



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE MEDICINA

**PEEP ESTÁTICO (PEEP<sub>e</sub>), PEEP DINÁMICO (PEEP<sub>d</sub>) Y  
PRESIÓN MEDIA DE LA VÍA AEREA (P<sub>aw</sub>) EN VENTILACIÓN  
MECÁNICA CONTROLADA POR PRESIÓN (VMCP)**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE ESPECIALISTA  
EN ATENCIÓN DEL ENFERMO EN ESTADO CRÍTICO**

**PRESENTA**

**EUGENIO EDUARDO LAZARO CASTILLO**

**ASESOR**

**DR. MARCO ANTONIO LEON GUTIERREZ**

**HOSPITAL DE ESPECIALIDADES "DR. BERNARDO SEPULVEDA G." DEL  
CENTRO MÉDICO NACIONAL SIGLO XXI**

**MEXICO D.F.**

**2000**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**

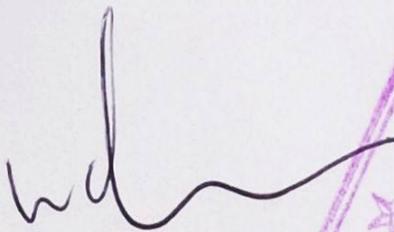


**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

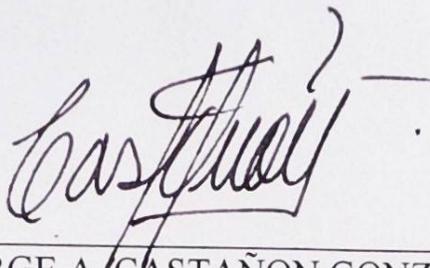
Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



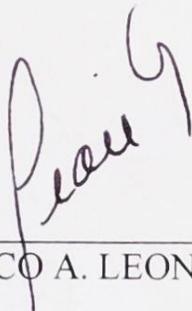
Dr. NIELS HANSEN WACHER RODARTE

Jefe de la División de educación e investigación médica  
Hospital de especialidades "Dr. Bernardo Sepúlveda G."  
Centro Médico Nacional Siglo XXI



Dr. JORGE A. CASTAÑON GONZALEZ

Médico jefe del servicio de la Unidad de Medicina Crítica y Terapia Intensiva  
Hospital de Especialidades "Dr. Bernardo Sepúlveda G."  
Centro Médico Nacional Siglo XXI



Dr. MARCO A. LEON GUTIERREZ

Médico de base adscrito a la Unidad de Medicina Crítica y Terapia Intensiva  
Hospital de Especialidades "Dr. Bernardo Sepúlveda G."  
Centro Médico Nacional Siglo XXI

INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL  
DELEGACION 3 SUROESTE  
CENTRO MEDICO NACIONAL SIGLO XXI  
HOSPITAL DE ESPECIALIDADES  
"DR. BERNARDO SEPULVEDA G."

TITULO

PEEP DINAMICO (PEEPd), PEEP ESTATICO (PEEPe) Y PRESION  
MEDIA DE LA VIA AEREA (Paw) EN VENTILACION MECANICA  
CONTROLADA POR PRESION (VMCP)

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Jorge A. Castañón González

Por su invaluable apoyo para mi formación académica

Al Dr. Marco A. León Gutiérrez

Por su amistad y sin quien esta tesis no hubiera sido posible

A mi esposa Dra. Alma D. Hernández Cabrera, mis hijos Eduardo Lázaro Hernández y María del carne Lázaro Hernández

Por su amor y comprensión

A mis compañeros y amigos de Residencia: Dr. Rubén Montiel Luna, Dr. John Acevedo Tapia y Dr. Jorge A. Pech Quijano

A mis pacientes

Por ser el principal estímulo para mi superación profesional

## INDICE

### PAGINAS

- 1.- Antecedentes
- 9.- Planteamiento del problema
- 10.- Material, pacientes y método
- 14.- Selección de la muestra
- 15.- Procedimiento
- 17.- Análisis estadístico
- 19.- Recursos para el estudio
- 20.- Resultados
- 23.- Discusión
- 25.- Conclusiones
- 26.- Referencia bibliográfica

## ANTECEDENTES

De las distintas presiones de la vía aérea que se pueden medir en el paciente con ventilación mecánica invasiva, la presión media de la vía aérea (Paw), se relaciona estrechamente con ventilación, oxigenación, función cardiovascular y barotrauma. A pesar de su importancia central, la Paw es ignorada en la práctica clínica, aunque refleja en forma fiel la Presión Media Alveolar (PA) siendo considerados en la práctica médica como sinónimos. <sup>(1)</sup>

La Paw es el promedio de presiones en la vía aérea en un ciclo respiratorio completo, en donde se promedia la presión pico y la presión meseta de la vía aérea. En condiciones pasivas, la Paw se relaciona estrechamente a la presión media alveolar que es el promedio de presiones que distienden a los pulmones y la pared torácica, además en forma paralela al volumen torácico promedio. Esto ha sido demostrado cuando la resistencia durante la inspiración y la espiración son idénticas, siendo el promedio de presiones de la vía aérea en un ciclo completo equivalente a la presión media alveolar, la cual es en forma primaria un determinante del volumen pulmonar promedio y que tiene relación estrecha en la práctica clínica con la oxigenación arterial en el grupo de pacientes con daño pulmonar agudo, teniendo repercusiones también sobre el retorno venoso y consecuentemente sobre el gasto cardiaco durante la ventilación mecánica con presión positiva. <sup>(1-2)</sup>

Aunque la Paw y la PA son iguales cuando la resistencia durante la inspiración y espiración son iguales, existen diferencias importantes cuando la resistencia durante la inspiración y la espiración son distintas como sucede en pacientes con neumopatía obstructiva crónica y cuando se requiere una ventilación minuto elevada. La relación precisa entre ambas presiones está dada por la siguiente fórmula. <sup>(3-4)</sup>

$$PA = Paw + VE/60 (R_{\text{esp}} - R_{\text{insp}}) \quad \text{ecuación 1}$$

En donde  $R_{\text{esp}}$  y  $R_{\text{insp}}$  son las resistencias durante la espiración y la inspiración en centímetros de agua por litros por segundo ( $\text{cmH}_2\text{O}/\text{L}/\text{seg}$ ) y la  $V_E$  es la ventilación por minuto expresada en litros por minuto ( $\text{cmH}_2\text{O}/\text{L}/\text{min}$ ).

