



# **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

Facultad de Medicina  
División de Estudios de Posgrado  
Hospital General de México O.D

**DETERMINACIÓN DEL PODER MECÁNICO EN PACIENTES EN VENTILACIÓN MECÁNICA  
INVASIVA EN MODALIDAD ESPONTÁNEA.**

## **TESIS DE POSGRADO**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
LA ESPECIALIDAD EN MEDICINA CRÍTICA

P R E S E N T A  
**DR. JOSÉ ISRAEL GÓMEZ RAMÍREZ**

**Tutor de tesis: Dr. Enrique Monares Zepeda.  
Profesor titular: Dr. Juvenal Franco Granillo.**

Ciudad de México, 2017



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

## **AGRADECIMIENTOS:**

**Gracias a mi familia, mi esposa y mis hijos, y esa incansable comprensión que me dieron a cada momento, el ánimo y la fuerza para seguir adelante, sin lo que no hubiese podido realizar ésta meta, éste sueño.**

**Gracias a mis padres y abuelos, que con su apoyo incondicional, estuvieron presentes en cada día y noche de esfuerzo en esta especialidad y la hicieron posible.**

**Gracias a mis maestros y a mis compañeros, con quienes comprendimos día con día que el médico se debe a los pacientes, que soportan el dolor de una enfermedad, y que deciden poner sus vidas en nuestras manos.**

## ÍNDICE

Agradecimiento.....	2
Resumen .....	4
Desarrollo el proyecto .....	5
Planteamiento del problema .....	12
Objetivos.....	12
Justificación .....	13
Hipótesis.....	15
Material y métodos .....	16
Criterios de inclusión .....	16
Descripción de porcedimientos.....	17
Análisis estadístico .....	18
Resultados .....	19
Conclusiones .....	23
Consideraciones éticas.....	24
Referencias.....	25

## RESUMEN.

**Objetivo:** Determinar cuál es el poder mecánico (mediante un modelo matemático que puede englobar las posibles causas de lesión pulmonar) otorgado por el ventilador, en pacientes bajo ventilación mecánica invasiva en modalidad espontánea VAP (ventilación asisto – proporcional).

**Métodos:** se calculó el poder mecánico y de distensión mediante las siguientes fórmulas:

$$1. \text{ Poder mecánico }_{rs} = FR \cdot \left\{ \Delta V^2 \cdot \left[ \frac{1}{2} \cdot EL_{rs} + FR \cdot \frac{(1 + I : E)}{60 \cdot I : E} \cdot R_{aw} \right] + \Delta V \cdot PEEP \right\}$$

$$2. \text{ Poder mecánico }_{rs} = (0.098) \cdot (FR \cdot \Delta V) \cdot (P_{pico} - \frac{1}{2} \cdot \Delta P)$$

$$3. PD = (0.098) \cdot (P_{PL} - PEEP) \cdot Vt \cdot FR$$

Se realizó en 60 pacientes, la mitad de ellos con ventilación mecánica invasiva en modalidad espontánea VAP, estimando la presión meseta ( $P_{pl}$ ) mediante el volumen corriente ( $Vt$ ), la distensibilidad ( $C_{rs}$ ) y la presión positiva al final de la espiración total (PEEPt) dadas por el ventilador mecánico.

**Resultados:** Se incluyeron datos de 60 pacientes bajo ventilación mecánica invasiva, 30 de ellos en la modalidad espontánea: ventilación asisto proporcional (VAP), de los cuales el 100% tuvo retiro de la ventilación exitoso, 30 pacientes como controles emparejados en modalidades controladas, con edad de 65 (SD  $\pm$  15) años, 63% hombres, y parámetros generales: frecuencia respiratoria (FR) media de 18 (SD  $\pm$  5.5) min<sup>-1</sup>, Vt medio de 0.46 (SD  $\pm$  0,1) Lts,  $C_{rs}$  media de 55 (SD  $\pm$  22) mL / cm H<sub>2</sub>O, PEEPt de 7.6 (SD  $\pm$  3.3) cm H<sub>2</sub>O, Presión pico ( $P_{pico}$ ) 20.4 (SD  $\pm$  6.9) cm H<sub>2</sub>O,  $P_{pl}$  de 17.05 (SD  $\pm$  5,8) cm H<sub>2</sub>O. Todas las comparaciones al calcular el poder mecánico, fueron menores en pacientes en modalidad espontánea vs pacientes ventilados con modalidad controlada, determinando los siguientes valores: 6.98 (SD  $\pm$  1.69) vs 18.49 (SD  $\pm$  8.20) J / min ( $p < 0.001$ ), 7.17 (SD  $\pm$  1.67) vs 20.92 (SD  $\pm$  9.05) J / min ( $p < 0.001$ ) y de 4.6 (SD  $\pm$  1.64) vs 12.33 (SD  $\pm$  7.04) J / min ( $p < 0.001$ ), en las fórmulas 1, 2 y 3 respectivamente, con un valor promedio para los pacientes en modalidad espontánea de 6.25 (SD  $\pm$  1.66) J / min.

