

**Principios de ventilación  
de alta frecuencia  
en neonatos y pediatría**



# Principios de ventilación de alta frecuencia en neonatos y pediatría

**Víctor Hugo Estupiñan Pérez**  
Coordinador

**Víctor Hugo Estupiñan Pérez**  
**Katherine Lozano G.**  
**Marcela Nayive Garzón Morera.**  
**Lorena Franco Castrillón.**  
Autores



EDITORIAL

2018

Principios de ventilación de alta frecuencia en neonatos y  
pediatría / Víctor Hugo Estupiñán Pérez [y otros]. -- Edición  
Edward Javier Ordoñez. -- Cali : Universidad Santiago de  
Cali, 2019.

94 páginas ; 24 cm.

Incluye índice de contenido.

1. Neonatología 2. Respiración artificial en lactancia y niñez  
3. Pediatría 4. Enfermedades respiratorias pediátricas. I. Estupiñán Pérez, Victor Hugo, autor. II. Ordoñez, Edward  
Javier, editor.

III. Tit.

618.92 cd 22 ed.

A1638443

CEP-Banco de la República-Biblioteca Luis Ángel Arango



EDITORIAL

## PRINCIPIOS DE VENTILACIÓN DE ALTA FRECUENCIA EN NEONATOS Y PEDIATRÍA

© Universidad Santiago de Cali

© **Autores:** Víctor Hugo Estupiñán Pérez, Katherine Lozano G.,  
Marcela Nayive Garzón Morera, Lorena Franco Castrillón.

1a. Edición ejemplares

**ISBN:** 978-958-5583-01-6

**ISBN (Libro digital):** 978-958-5583-02-3

### Fondo Editorial

#### University Press Team

Carlos Andrés Pérez Galindo

#### Rector

Rosa del Pilar Cogua Romero

#### Directora General de Investigaciones

Edward Javier Ordoñez

#### Editor en Jefe

### Comité Editorial

Rosa del Pilar Cogua Romero

Doris Lilia Andrade Agudelo

Edward Javier Ordoñez

Luisa María Nieto Ramírez

Sergio Molina Hincapié

Alejandro Botero Carvajal

Sergio Antonio Mora Moreno

Francisco David Moya Chaves

### Proceso de arbitraje doble ciego:

“Double blind” peer-review.

### Recepción/Submission:

Noviembre (November) de 2017.

### Evaluación de contenidos/Peer-review outcome:

Febrero (February) de 2018.

### Correcciones de autor/Improved version submission:

Marzo (March) de 2018.

### Aprobación/Acceptance:

Abril (April) de 2018.

### Diagramación e impresión

Samava Ediciones E.U.

Celular: 313 6619756

Calle 1 No. 2 - 99

Popayán - Cauca

### Distribución y Comercialización

Universidad Santiago de Cali

Publicaciones

Calle 5 No. 62 - 00

Tel: 518 3000, Ext. 323 - 324 - 414



La editorial de la Universidad Santiago de Cali se adhiere a la filosofía del acceso abierto y permite libremente la consulta, descarga, reproducción o enlace para uso de sus contenidos, bajo una licencia de Creative Commons

Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

## **Dedicatoria**

Este es el momento no solo para escribir y plasmar los conocimientos, que año tras año se adquieren con el manejo de nuestros pacientes.

A todos aquellos dedicados al cuidado respiratorio de los niños, a mis estudiantes, y no puede dejar de faltar Dios que nos da el entendimiento y conocimiento para cumplir nuestras metas.

A mis hijos: Víctor Manuel, María de los Ángeles, Laura Isabela, a mi esposa Lizbet.



## Contenido

Prólogo	13
Introducción	15
Capítulo I <i>Víctor Hugo Estupiñan Pérez</i>	17
Capítulo II <i>Víctor Hugo Estupiñan Pérez</i>	33
Capítulo III <i>Víctor Hugo Estupiñan Pérez</i>	41
Capítulo IV <i>Víctor Hugo Estupiñan Pérez</i>	47
Capítulo V <i>Víctor Hugo Estupiñan Pérez</i>	69
Capítulo VI <i>Katerine Lozano Gómez, Marcela Garzón Morera, Lorena Franco Castrillón</i>	75
Caso clínico	77
Bibliografía	83
Acerca de los autores	89



## Tabla de gráficas

Gráfica 1. Tipos de ventilación de alta frecuencia	19
Gráfica 2. Comportamiento de la PAW en la vía aérea durante la VAF	20
Gráfica 3. Elementos necesarios para el funcionamiento de la VAFO	20
Grafica 4. Funcionamiento de la VAF	21
Grafica 5. Circuitos ventilador de alta frecuencia oscilatorio	24
Grafica 6. Ventiladores de alta frecuencia sensormedics 3100 <sup>a</sup>	24
Grafica 7. Ventilador infanstart	26
Grafica 8. Presión generada por VAF y ventilador convencional	27
Grafica 9. Ventilador de alta frecuencia Drager	29
Gráfica 10. Diferencia entre VAF y ventilación convencional	30
Gráfica 11. Parámetros acorde al tipo de ventilación	32
Grafica 12. Teorías del intercambio gaseoso	34
Gráfica 13. Efecto de pendelluft	36
Grafica 14. Asimetría del flujo laminar	36
Grafica 15. Relación pulmón corazón y unidades alveolares	37
Gráfica 16. Proceso de difusión	37
Grafica 17. Relación entre PAW y reclutamiento alveolar	49
Grafica 18. Radiografía de Tórax posterior al inicio de la VAF	51

Grafica 19. Reclutamiento alveolar debido al aumento de la PAW	52
Grafica 20. Diferencia entre tiempo inspiratorio y los Hz	54
Grafica 21. Comportamiento de la amplitud	55
Gráfica 22. Parámetros de la ventilación de alta frecuencia	57
Gráfica 23. Parámetros de oxigenación	58
Grafica 24. Cascada utilizada para VAF	64
Gráfica 25. Válvula de PEEP	72

## Índice de tablas

Tabla 1. Indicaciones de uso de la VAFO en neonatos y pediatría	23
Tabla 2. Cuadro comparativo de ventilación de alta frecuencia	27
Tabla 3. Características de los tipos de ventiladores de alta frecuencia	28
Tabla 4. Parámetros en ventilación convencional y VAF	31
Tabla 5. Criterios de paso a ventilación de alta frecuencia en RN	42
Tabla 6. Valores de Hz en neonatos	53
Tabla 8. Flujo de gas acorde al peso del paciente	56
Tabla 9. Estrategias para el manejo de la VAF	60
Tabla 10. Indicadores de fracaso de la ventilación mecánica convencional en RN	65
Tabla 11. Indicadores de fracaso de VMC en pacientes adultos	65
Tabla 12. Parámetros de uso para paso de VAF a convencional	67
Tabla 13. Valores del IO con relación a la oxigenación	70



## Prólogo

Uno de los pilares del cuidado crítico tanto en pediatría como en el paciente adulto, es la ventilación mecánica y esto ha encaminado a que la investigación científica se enfoque en las últimas dos décadas en brindar una ventilación protectora. Distintas técnicas de manejo del soporte ventilatorio se han descrito, y la ventilación de alta frecuencia es una de ellas; esta herramienta permite o mejora el intercambio gaseoso manteniendo un “pulmón abierto”, utilizando volúmenes corrientes bajos, evitando el riesgo de atelectrauma y conservando la relación presión-volumen en la zona de seguridad y así minimizar la presencia de escapes aéreos.

Teóricamente esta modalidad ventilatoria presenta mayores beneficios que la ventilación mecánica convencional; sin embargo, la habilidad, el manejo y uso de los equipos diseñados para este fin, han limitado el uso de esta estrategia ventilatoria. Este proyecto tiene la finalidad de exponer al lector los avances en materia de ventilación de alta frecuencia de los últimos cinco años y revelar las experiencias e investigaciones científicas que no solo se están aplicando como práctica de rescate en enfermedades en las que ha fracasado la ventilación mecánica convencional (síndrome de dificultad respiratoria, broncoaspiración de meconio, bronconeumonía, hipertensión pulmonar persistente neonatal), o en el tratamiento convencional en escapes aéreos severos y hernias diafragmáticas, en las que se emplean estrategias de protección pulmonar, sino que actualmente es una estrategia que se utiliza con otros modos ventilatorios como el volumen garantizado,

haciendo que estos dos modos se fusionen y potencialicen los efectos de una ventilación mecánica protectora, con la finalidad de ventilar al paciente con el menor riesgo posible; así se evita la injuria pulmonar por sobredistensión, generada por altos volúmenes y presiones no controladas.

En la actualidad no solo los médicos intensivistas y neonatólogos están en la búsqueda de mejores estrategias y evidencias científicas para el cuidado respiratorio de los pacientes, sino que la tendencia actual es que el personal vinculado directamente al cuidado de los pacientes como terapeutas respiratorios, fisioterapeutas y enfermeros se han sensibilizado especializándose en el cuidado crítico de los recién nacidos, con la búsqueda necesaria de referencias actualizadas, fundamentadas en la Medicina Basada en la Evidencia (MBE) para el manejo inter y multidisciplinario de los neonatos en el área del cuidado crítico.

Pensando en las necesidades de los profesionales que se enfrentan cada día con la terapia de alta frecuencia ventilatoria, se escribió este libro, en el cual, profesionales del cuidado respiratorio y especialistas en el cuidado intensivo pediátrico y neonatal presentan sus experiencias en el manejo de la ventilación mecánica, cimentados en estudios clínicos, tanto observacionales como experimentales, frente al tratamiento de la ventilación mecánica de alta frecuencia convencional y sus diferentes interacciones con otros modos ventilatorios y terapias inhalatorias.

Este esfuerzo de los autores por construir este manual tiene el propósito de contribuir al conocimiento, actualizar al lector y cumplir con el deber de salvar vidas con los menores perjuicios posibles, derivadas del manejo invasivo de la ventilación mecánica de alta frecuencia.

Ana Cristina Arango Arango

## Introducción

El manejo del paciente pediátrico con falla respiratoria (FR) en las unidades de cuidados intensivos requiere de manejo especializado, y un soporte ventilatorio oportuno que permita el mejoramiento y la estabilización de la función pulmonar mediante la presión positiva generada por la ventilación mecánica invasiva. Los modos ventilatorios convencionales permiten el apoyo respiratorio mediante la aplicación de presiones elevadas en la vía aérea, lo cual permite la generación de volúmenes corrientes ( $V_t$ ) logrando así un apropiado intercambio gaseoso. Es importante anotar que la ventilación convencional debido a las presiones generadas en la vía aérea lesionan el pulmón y pueden estar asociadas a  $V_t$  o presiones altas. En la actualidad el manejo de la ventilación mecánica está encaminada a disminuir la lesión pulmonar siendo la ventilación de alta frecuencia un modo no convencional que ayuda a disminuir la lesión pulmonar en los pacientes con FR.

La ventilación mecánica convencional es fundamental en el manejo de los pacientes con FR, pero ésta no debe tomarse como única propuesta de tratamiento ventilatorio; existen modos ventilatorios no convencionales dentro de los cuales se encuentra la ventilación de alta frecuencia oscilatoria (VAFO), siendo útil en el manejo de este tipo de pacientes, y con la cual se puede contribuir a una disminución de la lesión pulmonar. El manejo ventilatorio del paciente crítico no solo debe estar encaminado a disminuir el trabajo respiratorio y el consumo de oxígeno, sino también a la disminuir la lesión pulmonar (1)(2).

La VAFO es un modo ventilatorio que ha tenido un auge importante en los últimos años en las unidades de cuidados intensivos neonatal y pediátrica; su inicio tiene criterios claros, pero pueden variar con cada institución o situación de la patología. Este tipo de ventilación resulta oportuno cuando existe un importante deterioro en la oxigenación y/o la ventilación o no se ha logrado una mejoría gasométrica con la ventilación convencional; el propósito del manejo con este tipo de ventilación es el de disminuir el daño pulmonar.

El manejo con VAFO en recién nacidos con patología pulmonar severa es frecuente pero infrecuentemente en niños; sus beneficios se centran en disminuir la lesión pulmonar, propiedad que le confiere muchas ventajas teóricas sobre la ventilación convencional, entre las que se puede nombrar el uso de presiones altas en la vía aérea con  $V_t$  bajos, estrategia que evita la lesión en el pulmón y ayuda a mantener un volumen minuto adecuado y por ende el intercambio gaseoso.

El conocer el funcionamiento de este modo ventilatorio, sus indicaciones, manejo de parámetros y su funcionamiento en general permitirán al clínico familiarizarse con este tipo de ventilación permitiendo realizar un adecuado uso a cada parámetro en una intervención oportuna y acorde a las estrategias propuestas para cada patología y disminuyendo las complicaciones entre ellas la lesión pulmonar.

# Capítulo I

Víctor Hugo Estupiñan Pérez

<https://orcid.org/0000-0001-8846-4579>

Universidad Santiago de Cali

## Historia de la ventilación de alta frecuencia

El primer ventilador de alta frecuencia fue patentado por John Emmerson en 1959, los estudios sobre este tipo de ventilación los continúa Luckehmeiker en el año 1972, estudiando la impedancia torácica en los animales específicamente la respiración del perro. Lunkenheimer y col, realizaron experimentos con un vibrador electromagnético, proponiendo que mediante oscilaciones de la alta frecuencia endotraqueales se podía hacer barrido de CO<sub>2</sub> con una escasa movilización de la caja torácica; descubren que el barrido de CO<sub>2</sub> estaba relacionado con la frecuencia de la oscilación y la amplitud de las vibraciones. Al mismo tiempo en Toronto Bryan y col, tienen la misma experiencia; miden la impedancia pulmonar durante la anestesia. Buttler et al. proponen que puede ser utilizado en seres humanos a una frecuencia de 15Hz (3); en 1991 esta modalidad es propuesta para ser utilizada en neonatos como estrategia de manejo ventilatorio para síndrome de distres respiratorio; luego se difunde para su uso en pacientes pediátricos y en adultos (4).

## **Definición**

La ventilación de alta frecuencia se define como una modalidad de ventilación mecánica, que consigue una adecuada ventilación alveolar utilizando pequeños volúmenes corrientes ( $V_t$ ) 1 a 3 ml/kg, inferiores al espacio muerto anatómico ( $V_{da}$ ); esto depende del tipo de VAF y de las marcas comerciales; las frecuencias respiratorias son suprafisiológicas (mayor a 3Hz), teniendo en cuenta que 1 Hz equivale a 60 respiraciones por minuto, estos parámetros en conjunto contribuyen a disminuir las presiones en la vía aérea, y mantener volúmenes corrientes relativamente constantes por encima de la capacidad residual funcional (CRF), contribuyendo al mejoramiento de la función pulmonar y de la oxigenación (5).

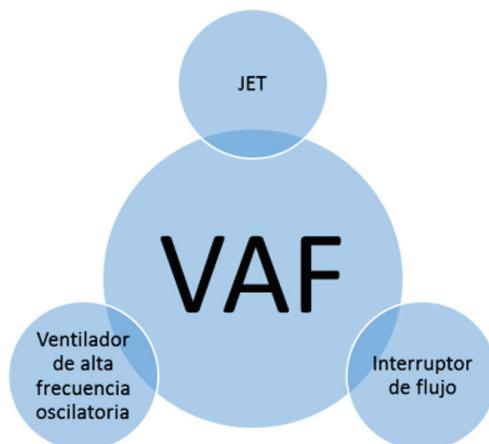
La ventilación de alta frecuencia es considerada como un modo de protección pulmonar que disminuye la lesión en el pulmón; este tipo de ventilación genera reclutamiento alveolar y de esta manera logra optimizar el volumen pulmonar con presiones medias de la vía aérea constantes, convirtiéndose en una importante estrategia ventilatoria en el paciente pediátrico y neonatal con patología pulmonar; puede ser utilizada como una maniobra de rescate para pacientes con SDRA, siendo muy útil en el manejo de este tipo de pacientes (6).

Otra característica de la VAFO es el uso de circuitos rígidos, debido a las altas presiones que se generan dentro de los circuitos; este tipo de circuitos evita la pérdida de volumen en el circuito (volumen compresible). Es el caso del ventilador Sensor Medics 3100 A, que se convierte en una desventaja cuando se tiene que instaurar VAFO, ya que es necesario el cambio de circuito y ventilador; hoy en día existen ventiladores con circuitos estándar (no rígidos) como es el caso del ventilador SLE 5000, que permite el cambio de ventilación convencional a VAF o viceversa.

## **Tipos de ventiladores de alta frecuencia**

Actualmente existen tres tipos de VAF, los cuales han sido aprobados por la Food and Drug Administration (FDA).

**Gráfica 1. Tipos de ventilación de alta frecuencia**



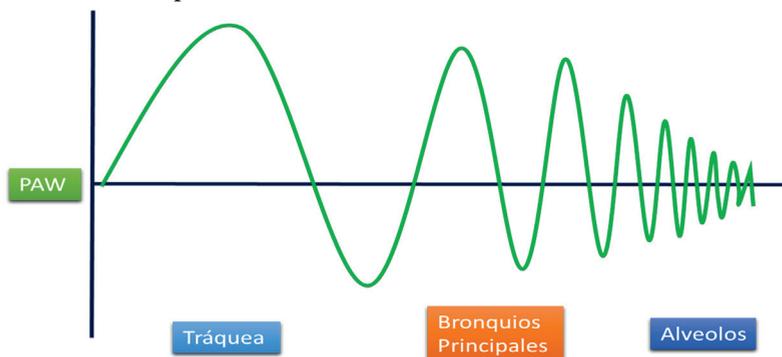
Fuente: Elaboracion propia (2018)

### Ventilación de alta frecuencia oscilatoria oscilatoria (VAFO)

Esta tipo de ventilador fue creado en los años 1970; el manejo con este tipo de ventilación fue realizado con éxito por Marchak en 1991 (7) en neonatos con SDR. Se creó pensando en minimizar los efectos hemodinámicos de la ventilación mecánica convencional; durante esta ventilación el pulmón se mantiene inflado, “abierto”, permitiendo el reclutamiento de unidades alveolares, lo cual lleva a una mejoría en la oxigenación y la ventilación.