Cuando se utiliza ventilación mecánica controlada por presión, la ventilación y el volumen corriente depende de la resistencia y distensibilidad del sistema respiratorio, así como también de la presión seleccionada hacia la vía aérea, la frecuencia respiratoria y la fracción de tiempo inspiratorio fijado, así también el comportamiento fijado de la  $P_{\text{aw}}$  es diferente que cuando se utiliza ventilación controlada por volumen.

En ventilación controlada por presión, la  $P_{\text{aw}}$  y la  $PA$  son llevados a valores menores a la presión determinada ( $P_{\text{set}}$ ). La  $P_{\text{aw}}$  puede ser estimada por la siguiente formula cuando utilizamos el modo controlado por presión. <sup>(3-4)</sup>

$$P_{\text{aw}} = P_{\text{set}} (T_I/T_T) + PEEP (T_E/T_T) \quad \text{ecuación 2}$$

En donde la  $T_I$ ,  $T_E$  y  $T_T$  son el tiempo inspiratorio, tiempos espiratorio y ciclo total y  $PEEP$  es la presión positiva al final de la inspiración.

Cuando la resistencia inspiratoria y espiratoria son iguales, la ecuación 1 junto con la ecuación 2, predicen que la  $P_{\text{aw}}$  y la  $PA$  son iguales e independientes de la frecuencia y de la distensibilidad mientras que la  $P_{\text{set}}$  y la fracción inspiratoria permanezcan sin cambios.

Sin embargo cuando esas resistencias son diferentes, la  $P_{\text{aw}}$  se aproxima a la presión meseta y puede ser mayor o menor a la  $PA$  conforme varíe la frecuencia respiratoria debido a cambio en la ventilación minuto. Es importante hacer notar que cuando la resistencia inspiratoria y espiratoria son iguales, la distensibilidad no afecta la  $P_{\text{aw}}$  y la  $PA$  mientras la  $P_{\text{set}}$ ,  $FR$  y la fracción inspiratoria permanezcan constantes.

## OPCIONES CLINICAS PARA INCREMENTO DE LA Paw

Para propósito ilustrativo, el ciclo inspiración-espирación puede ser dividido en 3 segmentos, en donde el segmento de inspiración el volumen corriente se acumula en forma constante en las vías aéreas, el segundo segmento corresponde a la presión meseta en donde el volumen corriente se encuentra dentro del alveolo y la presión final de la inspiración se mantiene constante; y finalmente ocurre el periodo espiratorio.

Aparte de los cambios en la impedancia (resistencia y distensibilidad) en el sistema respiratorio, varias opciones de manejo están disponibles tanto en ventilación controlada por volumen y cuando se utiliza ventilación controlada por presión <sup>(5-6)</sup>

**Influencia del volumen corriente (Vt) en la Paw y la PA.** Un incremento del Vt, incrementa la Paw y la PA por incremento de la presión elástica requerida, la cual está determinada por la distensibilidad del sistema respiratorio. Dependiendo de la velocidad de flujo respiratorio, se puede generar auto-PEEP si el tiempo inspiratorio es insuficiente para evacuar el Vt. La  $F_R$  también es un factor importante cuando el Vt se mantiene constante, ya que la  $F_R$  elevada puede causar hiperinflación dinámica por acortamiento del tiempo inspiratorio, principalmente si la pausa inspiratoria se mantiene sin cambios. Si la  $F_R$  y el Vt se mantienen constantes, una disminución en el flujo inspiratorio, invariablemente prolonga el tiempo

Inspiratorio e incrementa la Paw y la PA, aunque esto no tiene un comportamiento constante y con importante hiperinflación dinámica. Cuando el flujo es constante, la pausa final de la inspiración, mantiene el volumen pulmonar y la presión alveolar aunque afecta la Paw y la PA al generar auto-PEEP conforme se prolongue la pausa al final de la inspiración. <sup>(7-8)</sup>

**Ventilación con relación inversa.** La inversión de la relación inspiración – espiración (I:E) puede ser lograda durante la ventilación controlada por presión y cuando se utiliza modalidad controlada por volumen. La Paw y la PA se incrementan en la ventilación con relación inversa por generación de auto-PEEP. Si se utiliza ventilación controlada por volumen, se puede lograr relación inversa por incremento de la frecuencia de ciclado o del volumen corriente, modificando la pausa al final de la inspiración o disminuyendo el flujo inspiratorio; si se utiliza onda de flujo desacelerante, el comportamiento de las presiones de la vía aérea son similares a las que se logran en ventilación controlada por presión.

Cuando utilizamos la modalidad controlada por presión, la forma de lograr ventilación con relación inversa, es por modificación apropiada del tiempo inspiratorio. (7-8-9-10-11)

## **IMPORTANCIA FISIOLÓGICA Y CLÍNICA DE LA Paw**

**Paw y función cardiovascular.** La importancia fisiológica de la Paw reside principalmente en la interrelación entre la distensión pulmonar y el incremento asociado de la presión intrapleurales. La distensión pulmonar causa incremento de la precarga del ventrículo derecho mientras que disminuye la poscarga del ventrículo izquierdo. Tales efectos son importantes en padecimientos que cursan con presión pleural elevada (SIRA severo) y con repercusión en la Paw. El incremento de la presión pleural y de la aurícula derecha impiden el retorno venoso por afectar el llenado de los vasos sistémicos de capacitancia, lo cual ocurre durante la inflación pasiva como durante la respiración espontánea, siendo la distensibilidad de la pared pulmonar un factor importante de la presión pleural y de las consecuencias hemodinámicas observadas en respuestas a cambios en la Paw. La relación entre la Paw y el retorno venoso tiene particular importancia en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva de las vías aéreas y fallo ventilatorio cuando se requiere la utilización de niveles elevados de PEEP estático (que es el que se programa en el ventilador), y se aumenta la Paw lo que puede ocasionar sobre-distensión alveolar con repercusión hemodinámica secundaria. (1-2-12-13)