**Conclusiones:** la posibilidad de determinar un valor promedio del poder mecánico en pacientes bajo ventilación mecánica invasiva en modalidad espontánea (VAP), puede permitir obtener un parámetro como objetivo a seguir; bajo el contexto de su equivalencia estimada en condiciones cercanas a las fisiológicas, y sobre todo, en pacientes en quienes se desea conservar medidas de protección pulmonar y progresar para retirar de la ventilación invasiva.

## DESARROLLO DEL PROYECTO

### Marco teórico y antecedentes.

La necesidad de tratar a un paciente con los beneficios que le confiere la “ventilación mecánica invasiva” (VMI), implica conocer los efectos adversos a los que se le expone desde el inicio de éste soporte.

Durante décadas se ha buscado la mejor forma de evitar la “lesión pulmonar inducida por el ventilador mecánico” o VILI (de sus siglas en inglés ventilator-induced lung injury), y actualmente ya se han establecido con evidencia y como medidas de protección pulmonar, las siguientes maniobras: emplear volumen corriente ( $V_t$ ) menor a 6 mL / kg de peso predicho (también llamado peso ARDSnet), mantener la presión meseta, llamada también presión plateau ( $P_{pl}$ ) menor de 30 cmH<sub>2</sub>O y la “presión de conducción alveolar” ( $\Delta P_{aw}$ , en inglés driving pressure) menor de 15 cmH<sub>2</sub>O, que es el resultado de la diferencia entre la presión meseta y la presión positiva al final de la espiración o PEEP (por sus siglas en inglés: positive expiratory end pressure).

Si bien, el cumplimiento de estas medidas disminuyen las probabilidades de VILI, queda claro que hay otros factores que pueden intervenir con la protección del daño pulmonar; además de las características anatómicas y fisiopatológicas del enfermo, como lo son la frecuencia respiratoria (FR), la magnitud del Flujo (Flw) suministrado, el grado de deformación o “strain” de las fibras pulmonares, el elongamiento excesivo del tejido funcional, la tensión a la que se somete el mismo y la distención alveolar contante en un tiempo determinado.

Todos estos factores pueden actuar directamente sobre el parénquima pulmonar, de forma dependiente de la cantidad de energía mecánica entregada, las alteraciones en el parénquima pulmonar pueden variar; desde llevar a la ruptura mecánica del mismo, a una reacción inflamatoria debido a la activación y expresión de sustancias en células endoteliales, epiteliales, macrófagos y neutrófilos entre otros.

El sustento teórico no ha sido suficiente para explicar con precisión el mecanismo preciso por el cual, todos estos factores interactúan y proporcionan al sistema respiratorio una “cantidad de energía”, que puede bien modificar la probabilidad de provocar daño pulmonar.

Recientemente, el Dr. L. Gattinoni y cols. presentaron y propusieron una descripción matemática del poder mecánico, en la cual, la energía entregada por unidad de tiempo se describe como una entidad unificada, y se explica así, con una ecuación, el “poder mecánico” administrado por el ventilador al tejido pulmonar, y la contribución relativa de cada uno de sus componentes [Vt, FR, ΔPaw, PEEP, Flw, relación inspiración : espiración (I:E)], en la que la mayoría de las variables pueden manipularse en las configuraciones convencionales del ventilador mecánico, con la capacidad así, de llevarse a la práctica clínica.

La propuesta matemática se describe entonces mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Poder mecánico}_{rs} = FR \cdot \left\{ \Delta V^2 \cdot \left[ \frac{1}{2} \cdot EL_{rs} + FR \cdot \frac{(1 + I : E)}{60 \cdot I : E} \cdot R_{aw} \right] + \Delta V \cdot PEEP \right\}$$

En donde “rs” = todo lo que ocurre en el “sistema respiratorio” (del inglés respiratory system), FR = frecuencia respiratoria, ΔV = volumen corriente, EL<sub>rs</sub> = elastancia en el sistema respiratorio, I:E = relación inspiración / espiración, R<sub>aw</sub> = resistencia en la “vía aérea” (del inglés Resistance “airway”) y PEEP = presión positiva al final de la espiración (del inglés: positive end expiratory pressure).

