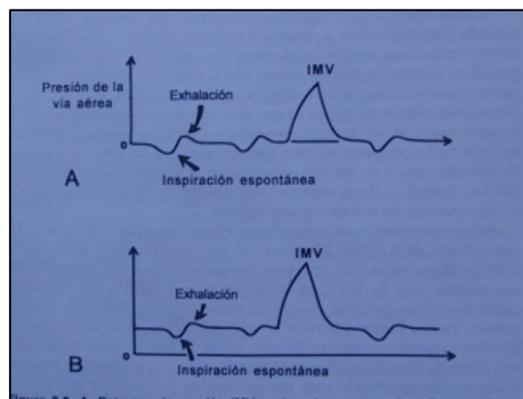
Figura 2. Curvas de presión, flujo, volumen v.s. tiempo, en moda A/C



### Ventilación Mandatoria Intermitente (IMV). (Figura 3.)

- Características: el ventilador proporciona respiraciones controladas con el  $V_t$  (IMV por volumen o IMV en moda de doble control) o  $P_{imax}$  (IMV por controlado por presión) programados en el número de respiraciones programadas. Además, entre las respiraciones programadas permite que el paciente respire espontáneamente obteniendo un  $V_c$ , que depende de el esfuerzo del paciente a partir de un flujo continuo que el ventilador brinda durante el tiempo espiratorio, pero sin generar presión en la vía aérea ( $P_{imax}$ ) y a partir del PEEP programado, en otras palabras, las respiraciones espontáneas, que no asistidas, la realiza el paciente en moda CPAP invasiva y sin tener ninguna sincronía con las variables de fase de inicio ni de ciclado del ventilador (parte A en figura 3), por lo que frecuentemente el ventilador inicia una ventilación controlada durante la espiración espontánea del paciente (parte B de figura 3), dando lugar a volutrauma y/o barotrauma. Actualmente ha caído en desuso por la introducción de la ventilación mandatoria intermitente sincronizada.

Figura 3. Curva de presión v.s. tiempo durante moda IMV.



### Ventilación mandatoria intermitente sincronizada (SIMV). (Figura 4)

- Características: en esta moda si no existe esfuerzo por parte del paciente, éste recibe respiraciones controladas al  $V_t$  o  $P_{imax}$  programados y en el número de respiraciones programadas. la palabra sincronizada hace referencia al período de espera que tiene el ventilador antes de un ciclo mandatorio para sincronizar el esfuerzo inspiratorio del paciente con la insuflación del ventilador cuando vence la sensibilidad de disparo (el paciente controla la variable de inicio); si cuando le toca iniciar al ventilador el

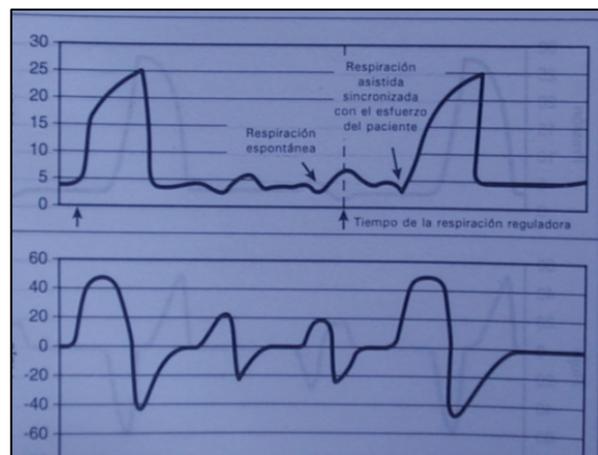
paciente está espirando, el ventilador espera a que termine la espiración, así reduce el riesgo de volutrauma y/o barotrauma. Es necesario que el control de sensibilidad esté abierto para que el ventilador sincronice las respiraciones programadas con el esfuerzo del paciente. Adicionalmente, en algunos ventiladores el paciente puede controlar la variable de fase de ciclado o sensibilidad de espiración.

- Indicaciones:
  - VM en paciente con esfuerzo respiratorio presente.
  - Destete progresivo y retiro de la VM.