El mecanismo por medio del cual la elevación de la Paw puede mejorar la oxigenación arterial continua siendo controversial, algunos investigadores consideran que es por redistribución del líquido intersticial pulmonar o por redistribución del flujo sanguíneo o por reclutamiento alveolar lo cual fue evaluado por Boros<sup>(30)</sup> en infantes con distrés respiratorio, así como se han reportado otros resultados de estudios realizados en animales de experimentación en los cuales se evaluaron los efectos de la Paw. Existe evidencia de que el incremento de la Paw por extensión del ciclo respiratorio es mejor tolerado que por incremento de la PA así como la presión pleural se incrementan como consecuencia de la hiperinflación dinámica. Las implicaciones clínicas de la disminución del retorno venoso hacia el corazón, abarca desde alteraciones de la perfusión miocárdica, incremento del edema cerebral, disfunción renal y hepática por la aplicación de PEEP. (1-2-14-15)

**Paw y oxigenación arterial.** La aplicación de presión positiva al final de la inspiración es el método más utilizado para mejorar la oxigenación arterial debido a que mantiene distendidos los alveolos mejorando el intercambio gaseoso, sin incremento de la presión media de la vía aérea con PEEP estático.<sup>(1-2-14-15-16)</sup>

**Paw y barotrauma.** En ventilación mecánica controlada por presión, la presión meseta elevada (más de 35cmH<sub>2</sub>O), es el principal factor de riesgo para barotrauma (neumotórax, neumomediastino, enfisema intersticial, embolismo gaseoso) y para edema pulmonar inducido por presión, así como puede contribuir a intensificar o perpetuar el daño pulmonar cuando se extienden los niveles críticos de la vía aérea.<sup>(8-9-23-24-28)</sup>

**Paw y auto-PEEP** El PEEP dinámico o auto-PEEP, que es el que se produce en forma inadvertida o es consecuencia de maniobra determinadas realizadas en el ventilador mecánico, eleva la Paw aunque el riesgo es la generación de hiperinflación dinámica y secundariamente aumento del trabajo respiratorio, reducción de la capacidad ventilatoria y compromiso hemodinámico, por lo cual es importante saber que el PEEP dinámico puede estar asociado o no a hiperinflación dinámica. <sup>(18-19-25-26-27)</sup>

**PEEP dinámico sin hiperinflación dinámica.** Esto es posible debido a que el auto-PEEP refleja la presión alveolar, no la presión transveolar (diferencia entre la presión alveolar y la pleural). El PEEP dinámico se desarrolla sin asociarse a incremento de la presión transveolar (transpulmonar) ni aumento del volumen pulmonar mientras exista equilibrio entre la resistencia inspiratoria y respiratoria y consecuentemente no se aumenta el trabajo de los músculos respiratorios. <sup>(3-4-17-20-21-22-29)</sup>

**PEEP dinámico con hiperinflación dinámica.** Esto se desarrolla en una variedad de eventos asociados con obstrucción al flujo del aire en la vía aérea, así también cuando la ventilación minuto aumenta en forma considerable y existe un tiempo espiratorio lo suficientemente corto para romper el equilibrio entre la ventilación minuto inspiratoria y espiratoria, lo cual finalmente ocasiona sobrecarga de los músculos respiratorios y disminución de la distensibilidad del sistema respiratorio. (3-4-15-25-29)

Como antecedentes de trabajos realizados con aplicación de PEEPe y su repercusión sobre la Paw se encuentran los de Boros (30) y de Gallagher(15) en donde se evaluó el aumento de la Paw como un determinante de oxigenación en neonatos con distrés respiratorio, y los resultados que obtuvieron fue que a pesar del aumento de la Paw, no hubo aumento significativo de la presión arterial de oxígeno y lo cual se interpretó como que la Paw no es el único factor a considerar, sin embargo propusieron que se debería de utilizar un nivel fisiológico de PEEPe para evitar colapso alveolar, lo que posterior se demostró en adultos. Sin embargo Stewart et al (31) encontraron que el aumento de la Paw por el uso de PEEPe se asociaba con aumento de la presión arterial de oxígeno aunque con repercusiones sistémicas diversas de acuerdo al uso de PEEPe.

Así también Cheney y Burnham (32) demostraron que el empleo de PEEPe para elevar la Paw asociado al volumen corriente bajo fue superior para mejorar el intercambio gaseoso cuando se compara a la Paw generada por la utilización de volumen corriente elevado. Todos los trabajos reportados se realizaron en modalidad controlada por volumen y no hay reportes realizados en modo controlado por presión.

Finalmente debemos mencionar que desde los experimentos clásicos de Cournand, et al (33) se conoce los efectos hemodinámicos del incremento de la Paw, lo cual fue controlado por Cole, et al (34) con aplicación de relación inversa I:E extrema (4:1); y recientemente con el uso de métodos invasivos se conoce el comportamiento hemodinámico por aumento de la Paw en paciente con daño pulmonar agudo severo(5-9-10)

Sin embargo el mecanismo por el cual el aumento de la Paw puede mejorar la oxigenación, continua siendo controversial, mencionándose que sea posiblemente por reclutamiento alveolar o por movilización del líquido que sobrecarga los pulmones<sup>(5-6-7)</sup>, mecanismo atribuido también a la utilización de PEEP estático<sup>(5-6-7)</sup>, aunque con diversas repercusiones sistemáticas de acuerdo al nivel de PEEPe utilizado, sin embargo hasta el momento no se ha realizado un estudio clínico que compare el comportamiento de la Paw que genera el PEEPd y el generado PEEPe a un mismo nivel de PEEP total en el mismo paciente.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

¿Es distinta la presión media de la vía aérea generada por PEEP dinámico cuando se compara con la generada por PEEP estático a un mismo nivel de PEEP total en el mismo paciente en ventilación mecánica controlada por presión?

## **HIPOTESIS**

En ventilación mecánica controlada por presión, la presión media de la vía aérea generada por el PEEP dinámico es mayor cuando se compara con la generada por el PEEP estático a un mismo nivel de PEEP total en el mismo paciente

## **OBJETIVO**

Demostrar que en ventilación mecánica controlada por presión, la presión media de la vía aérea generada por el PEEP dinámico es mayor cuando se compara con la generada por el PEEP estático a un mismo nivel de PEEP total en el mismo paciente.