Se optó por presentar el modelo matemático mediante la fórmula anterior, pues su significado puede ser más fácil de comprender, ya que sus componentes reflejan la configuración de un ventilador mecánico común. Simplificando la ecuación anterior de la siguiente manera:

$$\text{Poder mecánico}_{rs} = (0.098) \cdot (FR \cdot \Delta V) \cdot (P_{pico} - \frac{1}{2} \cdot \Delta P)$$

El Dr. J. J. Marinni propuso una simplificación de esta fórmula sin tomar en cuenta los componentes dependientes del flujo y la resistencia, conocida como poder de distensión.

$$PD = (0.098) \cdot (P_{PL} - PEEP) \cdot Vt \cdot FR$$

En donde PD = poder de distensión, PEEP = Presión positiva la final de la espiración; Vt = volumen corriente; FR = Frecuencia respiratoria. Se emplea la constante de 0.098 para transformar unidades en Julios.

Ambas fórmulas no son equivalentes, por supuesto la diferencia se debe a que la fórmula de PM toma en cuenta elementos de resistencia de la vía aérea, mientras que si eliminamos el componente resistivo lo que se puede hacer en el programa del Poder mecánico al solicitar que la fórmula, se realice mediante la premisa (presión meseta = Presión pico estimada) las fórmulas no son tan diferentes.

Ya en diferentes estudios experimentales bajo la premisa de la importancia de la cantidad de energía entregada al sistema respiratorio en la unidad de tiempo (joule / min), se han determinado valores para determinar el umbral en el que se podría evitar el provocar VILI, calculando un poder mecánico no mayor a 12 J / min, esto en pacientes que se encuentran bajo ventilación mecánica invasiva en modalidades controladas (siempre y cuando las variables a controlar, lo permitan).

VARIABLES MODIFICABLES DURANTE LA VENTILACIÓN MECÁNICA Y SU IMPORTANCIA EN LA GENERACIÓN DE LESIÓN PULMONAR

## **Meseta, PEEP y volumen corriente.**

Acorde a las formulas los principales componentes que aumentan el poder son el volumen corriente y la presión de distensión (Meseta – PEEP), el siguiente componente es la frecuencia respiratoria y por último la PEEP. En ese orden cognitivo debemos preocuparnos por el nivel de daño que cause el ventilador al pulmón.

## **Frecuencia respiratoria y flujo.**

Es importante mencionar que dos elementos que varían al momento de ser tomados en cuenta de acuerdo a diferentes autores, y que no forman parte de las metas de protección pulmonar establecidas como seguras en estudios de investigación, han sido la frecuencia respiratoria y el flujo. Por lo tanto es común que tratando de proteger al pulmón con las metas de presión más establecidas (Meseta-volumen, driving pressure, PEEP) el poder de distensión sea no protector debido a la frecuencia respiratoria alta necesaria para mantener ventilación en presencia de distensibilidad muy disminuida. Por ejemplo, las medias de frecuencia respiratoria en el estudio ARDS network eran de 30 respiraciones por min con poder de distensión calculado a partir de las medias de 21 J/min valor alto principalmente por la frecuencia respiratoria.

De manera experimental Hotchkiss ya había advertido que la frecuencia respiratoria alta por si sola podía ser causante de lesión pulmonar. Laffey y el grupo LUNG SAFE reportaron que la frecuencia respiratoria es menor en el grupo de sobrevivientes versus no sobrevivientes de ARDS (frecuencia respiratoria  $20 \pm 6$  versus  $21 \pm 11$  respectivamente), este mismo estudio demostró que la presión pico mayor de 27 también se asocia a una mayor mortalidad en ARDS.