Ventajas:

- Asegura una ventilación controlada suficiente y permite las respiraciones espontáneas del paciente.
  - Produce menor repercusión hemodinámica con menor riesgo de daño asociado a la ventilación que la VC y la A/VC.
  - Disminuye el riesgo de atrofia muscular.
  - Facilita la retirada progresiva de la ventilación, permitiendo al paciente asumir progresivamente el mando de la ventilación.
  - Es bien tolerada por los lactantes y niños.
- Desventajas:
    - Mayor riesgo de hipo e hiperventilación que las modas controladas.
    - Mayor riesgo de fatiga muscular por esfuerzo respiratorio excesivo en las respiraciones espontáneas (se previene asociando PPS).

Figura 4. Curvas de presión, flujo y volumen v.s. tiempo en moda SIMV.



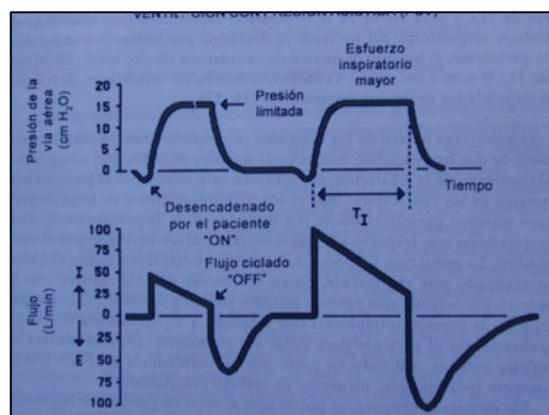
**Ventilación con Presión Positiva de Soporte (PPS).** (Figura 5).

- Características: cada respiración espontánea del paciente está ayudada por el ventilador con una presión positiva preseleccionada que se suma a la presión ejercida por el paciente. La PPS es mantenida durante todo el ciclo inspiratorio espontáneo del paciente, de manera que en el ventilador permanece constante la presión media de las vías aéreas gracias a un flujo servo-controlado y desacelerado. Una de las características más notables en esta moda es que el mecanismo de ciclado de inspiración a espiración es flujo dependiente. El paciente controla todas las variables de fase, ya que determina cuando empieza, cuando limita y cuando cicla cada respiración. El  $V_t$  depende del esfuerzo

del paciente y de la PPS. La PPS es un modo completamente asistido y es necesario una actividad inspiratoria espontánea del paciente de manera que sea capaz de abrir la válvula a demanda del ventilador. Una sus aplicaciones clínicas más importantes es en el destete de pacientes que han estado bajo ventilación controlada por mucho tiempo y en pacientes con daño neurológico. Se debe utilizar una PPS que dé aproximadamente una frecuencia respiratoria normal, ó cercana a lo normal con el menor esfuerzo posible, esto se consigue con una PPS entre 15 y 20 cmH<sub>2</sub>O, que se debe ajustar de acuerdo a la dificultad respiratoria del paciente (utilización de músculos respiratorios accesorios). El descenso de la PPS se debe hacer paulatinamente de acuerdo a la evolución del paciente. El valor de PPS mínimo utilizado (4-10 cmH<sub>2</sub>O) debe por lo menos compensar la resistencia del TET durante las respiraciones espontáneas.

- Indicaciones:
  - Destete y retiro de la VM, disminuyendo progresivamente el valor de la PS.
  - Puede utilizarse como ventilación Inicial en pacientes con esfuerzo respiratorio presente pero insuficiente.
  - Asociado a la SIMV en pacientes con esfuerzo respiratorio espontáneo insuficiente.
- Ventajas:
  - Sólo actúa en las respiraciones espontáneas y por tanto puede combinarse con CPAP, facilitando la retirada de la VM.
  - El paciente es quién manda y el ventilador respeta su esfuerzo y lo complementa.
  - Puede ajustarse la ayuda dependiendo del esfuerzo del paciente.
  - Reduce la necesidad de sedación.
  - La PPS aumenta los esfuerzos inspiratorios espontáneos del paciente.
  - Reduce el trabajo respiratorio, favorece la utilización de los músculos respiratorios.
- Desventajas:
  - Mayor riesgo de hipoventilación cuando no está asociada a SIMV.
  - El paciente tiene que abrir la válvula de sensibilidad lo que puede producir problemas de sincronización en neonatos y lactantes pequeños.

Figura 5. Curva de presión v.s. tiempo en ventilación con PPS.