## **MATERIAL, PACIENTES Y METODO**

### **DISEÑO DEL ESTUDIO**

Prospectivo longitudinal, experimental, comparativo, ciego simple y de grupos acoplados.

### **UNIVERSO DE TRABAJO:**

Pacientes que ingresen a la unidad de Medicina Critica y Terapia Intensiva del hospital de especialidades "Dr. Bernardo Sepúlveda G" del Centro Médico Nacional siglo XXI.

### **DESCRIPCION DE LAS VARIABLES DE ACUERDO A LA METODOLOGIA**

Variable independiente

- Ventilación mecánica controlada por presión
- PEEP estático
- PEEP dinámico
- PEEP total

Variable dependiente

- La presión media de la vía aérea

## DESCRIPCION OPERATIVA DE LAS VARIABLES

- Variable independiente

Ventilación mecánica controlada por presión.

Es el método ventilatorio en el cual se determina la magnitud de presión constante aplicada a la vía aérea, la frecuencia de presurización de la vía aérea y la duración del ciclo inspiración – espiración. En esta modalidad en la cual se predetermina la presión máxima la vía aérea, el volumen corriente varía de acuerdo al gradiente de presión existente entre la presión de apertura de la vía aérea y la del alveolo al inicio de la inflación, la resistencia al flujo del aire, la distensibilidad del sistema respiratorio y el tiempo inspiratorio. Este modo de ventilación se caracteriza por tener un patrón de flujo inspiratorio desacelerante lo cual mejora la distribución de la ventilación y reducir la presión máxima de la vía aérea por una distribución más homogénea del aire en el sistema respiratorio.

En el ventilador Servo 900c con Servo Windows, la modalidad se establece al programar en el panel de control la modalidad control presión, se fija el nivel de presión sobre PEEP que se desea administrar hacia la vía aérea y se corrobora en el manómetro de presión en se mide en centímetros de agua.

PEEP estático.

El uso de la presión positiva al final de la espiración es actualmente una herramienta esencial en el soporte ventilatorio mecánico. El PEEPe es utilizado en forma primaria para restaurar la capacidad de las unidades alveolares inestables pero reclutables en la prevención de las atelectasias del posoperatorio o en el daño pulmonar agudo para mejorar la presión arterial de oxígeno. Los mecanismos por los que se logra lo antes mencionado es por reclutamiento de alveolos colapsados, permitiendo que el volumen corriente ingrese y se logre el intercambio gaseoso; así también se mantiene estable el alveolo recién reclutado y se logra una redistribución del volumen corriente de manera más homogénea lo cual disminuye las áreas pulmonares no ventiladas. El uso del PEEP tiene su máxima aplicación en el SIRA que es una enfermedad que cursan con inflamación, edema y colapso alveolar.

Sin embargo es importante es importante conocer que la aplicación de PEEPe tiene efectos adversos pulmonares como el barotrauma y sistémicos como disminución del retorno venoso y del gasto cardiaco así como afectación de órganos distantes como riñones y el hígado y que se correlacionan con el nivel de PEEPe utilizado.

El ventilador Servo 900c con Servo Windows, se programa el nivel deseado de PEEPe en el panel de control el cual se mide en centímetros de agua, considerando siempre que el paciente debe de tener por lo menos el PEEP considerado fisiológico de 4-5 cmH<sub>2</sub>O y que el clínico pueda aumentar el nivel de PEEP a valores que considere necesario con el fin de mejorar saturación y la presión arterial de oxígeno. Se corrobora en el manómetro de presión de la vía aérea en donde la aguja desciende hasta detenerse al final de la espiración en el nivel generado de PEEPe el cual debe ser igual al que se programó.

### PEEP dinámico

La presión positiva al final de espiración debido a una espiración incompleta o por obstrucción de la vía aérea es llamado PEEP dinámico, auto – PEEP, PEEP oculto, PEEP inadvertido o PEEP intrínseco y se mide en centímetros de agua.

El PEEP dinámico se ha observado en pacientes críticamente enfermos con y sin obstrucción de la vía aérea durante la ventilación mecánica controlada por presión y durante la ventilación espontánea así como en pacientes con neumopatía obstructiva crónica.

El PEEPd tiene implicaciones fisiológicas y clínicas que dependen de las condiciones del paciente, el patrón respiratorio y del modo de asistencia ventilatoria, siendo su evaluación más fácil durante la ventilación mecánica controlada que durante la ventilación espontánea. Bajos estas circunstancias la medición directa del PEEPd puede realizarse por Medio de oclusión de la vía aérea al final de la espiración ya sea por utilización manual de la válvula de pausa espiratoria prolongada o por medición electrónica en algunos ventiladores. La medición fidedigna se logra de 1 a 5 segundos después de la oclusión, observando en el manómetro de presión el nivel en donde se detiene

La aguja lo cual representa el PEEPd generado el cual se mide en centímetros de agua y en donde es importante saber que en condiciones normales no debe haber PEEPd y es necesario que el paciente no realice esfuerzo inspiratorio ya que se modifica la cifra de PEEPd generado.

También se puede medir por la evaluación del flujo y presión de la vía aérea durante la ventilación mecánica controlada y por medición de la presión esofágica durante la ventilación espontánea en donde se mide la presión que precede al inicio del flujo inspiratorio, aunque la participación activa de los músculos respiratorios puede bajo estas circunstancias ocasionar una sobreestimación del PEEPd.

La importancia clínica reside en la repercusión sobre el gasto cardíaco, riesgo de barotrauma, de hiperinflación dinámica y en la presión arterial de oxígeno.