En los casos más graves de ARDS<sup>10</sup> aquellos que incluso han requerido ECMO la diferencia entre Presión pico – PEEP  $>21$  cmH<sub>2</sub>O se relaciona con mayor mortalidad. Dado que la presión pico difiere de la presión meseta exclusivamente por el nivel de flujo provocado en la vía aérea es posible que el flujo por si solo también contribuya a la lesión pulmonar

especialmente en los casos más graves (mayor inhomogeneidad) y cuando las presiones pico son mayores de 27 y la diferencia presión pico – PEEP sean mayores de 21. Estudios experimentales ya habían advertido del flujo como causa de lesión pulmonar.<sup>11</sup> Es importante mencionar que solo la fórmula de PM propuesta por Gattinioni toma en consideración el componente de flujo como generador de lesión pulmonar.

### **Medidas para disminuir la inhomogeneidad en relación al poder ventilatorio**

A la cabecera del paciente tenemos dos formas de disminuir la inhomogeneidad del pulmón lesionado. La primera de ellas es la posición prono y la segunda la titulación de la PEEP. Cuando se revisa un trabajo en el cual el objetivo de protección es el decúbito prono, observamos que la diferencia en el PD calculado a partir de las medias reportadas en el estudio no parece haber diferencia entre sobrevivientes y no sobrevivientes lo que quizá significa que son los cambios de distribución homogénea el factor determinante en la menor mortalidad. Por último, es particularmente notorio que en los estudios negativos para mortalidad de PEEP alto vs bajo, no hay diferencia en ambos grupos en el poder de distensión calculado a partir de las medias reportadas (Ver tabla 2). El beneficio de pronar a un paciente con SIRA o titular la PEEP depende de si estas maniobras disminuyen la inhomogeneidad del pulmón, debemos de encontrar una forma de probar este concepto a la cabecera del enfermo.

Maed demostró de manera matemática lo que posteriormente Gattinioni encontró de manera experimental y Guerin evidenció en pacientes reales: Aplicar más de 13 J/min al pulmón nunca es una buena idea. La lesión pulmonar requiere dos componentes: Un exceso de presión aplicada por el ventilador (un exceso de poder) y también un pulmón inhomogeneo (combinación de alveolos abiertos, colapsados y sobredistendidos). Alcanzar la meta de cada uno de los componentes de la formula del PD y analizar la protección pulmonar de manera global con la formula final debe de ser una prioridad de la ventilación mecánica protectora. Nosotros consideramos que el algoritmo aquí propuesto puede ser empleado de una manera didáctica para aprender a establecer parámetros de ventilación mecánica minimizando el daño pulmonar con el conocimiento y las herramientas que tenemos hasta el momento.

## **Ventilación modalidad Asisto proporcional (VAP).**

La ventilación asistida es necesaria en pacientes con impulso respiratorio normal o aumentado, que no pueden mantener una adecuada respiración espontánea por debilidad muscular y/o anormal mecánica respiratoria, su empleo representa hasta el 50% del tiempo total de soporte ventilatorio.

Es fundamental en ventilación asistida una adecuada interacción entre el paciente y el respirador, punto con frecuencia subestimado, y que puede prolongar la retirada definitiva de este último. La ventilación proporcional asistida (VPA) es un modo de ventilación diseñado para mejorar la sincronía con el respirador<sup>4</sup>, aunque tiene otras utilidades, como el estudio de la estabilidad del centro respiratorio. Este modo de ventilación no impone un patrón respiratorio, sino que se programa un porcentaje de asistencia, por lo tanto, es el propio centro respiratorio del paciente lo que determina el patrón de ventilación más adecuado, con lo que mejora la interacción con el respirador. Para ello, se precisa medir la mecánica respiratoria del paciente, y estimar las demandas de flujo y volumen. Durante la VPA es necesario programar un grado de asistencia que evite esfuerzo o reposo excesivos por el riesgo tanto de fatiga como de atrofia muscular, respectivamente. Aunque habitualmente las variables que definen el patrón respiratorio se utilizan para valorar el esfuerzo que realiza el paciente, esta aproximación en pacientes críticos es, al menos, cuestionable. El objetivo de nuestro estudio es determinar, en VPA, el mínimo grado de asistencia respiratoria relacionado con un trabajo respiratorio mayor que el fisiológico, y los cambios en el patrón respiratorio con diferentes grados de asistencia respiratoria.

La VPA se adapta instantáneamente a los cambios en la demanda ventilatoria y mejora la interacción pacienteventilador. La VPA se fundamenta en la ecuación del movimiento y suministra la presión en las vías aéreas según el porcentaje de soporte pautado. La asistencia se genera en proporción a la presión total necesaria para vencer la presión del retroceso elástico del sistema respiratorio y la caída resistiva de presión en las vías aéreas.