**Presión positiva continua en la vía aérea (CPAP).** (Figura 6.)

- Características: el ventilador mantiene una presión positiva a lo largo de todo el ciclo respiratorio sin ciclar. La respiración depende exclusivamente del paciente. Se puede aplicar con un ventilador o con un

sistema de flujo continuo con o sin válvula de presión. Si se aplica con ventiladores convencionales es preciso tener activo el mando de sensibilidad:

- Indicaciones:

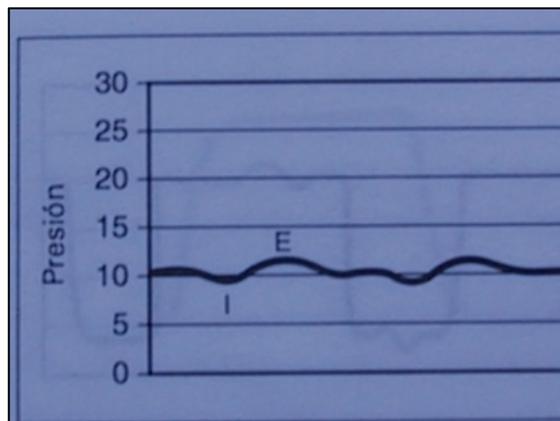
- Última fase del retiro de la VM, previa a la extubación.
- Ventilación en pacientes con esfuerzo respiratorio conservado pero insuficiente para mantener abierta la vía aérea y/o los alveolos.

- Ventajas:

- Sencilla y fácil de utilizar.
- Puede combinarse con PS.
- Previene el colapso alveolar y la pérdida de capacidad residual funcional y por tanto mejora la oxigenación y reduce la fatiga muscular.
- Puede utilizarse en ventilación Invasiva o no Invasiva.

- Desventajas:

- En ventiladores de flujo discontinuo: el esfuerzo respiratorio que tiene que realizar el paciente para abrir la válvula inspiratoria y conseguir aire puede ser superior a la ayuda que le proporciona el ventilador en CPAP.
- Si el paciente presenta apnea el ventilador no inicia ventilaciones controladas.



## PROGRAMACIÓN DEL VENTILADOR

Programación Inicial de los Parámetros (Tabla 1).

**Tabla 1. Programación inicial de los parámetros de la VM.**

Moda	Neonatos: presión o de doble control Lactantes y Niños: volumen, presión o de doble control.
Frecuencia respiratoria	Neonatos: 40 a 60/min Lactantes: 30 a 40/min Niños: 15 a 30/min
Volumen Corriente (modas controlada por volumen o de doble control)	Neonatos: 4 a 6 ml/kg Lactantes y Niños: 6-8 ml/kg
Pimax máxima (modas controladas por presión)	Prematuros: 12 a 15 cmH2O Neonatos: 15 a 20 cmH2O. Lactantes y Niños: 20 a 25 cmH2O.
Tiempo inspiratorio	Neonatos: 0.3 a 0.5 s. Lactantes: 0.5 a 0.8 s. Niños: 0.8 a 1.5 s.
Relación I:E	Generalmente: 1:2 Presión y de doble control: T.I. 33% Volumen: T.I 25%
Velocidad de Flujo Inspiratorio	Inicialmente: Volumen Minuto x 4 Neonatos: 5 a 8 L/min. Lactantes: 10 a 12 L/min. Preescolares: 12 a 20 L/min. Escolares y mayores: 20 a 40 L/min.
Pendiente de rampa inspiratoria	0.002 a 0.4 s.
Retardo Inspiratorio	5 a 10 %.
Sensibilidad Inspiratoria	Presión: 1 a 2 cmH2O. Flujo: 1 a 3 L/min.
FiO2	100% o 10% a 20% de la FiO2 pre intubación
PEEP	3 a 5 cmH2O
Sensibilidad espiratoria	5 a 70%
Alarma de limite de presión	30 a 40 cmH2O o 10 cmH2O por encima de la alcanzada.
Alarma de frecuencia respiratoria, de volumen minuto y volumen corriente	20% por arriba y debajo de las programadas o deseadas

- **Volumen corriente (Vt):** es el volumen de aire que el ventilador envía al paciente en cada inspiración. Se programa solo en las modas controladas por volumen y de doble control. El Vt es variable en las modas controladas por presión. Hay que tener en cuenta el volumen comprimido en el circuito del ventilador y circuito de ventilación, algunos ventiladores pueden compensarlo automáticamente.
- Programarlo inicialmente de 7 a 10 ml/kg, comprobando que la expansión del tórax sea adecuada y que el aire entra correctamente a la auscultación, posteriormente modificarlo de acuerdo con la pCO<sub>2</sub> espirada y pCO<sub>2</sub> arterial.