### PEEP total

Es la suma de presión positiva al final de la espiración que se programó en el ventilador y la presión positiva al final de la inspiración generada en forma inadvertida o por maniobras específicas en el ventilador que ocasionen acortamiento de la fase espiratoria y evite la salida total del volumen corriente inspiratorio. Ambas presiones se miden en centímetros de agua.

$$PEEP_t = PEEP_e + PEEP_d$$

- Variable dependiente

### Presión Media de la Vía Aérea

Es el promedio de la suma de las presiones generadas en la vía aérea y se mide en centímetros de agua y donde el valor normal es hasta 25 cmH<sub>2</sub>O ya que cifras mayores se relacionan estrechamente con alteraciones hemodinámicas con disminución del gasto cardíaco secundario a disminución en el retorno venoso. En el ventilador Servo 900c con Servo Windows, la medición se realiza en forma automática y se observa el nivel de presión media generada por visión directa del panel de control de presiones de la vía aérea.

## **SELECCIÓN DE LA MUESTRA**

Se seleccionó a los pacientes internados en la UCI con ventilación mecánica controlada por presión y se realizó un estudio piloto en 16 pacientes determinándose el tamaño de la muestra utilizando la fórmula para diferencias en la presión media de la vía aérea con un error alfa de 0.05 y un error beta de 0.10 con la cual se obtuvo que el tamaño de muestra para este protocolo de investigación fue de 38 pacientes.

## **CRITERIOS DE SELECCION**

### CRITERIOS DE INCLUSION

- Pacientes que se encuentren con ventilación mecánica controlada por presión
- Presión arterial de oxígeno 60 Torr
- Saturación arterial de oxígeno 90%
- Presión arterial media 60mmHg
- Fracción inspirada de oxígeno menor de 60%

### CRITERIOS DE NO INCLUSION

- Pacientes menores de 16 años
- Mujeres embarazadas
- Enfermedad terminal
- Insuficiencia cardíaca

### CRITERIOS DE EXCLUSION

- Paciente que recuperan automatismo ventilatorio
- Que presentan extubación incidental

## PROCEDIMIENTO

Para la realización del procedimiento, una vez ya seleccionado el paciente, si se encuentra en modalidad controlada para lo cual se iniciara sedación. Se realizara determinación de presión arterial con baumanómetro en la arteria humeral para corroborar que se encuentre con presión arterial media mayor de 60mmHg, se tomara una gasometría arterial para verificar que tenga presión arterial de oxígeno mayor de 60 torr y saturación arterial de oxígeno mayor de 90%, se le solicitara a la enfermera que tiene a su cargo al paciente que le administre Propofol intravenoso a dosis de 1mg/kg para mantener al paciente bajo efecto de sedación en Ramsay<sup>(35)</sup> de 5-6 puntos y se repetirá la dosis cuantas veces lo requiera el paciente; se verificara que el paciente no tenga automatismo ventilatorio.

La muestra de sangre venosa se tomara a través de un catéter en la vena cava superior cuya punta se ubique a 2cm antes de la aurícula derecha y la arterial se tomara de la arteria radial y el encargado de esto será el médico residente de Medicina Critica que participa en el estudio y las muestras serán procesadas por el químico que se encuentre en turno en el laboratorio de UCI. Se utilizara un saturómetro CIBA-CORNING modelo 288; y para vigilancia no invasiva se utilizara monitor Hewlett-Packard modelo MI046A y un oxímetro de pulso Hewlett-Packard modelo MI020A.

El procedimiento consiste de 4 fases. La primera considerada como basal, en la cual el ventilador se programa en modo controlado por presión, la suficiente para mantener un volumen corriente de 10ml/kg, con  $F_R$  de 14 por minuto, PEEP estático de 4 cmH<sub>2</sub>O, relación I:E 1:2 y fracción inspirada de oxígeno ( $F_iO_2$ ) al 40% y se mantendrá por 10 minutos; posteriormente se toma control de gasometría de sangre arterial y venosa para monitorización de la presión arterial de oxígeno y saturación arterial. Posteriormente se inicia la segunda fase que consiste en cambiar la relación I:E a 2:1, manteniendo los demás parámetros durante 10 minutos y se realizara la maniobra utilizando pausa espiratoria prolongada y verifica en el manómetro del ventilador la cantidad de PEEPd generado por el paciente y se verifica el PEEP total el cual es la suma del PEEPe y el PEEPd y se procede a la toma de muestra de sangre arterial y venosa.

Posteriormente la tercera fase consiste en regresar al paciente a parámetros basales durante 10 minutos. La última fase consiste en mantener al paciente en relación I:E de 1:2,  $V_t$  10ml/kg,  $F_iO_2$  40%,  $F_R$  de 14 por minuto y se cambia el PEEPe al mismo nivel del PEEPt generado en la fase 2, se mantiene esta modalidad por 10 minutos y se toma control gasométrico de sangre arterial y venosa. Se recaba en la hoja de recolección de datos de presión pico de la vía aérea, la presión meseta, la presión media, el volumen corriente inspiratorio y el espiratorio así como el volumen minuto durante cada fase y la evaluación hemodinámica. Posteriormente se regresa la programación del ventilador a parámetros basales, se suspende la sedación y se realiza nueva exploración física integral.

## **ANALISIS ESTADISTICO**

Se realizó estadística descriptiva encontrando los valores de la presión media de la vía aérea con una distribución libre, por lo que se realizó prueba para encontrar diferencias entre medianas de 2 grupos dependientes por medio de la prueba de Wilcoxon, considerándose como estadísticamente significativo todo valor de P 0.05.

## **CONSIDERACIONES ETICAS**

El uso de ventilación mecánica invasiva con presión positiva ocasiona cambios en la función de los órganos intratorácicos y extratorácicos así como sistémicos, por lo cual el monitoreo intensivo que incluya la vigilancia del sistema nervioso central, principalmente en pacientes con padecimientos neurológicos, por lo cual importan la exploración neurológica completa antes, durante y después del procedimiento. Para evaluar la integridad cardiaca y pulmonar se tendrá control con electrocardiograma de 12 derivaciones y radiografía del tórax antes y después de la realización del procedimiento. También se tendrá gasometría arterial previa al inicio del manejo para verificar que el paciente se encuentre en estabilidad acido-base.