Estudios previos han comparado la PSV frente a la VPA, evidenciado una mejoría en los resultados a favor de la VPA en términos de adaptabilidad al cambio de demanda

respiratoria, mejoría de la sincronía pacienteventilador y mejoría de la calidad del sueño. A pesar de las ventajas de la VPA frente a la PSV demostradas en varios estudios fisiológicos y en un estudio clínico monocéntrico, la PSV sigue siendo la modalidad de referencia en la retirada de la VM. Los estudios citados han sido realizados durante un período corto de la retirada de la VM; en la actualidad, no existe ningún estudio que compare ambas modalidades durante todo el período de retirada de la VM.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

Determinar cuál es el poder mecánico de pacientes bajo ventilación mecánica invasiva en modalidad espontánea VAP.

## **OBJETIVO.**

Determinar cuál es el valor en pacientes bajo ventilación mecánica invasiva en modalidad espontánea (VAP), del poder mecánico.

## **OBJETIVOS SECUNDARIOS:**

Realizar una comparación entre el valor obtenido entre pacientes en modalidad espontánea y en modalidad controlada.

## JUSTIFICACIÓN

La necesidad de tratar a un paciente con los beneficios que le confiere la “ventilación mecánica invasiva” (VMI), implica conocer los efectos adversos a los que se le expone desde el inicio de éste soporte.

Durante décadas se ha buscado la mejor forma de evitar la “lesión pulmonar inducida por el ventilador mecánico” o VILI (de sus siglas en inglés ventilator-induced lung injury), y actualmente ya se han establecido con evidencia y como medidas de protección pulmonar, las siguientes maniobras: emplear volumen corriente ( $V_t$ ) menor a 6 mL / kg de peso predicho (también llamado peso ARDSnet), mantener la presión meseta, llamada también presión plateau ( $P_{pl}$ ) menor de 30 cmH<sub>2</sub>O y la “presión de conducción alveolar” ( $\Delta P_{aw}$ , en inglés driving pressure) menor de 15 cmH<sub>2</sub>O, que es el resultado de la diferencia entre la presión meseta y la presión positiva al final de la espiración o PEEP (por sus siglas en inglés: positive expiratory end pressure).

Si bien, el cumplimiento de estas medidas disminuyen las probabilidades de VILI, queda claro que hay otros factores que pueden intervenir con la protección del daño pulmonar; además de las características anatómicas y fisiopatológicas del enfermo, como lo son la frecuencia respiratoria (FR), la magnitud del Flujo (Flw) suministrado, el grado de deformación o “strain” de las fibras pulmonares, el elongamiento excesivo del tejido funcional, la tensión a la que se somete el mismo y la distensión alveolar contante en un tiempo determinado.

Recientemente, el Dr. L. Gattinoni y cols. presentaron y propusieron una descripción matemática del poder mecánico, en la cual, la energía entregada por unidad de tiempo se describe como una entidad unificada, y se explica así, con una ecuación, el “poder mecánico” administrado por el ventilador al tejido pulmonar, y la contribución relativa de cada uno de sus componentes [ $V_t$ , FR,  $\Delta P_{aw}$ , PEEP, Flw, relación inspiración : espiración (I:E)], en la que

la mayoría de las variables pueden manipularse en las configuraciones convencionales del ventilador mecánico, con la capacidad así, de llevarse a la práctica clínica.

Sin embargo, la determinación del poder mecánico ha sido considerada únicamente en pacientes que se encuentran bajo ventilación mecánica invasiva en modalidades asisto-controladas, hasta donde es estimado no exceder de 12 Joules / min para evitar lesión pulmonar por causa del ventilador mecánico.

Este trabajo pretende determinar un valor objetivo, que bajo el contexto de su equivalencia estimada en condiciones cuasi fisiológicas, permitirá obtener una meta a seguir en pacientes en quienes se desee conservar medidas de protección pulmonar y progresar para retirar de la ventilación invasiva.

## **HIPÓTESIS.**

Hipótesis verdadera: bajo ventilación mecánica invasiva en modalidad espontánea VAP, la contribución relativa de cada uno de los componentes otorgados por el ventilador, y por tanto el valor del poder mecánico, se alejarán del punto de corte estimado que puede provocar VILI.

Hipótesis nula: bajo ventilación mecánica invasiva en modalidad espontánea VAP, la contribución relativa de cada uno de los componentes otorgados por el ventilador, y por tanto el valor del poder mecánico, no serán diferentes del punto de corte estimado que puede provocar VILI.