- Si la presión pico es elevada ( $> 30 \times \text{mH}_2\text{O}$ ) disminuirlo a  $6-8 \text{ ml/kg}$  para evitar el volutrauma y barotrauma.
  - Si existe aumento del espacio muerto en el circuito de ventilación se puede aumentar a  $12-15 \text{ ml/kg}$ .
  - **Frecuencia respiratoria:** inicialmente se programa de acuerdo a la edad del paciente (ver tabla 1), posteriormente de acuerdo a la  $\text{paCO}_2$  y/o al volumen minuto deseados.
- **Volumen minuto (VM):** es el producto de la FR por el  $V_t$ . En algunos ventiladores se programan el  $V_t$  y la FR, en otros el VM y la FR.
- **Presión pico (Pimax):** es la presión máxima que se alcanza en la vía aérea. Se programa solo en las modas controladas por presión. En las modas controladas por volumen y de doble control la Pimax es variable. Los valores de programación inicial son de acuerdo a la edad (Tabla 1) y se ajustan valorando la expansión torácica, la auscultación y el  $V_t$  espirado, posteriormente se modifica según con la  $\text{pCO}_2$  espirada y  $\text{pCO}_2$  arterial.
- **Tiempo inspiratorio (Ti):** es el tiempo de entrada y distribución del aire en la vía aérea y pulmones. Se ajusta según la edad y la frecuencia respiratoria entre  $0.3$  y  $1.2$  segundos, para conseguir en general una relación inspiración: espiración (I:E) de  $1:2$  (ver tabla 1).
- Los Ti largos permiten introducir el volumen programado con menor presión y mejoran la redistribución del aire, pero aumentan la presión media en la vía aérea y pueden reducir el retorno venoso y el gasto cardíaco.
  - Los Ti cortos aumentan el pico de presión en modas controladas por volumen y pueden disminuir el  $V_t$  administrado en modas controladas por presión.
- Ventilación controlada por presión: se programa directamente en el comando correspondiente del ventilador.
- Ventilación controlada por volumen: generalmente no se programa directamente y es el producto del  $V_t$  entre la velocidad de flujo, p. ej., si el  $V_t$  programado =  $200 \text{ ml}$  y la velocidad de flujo programada =  $20 \text{ L/min}$ , entonces:
- $$T_i = 200 \text{ mL} / 20 \text{ L} \cdot \text{min} \text{ ó } 200 \text{ mL} / 333.3 \text{ ml} \cdot \text{s} = 0.6 \text{ s.}$$
- **Tiempo de pausa inspiratoria:** es aquel en el que no entra más aire y el que ha entrado se distribuye por el pulmón. Solo es posible programarlo en las modas controladas por presión. Permite redistribuir el gas hacia las zonas pulmonares de llenado lento, ya que si bien el flujo inspiratorio es de cero, el ventilador aún no ha alcanzado la fase de ciclado y mantiene la presión positiva inspiratoria.
- De programarse pausa inspiratoria el  $T_i \text{ total} = T_i + T_p$ , en donde  $T_i$  = tiempo inspiratorio (el determinado por el  $V_t$  y velocidad de flujo inspiratorio) y  $T_p$  = tiempo de pausa inspiratoria
- **Relación inspiración:espiración (I:E):** es la fracción de tiempo que se dedica a la inspiración y espiración en cada ciclo respiratorio. La relación I:E se programa de forma diferente según el ventilador y la moda de ventilación. En la moda controlada por presión el  $T_i$  se programa directamente y el TE es el tiempo restante para completar el total del tiempo que dura el ciclo respiratorio. En la ventilación controlada por volumen el  $T_i$  resulta del producto del  $V_t$  por la velocidad de flujo inspiratorio como ya se explicó antes, y el TE es el tiempo restante para completar el total del tiempo que dura el ciclo respiratorio.
- Relación I:E corta (I:E  $< 1:2$ ): al aumentar el  $T_i$  se favorece la entrada y distribución del aire pero si el tiempo espiratorio se acorta excesivamente puede impedirse el vaciado alveolar (atrapamiento aéreo).
  - Relación I:E alargada (I:E  $> 1:2$ ): al aumentar el porcentaje de tiempo espiratorio se favorece la espiración pero al acortarse el porcentaje del  $T_i$  dificulta la inspiración, aumentando el pico de presión en modas controladas por volumen y disminuyendo el  $V_t$  en modas controladas por presión.
- **Flujo inspiratorio:** es la velocidad con que el gas entra en la vía aérea. Inicialmente se puede programar en los ventiladores neonatales y en los convencionales de acuerdo a la edad del paciente (tabla1) o multiplicando el VM por cuatro. Posteriormente se ajustará de acuerdo a la Pimax,  $T_i$ ,  $T_e$  y relación I:E