La VAFO proporciona volúmenes corrientes bajos, con una presión constante en la vía aérea; durante todo el ciclo esta acción ayuda a mantener la apertura en los alvéolos y evita el cierre cíclico de los mismos (atelectrauma), contribuyendo a la disminución de la lesión pulmonar por ventilación mecánica. La presión que genera la VAFO en las vías aéreas de gran calibre es alta, pero se atenúa en parte por constitución del circuito y el área de corte transversal de la vía aérea, de tal forma que solo el 10% de la presión llega a la vía proximal. La VAFO es una de las formas más ampliamente utilizada en las UCIs neonatal y pediátrica(8). En la siguiente gráfica se visualiza el comportamiento de la presión desde la vía aérea proximal hasta la distal.

Gráfica 2. Comportamiento de la PAW en la vía aérea durante la VAF



Fuente: Elaboración propia (2018)

Note que a medida que se desplaza la presión por las vías aéreas de gran calibre, la presión cae debido al área de corte transversal, disminuyendo considerablemente la presión cuando se encuentra a nivel alveolar.

La VAFO para su funcionamiento requiere tres elementos fundamentales con el objeto de que produzca presión y oscilación en la vía aérea, los cuales se representan en la siguiente gráfica (8).

Gráfica 3. Elementos necesarios para el funcionamiento de la VAFO

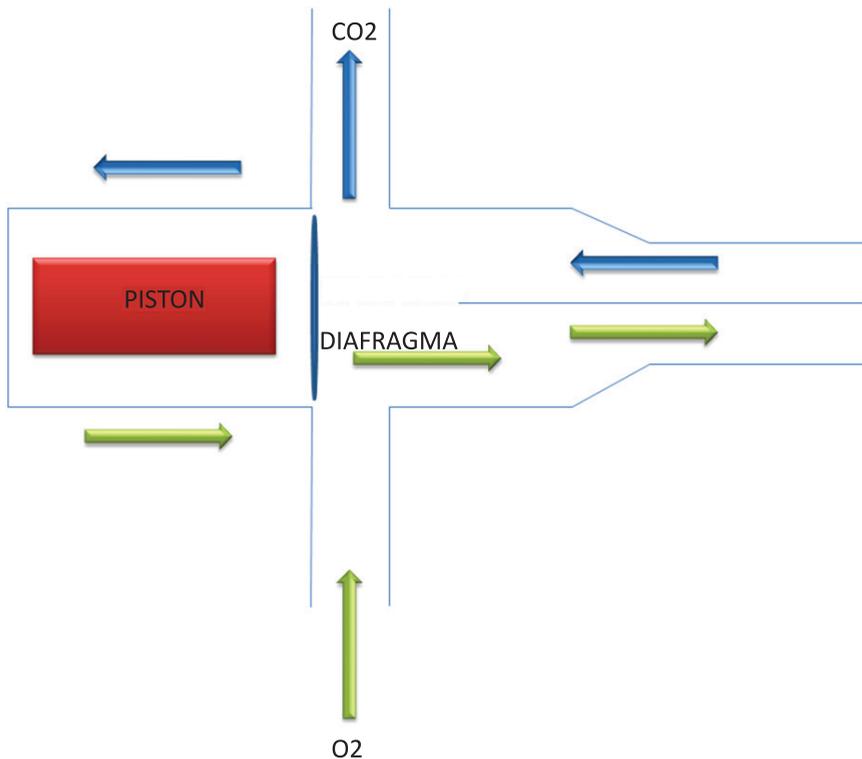


Fuente: Elaboración propia (2018)

La VAFO proporciona un volumen de gas a altas presiones, a través de un pistón electromagnético mediante oscilaciones de presión sinusoidales o diafragma que comprime el gas y luego es entregado en el circuito del ventilador, la amplitud o delta P puede ser aumentada o

disminuida con el movimiento del pistón o diafragma; el movimiento del pistón determina un volumen corriente, que es menor que el espacio muerto anatómico (1-3 ml/kg). Al existir un mayor desplazamiento del electroimán se entregará un mejor  $V_t$  al paciente, a una frecuencia baja (Hz); el desplazamiento del electroimán mejora la ventilación alveolar. En la siguiente grafica se muestra el funcionamiento del ventilador de alta frecuencia.

Grafica 4. Funcionamiento de la VAF



Elaboración propia (2018)

En la gráfica se muestra el mecanismo de la VAFO, el pistón que está en color rojo se mueve oscilatoriamente de adentro hacia afuera impulsando el diafragma de color azul; este impulsa el aire y el oxígeno hacia la vía aérea del paciente, al retroceder el pistón mueve el diafragma hacia atrás; de esta forma remueve el  $CO_2$ .

La presión media de la vía aérea (PWA) se controla variando el flujo basal (*bias flow*), o la apertura de la válvula espiratoria. Los cambios que se generen en el ventilador ayudan a mejorar la oxigenación; la conexión al paciente con este tipo de ventilador se realiza a través de un tubo endotraqueal estándar (3,4).

Este ventilador posee una espiración activa característica que minimiza la posibilidad de atrapamiento aéreo, debido al diafragma que utiliza para impulsar el aire al paciente. La relación inspiración/espiración puede ser modificada por el usuario al modificar el porcentaje del inspiratorio logrando modificar la relación (I: E) 1:1 ó 1:2. Por lo general el tiempo inspiratorio es del 33%. Sin embargo, su modificación debe realizarse con criterios claros ya que pueden llevar a deterioro cardiopulmonar debido al aumento de la presión en la vía aérea. Otra ventaja importante sobre los parámetros (PAW, amplitud, frecuencia respiratoria y tiempo inspiratorio) se ajustan en forma individual por el clínico, acorde a las necesidades de la patología; así la lesión traqueal que puede generar es mínima.

El ventilador Sensor Medics tiene dos referencias, las cuales deben ser tenidas en cuenta al seleccionar el paciente que se quiere ventilar; el 3100B es utilizado en niños con un peso mayor a 35 kg. o pacientes adultos. El ventilador 3100A es utilizado en las UCIP para niños con peso inferior a 35 kg. (9). Durante el manejo de este tipo de ventilador podemos encontrar algunas limitaciones, dentro de las cuales mencionamos: no podemos obtener datos sobre la mecánica pulmonar (volumen corriente inspirado y espirado) imposibilitando evaluar y hacer seguimiento de la mecánica respiratoria; el tipo de circuito (rígido) que utiliza, dificulta los cambios de posición en los pacientes contribuyendo a lesiones de la piel.

El manejo de los parámetros debe ser juiciosamente valorado con Rx de tórax, control de gases arteriales, y las variables hemodinámicas que se registran en el monitoreo, con lo cual se puede evitar la presencia de acidosis o alcalosis respiratoria que puede ser deletérea y llevar a mayores complicaciones.

### **Indicaciones de la VAFO**

El inicio de la VAFO debe estar basado en una constante valoración de los parámetros de la ventilación convencional, específicamente los valores de la PAW y la gasometría arterial; valores que ayudan a valorar la severidad de la oxigenación, los pacientes con hipoxemia severa pueden ser candidatos a ser manejados con VAFO, además, se puede tener en cuenta el valor de la PIM > de 30 CmH<sub>2</sub>O con la ventilación convencional y no se logra cambios en la oxigenación arterial; o en el CO<sub>2</sub> se debe recordar que presiones altas en la vía aérea ocasionan lesión pulmonar y perpetúa la ventilación. Las variables hemodinámicas deben ser tenidas en cuenta al momento de tomar la decisión de paso a la VAFO.

Otro criterio de inicio de la ventilación de alta frecuencia es calculando el Índice de Oxigenación (IO), valores mayores de 13 (pacientes neonatales y 18 en paciente pediátrico), en dos tomas de gases arteriales (3, 11, 8). Los valores altos de la PAW (ventilación convencional) pueden ser usados como criterio de inicio. La temprana instauración de la VAFO para pacientes que se deterioran en la ventilación convencional puede ser importante para mejores tasas de sobrevivencia con VAFO, aunque esto no ha sido validado (9). A continuación en la tabla 1 se muestran las indicaciones para este tipo de ventilación.

**Tabla 1. Indicaciones de uso de la VAFO en neonatos y pediatría**

<b>Neonatos</b>	<b>Pediátricos</b>
Enfermedad pulmonar difusa PAW > 10 CmH <sub>2</sub> O Síndrome de escape de aire	Enfermedad pulmonar difusa PSDRA PAW > 15CmH <sub>2</sub> O Síndrome de escape de aire Asma, Bronquiolitis (12)

Fuente: Fioretto JR, Rebello CM. High-frequency oscillatory ventilation in pediatrics and neonatology. Rev Bras Ter Intensiva. 2009;21(1):96–103.

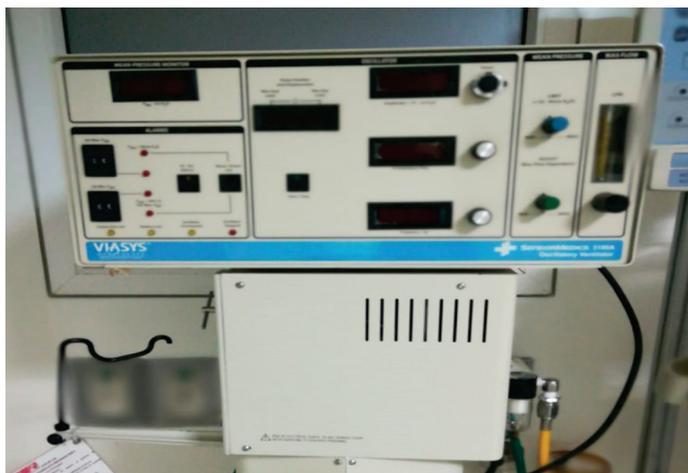
En la siguiente figura se muestra este tipo circuito. Gráfica 5 Circuitos del ventilador de alta frecuencia oscilatoria VAFO (circuitos rígidos)

**Grafica 5. Circuitos ventilador de alta frecuencia oscilatorio**



Fuente elaboración propia

**Grafica 6. Ventiladores de alta frecuencia sensormedics 3100a**



Fuente: Elaboración Propia (2018)

### ***Ventilador de alta frecuencia JET (VAFJ) o por chorro***

Este tipo de ventilación fue introducida por Oberg y Sjostrand en 1969. Para su funcionamiento requiere una fuente de gas a alta presión, 2 a 6 atmosferas, el gas se inyecta a través de un adaptador especial conectado a un tubo endotraqueal estándar por medio de un catéter; el gas entra a una velocidad 175 a 250 Litros por minuto, y a una frecuencia de 120 a 600 ciclos por minuto; la presión es controlada por una válvula de control neumática o solenoide, la cual en forma precisa libera el gas que es transmitido hacia las vías aéreas en una forma intermitente; el gas que es colocado en el tubo orotraqueal; puede ser colocado en la parte distal o proximal del tubo.

La velocidad con la que sale el gas produce un efecto de Ventury, ocasionando una mezcla de gases que se encuentran a su alrededor; esto ocasiona en el mejoramiento del volumen hasta en un 250%, lo que hace difícil el cálculo del volumen corriente, sin embargo éste puede estar alrededor de 5–8 ml/kg; la humidificación se ayuda mediante la instilación de agua en la punta del catéter generando cortos pulsos de gas caliente el cual se humidifica el aire. La espiración con este tipo de ventilador es pasiva, puede ocasionar AUTO PEEP, sin embargo depende de la retracción que posea la caja torácica. Actualmente existen los siguientes tipos de ventiladores de forma experimental: Bear-jet(Bear), VS600(L.D.S)yMK800(acutronics)(11)(12).

La VAF Jet es útil en pacientes que requieren movimientos pequeños de la vía aérea, como en los casos de laringoscopias, broncoscopias y cirugías laríngeas. En Estados Unidos se encuentra aprobada por la Food and Drug Administration (FDA) desde 1990 para recién nacidos y para niños con insuficiencia respiratoria grave y cursan con escapes aéreos; el ventilador más representativo es el ventilador Bunnell Life Pulse (13).

### ***Contraindicaciones de VAFJ***

La neumonía al ser una patología no homogénea este tipo de ventilador podría considerarse una contraindicación absoluta, ya que este tipo de ventilación genera reclutamiento alveolar en las áreas no colapsadas resultando en sobredistensión alveolar en ciertas áreas del pulmón

ocasionando zonas bien ventiladas (sobre distensión alveolar), con pobre perfusión. El asma es una patología que no es de manejo con este tipo de ventilador; esta patología produce atrapamiento de aire, durante la VAF las PAW requeridas pueden ser altas generando complicaciones cardiopulmonares; otras contraindicaciones de uso son las relativas a la obesidad mórbida, la coagulopatía no controlada, y la falta de experiencia por parte de personal de UCI (12).

### ***Ventilador de alta frecuencia por interrupción de flujo (VAIF)***

Este tipo de ventilación utiliza un flujo de gas que genera una presión, el cual se interrumpe de forma intermitente a través de una válvula solenoide, proporcionando presión en las vías aéreas. Los volúmenes corrientes que se generan son menores que el espacio muerto anatómico, los tiempos inspiratorios son fijos. Con este ventilador se pueden combinar ciclos de ventilación convencional y ventilación de alta frecuencia. La espiración es pasiva, depende de la compliance pulmonar y de la caja torácica, el tubo orotraqueal que se utiliza es el convencional (13).

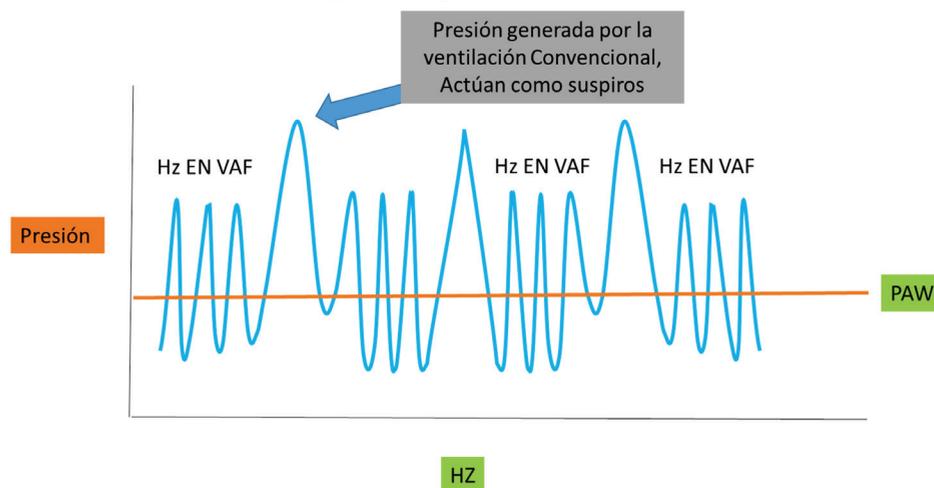
El ventilador Infant Star, utiliza frecuencias de 4 y 20 Hz, la espiración es mayor que la inspiración para minimizar el riesgo de atrapamiento aéreo, la relación I: E es prolongada de 1:5. La amplitud varía según la presión generada por el ventilador (PIP) y la PAW, es determinada por los valores seleccionados de los parámetros de la ventilación convencional.

**Grafica 7. Ventilador infanstart**



Fuente: Elaboración propia

**Grafica 8. Presión generada por VAF y ventilador convencional**



Fuente: elaboración propia

Se muestra el funcionamiento de la VAIF, el cual se combina los Hz programados, e interrumpe por la frecuencia respiratoria programada en la ventilación convencional, la presión generada durante el IMV actúa como un suspiro.

Los modelos de los ventiladores tienen sus propias características dependiendo de las casas fabricantes. En la Tabla 2 se muestran las principales características de los ventiladores.

**Tabla 2. Cuadro comparativo de ventilación de alta frecuencia**

Parámetros	Oscilador	Jet	Interruptor de flujo
Amplitud	Directo	Indirecto	Indirecto
PAW	Directo	Indirecto	Indirecto
I:E	1:1 – 1:2	1:6	1:5
VT	< Vda (1-2ml/kg)	< o > Vda (2-5ml/kg)	< Vda (2-4ml/kg)
Atrapamiento aéreo	Mínimo	Mayor	Mayor
Espiración	Activa	Pasiva	Pasiva

Fuente: Ventilación de alta frecuencia (VAF). Dr. Raúl Nachar H. Dr. Antonio Ríos D. [http://200.72.129.100/hso/guiasclnicasneo/34\\_Ventilacion\\_de\\_Alta\\_Frecuencia.pdf](http://200.72.129.100/hso/guiasclnicasneo/34_Ventilacion_de_Alta_Frecuencia.pdf).