## **DISEÑO.**

Estudio observacional, retrospectivo, cohortes, trasversal.

## MATERIALES Y MÉTODO.

### *Universo de estudio.*

Pacientes con ventilación mecánica invasiva en modalidad espontánea y controlada, ingresados en la terapia intensiva del Centro Médico ABC.

### *Tamaño de la muestra.*

60 pacientes.

### *Criterios de selección:*

#### Criterios de Inclusión.

Pacientes mayores de edad.

Pacientes bajo ventilación mecánica invasiva en modalidad espontánea y controlada.

Necesidad durante su hospitalización, de ventilación mecánica invasiva.

#### Criterios de exclusión.

Ausencia de registro de hoja de parámetros ventilatorios.

Expediente incompleto.

### **Definiciones:**

***Ventilación asistida proporcional:*** es una modalidad ventilatoria espontánea que aporta un soporte en proporción al esfuerzo inspiratorio del paciente, se adapta instantáneamente a los cambios en la demanda ventilatoria y mejora la interacción paciente ventilador.

***Ventilación mecánica en modalidad controlada:*** es una modalidad ventilatoria en la que se someterá al paciente al control absoluto de las diferentes variables del ciclo ventilatorio.

***Poder mecánico:*** se refiere a la energía entregada por unidad de tiempo al sistema respiratorio, por parte del ventilador mecánico, medida en Joules / minuto.

**Descripción de procedimientos.**

Se solicitaron los permisos pertinentes al Comité de Ética del Hospital ABC, previa aprobación del protocolo, se procedió a recolectar los datos de los pacientes ingresados a la terapia intensiva de ambos campus durante el periodo comprendido de agosto de 2015 a agosto de 2017.

Estos registros fueron seleccionados según los criterios de inclusión y exclusión especificados. Los datos fueron inicialmente registrados en la hoja de captura y posteriormente en una base de datos electrónica del programa Microsoft Excel.

**Recursos.**

Se requirió de clave para acceder a sistema de expedientes electrónicos ON BASE autorizada por subjefe de investigación.

## **ANÁLISIS ESTADÍSTICO.**

En primer lugar, se llevó a cabo un análisis descriptivo de las variables categóricas y de las variables numéricas empleando medidas de tendencia central y desviaciones estándar.

Las variables categóricas fueron representadas como frecuencias absolutas y relativas. La correlación fue estimada con coeficiente de Pearson ( $r$ ). La concordancia fue calculada mediante el grado de acuerdo global expresado en porcentaje por el coeficiente de correlación intraclass (CCI). Todas las pruebas de hipótesis fueron consideradas significativas con un error alfa ajustado menor al 5% a dos colas.

Los datos obtenidos serán incluidos en una base de datos destinada para tal fin y analizados con el paquete estadístico STATA SE 11.0.

## RESULTADOS.

Se incluyeron datos de 60 pacientes bajo ventilación mecánica invasiva, 30 de ellos en la modalidad espontánea: ventilación asisto proporcional (VAP), de los cuales el 100% tuvo retiro de la ventilación exitoso, 30 pacientes como controles emparejados en modalidades controladas, con edad de 65 (SD  $\pm$  15) años, 63% hombres, y parámetros generales: frecuencia respiratoria (FR) media de 18 (SD  $\pm$  5.5) min<sup>-1</sup>, Vt medio de 0.46 (SD  $\pm$  0,1) Lts, Crs media de 55 (SD  $\pm$  22) mL / cm H<sub>2</sub>O, PEEPt de 7.6 (SD  $\pm$  3.3) cm H<sub>2</sub>O, Presión pico (Ppico) 20.4 (SD  $\pm$  6.9) cm H<sub>2</sub>O, Ppl de 17.05 (SD  $\pm$  5,8) cm H<sub>2</sub>O.