observadas. Los ventiladores más modernos lo calculan automáticamente dependiendo del  $V_t$ , frecuencia respiratoria y relación I:E programadas.

- En las modas controladas por volumen, si se aumenta el flujo inspiratorio aumentará la  $P_{\text{imax}}$  y la duración del  $T_i$  se acorta.
- En las modas controladas por presión, al aumentar el flujo inspiratorio la  $P_{\text{imax}}$  se alcanzará antes, y posiblemente aumentará el  $V_t$  administrado dependiendo de las características de la vía aérea y pulmones del paciente

#### - Tiempo de rampa y retardo inspiratorio

- Tiempo de rampa: es el tiempo que se tarda en alcanzar la presión máxima desde el comienzo de la inspiración. Su significado es similar al de velocidad de flujo, se suele programar en segundos (Tabla 1).
- Retardo inspiratorio: es el porcentaje del tiempo respiratorio que se tarda el ventilador en conseguir el flujo máximo de inspiración o la máxima presión, según se trate de la moda de volumen o presión. Su significado es similar al de tiempo de rampa y se programa en porcentaje de tiempo o en segundos.

- **Tipo de flujo inspiratorio:** es la forma en que el ventilador suministra el flujo de aire. Solo se puede programar en las modas controladas por volumen en algunos ventiladores, en los ventiladores de flujo continuo Existen 4 tipos (figura 2).

- Flujo constante o flujo de onda cuadrada: la velocidad de flujo es la misma en toda la espiración. Es el utilizado en modas controladas por volumen (figura 2a).
- Flujo decelerado: al inicio de la inspiración el flujo es muy rápido hasta alcanzar la presión programada y va disminuyendo progresivamente a lo largo de la Inspiración. Es característico de las modas controladas por presión y de las modas de doble control. Parece que distribuye mejor el gas al aumentar la presión intratorácica, pero altera más el retorno venoso
- Flujo acelerado: al inicio de la inspiración el flujo es muy lento y se va acelerando progresivamente a lo largo de la inspiración. Se recomienda en situaciones de inestabilidad hemodinámica, pues es el que aumenta menos la presión intratorácica.
- Sinusoidal: el flujo inicialmente es lento, acelera posteriormente alcanza una cima en la que se mantiene y desciende progresivamente.

- **Fracción inspirada de oxígeno ( $FiO_2$ ):** inicialmente se programa en 100% o de 10 a 20% por encima de la previa a la intubación hasta comprobar la oxigenación. Posteriormente se ajusta entre 21 y 100% según la saturación de la hemoglobina, la  $paO_2$  o por la oximetría de pulso, intentando administrar una  $FiO_2$  inferior a 60% en niños y 40% en neonatos para evitar su toxicidad.

#### - CPAP- PEEP:

- CPAP: presión continua en las vías aéreas en modas espontáneas de ventilación
- PEEP: presión positiva al final de la espiración en modas de ventilación cicladas el ventilador.
- Efecto: evita el colapso alveolar mejorando la oxigenación.
- Programación: inicialmente 3-5  $cmH_2O$ . Si existe hipoxemia de causa pulmonar se debe ir aumentando de 2-3  $cmH_2O$  hasta conseguir el máximo efecto sobre la oxigenación con la menor repercusión hemodinámica (PEEP óptimo).
- Efectos secundarios: valores elevados de PEEP/CPAP pueden producir:
  - Disminución del gasto cardiaco y del transporte de oxígeno a los tejidos (disminuye la precarga y desplaza el tabique interventricular hacia la izquierda con lo que se reduce el volumen latido y aumenta la postcarga del VD).