**Tabla 3. Características de los tipos de ventiladores de alta frecuencia**

Tipo de ventilador	H <sub>z</sub>	Características
Ventilación de alta frecuencia con presión positiva	Hz 60-120	Tubo oro-traqueal convencional
Ventilación de alta frecuencia tipo jet	Hz 120-600	Necesita un adaptador para la ventilación
Ventilación de alta frecuencia oscilatoria.	Hz 180 -3000	Tubo oro-traqueal convencional Inhalación y exhalación activa, la PAW tiene Igual efecto que el PEEP
Ventilación de alta frecuencia de percusión		Ventilador híbrido convencional, usado en pacientes en que persiste la hipoxemia
Ventilación de alta frecuencia con interrupción de flujo	Limitado a 15 Hz	Tiempo inspiratorio fijo. Utiliza combinación de ciclos con la ventilación convencional.

Fuente elaboración propia 2018

El ventilador de alta frecuencia Babylog VN500 provee una inspiración y expiración activas a través de una onda de presión sinusoidal. Se pueden realizar los siguientes ajustes son frecuencia (Hz), amplitud, presión media vía aérea (PAW) y relación inspiratoria a espiratoria (I:E). El Babylog VN500 incorpora tres mejoras importantes en relación con su predecesor Babylog 8000 plus que ayudan a mejorar la potencia y la calidad de la VAFO:

1. Inclusión de un mecanismo que asegura la presión oscilatoria
2. Servo control del flujo inspiratorio.
3. Monitorizar el volumen HFOV.
4. Control directamente I:E por el usuario.

El Babylog VN500 proporciona un flujo base dentro del circuito del paciente durante la VAFO, facilitando la respiración espontánea. Ayuda a mejorar la distribución de ventilación durante VAFO, mantenimiento el intercambio de gases durante el destete. Se proporciona un flujo adicional durante la fase inspiratoria de cada ciclo de VAFO, para alcanzar la amplitud de presión establecida.

Este ventilador puede generar el modo volumen garantizado; el Babylog VN500 automáticamente determina la amplitud oscilatoria requerida para lograr el volumen corriente. Si no se puede lograr el volumen objetivo, se genera una alarma de Vt baja.

**Grafica 9. Ventilador de alta frecuencia Draguer**



Fuente Elaboración propia

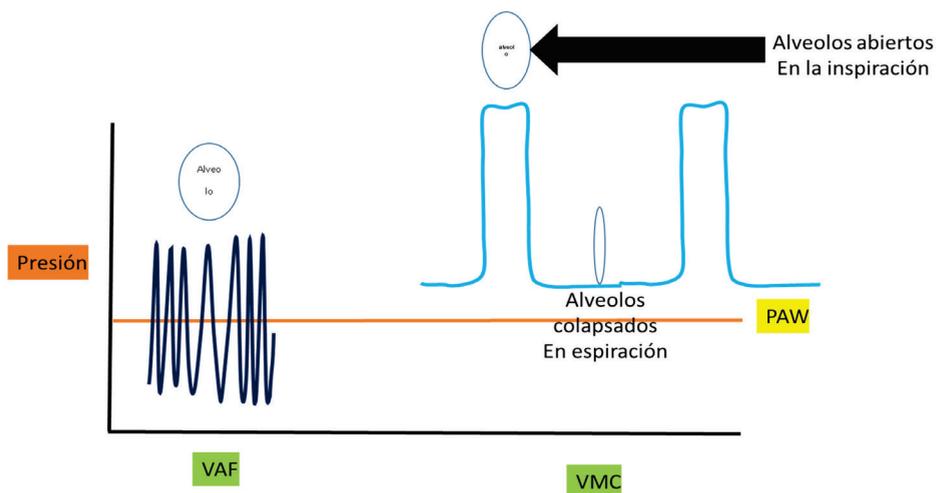
## **Diferencias con la ventilación convencional**

La diferencia fundamental entre la VAF y la ventilación mecánica convencional (VMC) está dada por el mecanismo utilizado para mantener la ventilación y la oxigenación. La eliminación del  $\text{CO}_2$  en la VMC depende directamente del volumen minuto (frecuencia respiratoria por volumen corriente), esto a su vez depende de las propiedades de retroceso elástico del pulmón, el  $V_t$  utilizado es de 6 – 8 ml/kg. En la VAF las variables del volumen minuto son iguales, pero se debe tener en cuenta que los volúmenes corrientes utilizados son bajos (1-3ml/kg), y la frecuencia utilizada es suprafisiológicas, estas dos variables son determinantes para la ventilación; sin embargo, la remoción de  $\text{CO}_2$  depende directamente de la amplitud más que de los Hz.

En cuanto a la oxigenación los principales parámetros de la oxigenación en la VMC son PEEP,  $FiO_2$ , tiempo insp., que pueden ser modificados según necesidad de cada patología; en VAF el principal parámetro son la PAW;  $FiO_2$  pero además existen otros mecanismos claves para un intercambio gaseoso efectivo; en cuanto a la ventilación, el principal parámetro de ventilación es la delta de presión o amplitud. Estas características hace que la VAF sea considerada como un modo ventilatorio de protección pulmonar por sus características, descritas anteriormente, contribuyendo a evitar la lesión pulmonar.

Durante la ventilación convencional el alvéolo cursa por una apertura y cierre en cada ciclo respiratorio, ocasionando atelectrauma, mientras que en la VAF el alvéolo permanece abierto durante todo el ciclo entregando un  $V_t$  bajo a una PAW constante como se observa en la siguiente gráfica.

Gráfica 10. Diferencia entre VAF y ventilación convencional



Fuente: Elaboración propia (2018)

En la gráfica se muestran los dos modos ventilatorios en VAF; durante todo el ciclo mantiene abierto el alvéolo, en VMC el alvéolo se abre durante la inspiración y se cierra en la espiración, ocasionando una apertura cíclica del alvéolo ocasionando lesión.

En la ventilación mecánica convencional los parámetros ventilatorios que se deben seleccionar para mejorar la ventilación/oxigenación se hacen en forma independiente (PIM, PEEP, t. insp, t. espiratorio, frecuencia respiratoria, volumen corriente); la modificación de estos parámetros especialmente el PEEP varía la PAW, mientras que en VAF el número de parámetros para ser modificados son en menor número (PAW, Hz, amplitud, % T. insp). En la siguiente tabla se muestra la relación de los parámetros con el O<sub>2</sub> y el CO<sub>2</sub>.

**Tabla 4. Parámetros en ventilación convencional y VAF**

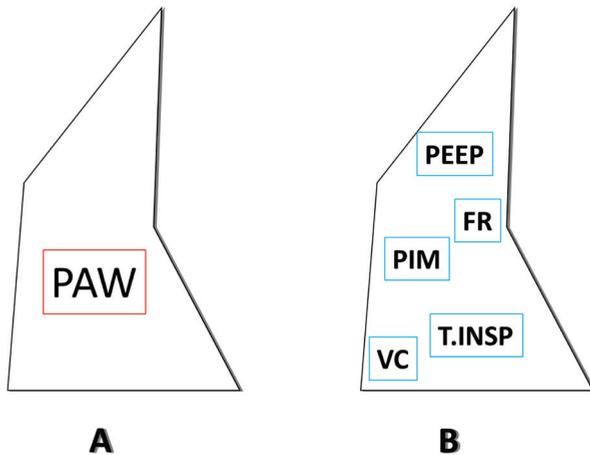
Parámetros Convencionales		VAFO	Mejoría
FR		HZ	CO2
PAW	PEEP	PAW Medición directa en VAF en ventilación convencional es el promedio de las presiones en el ciclo	Oxigenación
	PIM		
	T.INSPIR		
	T.ESPIR		
Vt		AMPLITUD	CO2

Fuente: Elaboración propia (2018)

Se muestran los parámetros que se utilizan en los dos tipos de ventilación. Teniendo en cuenta que la PAW en la VAF se considera una medición directa. Mientras que en la VMC es el resultado de presiones.

Para obtener una mejor ventilación durante la VAF, el parámetro de elección es la variación de la amplitud; su manipulación adquiere un mayor desplazamiento del movimiento del diafragma en el equipo (delta P) de esta forma se logra aumentar el volumen corriente. Otra forma de mejorar la ventilación es la disminución de los Hz, estrategia que no es de elección y debe dejarse para casos excepcionales como lo veremos más adelante.

**Gráfica 11. Parámetros acorde al tipo de ventilación**



Fuente elaboración propia (2018)

En esta Gráfica se muestran dos pulmones y los parámetros que recibe el pulmón en cada ventilación: el pulmón A, que representa la VAF recibe una presión positiva constante durante todo el ciclo respiratorio. El pulmón B que representa la ventilación convencional, recibe los parámetros seleccionados por el operador y genera una presión positiva con cada ciclo respiratorio.

# Capítulo II

Víctor Hugo Estupiñan Pérez

## Fisiología de intercambio de gases

El intercambio de gas en el pulmón incluye el ingreso del gas a las vías aéreas, hasta llegar a las unidades alveolares; durante este proceso se involucran: el  $V_t$ , el espacio muerto anatómico, el área de superficie del pulmón, el transporte de gas (flujo) que llega al área (convectivo) y la difusión; a estas variables se debe agregar la geometría de la vía aérea y la dinámica de los fluidos. Al combinarse estos dos procesos, se lleva a cabo la ventilación alveolar haciendo que el principal propósito de la ventilación sea el intercambio gaseoso.

El transporte molecular de un gas depende de estos dos mecanismos, convección (proceso reversible) y difusión (irreversible), los cuales están determinados por el flujo a lo largo de la vía aérea respiratoria, que a su vez depende de la geometría y la ramificación de la vía aérea, hasta llegar a la unidad alveolar (14).

Debemos tener en cuenta que la ventilación alveolar (VA) depende del  $V_t$  y la Frecuencia Respiratoria; al aplicar la ecuación de la VA durante la VAF, resultaría imposible explicar la ventilación alveolar, debido a que el  $V_t$  es inferior al espacio muerto anatómico ( $V_{da}$ ); la ecuación para el cálculo de la ventilación alveolar se representaría así:

$$V_t < V_{da}$$
$$V_A = FR \times (V_t - V_{da})$$

Para la ventilación de alta frecuencia la ecuación de volumen minuto quedaría así :(10)

$$V_{min.} = Hz \times (\text{amplitud})^2$$

El intercambio de gases en la ventilación mecánica convencional se logra por convección y la interacción del volumen de gas (especialmente en las vías aéreas de gran calibre) funciona cuando los volúmenes son más de 80 ml, y de difusión molecular en las vías aéreas de pequeño calibre; aunque en la VAF no es claramente entendido el mecanismo de cómo se realiza el intercambio de gases.(4) existen las siguientes teorías que la pueden explicar.

## Teorías

Experimentalmente se han realizado estudios en animales para explicar el intercambio gaseoso durante la VAF; todavía existe preguntas de cómo se realiza el intercambio gaseoso. Más adelante se describen las teorías.

**Grafica 12. Teorías del intercambio gaseoso**



Elaboración Propia (2018)

En la gráfica se muestra las teorías que explican el intercambio gaseoso durante la VAF.

### ***Flujo masivo directo (bulk flow)***

Este es el mecanismo principal de transporte de gas en la ventilación convencional, desempeña un papel importante durante la VAFO, proporcionando suministro de gas a los alvéolos proximales con volúmenes de espacio muerto regional bajos (15).

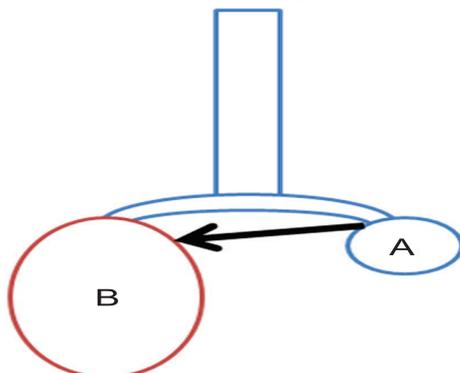
### ***Dispersión longitudinal (Taylor)***

Se conoce también como difusión aumentada; es importante en la eliminación de  $\text{CO}_2$  desde las vías aéreas proximales, cuando el flujo convectivo tiene asimetría de velocidad del gas fresco que ingresa a la vía aérea, versus al que sale, esto es más destacado en las vías respiratorias proximales, donde es más probable que el flujo turbulento esté presente. Las contribuciones relativas de la dispersión convectiva y de Taylor dependen del punto en el cual ocurre la transición del flujo laminar a flujo turbulento en las vías respiratorias; esto facilita que el flujo inspiratorio se mezcle con el aire alveolar, aumentando la cantidad de gas que participa en el intercambio gaseoso (4)(16).

### ***Efecto de pendelluft***

Es uno de los principales mecanismos de intercambio de gases; se cree que juega un papel importante en el transporte de los gases; su mecanismo de intercambio depende de las diferentes constantes de tiempo que tiene cada unidad alveolar y que son producto de la resistencia local y la compliance pulmonar. Las unidades con compliance baja, resultan en unidades pulmonares de llenado rápido (constantes de tiempo cortas), estas se vacían en unidades pulmonares más lentas (con mayores constantes de tiempo) al final de la inspiración, y viceversa, al final de la expiración dando lugar a movimiento de los gases entre unidades vecinas durante el ciclo de la ventilación (4).

**Gráfica 13. Efecto de pendelluft**



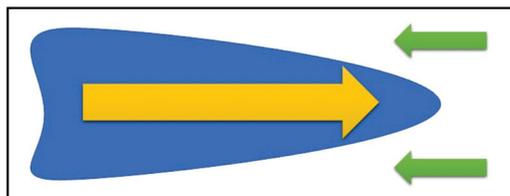
Fuente: Elaboración propia (2018)

En la siguiente gráfica se muestra cómo los alvéolos de constante de tiempo menor (A) se vacían en los alvéolos contiguos de constante de tiempo larga (B), permitiendo de esta forma el intercambio gaseoso.

### ***Velocidad laminar asimétrica***

El flujo de aire cercano a las paredes bronquiales se desplaza a menor velocidad que el aire en la región central de la luz de la vía aérea, estas características se acentúan más durante la inspiración, con cada ciclo respiratorio el gas de la zona central de la luz de la vía aérea alcanza mayor profundidad en los pulmones, mientras que el gas en las regiones más distales se desplaza hacia arriba.

**Gráfica 14. Asimetría del flujo laminar**



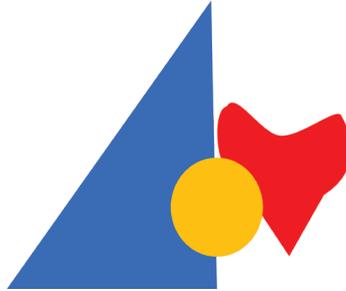
Fuente: elaboración propia

La velocidad del flujo inspiratorio avanza en forma de cónica hasta alcanzar las vías pequeñas y las flechas verdes representan el flujo espiratorio que lleva el CO<sub>2</sub>.

## ***Mezcla cardiogénica***

Los latidos del corazón contribuyen a la mezcla de gases, especialmente las unidades alveolares cercanas al corazón.

**Grafica 15. Relación pulmón corazón y unidades alveolares**



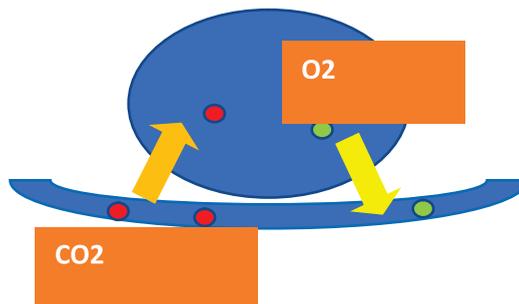
Fuente: elaboración propia

Las unidades alveolares cercanas al corazón, por el latido del corazón, generan intercambio gaseoso.

## ***Difusión molecular***

Comparte el concepto del paso de mayor concentración a uno de menor concentración en las unidades alveolares y membranas capilares, mecanismo que se comparte con la ventilación convencional; la difusión es debida a la oscilación térmica de las moléculas de gas ( $O_2$ ,  $CO_2$ ). Es probable que sea la forma más importante de transporte de gas que se encuentre próxima a la membrana alvéolo-capilar (4).

**Gráfica 16. Proceso de difusión**



Fuente: Elaboración Propia (2018)

En la siguiente gráfica se muestra la mayor concentración de un gas en el alvéolo ( $O_2$ ), lo cual hace la difunda al capilar, en el caso del  $CO_2$  en el capilar difunde del capilar al alvéolo.

### ***Ventajas de la VAF***

La ventilación de alta frecuencia produce presiones constantes en la vía aérea con pequeñas oscilaciones en las unidades alveolares generando un volumen pulmonar bajo durante el ciclo respiratorio. Estos pequeños cambios de volúmenes pulmonares están asociados a menor daño pulmonar con este tipo de ventilación, efecto que ha sido observado en trabajos en recién nacidos con una menor incidencia de EPC, esto explicaría también la utilidad en los síndromes de escape aéreo.

Los volúmenes pequeños que se utilizan durante la VAF permiten el uso de una mayor PWA logrando el reclutamiento de las unidades alveolares colapsadas optimizando el volumen pulmonar, resultando en una mejoría en la relación ventilación/perfusión, caso que se puede evidenciar en las patologías con microatelectasias difusas (membrana hialina). Logrando así la apertura alveolar, el mejoramiento del  $V_t$  y del intercambio gaseoso.

### ***Desventajas***

Durante el manejo de ventilación mecánica convencional el ventilador proporciona datos que son útiles para evaluar la mecánica pulmonar y la toma de decisiones; durante la VAF la monitoría respiratoria es escasa, no es posible obtener gráficas o bucles, haciendo difícil la valoración de sobredistensión o bajo volumen pulmonar, por lo cual se debe ventilar con precaución en las enfermedades pulmonares no homogéneas o patologías que puedan tener cambios en el corto plazo, ya que pueden desencadenar hiperventilación inadvertida (barrido de  $CO_2$ ) (16).