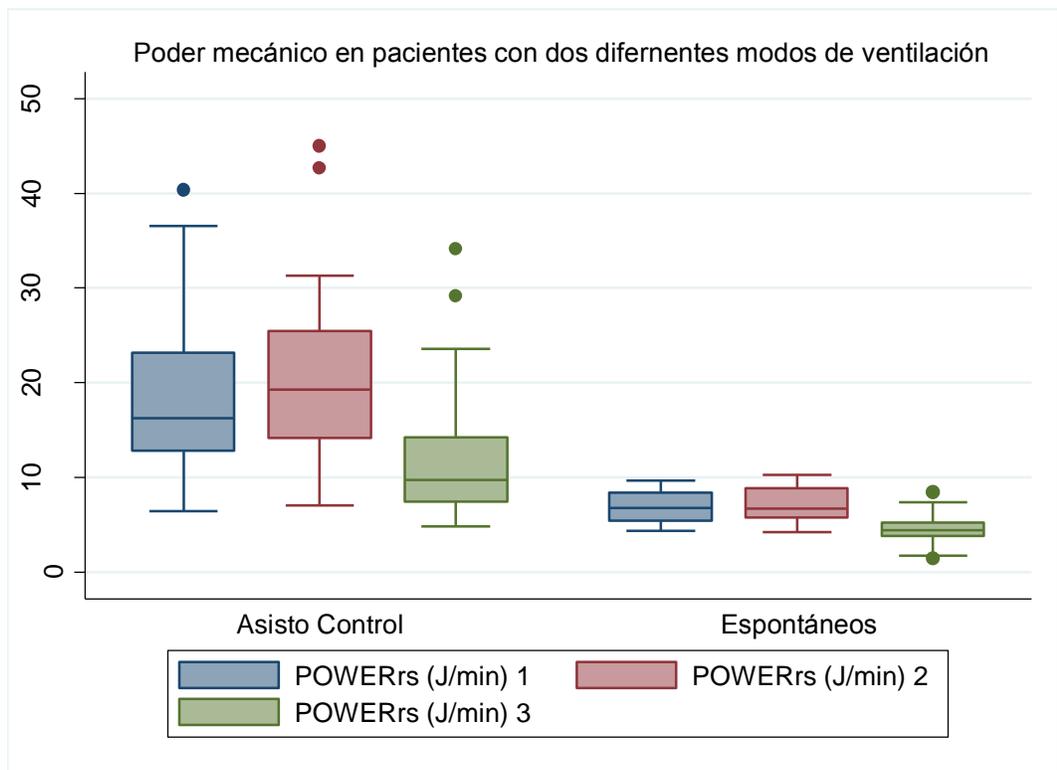
	ASISTO CONTROL		ESPONTÁNEOS		p
	Media	DE	Media	DE	
POWERrs (J/min) 1	18.49	8.20	6.98	1.69	<0.001
POWERrs (J/min) 2	20.92	9.05	7.17	1.67	<0.001
POWERrs (J/min) 3	12.33	7.04	4.60	1.64	<0.001

**Tabla 1. Poder mecánico en dos modalidades de ventilación diferentes, calculado por 3 ecuaciones distintas.**

Todas las comparaciones entre poder ventilatorio de pacientes con modalidad controlada fueron mayores comparados con los pacientes en modalidad espontánea (VAP) por cualquiera de los 3 métodos calculados.

Todas las comparaciones al calcular el poder mecánico, fueron menores en pacientes en modalidad espontánea VAP (ventilación asisto proporcional) vs pacientes ventilados con modalidad controlada, determinando los siguientes valores: 6.98 (SD  $\pm$  1.69) vs 18.49 (SD  $\pm$  8.20) J / min (p < 0.001), 7.17 (SD  $\pm$  1.67) vs 20.92 (SD  $\pm$  9.05) J / min (p < 0.001) y de 4.6 (SD  $\pm$  1.64) vs 12.33 (SD  $\pm$  7.04) J / min (p < 0.001), en las fórmulas 1, 2 y 3 respectivamente, con un valor promedio para los pacientes en modalidad espontánea de 6.25 (SD  $\pm$  1.66) J / min.

Se aprecia de forma gráfica la posible correlación de valores menores de poder mecánico, y por ende de variables medidas por el ventilador para pacientes en modalidad espontánea VAP que en pacientes en modalidades controladas.



**Grafica 1. Cajas y bigotes.** Se muestra la diferencia de la magnitud del poder mecánico calculada en pacientes que se encuentran bajo ventilación mecánica invasiva en modalidad controlada y en espontánea (VAP).

## Correlación y concordancia del cálculo del poder mecánico.

Al utilizar solo el grupo de pacientes con modalidad espontánea, encontramos alta correlación y concordancia entre los 3 cálculos, siendo mucho más elevadas entre las fórmulas 1 y 2. Con  $r=0.81$ ,  $p<0.001$  y un coeficiente de correlación intraclase de 90%. Con menor grado de correlación y concordancia entre las fórmulas 2 y 3.  $r=0.65$  y acuerdo del 46%.