- Sobredistensión alveolar con retención de CO<sub>2</sub>.
  - Redistribución del flujo sanguíneo desde las zonas sobre distendidas a otras con baja relación ventilación/perfusión, lo que provoca disminución de la oxigenación.
- **Sensibilidad inspiratoria (trigger):** es el esfuerzo que debe realizar el paciente para abrir la válvula inspiratoria del ventilador para que este le suministre un flujo inspiratorio de gas fresco.
  - Se programa en las modas de ventilación asistidas, soportadas o espontáneas. Algunos ventiladores neonatales pueden no tenerlo porque existe un flujo continuo en la vía aérea y el paciente puede obtener el aire en cualquier momento.
  - Tipos de sensibilidad:
    - Por presión: el niño tiene que hacer una presión negativa para abrir la válvula del ventilador, si esta alcanza la presión programada como sensibilidad, el ventilador abre una válvula inspiratoria. Se programa inicialmente en 1.5 a 2 cmH<sub>2</sub>O.
    - Por flujo o volumen: entre las respiraciones programadas del ventilador circula un flujo muy pequeño de aire por el circuito de respiración. Si el niño realiza un esfuerzo respiratorio el ventilador detecta el cambio de flujo y si es igual o mayor al programado como sensibilidad abre la válvula inspiratoria. Es más sensible que la de presión, ya que exige menos esfuerzo del paciente para abrir la válvula y por tanto se adapta mejor al niño. Se programa inicialmente entre 1 y 3 L/min.
  - Ajustar el nivel de sensibilidad en cada paciente al mínimo para que consiga abrir la válvula con el menor esfuerzo posible pero evitando que el ventilador autocicle. El autociclado se produce cuando turbulencias de aire en tubo del circuito de ventilación disparan el sensor del ventilador y éste ofrece una respiración, sin que en realidad del paciente haya hecho ningún esfuerzo respiratorio. Las fugas del circuito del ventilador o en la interfase paciente y tubo endotraqueal son generalmente la causa fugas y de autociclado.
    - **Sensibilidad espiratoria:** regula el final de la inspiración en la moda de PPS. Es el porcentaje de descenso del flujo inspiratorio máximo en el que el ventilador cicla de inspiración a espiración. Sirve para adaptar la ayuda del ventilador al esfuerzo real del paciente, evitando que se mantenga la inspiración durante un tiempo excesivo cuando el paciente de manera espontánea ya está realizando la espiración, o que el ventilador no le suministre un flujo de gas aún cuando el paciente mantiene el esfuerzo inspiratorio. Solo está disponible en algunos ventiladores y se programa solo en las modas de respiración asistidas con presión soporte o espontáneas. En algunos ventiladores este parámetro es fijo y no se puede ajustar (Bear Cub 750). Las fugas en el circuito del ventilador o en la interfase paciente y tubo endotraqueal son generalmente la causa de que la sensibilidad espiratoria no se respete.
  - Programación: Inicialmente se utilizan valores de 10 a 30 %, con ajustes posteriores de 1 a 70 % del flujo inspiratorio máximo.
  - Un valor bajo de sensibilidad espiratoria (< 10%) provocará que el ciclado del ventilador se retrase.
  - Un valor alto de sensibilidad espiratorio (> 50%) provocará que el ciclado del ventilador se adelante.
  - **Suspiro:** es una respiración con un Vt superior al habitual que tiene como objetivo abrir algunos alveolos y zonas pulmonares que permanecen cerradas con el Vt normal. Puede ser útil después de la aspiración para reclutar los alveolos colapsados durante la misma. Sólo disponible en algunos ventiladores.
    - Programación: Vt del suspiro y número de suspiros por hora. Algunos ventiladores proporcionan automáticamente un suspiro con el doble del Vt programado.
    - Hay que comprobar el límite de Pimax para evitar que la presión incremente excesivamente durante las ventilaciones de suspiro.

- Suspiro espiratorio: algunos ventiladores programan un suspiro espiratorio que consiste en aplicar en algunas respiraciones, una PEEP más elevada (PEEP intermitente), en lugar de un Vt más elevado.

### Programación de las Alarmas.

Pueden ser luminosas, acústicas o ambas. Las de alta prioridad sólo pueden anularse o silenciarse cuando el problema que las originó ha sido resuelto. Las de prioridad intermedia pueden silenciarse a voluntad del usuario, pero sólo por un tiempo limitado. En algunos ventiladores la alarma acústica se apaga después de haber solucionado el problema, pero persiste la señal luminosa hasta que se apaga manualmente.