### ***Repercusión hemodinámica***

La VAF genera presión positiva en la vía aérea, y se ajusta acorde a las necesidades del cada paciente; un volumen pulmonar alto se puede lograr con aumento de la PAW, sin embargo esto puede ocasionar efectos sobre el

gasto cardíaco, el flujo sanguíneo y la presión venosa central, efectos que son los mismos cuando se compara con la ventilación convencional; la interacción cardiopulmonar durante la VAFO está determinada por el nivel de la PAW que se genere; estos valores pueden afectar el corazón-pulmón, es independiente de las frecuencias utilizadas. El uso de una PAW alta, hace que el pulmón se sobredistienda, ocasionando deterioro del retorno venoso, la función cardíaca y la reducción de la perfusión cerebral; en recién nacidos prematuros puede ocasionar hemorragia intraventricular. Existen reportes de bradicardia durante la VAF; este efecto se asoció a un mejoramiento de la compliance pulmonar (7).

El paciente que requiere VAF debe contar con una monitorización constante y estricta en las variables hemodinámicas (frecuencia cardíaca, presión arterial, llenado capilar) y respiratorias donde se pueda evidenciar una adecuada oxigenación y ventilación cuyo método puede ser a través de gases arteriales y/o venosos, con los cuales se pueda identificar la presencia de acidosis metabólica la cual puede estar indicando deterioro hemodinámico, o problemas en la demanda y consumo de oxígeno; el monitoreo en conjunto debe permitirnos evaluar los signos de bajo gasto cardíaco (hipotensión, bradicardia, llenado capilar alterado, color de la piel, disminución de la diuresis).



# Capítulo III

Víctor Hugo Estupiñan Pérez

## **Indicaciones clínicas de la VAFO**

Existen patologías pulmonares que son potencialmente reclutables, en las cuales el volumen de aire alveolar se incrementa con pequeños aumentos en la presión de las vías respiratorias; en estos pacientes con pulmón homogéneo, el aumento de la presión media de las vías respiratorias puede ser beneficioso; sin embargo, entre los pacientes con pulmón heterogéneo y no reclutable, el aumento de la presión media de las vías respiratorias puede conducir a una sobredistensión de algunas regiones pulmonares, sin aumento de la ventilación de los alvéolos colapsados, haciendo que la interacción cardiopulmonar dependa de la compliance del pulmón y la pared torácica, de la función ventricular izquierda y derecha, y del estado del volumen cardíaco.(20) Entre las indicaciones clínicas podemos encontrar:

1. Escape aéreo grave:
  - a. Enfisema intersticial.
  - b. Neumotórax
  - c. Neumopericardio
  - d. Neumoperitoneo
  - e. Fístula broncopleural

2. Hipertensión pulmonar persistente del recién nacido: con fracaso de la VMC (IO > 20) independiente de la indicación de óxido nítrico inhalado.
3. Neumonías
4. Broncoaspiración de meconio
5. Displasia broncopulmonar
6. Atelectasias pulmonares
7. Hipoplasia pulmonar (18)
8. SDR
9. Enfisema lobar severo en neonatos
10. Aumento de la presión intra-abdominal (19)
11. Hernia diafragmática congénita severa: en la etapa de estabilización que obligue a utilizar PIP > 25 CmH<sub>2</sub>O y con IO > 15
12. En el consenso de pediatría sobre SDR (PSDRA) se recomienda el uso de la VAF como un modo ventilatorio alternativo en pacientes con PSDRA moderado o grave en los que la Presión plateau es superior a 28 CmH<sub>2</sub>O, sin embargo estudios sobre la VAF y SDR no muestran disminución de mortalidad, otro estudio debió ser finalizado debido a la alta mortalidad (20).

**Tabla 5. Criterios de paso a ventilación de alta frecuencia en RN**

Criterio que puede ser tenido en cuenta para el uso de la VAF	
Recién nacidos la PIP > de 24 CmH <sub>2</sub> O valor relativo.	PIP > 25 CmH <sub>2</sub> O es absoluto.
RN termino PIP > de 25 CmH <sub>2</sub> O valor relativo	PIP > 28 CmH <sub>2</sub> O es absoluto

Fuente: Balderrama IR, García LV, Ochoa C. Artemisa Pediatría. Rev Mex Pediatr. 2006; 73(6):292-8.

### VAFO en diferentes patologías y situaciones

La VAF puede ser aplicada como estrategia ventilatoria para las diferentes enfermedades pulmonares que cumplan con el criterio clínico para su inicio; para una mejor comprensión del manejo de las patologías éstas pueden ser clasificadas como enfermedades pulmonares de alto volumen o bajo volumen.

### ***Estrategias de alto volumen pulmonar***

En este grupo se encuentran las enfermedades pulmonares homogéneas difusas o de alto volumen. Aquí se pueden nombrar las siguientes patologías: SDRA, neumonía difusa, y la hipoplasia pulmonar bilateral.

El objetivo de manejo durante la VAF con esta clasificación es mejorar el volumen pulmonar, reclutar para mejorar la oxigenación, teniendo en cuenta de hacer la menor lesión posible al pulmón. En estos casos en pediatría se aumentaría la PAW de 4 a 6 CmH<sub>2</sub>O por encima de la presión media de la ventilación convencional; en caso de requerir mayor presión se aumentaría 1 punto cada 10 minutos hasta lograr mejoría en la saturación de oxígeno o mejoría en la PaO<sub>2</sub> en los gases sanguíneos

En la actualidad la VAF no debe ser considerada como una estrategia de rescate y podría ser considerada como de instauración temprana, como lo han demostrado algunos estudios en los cuales pacientes con PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> < de 200 fueron sometidos a VAFO y tuvieron una mejoría gasométrica en las primeras 6 horas y la mortalidad fue del 13%. Otra ayuda que orienta para el inicio de la VAFO es el IO. La medición de este índice, cuyos valores sean mayor de 13 en neonatos y 18 en pediatría, nos muestra la necesidad de instaurar la VAFO, pero se puede considerar la acidosis respiratoria que no mejora con los parámetros “convencionales” en SIMV o cambios incipientes de enfisema intersticial para paso a HFV. A continuación se muestra la ecuación del Índice de oxigenación

$$\text{IO} = (\text{FiO}_2 \times \text{PAW} / \text{PaO}_2) / 100$$

### ***Neumopatías graves***

En general se consiguen buenos resultados si se emplean estrategias de alto volumen y aplicación de alta presión en neumopatías con afectación difusa como la EMH o la neumonía. La respuesta a la VAF puede no ser la mejor ya que depende del grado de edema pulmonar, obstrucción de vía aérea, y/o deficiencia del sistema de surfactante que puede producirse; el uso de VAF en pacientes con falla respiratoria está asociado a disminución de la morbilidad pulmonar (20).

### ***Hipertensión pulmonar persistente neonatal***

En esta patología existen reportes sobre la efectividad de la VAF; la aplicación de presión constante en la vía aérea hace que los alvéolos se recluten mejorando la oxigenación, al tiempo que el reclutamiento mejora la ventilación ocasionando disminución del CO<sub>2</sub> y resultando en disminución de la resistencia vascular pulmonar. El uso de la VAF y óxido nítrico inhalado ha mostrado ser eficaz en el tratamiento de patologías que se asocian con HPPN llevando a una disminución de pacientes que requieran soporte respiratorio extracorpóreo (ECMO) (21).

### ***Estrategia de bajos volumen pulmonares***

El manejo con esta estrategia será para patologías con escape de aire en el cual el objetivo es disminuir el escape de aire, que se puede lograr con bajas presiones en la vía aérea o la implementación de hipoxemia permisiva.

### ***Enfermedades pulmonares no homogéneas***

En este grupo encontramos el síndrome de aspiración meconio, hernia diafragmática congénita y la hipoplasia pulmonar.

El objetivo de la VAF es oxigenar y ventilar con la mínima presión necesaria de la vía aérea. Ya que pueden existir zonas que tiendan a ser hiperinsufladas debido a las diferencias de la compliance y resistencia pulmonar; en estos casos la PAW se debe colocar igual o menor que la PAW de la ventilación convencional, y si es necesario el aumento, debe ser gradual hasta que la saturación de oxígeno aumente hasta valores aceptados para el paciente; en los casos que no haya mejoría es recomendable volver a la ventilación convencional.

La ventilación de alta frecuencia en recién nacidos no ha demostrado que disminuya la incidencia de neumotórax, se debe tener en cuenta como una terapia electiva o de rescate; en los casos de existir hipoplasia pulmonar ésta debe ser considerada como un factor de riesgo (22).

## ***Escapes aéreos***

El neumotórax y/o el enfisema intersticial, son el resultado de la injuria pulmonar asociada a ventilación mecánica; la VAF es una estrategia que puede tener éxito en este tipo de pacientes, en este caso la estrategia está encaminada a usar PAW lo más bajas posibles, al igual que la delta P, logrando mantener una adecuada ventilación o permitir hipercapnia permisiva. En estos casos se puede mantener una  $FiO_2$  alta en las primeras 24 horas, con saturaciones  $>$  de 85%, vigilando los valores de Ph, de manera que permita disminuir la PAW, con un mantenimiento de saturaciones adecuadas (11).

El tratamiento de síndromes de fuga de aire, como enfisema intersticial pulmonar y la fistula traqueoesofágica y broncopleurales son las indicaciones mejor documentadas para HFV y universalmente aceptadas. Los estudios en animales, y estudios clínicos en niños que tenían enfisema intersticial pulmonar respaldan el uso de este tipo de ventilación. Los pacientes que tienen fugas de aire deben recibir tratamiento con HFV hasta al menos 24 horas después que la fuga de aire se haya resuelto (23).

## **Enfermedades obstructivas**

La VAF ha sido controversial en este tipo de patologías por el alto riesgo de atrapamiento de aire e hiperinflación dinámica. Sin embargo, existen reportes descriptivos del uso de la VAF en pacientes con asma y bronquiolitis, mostrando un descenso de los niveles de  $CO_2$  en la primera hora de manejo; es posible que la disminución de  $CO_2$  en la gasometría se deba a que la fase espiratoria es activa en el caso de la VAFO. La VAF puede ser considerada en pacientes que cursan con acidosis respiratoria refractaria, causada por una inadecuada ventilación (11).



# Capítulo IV

Víctor Hugo Estupiñan Pérez

## **Manejo de parámetros del ventilador de alta frecuencia**

Durante la instauración y el manejo, los parámetros del ventilador deben ser ajustados por el personal médico y/o terapeuta respiratorio; es importante que éstos conozcan los mecanismos de funcionamiento de la VAF y cómo estos pueden contribuir al mejoramiento o deterioro clínico en el paciente. Es importante recordar que gasométricamente modificamos los parámetros del ventilador para mejorar oxigenación o ventilación, pero pueden existir problemas al paciente, que contribuyen al deterioro del intercambio gaseoso como en el caso de: atelectasia la oxigenación o la ventilación, pero que pueden existir cambios fisiológicos asociados a la patología del paciente o estar ligados a los cambios en el respirador, que contribuyen al deterioro de intercambio gaseoso como: atelectasia, ocupación alveolar, obstrucción de la vía aérea, neumotórax, neumomediastino, disminución del flujo sanguíneo pulmonar, y atrapamiento aéreo, los cuales deben ser también valorados con el fin de establecer la estrategia ventilatoria apropiada para la ventilación (estrategia de alto volumen o bajo volumen) efectuando los cambios oportunos en el ventilador en el momento preciso, evitando de esta forma las potenciales complicaciones cardiopulmonares. Esto indudablemente significa que se debe realizar una evaluación constante de la clínica del paciente es sus variables hemodinámicas y respiratorias.

A continuación, se revisará cada parámetro del ventilador y su manejo inicial.

### ***Fracción Inspiratoria de Oxígeno (FiO<sub>2</sub>)***

Por lo general este tipo de ventilación se inicia con FiO<sub>2</sub> de 100% y se disminuye acorde a las saturaciones y valores de gases arteriales, el objetivo es mantener saturaciones mayores de 90%, o valores de acuerdo con la patología. El objetivo en el paciente pediátrico durante la VAF es tratar de disminuir el FiO<sub>2</sub> lo más pronto posible hasta niveles de 60% teniendo en cuenta la patología que se está tratando; en pacientes neonatos se debe disminuir hasta valores de 30%, evitando de esta manera toxicidad por O<sub>2</sub>. Se deben tener en cuenta los valores deseados para cada paciente por intermedio de pulsioximetría y corroborar a través de gases arteriales. Sin lugar a duda el FiO<sub>2</sub> es el primer parámetro que se debe disminuir especialmente en recién nacidos por el riesgo de toxicidad.

Es importante tener en cuenta que los problemas de la oxigenación están asociados a problemas de la ventilación, difusión y perfusión; ante situaciones de disminución de saturaciones espontáneas se debe pensar en los siguientes aspectos para tomar una decisión:

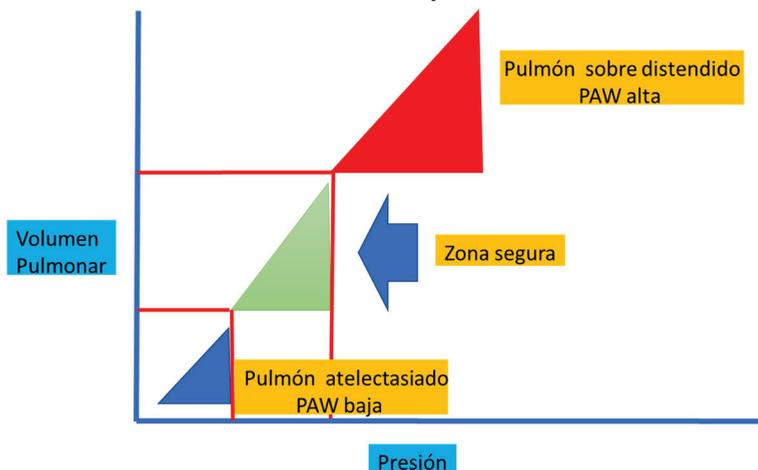
- El FiO<sub>2</sub> es el ideal.
- Existe suficiente ventilación en los alvéolos.
- El gasto cardiaco está disminuido.
- Los valores de Hb son adecuados.(24)

### ***Presión Media en la Vía Aérea (PWA)***

Es el parámetro de mayor importancia durante el manejo de pacientes con este tipo de ventilación; se relaciona con la oxigenación. La PAW es controlada directamente por el operador, el aumento de este parámetro optimiza el volumen pulmonar al lograr la apertura de alvéolos colapsados (4). El volumen pulmonar óptimo se logra al mejorar áreas colapsadas, esto mejora la relación V/Q, cuyo efecto se verá reflejado en la mejoría de la presión arterial de oxígeno, permitiendo de esta manera la disminución del FiO<sub>2</sub>, evitando los daños por toxicidad por oxígeno.

Uno de los desafíos durante la VAF es mantener un volumen pulmonar óptimo, el cual puede estar dentro de un estrecho margen entre la atelectasia y la sobredistensión del pulmón; es importante que reconozcamos los puntos donde se obtiene la mejoría en las variables respiratorias (sobredistensión o colapso) de manera que se pueda situar la ventilación en una ventana o zona segura.

**Gráfica 17. Relación entre PAW y reclutamiento alveolar**



Fuente Elaboración propia (2018)

en la anterior gráfica se muestra zonas de sobredistensión en el punto superior el pulmón tiene su mayor capacidad de volumen ocasionando, sobredistensión (barotrauma,) la zona inferior debida a la pérdida de volumen pulmonar ocasionada por una PAW baja hace que se presente colapso de vías aéreas (atelectrauma)

El reclutamiento alveolar se puede llevar a cabo por diferentes métodos, pero la estrategia comúnmente utilizada es aumentar progresivamente la PAW; también se puede utilizar la elevación transitoria en PAW durante 30-60 segundos, maniobra que se utiliza con el objetivo de reclutar segmentos pulmonares atelectásicos. El volumen pulmonar óptimo se considera aquel que logra un buen volumen pulmonar con una PAW lo más baja posible, y permite una adecuada oxigenación; los valores de PAW bajos pueden llevar a volúmenes pulmonares bajos, ocasionando efectos pulmonares fisiológicos indeseados (25) y ocasionando colapso alveolar, y atelectasias.

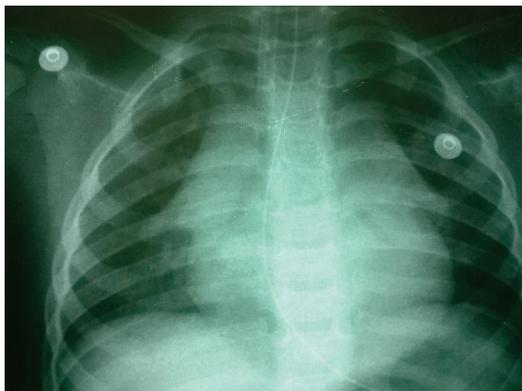
En el estudio publicado por Fusciardi, sobre los efectos de la PAW en la hemodinámica demuestra que el aumento de la presión media de la vía aérea inducida por la variación de la relación I: E durante HFJV afecta la hemodinamia. Además disminuye el gasto cardíaco y aumento en la diferencia arteriovenosa. Sin embargo en pacientes con insuficiencia respiratoria aguda existe mejoría la  $PaO_2$  (12)(26).