Es importante conocer que dentro de los efectos colaterales del propofol se encuentran la vasodilatación periférica y secundariamente la disminución de La presión arterial y la del gasto cardiaco así como puede ocasionar bradicardia por lo que el paciente deberá mantener estabilidad hemodinámica la cual será evaluada por el registro de la presión arterial y de la frecuencia cardiaca y deberá mantener una presión arterial media mayor de 60 torr para lo cual se utilizara aminas vasoactivas y aporte de líquidos intravenosos en caso de que presente disminución del valor establecido. La frecuencia cardiaca se mantendrá entre 60 y 100 latidos por minuto.

A nivel renal se evaluara el gasto urinario minuto mediante sonda vesical. Durante todo el procedimiento, se mantendrá al paciente con monitorización continua no invasiva pulsooxímetro y de la función eléctrica cardiaca mediante trazo electrocardiográfico de 3 derivaciones.

En caso de que el paciente presente extubación incidental se procederá a colocar nuevamente la cánula orotraqueal mediante visualización directa de la glotis con laringoscopio.

Debido a que el estudio se realizara en paciente sin daño pulmonar agudo, por lo cual la distensibilidad esta conservada y la presión meseta de la vía aérea no alcanzaran niveles críticos, el riesgo de barotrauma es mínimo y que junto con la monitorización sistémica intensiva permitirá detectar y tratar cualquier posible complicación.

## **RECURSOS PARA EL ESTUDIO**

### **Recursos Humanos**

Participaran los médicos que estén a cargo de la atención del paciente, el medico asesor de trabajo de investigación y el médico Residente de Medicina Critica que participa en el mismo. También participara la enfermera especializada en Cuidados intensivos que este asignada a la atención del paciente, y los químicos que procesaran la muestra a analizar.

### **Recursos Materiales**

Se utilizara una cama de la Unidad de Terapia Intensiva del Hospital de especialidades, un ventilador mecánico Servo 900c con Servo Windows, un monitor Hewlett Packard, un pulsooximetro, Baumanómetro, estetoscopio, jeringas desechables, heparina no fraccionada, propofol para uso intravenoso, gasas, algodón y alcohol.

## RESULTADOS

Se ingresaron al estudio 38 de los cuales 26 fueron hombre (68%) con edad promedio de 45 años (17 – 76 años) y 12 fueron mujeres (32%) con edad promedio de 55 años (23-78años).

En la tabla 1 se muestran los diagnósticos de los pacientes que se incluyeron en el estudio de investigación así como el porcentaje que representa cada una de las patologías,

**TABLA 1**

DIAGNOSTICO	NUMERO	PORCENTAJE
H.S.A	6	15.78%
RESECCION DE M.A.V	2	5.26%
NEOPLASIA CEREBRAL	11	28.94%
CLIPAJE DE ANEURISMA CEREBRAL	3	7.89%
SEPSIS ABDOMINAL	4	10.52%
ESTENOSIS TRAQUEAL	1	2.63%
LINFOMA	1	2.63%
EXPLORACION FEMORAL	2	5.26%
PANCREATITIS	3	7.89%
SX FEBRIL	1	2.63%
DIABETES MELLITUS	2	5.26%
SX FOURNIER	1	2.63%
ABCESO HEPATICO	1	2.63%

En el cuadro 1 se muestran los periodos del estudio donde B es basal con relación I: E 1:2, Des la fase donde se genera PEEP dinámico en relación 1: E 2:1 y E es la fase donde se utiliza solo PEEP es la presión positiva al final de la espiración, PIP es presión inspiradora pico, Ppl es la presión meseta, Paw es la presión media de la vía aérea. Cd es la distensibilidad,  $\Delta P$  es la delta P y Vt es el volumen corriente espiratorio. Los resultados se encuentran expresados en medianas.

### CUADRO 1.- MECANICA PULMONAR

PARAMETROS	B	D	E
RELACION I : E	1:2	2:1	1:2
PEEP	4	7.7	7.7
PIP	18	16.2	21.8
Ppl	18	16.2	21.8
Paw	8.7	13.8	11.4
Cd	43	56	42
$\Delta P$	14.1	9.9	14
Vt	576	518	613

En el cuadro 2 se muestra los resultados del monitoreo de gases sanguíneos arterial y venosa con valores expresados en medianas en donde PaCO<sub>2</sub> es la presión parcial de CO<sub>2</sub> Da-VO<sub>2</sub> es la diferencia arterial-venosa. QsQt son los cortocircuitos, %EO<sub>2</sub> es el porcentaje de extracción de O<sub>2</sub> así como IK es el índice de Kirby.

### CUADRO 2.- MONITOREO RESPIRATORIO

PARAMETROS	B	D	E
RELACION I:E	1:2	2:1	1:2
PEEP	4	7.7	7.7
PaCO <sub>2</sub>	29	29	29.5
Da - Vo <sub>2</sub>	3.6	3.7	3.7
QsQt	16	15.9	15
%EO <sub>2</sub>	20.5	21.5	21
IK	304	320	326

En el cuadro 3 se muestran los valores de la presión media de la vía aérea (Paw) comparando la etapa basal y durante la fase 1 en donde se generó el PEEP dinámico, los valores se expresan en medianas.

### CUADRO 3.- PRESION MEDIA DE LA VIA AEREA

PARAMETRO	BASAL	FASE 1	SIGNIFICANCIA ESTADISTICA
RELACION I:E	1:2	2:1	
Paw	8.7	13.8	P=0.0000

En el cuadro 4 se muestran los valores de la presión media de la vía aérea (Paw) comparando la etapa basal con la fase 2 en donde se utilizó únicamente PEEP estático. Los valores se expresan en medianas.

### CUADRO 4.- PRESION MEDIA DE LA VIA AEREA

PARAMETRO	BASAL	ASE 2	SIGNIFICANCIA ESTADISTICA
RELACION I:E	1:2	1:2	
Paw	8.7	11.4	P=0.0000

En el cuadro 5 se muestran los valores de la presión media de la vía aérea (Paw) comparando la fase 1 en la cual se generó PEEP dinámico con la fase 2 en la cual solo se aplicó PEEP estático. Los valores se expresan en medianas.