- Alarmas de presión:
  - Objetivo: evitar el barotrauma.
  - Acción: si la presión en la vía aérea alcanza el límite de alarma de presión el ventilador finaliza inmediatamente esa respiración y alarma de forma sonora y visual.
  - Valor de programación inicial: 35-40 cmH<sub>2</sub>O, o 10 puntos por encima del valor de presión que esté alcanzando la ventilación en cada paciente.
  - Debe estar activa en todas las modas controladas por volumen o por presión.
  - Algunos ventiladores tienen alarma de Pimax baja que se activa cuando, por fugas o desconexión, el ventilador no se puede alcanzar la presión pico o la PEEP programadas.
- Alarmas de volumen:
  - Objetivo: evitar la hiper e hipoventilación y volutrauma.
  - Acción: el ventilador alarma si el Vt inspirado o el VM espirado es mayor o menor de los límites fijados.
  - Valor de programación: aproximadamente un 20% por encima y por debajo del Vt inspirado o VM minuto prefijados o alcanzados.
  - Tener en cuenta que de existir fugas el VM espirado será menor que el Inspirado y la alarma de VM bajo puede activarse sin que exista hipoventilación. Para solucionarlo hay que fijar los límites de alarma en relación al VM espirado.
- Alarma de frecuencia respiratoria elevada:
  - Objetivo: alarmar por una frecuencia respiratoria excesiva del paciente que puede llevar a fatiga respiratoria.
  - Acción: si la frecuencia total (ventilador más paciente) es mayor del límite prefijado, el ventilador alarma de forma visual y sonora.
  - Valor de programación: aproximadamente un 20% superior de la frecuencia considerada normal para la edad y patología.
  - No todos los ventiladores cuentan con ella. Algunos tienen también alarma de respiración rápida superficial (frecuencia respiratoria elevada con Vt bajo).
- Alarma de apnea:
  - Objetivo: alertar de forma luminosa y acústica cuando el paciente queda en apnea.
  - Acción: se activa cuando el paciente y/o el ventilador no realizan ninguna respiración durante un tiempo preestablecido. Algunos ventiladores, cuando se activa la alarma de apnea, pasan automáticamente de una moda espontánea a una controlada de seguridad para garantizar una ventilación mínima al paciente.
  - Valor de programación: según la edad y condición del paciente el tiempo de apnea se programa de 10 a 20 segundos.

- Debe programarse en todas las modas, sobre todo en las espontáneas. En algunos ventiladores esta alarma se activa de forma automática.
- **Alarmas de FiO2 (alta y baja)**
  - Objetivo: evitar la toxicidad por el oxígeno.
  - Acción: si la FiO2 es más alta (se ha aumentado para aspirar al paciente o por disminución transitoria de la saturación) o más baja (se ha disminuido accidentalmente) del límite prefijado, el ventilador avisa de forma visual y sonora hasta que se solucione el problema.
  - Valor de programación: aproximadamente un 20% superior de la FiO2 programada.
- **Otras alarmas:** ventiladores de última generación tienen otras alarmas complementarias:
  - Alarma de volumen atrapado: avisa al detectar que al paciente no le da tiempo a espirar el Vt administrado.
  - Alarma de Ti insuficiente: se activa cuando el ventilador no puede administrar al paciente el Vt programado en el Ti o con la relación I:E programada.
  - Alarma de volumen inconstante: se activa cuando el ventilador no puede administrar al paciente el Vt programado en todas las respiraciones, por problemas en la programación (Ti corto) o en el paciente (agitación, mala sincronía, secreciones, etc.).
- **Alarmas automáticas:** la mayoría de los ventiladores tienen otras alarmas que funcionan automáticamente sin necesidad de ser prefijadas por el usuario (desconexión de la red, presión de los gases, excesiva o baja, apnea, problemas técnicos).
- **Programación automática de alarmas:** algunos ventiladores permiten fijar las alarmas (volumen, presión, frecuencia respiratoria, FiO<sub>2</sub>, etc.) de forma automática en cada momento de un 10 a 20% por encima y debajo de los valores alcanzados cuando se ha estabilizado el paciente.

## RECOMENDACIONES DE LAPROGRAMACIÓN VM EN PATOLOGÍAS ESPECÍFICAS.

A continuación se presentan las recomendaciones generales de VM según del tipo de patología (Tabla 2).