La optimización del volumen pulmonar mediante la PAW ha demostrado mejoría del intercambio gaseoso y de las propiedades mecánicas del pulmón, logrando una distensión uniforme y contribuyendo a reducir el escape aéreo. El manejo actual la VAF se enfatiza en el reclutamiento alveolar manteniendo la presión positiva en la vía aérea sobre la presión crítica de cierre, para evitar la atelectasia pulmonar(13). Se puede aumentar la PAW (2 puntos) hasta lograr un reclutamiento alveolar, que lleve a mejorar la oxigenación, en adultos la PAW puede llevarse hasta 50  $CmH_2O$ ; en pediatría no existen valores que se recomienden pero se deben relacionar los valores de la PAW con el gasto cardíaco (10).

En el destete los parámetros durante la VAF deben aplicarse en forma gradual, especialmente la PAW; un descenso brusco puede ocasionar atelectasias y descompensación en la gasométrica arterial que se verá reflejada en la oxigenación debido a la pérdida de volumen pulmonar. Ésta pérdida de volumen pulmonar se puede ver también durante la fase de recuperación de la enfermedad el dejar los valores bajos de la PAW sin modificación en el periodo de destete ocasionando colapso de las vías aéreas.

Para la medición del volumen pulmonar se puede utilizar como referencia la radiografía de tórax, teniendo en cuenta el número de espacios intercostales como una guía; por lo general entre ocho y nueve espacios intercostales se consideran un buen volumen pulmonar, más de nueve espacios intercostales, diafragmas planos y silueta cardíaca estrecha, sugieren una sobredistensión pulmonar. La RX de tórax durante las primeras dos horas de iniciada la VAFO es de gran importancia; se debe considerar si hay inestabilidad o si se realizaron cambios importantes en los parámetros del ventilador (11).

### Grafica 18. Radiografía de Tórax posterior al inicio de la VAF.



Fuente: Elaboración propia (2018)

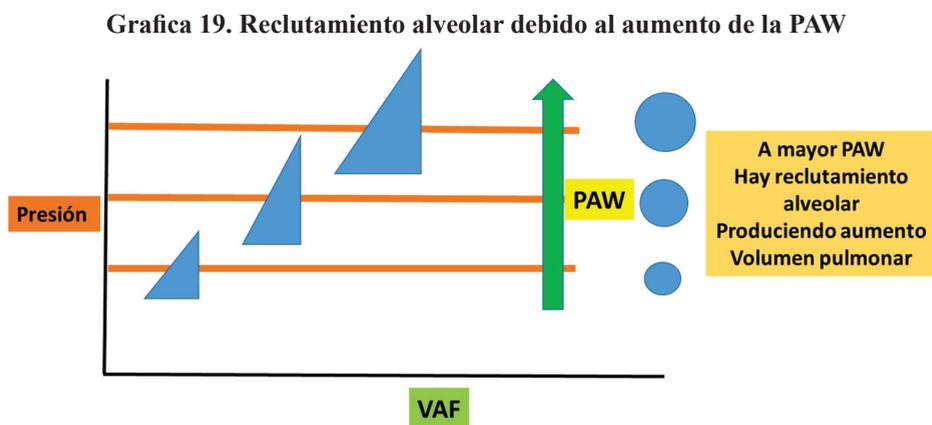
En la siguiente gráfica se muestra una radiografía de tórax que muestra 7 espacios intercostales, lo cual indica el volumen pulmonar que es generada por la aplicación de la la PAW y que puede ser aumentada de ser necesario.

Para el paso de ventilación convencional a VAF se toma en cuenta el valor de la PAW del ventilador convencional, a este valor se suma de 4–6  $\text{CmH}_2\text{O}$  del valor registrado; esto en el caso del paciente pediátrico, para el paciente neonatal se suma 1-2  $\text{CmH}_2\text{O}$ ; una vez en ventilación de alta frecuencia se debe incrementar la PAW 1-2 puntos en forma activa cada/5-10 minutos hasta lograr el “punto de apertura” es decir el reclutamiento del pulmón, el cual se puede evidenciar con la mejoría en el intercambio gaseoso y la oxigenación, resultados que se pueden medir en la pulsioximetría o gases arteriales. Una vez logrado el reclutamiento alveolar, debe existir una mejoría sostenida en la  $\text{PaO}_2$  y esta debe permanecer estable, esto indica que existe un buen volumen pulmonar; posterior a esto nos permitirá una disminución gradual de la PAW, hasta lograr una mínima PAW, que mantenga estable la función respiratoria (11).

En los síndromes de escape aéreo, (estrategia de bajo volumen) se recomienda que PAW sea igual al valor de la convencional, e incluso por debajo de la ventilación convencional, y considerar hipercapnia permisiva; esto ayudaría a disminuir la lesión pulmonar. Los ajustes posteriores de la PAW se realizan de acuerdo con los valores de la  $\text{PaO}_2$ ,

saturación arterial de oxígeno y la verificación de RX de tórax. Los pacientes con escapes aéreos como enfisema intersticial o neumotórax deben manejarse con el menor volumen pulmonar posible; para el destete en este tipo de pacientes se debe considerar disminuir primero la PAW y luego la  $FiO_2$ .

Una vez conseguido el objetivo del volumen pulmonar, el paso a seguir es disminuir la PAW con disminución gradual de  $1 \text{ CmH}_2\text{O}$ , si es tolerado por el paciente, y lograr que se mantengan adecuados niveles de oxigenación (pulsioximetría) o gases arteriales.



Fuente: Elaboración propia (2018)

En la siguiente gráfica se muestra el comportamiento de la PAW. Note que a medida que aumentamos la PAW, los alvéolos colapsados tienden a tener mayor apertura, mayor reclutamiento alveolar y mejor CRF, logrando aumento del volumen pulmonar.

### **Hertz**

Los Hertz, es un parámetro útil para mejorar la ventilación alveolar, debemos tener en cuenta que  $1 \text{ Hz} = 60 \text{ ciclos/min}$ ; es importante recordar que a mayor Hz existe una menor entrega de  $V_t$ , debido al acortamiento del tiempo espiratorio ocasionando un aumento del  $CO_2$ ; contrario a la

ventilación convencional, esta debe ser fijada acorde a la edad gestacional en el recién nacido, o al peso para el paciente pediátrico, y una vez establecida acorde a las anteriores variables, se debe mantener sin cambios durante todo el manejo de la VAF. A continuación, se muestran los valores para recién nacidos y pediatría.

**Tabla 6. Valores de Hz en neonatos**

Peso	Hz
> 2 Kg	10 – 12 RNT
< 2 Kg	10 – 15 RNP

Fuente: Jarvis S, Burt K, English W. High Frequency Oscillatory Ventilation. Anaesthesiology [Internet]. 2012; 1–11. Available from: [http://www.frca.co.uk/Documents/261\\_High\\_Frequency\\_Oscillatory\\_Ventilation.pdf](http://www.frca.co.uk/Documents/261_High_Frequency_Oscillatory_Ventilation.pdf)

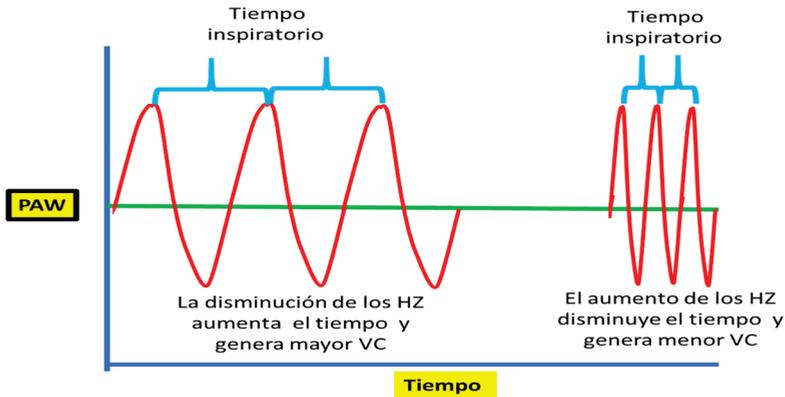
**Tabla 7. Valores de Hz para pacientes pediátricos según el peso**

Peso	Hz
2 a 12	10
13 a 20	8
21 a 30	7
> de 30	6

Fuente: Ugarte S, Jiménez E, del Despósito A. Ventilación de alta frecuencia oscilatoria. Rev Chil Med Intensiva. 2011; 26(1):35–44.

La frecuencia puede ser seleccionada en rangos entre 4 y 28 Hz, de acuerdo con el modelo del ventilador y la patología que se va a ventilar; generalmente se utilizan frecuencias entre los rangos de 4 a 15 Hz. En los pacientes con distensibilidad normal, cuya constante de tiempo es elevada, se recomienda iniciar con 7 a 10 Hz. Es importante conocer que la disminución de los Hz incrementa la ventilación alveolar debido a una mayor entrega del Vt; clínicamente se observa en el paciente con una mayor vibración del tórax (13).

**Grafica 20. Diferencia entre tiempo inspiratorio y los Hz**



Fuente: Elaboración Propia (2018)

En la anterior gráfica se muestra el compromiso que tiene el tiempo inspiratorio al aumentar los Hz; el tiempo del ciclo es más corto y existirá menor tiempo para la exhalación, debemos tener en cuenta que, al disminuir los Hz existirá una mayor área bajo la curva (volumen); esto explica que la alternativa para barrer  $\text{CO}_2$  es disminuir los Hz.

### ***Amplitud Oscilatoria. (Delta P)***

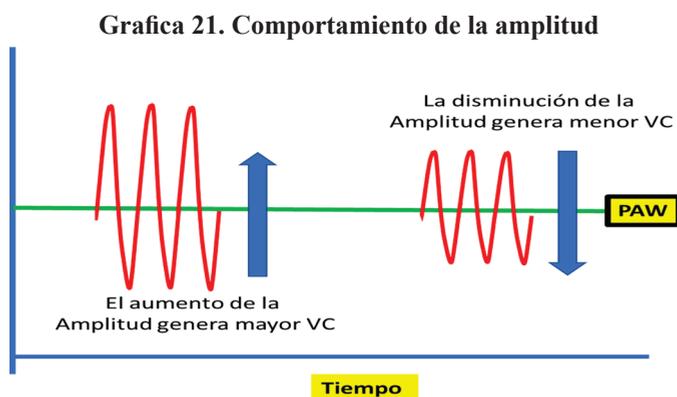
Se mide en  $\text{CmH}_2\text{O}$ , ( $\Delta P$ ); se puede considerar que es la diferencia entre la presión máxima y mínima. A mayor amplitud seleccionada se entregará un mayor  $V_t$ , contribuyendo de esta manera al barrido de  $\text{CO}_2$ , los niveles de  $\text{CO}_2$  pueden verse afectados a cambios en la distensibilidad del sistema respiratorio y/o variaciones en el lumen del tubo endotraqueal ya que esto contribuye a que varíe el volumen corriente entregado; por tal motivo, el tubo orotraqueal debe permanecer limpio y evitar cualquier posible acodamiento del tubo endotraqueal o taponamiento por secreciones.

La selección de la amplitud es muy subjetiva, pero se recomienda una ligera vibración del tórax la cual debe ser constante y bilateral (recién nacidos); en pediatría se recomienda lo anterior más la vibración del abdomen; es meritorio el control de gases en los primeros 20 minutos de iniciada la ventilación, para evitar la alcalosis respiratoria y los efectos que esta pueda acarrear.

Durante el examen físico o el monitoreo del paciente es importante observar que exista vibración de la caja torácica, en caso contrario debemos pensar en tres aspectos importantes:

- Taponamiento del tubo orotraqueal
- Escapes de aire
- Desplazamiento del tubo orotraqueal

Situaciones que son emergencias y deben ser resueltas de inmediato.



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente gráfica se muestra la relación que hay entre el aumento de la amplitud y el barrido de  $\text{CO}_2$ ; note que al aumentar la amplitud aumenta el área bajo la curva (volumen corriente) mejorando el barrido de  $\text{CO}_2$

Durante el manejo con VAF en el paciente podemos encontrar aumento de la vibración de la caja torácica, esto indica que la compliance pulmonar ha mejorado; frente a esta situación es meritorio hacer control de gases arteriales para tomar la decisión de disminuir la delta P para evitar barridos de  $\text{CO}_2$  que lleven a alcalosis respiratoria.

Los valores de la amplitud o delta P pueden modificarse de 5 en 5  $\text{CmH}_2\text{O}$  teniendo en cuenta que a mayor amplitud mejora el  $V_t$ , mejorando así la ventilación alveolar.

## Flujo

Se puede decir que es la velocidad con la que se entrega el flujo a la vía aérea, regula la mezcla gaseosa que continuamente pasa por la vía aérea del paciente. Es importante una selección adecuada; un flujo insuficiente puede aumentar el espacio muerto y por consiguiente disminuirá la ventilación, esto sucede especialmente cuando los valores de amplitud son muy altos (3).

El flujo Durante la VAFO está determinado por la combinación del flujo basal del circuito y la presión retrógrada que se crea por la abertura de la válvula espiratoria. Los cambios en el flujo pueden variar la PAW. A continuación, se presentan los valores del flujo acorde al peso.

**Tabla 8. Flujo de gas acorde al peso del paciente**

20-30 l/min	20 kg de peso
30-40 l/min	20 - 50 kg de peso
30 l/min	> 50 kg

Fuente: Manual sensor Medics 3100<sup>a</sup>

Los flujos requeridos para este tipo de ventilación son altos, por lo general de 20 l/min. Esto puede ocasionar problemas en la vía aérea y lesiones en la tráquea, lo que amerita que exista una adecuada humidificación, y calefacción de los gases, para evitar complicaciones pulmonares como atelectasias, el daño irreparable de los cilios o la necrosis de la tráquea.

## Tiempo inspiratorio (*T.insp*)

Este parámetro en el sensor medics se puede modificar; debe mantenerse en un 33% esto permite mantener una relación I:E 1:2. En casos de no lograr disminución de la PaCO<sub>2</sub> a pesar de tener la amplitud alta y cambio en los Hz, se podría considerar el aumentar el porcentaje del T.insp., siendo esta maniobra de carácter excepcional. Estudios realizados en niños, sobre cambios en la relación I:E han demostrado que una relación de 1:1 mejora la eliminación de CO<sub>2</sub> (27) debido a la mejoría del Vt.

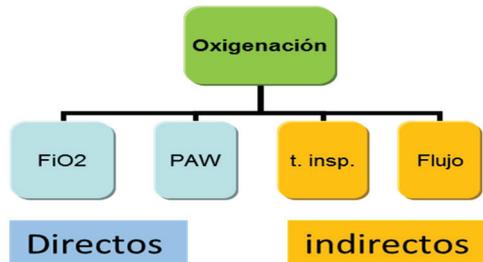
## Control de la oxigenación

El objetivo de la ventilación artificial es el mejoramiento de la ventilación, a través de lograr un volumen pulmonar óptimo y el mantenimiento de la CRF, sin que exista compromiso del gasto cardíaco o se altere la resistencia pulmonar. El manejo de la oxigenación durante la VAF depende de las siguientes variables:  $F_iO_2$  y la PAW. Otra manera de mejorar la oxigenación es realizando reclutamiento; esta maniobra se puede aplicar de forma sostenida o mediante suspiros, sin embargo la insuflación prolongada puede resultar en retención de  $CO_2$ , (28) y ocasionar empeoramiento en la oxigenación.

La modificación de los parámetros de oxigenación debe ser controlada a través de gases arteriales, y/o la oximetría de pulso, debe ser valorada, y el grado de hipoxemia, determinando si los valores pueden ser aceptados para cada patología o situación.

En la siguiente gráfica se muestra en orden de importancia el manejo de parámetros para mejorar la oxigenación.

Gráfica 22. Parámetros de oxigenación de VAF



Fuente: Elaboración propia (2018)

Se muestran los parámetros que rigen la oxigenación; la  $F_iO_2$  y la PAW son parámetros directos que mejoran la oxigenación en mayor proporción, mientras el T.insp y el flujo se consideran indirectos, no tienen mayor injerencia en la oxigenación

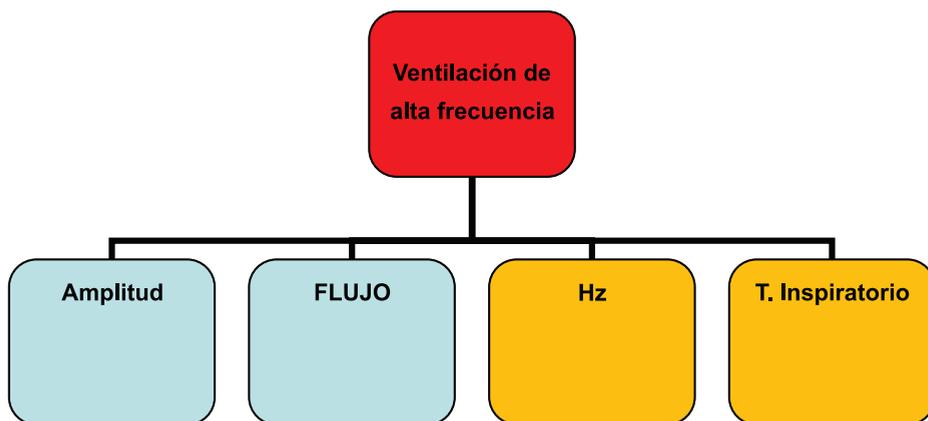
## Control de la ventilación

La VAF está determinada principalmente por la amplitud (delta P) que permite la entrega del volumen corriente al paciente. La modificación de este parámetro debe realizarse con el resultado de los gases arteriales, tratando de mantener una  $\text{PaCO}_2$  adecuada al paciente. El ubicar un monitor transcutáneo de  $\text{CO}_2$  puede ser de gran ayuda, fundamentalmente durante el comienzo de la VAF.