### Cuadro 5.- PRESION MEDIA DE LA VIA AEREA

PARAMETRO	FASE 1	FASE 2	SIGNIFICANCIA ESTADISTICA
RELACION I:E	2:1	1:2	
Paw	13.8	11.4	P=0.0000

## DISCUSION:

De los resultados obtenidos en el estudio realizado, es de suma importancia mencionar que el comportamiento de la presión media de la vía aérea en ventilación mecánica controlada por presión es diferente cuando se genera PEEP dinámico y se compara con el generado por PEEP estático ocasionando una elevación de la presión media de la vía aérea a valores tanto clínicos como estadísticamente significativos con disminución de la misma cuando se utiliza PEEP dinámico, lo cual fue referido por Boros<sup>(30)</sup> en el Síndrome de distrés respiratorio del infante en modo controlado por volumen y en donde se consideraba que más que ser un componente específico de las ondas de presión de la vía aérea es un determinante importante del intercambio gaseoso misma posición que defendieron Gallagher y Banner <sup>(15)</sup> aunque no se demostró la misma eficacia para la eliminación de CO<sub>2</sub>; sin embargo en el estudio realizado la PaCO<sub>2</sub> se comportó en forma similar cuando se utilizó PEEP dinámico cuando se comparó con la utilización de PEEP estático con un valor p=0.90.

El comportamiento de la presión pico y meseta de la vía aérea en este estudio demostró disminución importante con la generación de PEEP dinámico cuando se compara con las que se generaron con uso de PEEP estático con un valor de P= 0.0000, con lo cual nuevamente se corrobora que se disminuye el riesgo barotrauma, así como se demuestra un aumento de la distensibilidad dinámica con la generación de PEEP dinámico y que se correlaciona con la disminución de la delta P lo que se traduce como la existencia de menor resistencia al flujo de aire y mayor reclutamiento alveolar.

El volumen corriente espirado disminuyó con respecto al basal cuando se utilizó el PEEP dinámico y cuando se comparó con la fase en que se utilizó PEEP estático con valor de p= 0.0000 sin generación de hiperinflación dinámica ya que no se encontró disminución de distensibilidad y solo en 2 pacientes se encontró aumento del volumen corriente espirado con el uso del PEEP dinámico aunque sin diferencia importante en la distensibilidad lo cual fue reportado como una posibilidad por Marini<sup>(1-2)</sup> cuando se utiliza ventilación con relación inspiración-espriación inversa por prolongación del tiempo inspiratorio o durante la hiperventilación, aunque este fenómeno se ha observado más cuando coexiste la presencia de obstrucción al flujo del aire.

El comportamiento del monitoreo respiratorio en ambas fases tiene relevancia cuando se revisa en rubro del índice de oxigenación siendo mayor cuando se utilizó el PEEP estático cuando se compara con el PEEP dinámico aunque no hubo una diferencia estadística significativa con un valor de  $p=0.07$  siendo el porcentaje de extracción de oxígeno, los cortocircuitos y la diferencia arterio-venosa prácticamente igual con la utilización de ambos tipos de PEEP, estando el paciente en estabilidad acido-base y sin modificaciones hemodinámicas.

Cheney y Burnham<sup>(32)</sup> reportaron en modalidad controlada por volumen que el mantenimiento de una presión media de la vía aérea elevada a expensas de presión positiva al final de la espiración y un volumen corriente bajo mejoró el intercambio de oxígeno que cuando se utilizó volumen corriente elevado, lo cual fue investigado también en el modelo animal<sup>(36)</sup> encontrando que la utilización de volumen corriente alto y presión positiva al final de la espiración baja causa edema de la pared alveolar ocasionando deterioro del intercambio gaseoso.

Los resultados encontrados en el presente estudio y los reportados en la literatura demuestran que la presión media de la vía aérea debe ser mantenida en un nivel óptimo para mejorar el intercambio gaseoso ya que finalmente la presión media de la vía aérea en la práctica clínica representa la presión alveolar media lo cual es determinante para lograr una adecuada oxigenación principalmente en el grupo de pacientes con SIRA y el mecanismo que seguramente ocasiona que se disminuya la presión pico, la presión meseta, se eleve la presión media de la vía aérea, disminuya la delta P, aumente la distensibilidad con disminución del volumen corriente espiratorio cuando se genera PEEP dinámico es que existe un mayor reclutamiento alveolar y debido a que durante la ventilación mecánica controlada por presión la distribución del flujo inspiratorio en la vía aérea es más homogénea que durante la ventilación mecánica controlada por volumen con onda de flujo constante; el riesgo de que existan áreas pulmonares con mayor distensión a expensas de otras áreas que presenten colapso parcial o total es mínimo y con el beneficio de que tanto la distribución e intercambio de oxígeno y de bióxido de carbono se realice en forma más óptima.

## CONCLUSIONES

1. El comportamiento de la presión media de la vía aérea es distinta cuando se utiliza PEEP dinámica cuando se compara a la generada por la utilización de PEEP estático en la modalidad de ventilación mecánica controlada por presión.
2. La disminución de la presión pico y de la presión meseta asociado a volumen corriente espiratorio bajo, es una consecuencia importante cuando se generó PEEP dinámico ya que representa medidas de protección pulmonar.
3. El empleo de PEEP dinámico ocasionó aumento de la distensibilidad así como disminución de la delta P sin ocasionar hiperinflación dinámica.
4. La optimización de la presión media de la vía aérea es un factor importante para mejorar la oxigenación en el grupo de pacientes con SIRA.
5. Hasta antes del presente estudio no existía en la literatura un estudio que compare el comportamiento de la presión media de la vía aérea con el uso de la PEEP dinámico y PEEP estático en la modalidad controlada por presión.

## REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

1. Marini JJ, Ravenscraft SA. Mean airway pressure: Physiologic determinants and clinical importance- part 1: Physiologic determinants and measurements. Crit Care Med, 1992 Oct; 20 (10):1461-1472.
2. Marini JJ, Ravenscraft SA. Mean airway pressure: Physiologic determinants and clinical importance- part 2: Clinical implications. Crit Care Med, 1992 Nov; 20(11): 1604-1616.
3. Marini JJ. Dynamic hyperinflation in: Physiological basis of ventilatory support (ed) Marcel Dekker inc. New York 1998, pp 453-485.
4. Shapiro R, Kacmarek RM. Monitoring of the mechanically ventilated patients in: Physiological basis of ventilatory support (ed) Marcel Dekker inc. New York 1998, pp 709-771.
5. Suter PM, Francois L. Positive end-expiratory pressure in acute respiratory failure: pathophysiology and practical guidelines in: Physiological basis of ventilatory support (ed) Marcel Dekker inc. New York 1998, pp 873-885.
6. Slutsky AS. Mechanical Ventilation. Chest 1993; 104: 1833-1859.
7. Peruzzi WT. The current status of PEEP. Respir Care 1996; 41: 273-284.
8. Marcy TW. Inverse ratio ventilation in: Tobin MJ (Ed) Principles and practice of mechanical ventilation. McGraw-Hill, New York 1994, pp 319-331.
9. Gurevitch MJ, Van Dyke J, Toung ES, et al : Improve oxygenation and lower peak airway pressure in severe adult respiratory distress syndrome: Treatment with inverse ratio ventilation. Chest 1986; 89: 211-213.
10. Abraham E, Yoshihara G: Cardiorespiratory effects of pressure controlled, inverse ratio ventilation in severe respiratory failure. Chest 1989; 96: 1356-1359.
11. Berman LS, Downs JB, Van Eeden H: Inspiratory/expiratory ratio: Is mean airway pressure the difference? Crit Care Med 1981; 9: 775-777.
12. Crotti S, Pelosi P, Mascheroni D, et al. The effect of extrinsic PEEP on lung inflation and regional compliance in mechanically ventilated patients: a CT scan study. Intensive Care Med 1995; 21: 5135.
13. Cole AGH, Weller SF, Sykes MK: Inverse ratio ventilation compared with PEEP in adult respiratory failure. Intensive Care Med 1984; 10: 227-232.

14. Fuhrman BP, Smith-Wright DL, Venkataraman S, et al Proximal mean airway pressure: A good stimator of mean alveolar pressure during continuos positive pressure breathing. *Crit Care Med* 1989; 17: 666-670.
15. Gallagher TJ, Banner MJ: Mean airway pressure as a determinat of oxigenation. *Abstr. Crit Care Med* 1980; 8: 224.
16. Gottfried SB, Reissman H, Rainieri VM. A simple method for the measurement of intrinsic positive end-expiratory pressure during controlled and assisted modes of the mecanichal ventilation. *Crit Care Med* 1992; 5: 621-629.
17. Haake R, Schlichting R, Ulstad DR, at al: Barotrauma: Pathophysiology, Risk factors and prevention. *Chest* 1987; 91: 608-613.
18. Hickling KG, Henderson SJ, Jackson R: Low mortality associated with low volumen, pressure ventilation with permissive hipercapnia in severe adult respiratory distress síndrome. *Intensive Care Med* 1990; 16: 372-377.
19. Kacmarek RM, Hess D: Pressure controlled inverse ratio ventilation: Panacea or auto-PEEP ? *Respir Care*, 1990; 35: 945-948
20. Kacmarek RM, Kirmse M, Nishimura M, et al. The effects of applied vs auto-PEEP on local lung unit pressure and volumen in a for –init lung model. *Chest* 1995; 108: 1073-1079.
21. Lessard MR, Lofaso F, Brochard L. Expiratory muscle activity increases intrinsic positive end-expiratory pressure independently of dynamic hyperinflation in mecanically ventilated patientes. *Am J Respir Crit Care Med* 1995;151: 562-569
22. Marcy TW, Marini JJ. Inverse Ratio Ventilation in ARDS: Rationale and implementation. *Chest* 1990;100: 494-504.
23. Maltais F Reissman H, Navalesi P. et al. Comparison of static and dynamic measurements of intrinsic PEEP in mecanically ventilated patientes. *Am J. respir Crit Care Med* 1994; 150: 13181324.
24. McIntyre NR, Cheng DG, McConell R. Applied PEEP during preasure support reduce in inspiratory threshold load of intrinsic PEEP. *Chest* 1997; 111: 188-193.
25. Marcy TW, Burke WC, Adams AB. et al. Mean alveolar pressure is higher during ventilation with constant pressure tan winth constant flow or sinusoidal flow wave formos. *Abst. Am Rev Resp Dis* 1990;141 (4, pt 2): A239.
26. Patel H, YangKL. Variability of intrinsic positive end-expiratory pressure in patients receiving mechanical ventilation. *Crit Care Med* 1995; 23: 1074-1079.

27. Ravenscraft SA, Burke WC, Marini JJ. Volume cycled decelerating flow: an alternative form of mechanical ventilation. *Chest* 1992; 101:1342-1351.
28. Steward TE, Slutsky AS. Occult auto-PEEP in status asthmaticus, *Crit Care Med* 1996;29:279-380.
29. Tharatt RS, Allen RP, Albertson TE: pressure controlled inverse ratio in severe adult respiratory failure. *Chest* 1988; 94: 755-762.
30. Boros SJ. Variations in inspiratory:expiratory ratio and airway pressure waveform during mechanical ventilation. The significance of mean airway pressure. *J Pediatr* 1979; 94: 114-117.
31. Steward AR, Finner NN, Peters KL. Effects of alterations of inspiratory and expiratory pressure and inspiratory/expiratory ratios on mean airway pressure, blood gases and intracranial pressure. *Pediatric* 1981; 67: 474-481.
32. Cheney FW, Burnham SC. Effect of ventilatory pattern on oxygenation in pulmonary edema. *J Appl Physiol* 1971; 31: 909-912.
33. Cournand A, Motley HL, Werko L. et al. Physiologic studies of effects of intermittent positive pressure breathing on cardiac output in man. *Am J Physiol* 1948 ; 152: 162-174.
34. Cole AGH, Weller SF, Sykes MK: Inverse ratio ventilation compared with PEEP in adult respiratory failure. *Intensive care med* 1984; 10: 227-232.
35. Ramsay MAE, Savege TM, Simpson BRJ. et al. Controlled sedation with alphaxalone-alphadolone. *Br Med J* 1974; 2: 656-659.
36. Corbridge TC, Wood LDH, Crawford GP. et al. Adverse effects of large tidal volume and low PEEP in canine acid aspiration. *Am Rev Respir Dis* 1990;142:311-315