**Tabla 2. Recomendación de la programación del VM en patologías específicas.**

Enfermedad restrictiva pulmonar o torácica (SDRA, membrana hialina, neumonía). Objetivo: recuperar capacidad residual funcional.	<ul style="list-style-type: none"><li>- Volumen corriente bajo.</li><li>- Frecuencia respiratoria más alta para compensar.</li><li>- PEEP elevada.</li><li>- Tiempo inspiratorio normal o alto.</li><li>- Maniobra de reclutamiento alveolar.</li></ul>
Enfermedad obstructiva. Objetivo: prevenir insuflación dinámica (auto PEEP)	<ul style="list-style-type: none"><li>- Volumen corriente normal a bajo.</li><li>- Frecuencia respiratoria baja.</li><li>- PEEP baja.</li><li>- Flujo elevado.</li><li>- Tiempo espiratorio prolongado.</li></ul>
Fistula bronco pleural Objetivo: limitar presiones elevadas de la vía aérea.	<ul style="list-style-type: none"><li>- Volumen corriente y presión bajos.</li><li>- PEEP bajo si es posible.</li><li>- FiO2 necesaria para Saturación de oxígeno &gt; 90%.</li><li>- Valorar en cuanto sea posible respiración espontánea</li></ul>
Hipertensión pulmonar. Objetivo: favorecer descenso de presión pulmonar.	<ul style="list-style-type: none"><li>- Volumen corriente normal a alto</li><li>- PEEP baja</li><li>- FiO2 alta</li><li>- Oxido nítrico</li><li>- Sedación y relajación</li></ul>
Hipertensión intracraneal. Objetivo: prevenir isquemia cerebral por vasoconstricción vascular cerebral por hipocarbía o por vasodilatación vascular cerebral por hipercarbía.	<ul style="list-style-type: none"><li>- Volumen corriente normal a alto, pCO2 35 mmHg.</li><li>- PEEP baja</li><li>- Sedación</li></ul>

## MODIFICACION DE LA ASISTENCIA RESPIRATORIA.

### Objetivos de oxigenación y ventilación

Después de la programación inicial de los parámetros, estos se modifican de acuerdo a la monitorización clínica, gasométrica y de la función respiratoria. Se deben alcanzar los valores de oxigenación y ventilación más parecidos a la normalidad si no es a costa de aumentar el riesgo de daño pulmonar. Nunca se debe intentar alcanzar normo ventilación y normo oxigenación a costa de parámetros agresivos del ventilador, pero tampoco se debe dejar severamente hipóxico a un paciente por temor a subir los parámetros del ventilador. En casos de patología pulmonar severa puede ser suficiente con mantener una SaO<sub>2</sub> > 90% lo que equivale a una PaO<sub>2</sub> > 60 mmHg y una hipercapnea progresiva incluso con PaCO<sub>2</sub> > 100 mmHg si el pH es > 7.15 o 7.20.

## MODIFICACIONES EN LOS PARÁMETROS DEL VENTILADOR.

### Para mejorar la oxigenación:

- Aumentar FiO<sub>2</sub>: es el método más rápido en la hipoxemia aguda. Tener en cuenta que una FíO<sub>2</sub> > 60% en el niño y > 40% en el recién nacido es tóxica.
- Aumentar PEEP
- Aumentar el Ti y/o el tiempo de pausa inspiratoria.

- Aumentar Pimax o el Vt, sobre todo si se asocia a hipercapnia.
- Aumentar la frecuencia respiratoria (si se asocia a hipercapnia).

Si con la ventilación convencional no se consigue una oxigenación mínima adecuada o existe elevado riesgo o presencia de volutrauma o barotrauma o toxicidad por oxígeno, se deben valorar otras técnicas asociadas a la VM (posición en prono) o técnicas de ventilación mecánica no convencionales (ventilación de alta frecuencia), además de asociar terapias adicionales de acuerdo a la patología del paciente, como suministro de surfactante en la enfermedad de membrana hialina, suministro de óxido nítrico en la Hipertensión pulmonar, terapia inhalada en las crisis de asma, etc.

#### **Para Mejorar la Ventilación.**

- Aumentar el Vm aumentando la frecuencia respiratoria y manteniendo el mismo Vt o Pimax.
- Aumentar el Vm aumentando el Vt o Pimax y manteniendo la misma frecuencia respiratoria.
- En pacientes con atrapamiento aéreo por bronco espasmo, broncodisplasia, asma o bronquiolitis, aumentar el Te.