Un control sobre la vibración del tórax del RN o del niño no es garantía de un adecuado nivel de  $\text{PaCO}_2$ , lo cual amerita el control con gases arteriales para determinar los niveles de  $\text{PCO}_2$ , en un tiempo de 15-30 minutos después de haber iniciado la VAF.

En la siguiente gráfica se muestran los parámetros ventilatorios durante la VAF, que ayudan al manejo de la ventilación.

Gráfica 23. Parámetros de VAF



Fuente: Elaboración Propia (2018)

En la siguiente gráfica se muestra los parámetros que gobiernan la ventilación, siendo de mayor importancia la amplitud y el flujo.

### ***Transición de ventilación convencional a VAF***

Una vez conocidas las indicaciones de la VAF es necesario conocer el ventilador con el que se cuenta en la UCI. En el caso de los ventiladores que se utilizan en RN, como es el caso SLE 5000 o Babylog 8000 solo se necesita hacer el cambio en el ventilador del modo convencional a VAF. Se recomienda inicialmente pasar a modo CPAP y luego hacer el paso a VAF, para luego reajustar la PAW, teniendo como base el valor de la PAW en la ventilación convencional(18). Los valores mayores a 15 CmH<sub>2</sub>O tienen una relación directa con el aumento de riesgo de barotrauma (neumotórax o enfisema intersticial)(29).

En el caso del sensor medics 3100<sup>a</sup>, para el inicio se necesita el retiro del ventilador convencional para colocar la VAF; durante este proceso es necesario mantener la presión en la vía aérea mediante presión positiva (ambu), manteniendo siempre estables las variables hemodinámicas y respiratorias durante el cambio de respirador. Este procedimiento requiere el trabajo del grupo interdisciplinario (médico, enfermería, de terapia respiratoria) lo cual ayudará a evitar posibles descompensaciones del paciente. En el caso que el paciente no tolere el cambio se debe dejar la ventilación convencional. Es importante tener en cuenta los protocolos que se tenga en cada institución.

### ***Estrategias ventilatorias y de oxigenación***

Durante la ventilación de alta frecuencia es necesario conocer cómo se puede mejorar la oxigenación o la ventilación acorde a los resultados de gases arteriales. En la siguiente tabla se muestran las estrategias de manejo según el trastorno.

**Tabla 9. Estrategias para el manejo de la VAF**

Baja PaO <sub>2</sub>	PCO <sub>2</sub> alto
Obstrucción de tubo orotraqueal Chequear vibración de tórax Chequear sonidos del tórax Verificar agua en el circuito Neumotórax (movimiento simétrico del tórax), trasiluminador Rx de tórax	Obstrucción del tubo orotraqueal Insuficiente ventilación alveolar Disminución de vibración de tórax (aumente amplitud) Incremento de la resistencia (enfermedades no homogéneas)
Sub óptimo volumen pulmonar Aumente la PAW Considere RX de tórax	
Alto volumen pulmonar Control de gases arteriales Reduzca la PAW Considere RX de tórax	

Hipoxia	Hiperoxia
Aumentar PAW Realizar maniobras de reclutamiento alveolar Aumentar FIO <sub>2</sub>	Disminuir la FiO <sub>2</sub> hasta un rango seguro, según cada patología (valores adecuados) Disminuir la PAW
Hipocapnia	Hipercapnia
Disminuir amplitud Disminuir Hz Aumentar PAW	Aumentar amplitud Aumentar Hz Disminuir PAW Desinflar neumotaponador

Fuente: Stawicki SP, Goyal M, Sarani B. High-Frequency Oscillatory Ventilation (HFOV) and Airway Pressure Release Ventilation (APRV): A Practical Guide. J Intensive Care Med. 2009;24(4).

## Complicaciones

- a) Hipotensión. Esta complicación se encuentra asociada al uso de altas presiones medias de la vía aérea que contribuyen a la disminución de la precarga y se exagera por la hipovolemia; se puede manejar con apoyo de inotrópicos y adecuado aporte de volumen. En este caso se debe descartar siempre que la PAW sea tan alta que colapse el corazón y el

lecho pulmonar(11). Se calcula que el 26% de los pacientes deben ser discontinuados por problemas hemodinámicos (15).

- b) Incremento de la presión venosa central. Debido al aumento de la PAW, la cual contribuye a disminución del retorno venoso.
- c) Atrapamiento aéreo, sobre expansión pulmonar y barotrauma (17). Este tipo de lesión está asociada a un exceso de presión en la vía aérea. El 21,8% de los pacientes que recibe VAFO puede producir neumotórax(11), y está asociado al uso de altas frecuencias. Otra lesión importante es el enfisema subcutáneo puede encontrarse en un 3%.El 6% pueden cursar con enfisema subcutáneo y penumomediastino respectivamente(32).

El neumotórax se puede producir durante el manejo del paciente con VAF sin presentar cambio en los parámetros del ventilador; cuando este se presenta los cambios los veremos en el paciente (hipotensión, desaturación, bradicardia); es importante que el personal de UCI reconozca estos cambios para realizar el manejo oportuno. La auscultación en este tipo de situación es difícil por el sonido que hace el ventilador; debemos vigilar la clínica del paciente, la falta de expansión de un hemitórax orientará el lado que tiene el neumotórax, siendo una urgencia que debe ser drenado lo más pronto posible. Se sugiere mantener una saturación  $>85\%$  y una adecuada eliminación de  $\text{CO}_2$ ; también valorar la posibilidad de hipercapnia permisiva, para lograr disminuir la PAW.

Una teoría del beneficio de la VAFO en esta situación es que el gas entra a las vías aéreas bajas a una presión constante. Al igual la diferencia entre la presión pleural y el pulmón es baja, ocasionando un menor escape de aire (33).

- d) Atelectasia. Atelectrauma, si se desciende rápidamente PAW.
- e) Hemorragia intracraneana. Específicamente en RN prematuros, asociada a estrategias de volúmenes inadecuados.
- f) Necrosis traqueo bronquial. (asociada a VAF jet).
- g) Hiperventilación o hipoventilación. Debidos a ajustes inadecuados de parámetros del ventilador.
- h) La oclusión del tubo orotraqueal se presenta entre un hasta un 5% de los pacientes que reciben ventilación de alta frecuencia; se puede evitar colocando una adecuada humidificación(11). La humidificación de los

gases utilizados debe ser óptima por los altos flujos que se utilizan con este tipo de ventilación, estas dos variables producen resecamiento de las secreciones en las vías aéreas lo cual contribuye a la obstrucción del TOT, o atelectasias. Los incrementos bruscos de CO<sub>2</sub>, o cambios en la amplitud del tórax pueden ser indicativos de taponamiento del TOT(17).

- i) Bradicardia. Atribuido a la actividad vagal durante la VAF(18).
- j) Desacople: En niños puede ser necesario colocar sedación (18).
- k) Edema periférico debido a la disminución del retorno venoso especialmente cuando se utilizan PAW altas.

Durante el uso de la VAF han sido reportados casos de embolismo aéreo.

## **Humidificación**

La humidificación de la vía aérea debe ser proporcionada en todos los pacientes que requieren ventilación invasiva, la cual debe entregar humedad a los gases especialmente en la VAF; una inadecuada o la falta de humidificación contribuye al daño bronquial y pulmonar, especialmente en los pacientes que reciben VAF tipo jet, produciendo traqueo bronquitis necrotizante (34) (35); la humedad debe ser entregada a una temperatura de 37°C, y conseguir una humedad de 44 mg/litro.

Existen dos tipos de humidificadores, los pasivos, entre los cuales se encuentran: las denominadas nariz de camello que cumplen la función de filtrar y calentar pero no son los ideales para el uso en la VAF. Estos solo suplen una humedad que va desde los 10 hasta los 34 mg / litro.(36); este tipo de humidificadores es muy cuestionado en la ventilación de alta frecuencia si se tiene en cuenta la efectividad, humedad y temperatura que estos pueden producir (35).

La humidificación activa “cascadas” que son muy comunes durante la ventilación convencional, pero se asocian a infecciones nosocomiales, y a contaminación; al igual el manejo incorrecto por parte del clínico puede

llevar a daños severos de la tráquea y los pulmones, debido a las altas temperaturas que se generan en la vía aérea (quemaduras de tráquea). Otro problema que podemos encontrar es la sobre-hidratación de la mucosa(34). Una inadecuada humidificación puede llevar al resecamiento de las secreciones, esto depende del tiempo de exposición a los gases secos que ocasionan atelectasias, oclusión del tubo orotraqueal, alteraciones en la capacidad residual funcional, disminución de la compliance y un aumento del shunt (37) (38).

Estudios han demostrado que después de tres horas de exposición al gas anestésico seco, el epitelio respiratorio tiene dañados en los cilios, y existen cambios citoplasmáticos hasta en un 39%; además en un 48% existen cambios nucleares, el flujo de oxígeno/aire seco disminuye la velocidad de depuración de las vías aéreas (39).

Es importante en este tipo de ventilación proporcionar una adecuada humidificación de la vía aérea; el humidificador debe tener una capacidad para soportar un flujo de hasta de 40 LPM, y proporcionar una monitoria de la temperatura del gas cercano al tubo orotraqueal.

La temperatura en los calentadores de los humidificadores debe estar alrededor de 37°C; existe un inconveniente en las UCI de recién nacidos los sensores de la T° pueden captar la T° del medio ambiente (incubadora o mesas de calor radiante), proporcionando datos erróneos y ocasionar el mal funcionamiento de la cascada, (39). Idealmente el humidificador debe proporcionar una humedad relativa del 90%(18). Esto evita el resecamiento de secreciones y el daño irreversible a nivel de los cilios, necrosis de la tráquea por la falta o ineficiencia de la humidificación.

El monitoreo del humidificador debe ser constante, debido a que los niveles de agua en el reservorio del humidificador descienden rápidamente, alterando la medición de la amplitud (la disminuye) ocasionando cambios en los gases arteriales (CO<sub>2</sub>); actualmente existen cascadas que se llenan automáticamente a medida que se consume el agua, esto no permite el descenso del nivel del agua evitando problemas con la amplitud.

### Grafica 24. Cascada utilizada para VAF



Fuente: Elaboración Propia (2018)

### *Contraindicaciones*

La VAF tiene criterios precisos para el inicio, sin embargo el desconocimiento de su funcionamiento y el manejo del ventilador pueden limitar al clínico al uso de este tipo de ventilador; esto aspectos puede contribuir al deterioro clínico e incluso la muerte.

Existen, sin embargo, situaciones o patologías que contraindican su inicio dentro de las cuales se puede nombrar la obstrucción de la arteria pulmonar (contraindicación relativa). También hay contraindicaciones absolutas: hipertensión intracraneana, coagulopatía, hemorragia intracraneal,(18) y el posoperatorio de Fontán.

La hipotensión es un claro criterio para no iniciar la VAF; el uso de altas PAW causan mayor deterioro e inestabilidad hemodinámica debido a la disminución del gasto cardíaco, siendo necesario, antes de iniciar, verificar el estado hemodinámico del paciente.

La sedación y relajación muscular es una contraindicación relativa en el RN, sólo se realizará en caso extremo cuando el paciente no se acople al ventilador, o luego de agotar todas las estrategias para el acople con el ventilador; un paciente combativo tiene mayor riesgo de hacer barotrauma.

## Criterios de fracaso en la ventilación convencional

Uno de los criterios de fracaso puede estar definido por los valores de la gasometría arterial, la cual a pesar de realizar cambios en el respirador convencional los valores en la  $\text{PaO}_2$  no tiene cambios y pueden ser considerados  $\text{PaO}_2 < 50 \text{ mmHg}$  y/o  $\text{PCO}_2 > 55 \text{ mmHg}$ , con  $\text{FiO}_2 > 0.8$ , la frecuencia respiratoria  $>$  de 70 por minuto (en el caso de neonatos); algunos autores mencionan los valores de la  $\text{PAW} > 12 \text{ CmH}_2\text{O}$  como indicador de fracaso. En la siguiente tabla se muestran los valores de PIP relacionados con el fracaso ventilatorio.

**Tabla 10. Indicadores de fracaso de la ventilación mecánica convencional en RN**

PIP	Peso
$>18 \text{ cm H}_2\text{O}$	$<750 \text{ g}$
$> 20 \text{ cm H}_2\text{O}$	750-999 g
$> 25 \text{ cm de H}_2\text{O}$	1000-1499 g
$> 28 \text{ cm de H}_2\text{O}$	$> 1499 \text{ g}$

Fuente: A.gutierrez laso et al. Ventilación de alta frecuencia en el recién nacido. An españoles peditria. 1997;2(7):184.

En los pacientes crónicos valores de  $\text{PaCO}_2$  elevados son tolerables, criterios que no pueden ser aplicados como fracaso ventilatorio como se mencionó anteriormente; en RN sometidos a ventilación mecánica con EMH se suele definir la “fracaso de VMC” cuando ésta se presenta después de una dosis inicial de surfactante, y no es posible disminuir la  $\text{FiO}_2$  menos del 40% y la  $\text{PAW}$  es superior a  $7 \text{ CmH}_2\text{O}$ . La siguiente tabla se muestran los criterios de fracaso que pueden ser tenido en cuenta para adolescentes.

**Tabla 11. Indicadores de fracaso de VMC en pacientes adultos**

Fracaso de la ventilación en adultos
Fracaso de la oxigenación $\text{FiO}_2 > 0,7$
$\text{PEEP} > 14 \text{ CmH}_2\text{O}$
$\text{IO} > 15$
Ventilación $\text{PH} < 7,25$ con $\text{Vt} > 6\text{ml/kg}$
Presión plateau $< 30 \text{ CmH}_2\text{O}$
Requerimiento de parálisis para oxigenar
$\text{PAW} > 20 \text{ CmH}_2\text{O}$
Caída brusca de la oxigenación en 24 horas

Fuente: Revista chilena de medicina intensiva. 2011; vol. 26(1): 35-44

## **Criterios de fracaso de la VAF**

Se puede considerar que existe un fallo cuando no hay una mejoría de la oxigenación, o hay una imposibilidad de disminución del  $\text{FiO}_2$  en 10 puntos durante las primeras horas de iniciada la VAF. Otro criterio es la falla en la mejora en el mantenimiento de una ventilación adecuada, entendida como la incapacidad de mantener una  $\text{PCO}_2$  por debajo de 80 mmHg y pH de 7,25. (8) (30)

### ***Destete de la VAF***

Una vez lograda la recuperación pulmonar se debe pensar en el destete; este no debe retardarse innecesariamente o realizarse en forma prematura, ya que una buena valoración puede llevar al retiro definitivo de la VAF pasando a la ventilación convencional; durante el destete es importante llevar la amplitud a niveles que logren obtener un  $\text{CO}_2$  adecuado, la PAW debe estar entre 15 y 20  $\text{CmH}_2\text{O}$ , (paciente pediátrico). Otro parámetro clínico que se debe tener en cuenta para el paso a ventilación convencional es la estabilidad del paciente durante la succión del tubo orotraqueal (TOT); en la cual el paciente debe tener una recuperación rápida de los niveles de saturación de oxígeno posterior a la succión del TOT esto se puede considerar como indicador de que el paciente puede ser cambiado a modo convencional. Los niveles de  $\text{FiO}_2$  deben ser menor o iguales al 40%. Estos parámetros, junto con la valoración de los gases arteriales, los cuales deben reflejar un adecuado intercambio de gases.

En neonatos la amplitud debe ser reducida acorde a los valores de los gases arteriales, y verificando la vibración del tórax (simétrica); una vez se destete de la VAF las respiraciones espontáneas pueden aumentar el volumen corriente, contribuyendo al barrido de  $\text{CO}_2$ , la PAW debe ser reducida de 1 a 2 puntos hasta lograr valores de la PAW de 10 – 12  $\text{CmH}_2\text{O}$  (12).

### ***Criterios y modo de suspensión de VAFO***

El destete de parámetros no debe hacerse de forma prematura, específicamente la PAW, ya que esto ocasiona el colapso de las vías aéreas y atelectasias. En los niños desafortunadamente no existen

criterios claros para realizar el destete, pero una PAW < de 17 CmH<sub>2</sub>O y FiO<sub>2</sub> de 0,4 se puede considerar como indicador del paso a ventilación mecánica convencional.

Una vez logrado el destete de los parámetros del ventilador de alta frecuencia, el paso a ventilación convencional se debe tener en cuenta las recomendaciones de la siguiente tabla.

**Tabla 12. Parámetros de uso para paso de VAF a convencional**

Pediatria	Neonatos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modo control presión</li> <li>• Vt 6-8 ml/kg</li> <li>• FR 20 – 25 RPM</li> <li>• I/E = 1:2</li> <li>• PEEP 12</li> <li>• PAW 20 CmH<sub>2</sub>O (± 2 CmH<sub>2</sub>O)</li> <li>• FiO<sub>2</sub> un 10% &gt; que la utilizada en VAFO</li> <li>• P. Plateau &lt; de 35 CmH<sub>2</sub>O</li> </ul>	<p>Modo presión control Vt 4 -6ml/kg FR 30- 35 RPM</p> <p>PEEP 5-6 CmH<sub>2</sub>O PIM 22 CmH<sub>2</sub>O PAW 7 CmH<sub>2</sub>O FiO<sub>2</sub> igual de la VAF</p>

Fuente: Dr. Kiopper Tartabull Poutriel et al, Ventilación de alta frecuencia: una opción terapéutica del Síndrome de Distrés Respiratorio del Adulto, disponible en [scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1025-02552010000200019](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-02552010000200019)

En neonatos la extubación se puede realizar directamente desde VAF(2) (10), teniendo en cuenta que exista respiración espontanea, y hemodinámicamente se encuentre estable; el peso es importante al decidir una extubación directa (peso mayor de 1500 gr); se puede colocar en Hood con una FiO<sub>2</sub> mayor al del modo que se encontraba o que mantenga saturaciones adecuadas. En el caso que pese menos de 1500 gr., se puede extubar directamente a CPAP nasal o cánula de alto flujo. (13). En niños la extubación directamente de la VAF casi no es posible debido a que no toleran la disminución de sedación, esto permite que existan respiraciones espontaneas ocasionando despresurización de los circuitos y llevando a activar las alarmas e incluso a que el ventilador se detenga.



# Capítulo V

Víctor Hugo Estupiñan Pérez

## *Monitoreo durante la VAF*

Durante VAF la monitorización clínica es importante y debe realizarse en forma minuciosa y continua debido a los efectos que este tipo de ventilación puede ocasionar a nivel cardíaco y pulmonar; la alcalosis respiratoria puede ocurrir en forma muy temprana después de iniciada la VAF, contribuyendo a complicaciones atribuidas al barrido de CO<sub>2</sub>, su monitoreo se puede hacer mediante la toma y análisis de gases arteriales, pulsioximetría de pulso, radiografía de tórax, con lo cual evaluamos la respuesta a la VAF y el volumen pulmonar respectivamente. El uso de transcutáneo de CO<sub>2</sub> puede ser una alternativa para el manejo de la ventilación. La evaluación de gasto urinario, tensión arterial, frecuencia cardíaca, perfusión y la función pulmonar deben ser medidas si existe la posibilidad(18), calcular el IO puede ser de gran ayuda para valorar el volumen pulmonar, el estado de la oxigenación, y el mejoramiento de la compliance. La siguiente ecuación se utiliza para calcular el IO (10).

$$\text{IO} = (\text{PAW} \times \text{FIO}_2) / \text{PaO}_2 \times 100$$

El IO mayor de 30 indica insuficiencia respiratoria severa, si se mantiene por más de 6 horas en la ventilación convencional, la mortalidad es casi del 80%. En pacientes que cursan con hipertensión pulmonar un IO > de 40 es una indicación de ECMO (41).

**Tabla 13. Valores del IO con relación a la oxigenación**

Índice de oxigenación	Interpretación
4 – 8	Normal
8 – 16	Moderada hipoxemia
>16	Hipoxemia severa

Fuente: Villanueva AM, Alapont VM, Domínguez SR, Fernández YML. Estrategias de reclutamiento en el síndrome de dificultad respiratoria aguda (SDRA). 2015;22.

### ***Auscultación***

Uno de los problemas para realizar el examen físico, especialmente el de tórax, durante la VAF, es la identificación de los ruidos cardiopulmonares, debido al ruido que produce el ventilador, haciendo difícil la identificación de estos ruidos; sin embargo la entrada de aire durante la auscultación debe ser en forma simétrica, de igual forma se debe valorar la vibración del tórax, una disminución puede ser un signo de atelectasia, neumotórax, o desplazamiento del tubo orotraqueal (8)(44)(45). Una vibración adecuada puede indicar que hay una mejoría en la compliance pulmonar pero no una buena ventilación. La valoración cardíaca se puede hacer parando el ventilador mediante el botón de STOP en el caso del ventilador Sensormedics 3100; esto permite realizar de una forma clara la auscultación cardíaca, y la identificación de posibles alteraciones; es importante vigilar durante la suspensión temporal de la ventilación (STOP), la tolerancia del paciente para evitar descompensaciones hemodinámicas, una vez terminada la valoración se debe nuevamente realizar la compresión del circuito para iniciar la ventilación.

### ***Succión de la vía aérea***

Durante la VAF la succión del TOT debe ser restringida al menos durante las primeras 24 horas de iniciada la ventilación; se debe considerar si existe aumento del CO<sub>2</sub> arterial, o disminución de la pulsioximetría. En el caso de realizar succión y que exista desaturación se pueden considerar maniobras de reclutamiento posterior al procedimiento las cuales se pueden lograr con aumento de la PAW (11); la recuperación de la oxigenación puede tardar en llegar a la línea de base entre 10 a 20 minutos (43).

Es importante colocar una sonda de succión cerrada para evitar el desreclutamiento alveolar, evitando consecuencias desfavorables asociadas a la hipoxemia que puedan causar posibles daños del sistema nervioso central.

### ***Tubo orotraqueal***

Es importante tener en cuenta que la vía aérea de los RN y pacientes pediátricos tiene un diámetro pequeño; la inserción de un tubo orotraqueal en la vía aérea disminuye aún más el diámetro interno, esto ocasiona una carga de trabajo para el ventilador, y el paciente debido a la resistencia impuesta. El TOT es un determinante importante de entrega de  $V_t$ ; es proporcional al área de la sección transversal interna del TOT, un diámetro interior de 2,5 - 4,0 mm aumenta la transmisión de presión del ventilador hacia el paciente (10). Un mayor diámetro del TOT aumenta el  $V_t$ , o, al contrario, el TOT puede influenciar en el  $V_t$ ; el cambio de un TOT de 2,5 a 3,0 mm de diámetro puede disminuir el  $CO_2$  en 10 mmHg. La secreción o tapones de moco en el TOT compromete considerablemente la ventilación durante la VAF afectando el tiempo inspiratorio, y la transmisión de la amplitud; es importante tener en cuenta que la prolongación de la ventilación lleva a fugas alrededor del TOT, ocasionando desestabilización en la amplitud y la PAW, se debe considerar si es necesario el cambio del tubo orotraqueal (43).

Estudios realizados evaluaron tres ventiladores de alta frecuencia neonatales; con respecto al tubo orotraqueal muestran que el aumento del diámetro del TOT aumenta el  $V_t$ , y que existe una caída del volumen corriente en los tres tipos de ventiladores evaluados cuando se utilizan frecuencias respiratorias altas (17).

### ***Transporte en VAFO***

Los pacientes críticos con VAF requieren PAW relativamente altas, lo cual hace que su movilización con el ventilador a otras áreas hospitalarias sea casi imposible, por el riesgo de desestabilización y desreclutamiento, pero este último se puede evitar realizando el traslado del paciente de un lugar a otro, mediante la entrega de presión positiva con ambu, agregando una

válvula de PEEP (7), lo cual ayuda a mantener el nivel de PEEP, el cual es seleccionado por el clínico, evitando de esta forma el desreclutamiento del alvéolo.

Existe reporte de traslado de pacientes neonatos ventilados con alta frecuencia y óxido nítrico, donde se valoraron pacientes con CMV / VAFO o solo VAF, encontrando una mejoría de la oxigenación y los valores de IO en los pacientes que fueron trasladados con VAF; no se encontró diferencia de incidencia en las complicaciones en ambos grupos. Es importante tener en cuenta que el transporte de este tipo de pacientes debe realizarse con el apoyo del grupo interdisciplinario, pediatra / neonatólogo, enfermera y terapeuta respiratorio (45). En la siguiente grafica se muestra el ambu utilizado para el transporte.

**Gráfica 25. Válvula de PEEP**



Fuente: Katerine Lozano

### ***Sedación y relajación***

El mantenimiento de la respiración espontánea durante la VAFO mejora la oxigenación y la ventilación regional, esta condición es más favorable para los niños pequeños, pero se vuelve difícil ya que el paciente exige altos flujos inspiratorios. El flujo máximo entregado por el oscilador puede estar muy por debajo de las demandas del paciente; esta deuda de flujo conducirá a un aumento del trabajo respiratorio, y desacople con

el ventilador, los niños mayores debido a una demanda mayor de flujo probablemente necesiten sedantes y bloqueo neuromuscular que evite la respiración espontánea. El inicio de relajantes musculares debe realizarse con una valoración juiciosa para la necesidad de iniciar una adecuada sedación y analgesia en el paciente pediátrico evitando los problemas que estos acarrearán (9)(10).

### ***Posición del paciente***

Los pacientes deben conservar la cabecera de la cama elevada a 30 grados. La posición prona se debe realizar con cuidado para evitar posibles extubaciones. Los pacientes que son ventilado en decúbito prono y necesitan cambios de posición un equipo de médicos, enfermeras y terapeutas respiratorios debe estar presente para asegurar el posicionamiento del paciente de manera segura evitando la salida accidental de catéteres, tubos y líneas. Debido al que el circuito del oscilador es relativamente rígido, el paciente puede ser ventilado manualmente con una bolsa de reanimación mientras se gira el paciente durante el cambio de posición; debe existir una estricta vigilancia durante esta maniobra ya que puede ocluir el TOT por tapones de moco y presentar secreciones en las vías respiratorias las cuales pueden llevar a periodos de hipoxemia.

Calibración del equipo sensor medics 3100<sup>a</sup>

1. Tapar la “Y” del circuito
2. Colocar el bias flow en 20 lpm
3. Colocar el límite de presión al máximo
4. Seleccione los H<sub>2</sub> a 15
5. Tiempo inspiratorio 33%
6. Colocar la amplitud
7. Inicie la ventilación
8. Coloque el pistón en el centro (luz led)
9. Verifique los parámetros según el rango de altitud

## ***Preparación del paciente***

Se recomienda tener en cuenta los siguientes pasos:(28)

1. Conocer la historia clínica del paciente.
2. Conocer con claridad la indicación la VAF.
3. Identificar los valores de la PAW (convencional)
4. Seleccionar los parámetros que se van a colocar en el ventilador de alta frecuencia.
5. Preparar los insumos necesarios (bolsa de reanimación con válvula de PEEP) para el cambio de ventilador en el caso de sensor medics 3100<sup>a</sup>.
6. El paciente debe estar previamente succionado el TOT.
7. Si se requiere broncoscopia se debe realizar antes de la VAF.
8. Evaluar hemodinámicamente la estabilidad puede hacer que no tolere el cambio de ventilación, igualmente la valoración con ecocardiograma puede ayudar a valorar la función cardíaca.
9. Evaluar la necesidad de sedación y analgesia.

# **Capítulo VI**

## **Evidencia en neonatos y pediatría de ventilación de alta frecuencia**

Katerine Lozano Gómez  
Marcela Garzón Morera  
Lorena Franco Castrillón

### **Ventilación oscilatoria de alta frecuencia en niños**

Estudio en niños muestra que el manejo de la VAF tiene beneficios en los valores de gases arteriales a las 2 horas de iniciada la ventilación los cuales se pueden ver reflejados en el  $\text{SaO}_2/\text{FiO}_2$ ,  $\text{PO}_2$  y  $\text{CO}_2$ , mejoras que pueden estar asociadas al reclutamiento alveolar que produce la VAF, lo cual sugiere que la VAF es una modalidad que puede ser utilizada en pacientes con enfermedad pulmonar aguda, asociada con diagnóstico clínico heterogéneo, como neumonía, bronquiolitis, SDRA y sepsis.

Un enfoque de inicio temprano en lugar de CMV agresivo parece ser seguro. Es importante manejar en las UCIP protocolos adecuados que ayuden a evitar complicaciones. Futuros estudios aleatorizados controlados que comparen los dos tipos de ventilación serán cruciales para delinear el papel de este tipo de ventilación como una estrategia temprana en el reclutamiento pulmonar. (46)

## **Remoción de CO<sub>2</sub> en VAF no invasiva**

La ventilación no invasiva de oscilación de alta frecuencia (nHFOV) es un modo novedoso de ventilación no invasiva que ayuda al retiro de la ventilación mecánica lo cual puede disminuir el fracaso de la extubación entender la remoción del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), es importante ya que durante este tipo de soporte en los recién nacidos prematuros. El flujo de fugas a través de la boca o nariz es inevitable y puede dificultar la ventilación al disminuir la amplitud de la presión y por lo tanto, el volumen pulmonar puede oscilar. Mientras que la fuga del flujo durante la nHFOV puede no lesionar el pulmón.

La fuga de flujo aunque puede disminuir la vibraciones del tórax, los estudios muestran que se puede generar una buena ventilación con este tipo de ventilación no invasiva en recién nacidos prematuros.(47)

## **Ventilación Oscilatoria de Alta Frecuencia combinada con Volumen Garantizado**

Actualmente se ha propuesto VAF con Volumen Garantizado como un método alternativo para la ventilación invasiva en los RNP, estrategia que ayuda a controlar el Volumen Corriente (Vt) durante el ciclo respiratorio evitando de esta manera la lesión pulmonar. Estudios en animales recién nacidos con pulmones normales y deficiencia de surfactante han demostrado la viabilidad de esta técnica. (48).

## Conclusiones

La VAF es una modalidad segura de manejo ventilatorio en los pacientes con falla respiratoria; dentro de las UCIs pediátrica y neonatal, sus características le confieren ciertas ventajas con respecto a la convencional; el manejo inapropiado de los parámetros debido al desconocimiento puede ocasionar complicaciones pulmonares o de otro tipo que pueden ser letales. El reclutamiento de unidades alveolares colapsadas puede hacerse en pocas horas llevando a la mejoría de la oxigenación y ventilación; esto requiere de una monitorización constante y oportuna para evitar complicaciones como en el caso de recién nacidos las hemorragias intraventriculares y/o leucomalacias asociadas a  $\text{CO}_2$ .

Un mecanismo de mejoramiento de volumen pulmonar es el reclutamiento alveolar que se logra a través del aumento de la PAW, (zona segura) el cual puede tardar horas en obtener un volumen óptimo, difícilmente se puede lograr en algunos pacientes; para evitar el desreclutamiento alveolar es meritorio el uso de sistemas de succión cerrado, que evite los episodios de desaturación y el colapso alveolar durante este procediendo.

En la bronquiolitis o patologías con resistencia de la vía aérea se ha demostrado la disminución de  $\text{CO}_2$ . Su mayor uso se encuentra en pacientes con enfermedad pulmonar difusa debido a que proporciona reclutamiento alveolar, producto del uso de presiones elevadas en la vía aérea, con un mínimo de daños a nivel pulmonar, estrategia que en ventilación convencional ocasiona daño pulmonar ya que requiere el uso de altos parámetros y al cierre cíclico de las unidades alveolares; además ocasiona inestabilidad hemodinámica.

En RN las indicaciones son precisas y prácticamente aceptadas por la mayoría de los profesionales de la salud; escapes aéreos, insuficiencia respiratoria aguda refractaria sin respuesta a la ventilación mecánica convencional. En los pacientes pediátricos las indicaciones aun no son muy claras, sin embargo existen pautas para su inicio.

Los parámetros ventilatorios durante la ventilación convencional deben ser monitoreados y considerados como indicador para inicio de la VAF. Esta terapia debe ser considerada de inicio temprano y no de rescate; teniendo en cuenta la patología que se está tratando para evitar complicaciones por barrido de  $\text{CO}_2$ . Otro punto para tener en cuenta en el manejo de este tipo de ventilación es el conocimiento y funcionamiento del ventilador por parte del equipo interdisciplinario que labora en la UCI, mediante el cual asegure un apropiado manejo y seguro de los parámetros; en la práctica clínica evitando complicaciones de este tipo de ventilación.

## Caso clínico

Madre de 30 años, primigestante, serologías negativas, ecografía prenatal normal, resto de antecedentes familiares y personales sin interés, embarazo controlado, con ruptura prematura de membrana, realizan inducción farmacológica del parto, pero no se obtiene respuesta durante tres horas por lo que se realiza cesárea.

Recién nacido de sexo femenino de 40 semanas de edad gestacional con peso 3600kg, apgar 6/9, líquido amniótico teñido con meconio, se aspira meconio en vía aérea tras el nacimiento, inicia con dificultad respiratoria, dado por polipnea, retracciones, aleteo nasal, quejido, Silverman 4 - 5, se inicia oxigenoterapia para mantener  $\text{SaO}_2$  90% con gases arteriales pH 7,33,  $\text{PCO}_2$  45mmhg,  $\text{PO}_2$  45mmHg,  $\text{HCO}_3$  25 Meq/L,  $\text{SaO}_2$  88%, se realiza prueba de hiperoxia mientras que se realiza ecocardiograma que no está disponible en este momento.  $\text{FiO}_2$  100% en Hood durante 10 minutos los gases arteriales muestran, pH 7,22,  $\text{PCO}_2$  56mmHg,  $\text{PO}_2$  38 mmHg,  $\text{HCO}_3$  23 Meq/L,  $\text{SaO}_2$  85%, se decide intubación orotraqueal y colocar en VM con los siguientes parámetros  $\text{FiO}_2$  60%, PEEP 4  $\text{CmH}_2\text{O}$ , frecuencia respiratoria 40 por minuto, presión control 20  $\text{CmH}_2\text{O}$ , con leve mejoría

SaO<sub>2</sub> 90%, gases arteriales de control pH 7,30, PCO<sub>2</sub> 65mmHg, PO<sub>2</sub> 38mmHg, HCO<sub>3</sub> 20 Meq/L, SaO<sub>2</sub> 85%, después de dos horas, se decide iniciar VAFO.

## **Preguntas**

1. ¿Cuál sería el tratamiento que usted realizaría cuando el paciente comenzó el cuadro de dificultad respiratoria?
2. ¿Está de acuerdo con iniciar VAFO?
3. ¿Qué estrategia usaría para comenzar VAFO?

¿Qué aspectos se deben monitorizar al estar un neonato en VAFO?

- Humedad de V. A.
- Gasometría
- Frecuencia cardíaca y tensión arterial
- Llenado capilar
- Diuresis
- Radiografía tórax

¿Cuáles son los criterios de transición de VAFO a ventilación mecánica convencional (paciente pediátrico)?

- FiO<sub>2</sub> ≤ 0,40%
- PWA < 24 CmH<sub>2</sub>O
- Relación PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> < 200
- Índice oxigenación < 13

¿Qué pacientes se beneficiarían en utilizar VAFO?

- Paciente con insuficiencia respiratoria aguda grave refractaria a VMC
- Paciente con escapes aéreos
- Paciente con patología grave del parénquima pulmonar
- Paciente con hipoplasia pulmonar
- RN pretérmino con enfermedad de Membrana Hialina

Al utilizar estrategia de volumen alto, en el ventilador convencional registra una PAW de 18 CmH<sub>2</sub>O, el valor que se debe fijar en el ventilador de alta frecuencia es:

- PAW 14 CmH<sub>2</sub>O
- PAW 18 CmH<sub>2</sub>O
- PAW 20 CmH<sub>2</sub>O

Un criterio que puede ser utilizado para el paso de VAF a ventilación convencional es el descenso de parámetros ventilatorios. ¿Cuáles son los criterios de fracaso de la VAF?

- Imposibilidad de disminución del FiO<sub>2</sub> en 10 puntos, incapacidad de mantener una PCO<sub>2</sub> por debajo de 80 mmHg con un pH superior a 7,25. O es difícil mantener una adecuada ventilación en los valores de gases arteriales.
- Imposibilidad de disminución del FiO<sub>2</sub> en 5 puntos, incapacidad de mantener una PCO<sub>2</sub> mayor de 80 mmHg con un pH superior a 7,25. O es difícil mantener una adecuada ventilación en los valores de gases arteriales.
- Imposibilidad de disminución del FiO<sub>2</sub> en 10 puntos, incapacidad de mantener una PCO<sub>2</sub> por debajo de 80 mmHg con un pH superior a 7,15. O es difícil mantener una adecuada ventilación en los valores de gases arteriales.

Existen tres modos de ventilación de alta frecuencia actualmente disponibles: alta frecuencia ventilación oscilatoria, ventilación de chorro de alta frecuencia e interrupción de flujo. La relación del tiempo inspiratorio al tiempo espiratorio con cada respiración varía, dependiendo del ventilador que se utilice. De los siguientes enunciados la relación I:E que se utilizan en la VAF es

- A. 1:2.
- B. 1:3.
- C. 1:4.
- D. 1:5.
- E. 1:6.

El intercambio de gases durante la ventilación de alta frecuencia se realiza por una mezcla de gases en las vías respiratorias. De los siguientes parámetros en el ventilador, cuál es la variable más probable que influya en la oxigenación:

- A. Amplitud
- B. Frecuencia (HZ)
- C. Relación I: E
- D. PAW
- E. Vt.



## Bibliografía

1. Duval ELIM, Markhorst DG, Vught AJ Van. Respiratory Medicine CME High frequency oscillatory ventilation in children : an overview. Respir Med CME [Internet]. Elsevier Ltd; 2009;2(4):155–61. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmedc.2009.09.014>
2. Rizkalla NA, Dominick CL, Fitzgerald JC, Thomas NJ, Yehya N. High-frequency percussive ventilation improves oxygenation and ventilation in pediatric patients with acute respiratory failure. J Crit Care. 2014.
3. Armengol J. Ventilación de alta frecuencia. Arch Bronconeumol. 1986;22(4):42–51.
4. Wimbush DS. The Role of High-Frequency Oscillatory Ventilation in the Management of Acute Respiratory Distress Syndrome – A Critical Review. 2005;(April 2005).
5. Amini E, Nayeri FS, Hemati A, Esmaeilinia T, Nili F, Dalili H, et al. Comparison of High Frequency Positive Pressure Mechanical Ventilation ( HFPPV ) With Conventional Method in the Treatment of Neonatal Respiratory Failure. 2013;15(3):183–7.
6. Anelise Dentzien Pinzona, B, Taís Sica da Rocha CR. High-frequency oscillatory ventilation in children with acute respiratory distress syndrome: experience of a pediatric intensive care unit. 2013;4:368–74. Available from: [www.ramb.org.br](http://www.ramb.org.br)

7. Greer SE, McCunn M. High-frequency oscillatory ventilation. *Curr Probl Surg* [Internet]. 2013;50(10):471–8. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0011384013002165>
8. Ugarte S, Jiménez E, Del Despósito A. Ventilación de alta frecuencia oscilatoria. *Rev Chil Med Intensiva*. 2011;26(1):35–44.
9. Bakshi AS. High Frequency Oscillatory Ventilation (HFOV) in Pediatrics. *Apollo Med* [Internet]. Indraprastha Medical Corporation Ltd.; 2011;8(1):37–43.
10. Kneyber MCJ, van Heerde M, Markhorst DG. Reflections on pediatric high-frequency oscillatory ventilation from a physiologic perspective. *Respir Care* [Internet]. 2012;57(9):1496–504. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22348243>
11. Fioretto JR, Rebello CM. High-frequency oscillatory ventilation in pediatrics and neonatology. *Rev Bras Ter Intensiva*. 2009;21(1):96–103.
12. Putz L, Mayné A, Dincq A. Jet Ventilation during Rigid Bronchoscopy in Adults : A Focused Review. 2016;2016.
13. Bancalari M. Aldo. Ventilación de alta frecuencia en el recién nacido: Un soporte respiratorio necesario. *Rev. chil. pediatr.* [Internet]. 2003 Sep [cited 2019 July 30]; 74( 5 ): 475-486. Available from: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-41062003000500003&lng=en](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-41062003000500003&lng=en). <http://dx.doi.org/10.4067/S0370-41062003000500003>
14. Butler, J. P., & Tsuda A. Transport of gases between the environment and alveoli – theoretical foundations. *Compr Physiol*. 2011;1(3):1301–16.
15. Jarvis S, Burt K, English W. High Frequency Oscillatory Ventilation [Internet]. *Anaesthesiology*. 2012. p. 1–11. Available from: [http://www.frca.co.uk/Documents/261 High Frequency Oscillatory Ventilation.pdf](http://www.frca.co.uk/Documents/261%20High%20Frequency%20Oscillatory%20Ventilation.pdf)
16. Balderrama IR, García LV, Ochoa C. Artemisa Pediatría. *Rev Mex Pediatr*. 2006;73(6):292–8.
17. Sharma S, Jain P. High-Frequency Ventilation: Excellent Rescue. 2014;24(77):1075–6.
18. Ong WW, Ok TFF, G PCN, Heung KLC. High Frequency Ventilation in Neonates. *HK J Paediatr (new Ser)* [Internet]. 2003;8:113–20. Available from: <http://www.hkjpaed.org/details.asp?id=142&show=1234>

19. Villanueva AM, Alapont VM, Domínguez SR, Fernández YML. Estrategias de reclutamiento en el síndrome de dificultad respiratoria aguda (SDRA). Congr Nac la Soc española Cuid intensivos pediátricos [Internet]. 2015;15–9. Available from: [secip.com/wp-content/uploads/2018/06/3.-SDRA-en-la-edad-pediátrica](http://secip.com/wp-content/uploads/2018/06/3.-SDRA-en-la-edad-pediátrica).
20. Stachow R. High-Frequency Ventilation – Basics and Practical Applications [Internet]. 1995. 76 p. Available from: [https://pdfs.semanticscholar.org/38cd/f30d74532ebc3fe94568aaa6459387ab9e56.pdf?\\_ga=2.9954549.1166586563.1564594934-282113178.1564594934](https://pdfs.semanticscholar.org/38cd/f30d74532ebc3fe94568aaa6459387ab9e56.pdf?_ga=2.9954549.1166586563.1564594934-282113178.1564594934)
21. Jeng MJ, Lee YS, Tsao PC, Soong WJ. Neonatal air leak syndrome and the role of high-frequency ventilation in its prevention. J Chinese Med Assoc [Internet]. Elsevier Taiwan LLC and the Chinese Medical Association; 2012;75(11):551–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcma.2012.08.001>
22. Keszler M. High-frequency Ventilation: Evidence-based Practice and Specific Clinical Indications. Neoreviews [Internet]. 2006;7(5):e234–49. Available from: <http://neoreviews.aappublications.org/cgi/doi/10.1542/neo.7-5-e234>
23. Shunker S, Icu L. Mechanical Ventilation Learning Package [Internet]. 2016 [cited 2017 Apr 26]. 75 p. Available from: [https://www.aci.health.nsw.gov.au/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0010/306586/Mechanical\\_Ventilation\\_Package.pdf](https://www.aci.health.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0010/306586/Mechanical_Ventilation_Package.pdf)
24. Maruvada S, Rotta AT. Mechanical ventilation strategies in children. Ped Health [Internet]. 2008;2(3):301–14. Available from: <http://www.futuremedicine.com/doi/10.2217/17455111.2.3.301>
25. Fusciardi J, Rouby JJ, Benhamou D, Viars P. Hemodynamic consequences of increasing mean airway pressure during high-frequency jet ventilation. Chest. 1984;86(1):30–4.
26. Dimitriou G, Greenough A, Kavvadia V, Milner AD. Comparison of two inspiratory: Expiratory ratios during high frequency oscillation. Eur J Pediatr. 1999;158(10):796–9.
27. Claris O, Lapillonne A, Picaud JC, Basson E. High-frequency oscillatory ventilation. Semin Neonatol. 1997;2(2):129–37.

28. Neonatología: manejo básico, procedimientos, problemas en la guardia [Internet]. Available from: [https://books.google.com.co/books?id=TATNJ9x-tDUC&pg=PA55&lpg=PA55&dq=paw+x+fio2+paO2&source=bl&ots=Yia\\_FyhNr7&sig=Vu1hydkCOqLi8ppXKdSN Gwddp9k&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiwi6Kw3uPTAhXDQSYKHQjcC68Q6AEIPjAF#v=onepage&q=paw x fio2 %2FpaO2&f=false](https://books.google.com.co/books?id=TATNJ9x-tDUC&pg=PA55&lpg=PA55&dq=paw+x+fio2+paO2&source=bl&ots=Yia_FyhNr7&sig=Vu1hydkCOqLi8ppXKdSN Gwddp9k&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiwi6Kw3uPTAhXDQSYKHQjcC68Q6AEIPjAF#v=onepage&q=paw x fio2 %2FpaO2&f=false)
29. Prince R, Hospital A, Strategies V. RPA Newborn Care Guidelines Royal Prince Alfred Hospital Definition Types of Ventilators Elective HFOV in Preterm Infants. (Cv).
30. Stawicki SP, Goyal M, Sarani B. High-Frequency Oscillatory Ventilation (HFOV) and Airway Pressure Release Ventilation (APRV): A Practical Guide. *J Intensive Care Med.* 2009;24(4).
31. Niwa T, Hasegawa R, Ryuge M, Kawase M, Kondoh Y, Taniguchi H. Benefits and risks associated with the R100 high frequency oscillatory ventilator for patients with severe hypoxaemic respiratory failure. 2011;(Cmv):1111–9.
32. Boros SJ; Mark C. A practical guide to high-frecuency ventilation. *Pediatr Ann* 178 / august. 1988;8(17):508–13.
33. Restrepo RD, Walsh BK. Humidification During Invasive and Noninvasive Mechanical Ventilation: 2012. *Respir Care.* 2012;57(5):782–8.
34. Singer S, Singer D. Determination of airway humidification in high-frequency oscillatory ventilation using an artificial neonatal lung model and a heat and moisture exchanger. *Intensive Care Med.* 1999;(25):997–1002.
35. Cruz Moya C. Sistemas de humidificación en ventilación mecánica. *Mirada de un terapeuta respiratorio. Teoría y Prax Investig.* 2008;3(2):73–82.
36. Morán I, Bellapart J, Vari A, Mancebo J. Heat and moisture exchangers and heated humidifiers in acute lung injury/acute respiratory distress syndrome patients. Effects on respiratory mechanics and gas exchange. *Intensive Care Med.* 2006;32(4):524–31.
37. Branson RD, Campbell RS, Davis K, Porembka DT. Anaesthesia circuits, humidity output, and mucociliary structure and function. *Anaesth Intensive Care.* 1998;26(2):178–83.

38. Al Ashry HS, Modrykamien AM. Humidification during mechanical ventilation in the adult patient. *Biomed Res Int*. Hindawi Publishing Corporation; 2014;2014.
39. Dr. Kiopper Tartabull P outriel ; Dr. A quiles Rodríguez López ; M sC.Ii I. Ventilación de alta frecuencia: una opción terapéutica del Síndrome de Distrés Respiratorio del Adulto. 2010;14(2). Available from: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1025-02552010000200019](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-02552010000200019)
40. Kattan S. J, González M. Á, Castillo M. A. Oxigenación con membrana extracorpóreaneonatal-Pediátrica. *Rev Chil Pediatr*. 2013;84(4):367–78.
41. Villanueva AM, Alapont VM, Domínguez SR, Fernández YML. Estrategias de reclutamiento en el síndrome de dificultad respiratoria aguda ( SDR ). 2015;22.
42. Stawicki SP, Goyal M, Sarani B. High-Frequency Oscillatory Ventilation (HFOV) and Airway Pressure Release Ventilation (APRV): A Practical Guide. *J Intensive Care Med*. 2009;24(4).
43. Goldsmith, Karoktin, Kebzler, Suresh. Assisted Ventilation of the Neonate. Elsevier, editor. 2017. 211 p.
44. Mainali ES, Greene C, Rozycki HJ, Gutcher GR. Safety and efficacy of high-frequency jet ventilation in neonatal transport. *J Perinatol* [Internet]. 2007;27(10):609–13. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17703187>
45. Loureiro H, Almeida H. High-frequency oscillatory ventilation in children : a 10-year experience . *J Pediatr (Rio J)*. 2013;89(1):48–55.
46. Schäfer C, Schumann S, Fuchs H, Klotz D. Carbon dioxide diffusion coefficient in noninvasive high-frequency oscillatory ventilation. *Pediatr Pulmonol*. 2019;54(6):759–64.
47. Sánchez-Luna M, González-Pacheco N, Belik J, Santos M, Tendillo F. New Ventilator Strategies: High-Frequency Oscillatory Ventilation Combined with Volume Guarantee. *Am J Perinatol*. 2018;35(6):545–8.



## Acerca de los autores

### **Víctor Hugo Estupiñan Pérez**

*Correo electrónico:* Vestupinan@usc.edu.co  
*ORCID:* <https://orcid.org/0000-0001-8846-4579>

De nacionalidad colombiana. Terapeuta Respiratorio, docente asociado del programa de Terapia Respiratoria en el áreas de pediatría y cuidados intensivos pediátricos, magister en Educación Superior de la Universidad Santiago de Cali, especialista en Terapia Respiratoria Pediátrica de la Fundación Universitaria del Área Andina, Terapeuta Respiratorio certificado por la Consejo Latino Americano para la Certificación Profesional en Terapia Respiratoria (CLCPTR); pertenece al Grupo de Investigación en Salud integral GISI, Ha participado como ponente de eventos nacionales e internacionales.

### **Katherine Lozano G.**

*Correo electrónico:* katerine.lozano03@usc.edu.co  
*ORCID:* <https://orcid.org/0000-0003-2750-5212>

De nacionalidad colombiana Terapeuta Respiratoria, egresada de Universidad Santiago de Cali, especialista en Salud Ocupacional de la Universidad Libre y Rehabilitadora Cardiopulmonar de la Fundación Universitaria Andina seccional Pereira con desarrollo de su práctica profesional en el área de unidad de cuidados intensivos pediátricos en la ciudad de Cali y docente en el programa de Terapia Respiratoria de la USC.

## **Marcela Nayive Garzón Morera**

**Correo electrónico:** marcela.garzon01@usc.edu.co

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0820-883X>

Nacionalidad colombiana. Magister en Administración en Salud (Universidad del Valle). Terapeuta Respiratoria (Universidad Santiago de Cali), docente de práctica clínica programa de Terapia Respiratoria, Facultad de Salud, Universidad Santiago de Cali.

## **Lorena Franco Castrillón**

**Correo electrónico:** lorena.franco00@ucs.edu.co

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7399-3419>

Terapeuta Respiratoria, egresada de la Universidad Santiago de Cali, especialista en Salud Ocupacional e la Universidad Manuela Beltrán. Con desempeño en el área de Unidad de Cuidados Intensivos Pediátricos, unidad de cuidados intensivos neonatal y cuidados intensivos cardiovascular en adultos. Con amplia experiencia en salud ocupacional, toma de espirometrías ocupacionales, clínicas y manejo de gestión ambiental.

En el área de la investigación ha realizado incursión en estudios de evaluación del Síndrome de Burnout en los trabajadores de la salud de la Clínica Cardiovascular Shaio en Bogotá y en la medición de ausentismo escolar en estudiantes asmáticos de dos instituciones educativas del Valle del Cauca.



Fue publicado por la Facultad de Educación y Comunicación y Publicidad de la Universidad Santiago de Cali. Este libro fue diagramado utilizando fuentes tipográficas Times New Roman en sus respectivas variaciones a 12, 13 y 14 puntos. Se Terminó de imprimir 100 ejemplares en los talleres de SAMAVA EDICIONES E.U. POPAYÁN - COLOMBIA 2019.