**Correlación y concordancia entre 3 métodos de poder ventilatorio\***

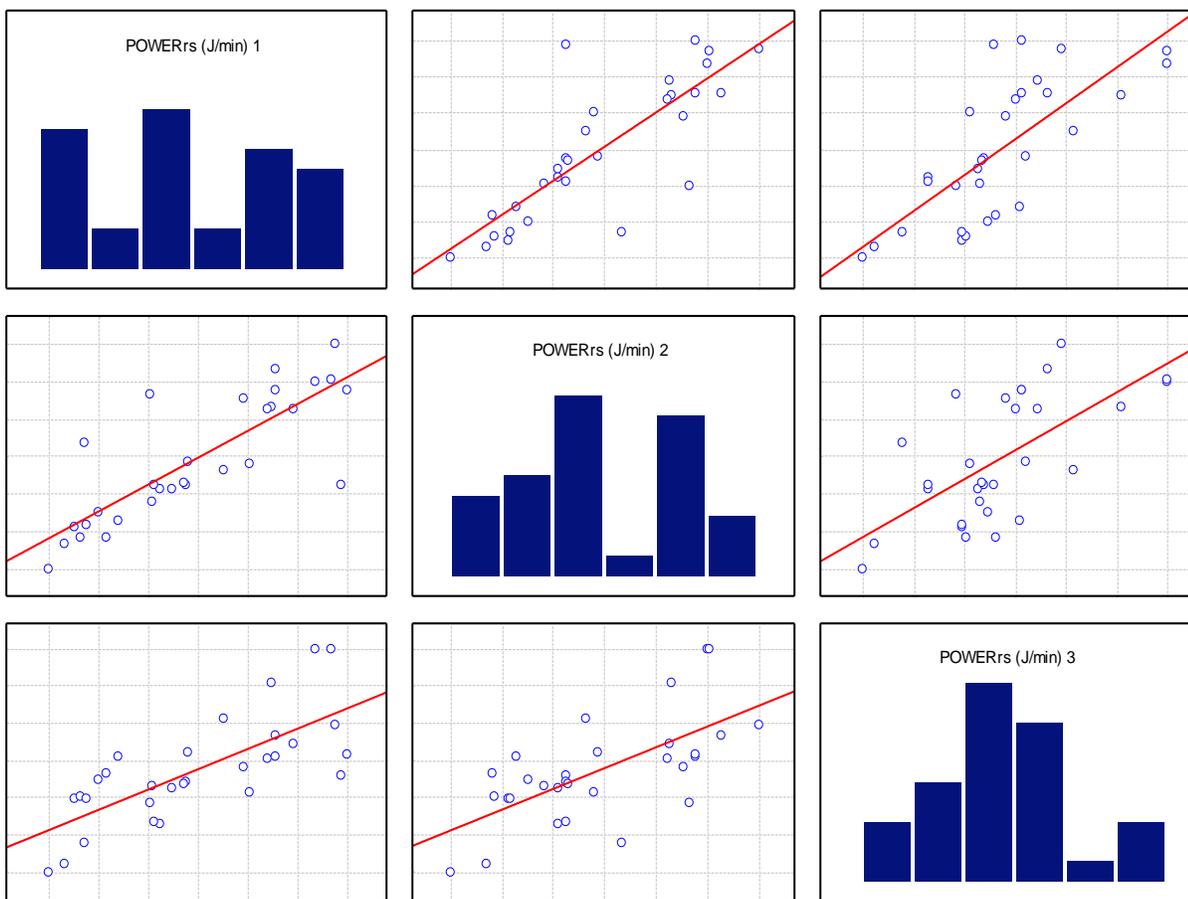
	POWERrs (J/min) 1	POWERrs (J/min) 2
POWERrs (J/min) 2	0.81 (90%)	
POWERrs (J/min) 3	0.734 (53%)	0.65 (46%)

**Tabla 2. Se representan los valores como coeficientes de correlación de Pearson, y entre paréntesis el acuerdo global representado en porcentaje calculado mediante coeficientes de correlación Intraclase (CCI), todos los contrastes con  $p<0.001$ .**

Con un coeficiente de correlación interclase que muestra el porcentaje de la medición que se coincide entre dos mediciones. 1 y 2 coinciden en 90%, 2 y 3 coinciden en 40%.

## Correlación y concordancia del cálculo del poder mecánico.

Con un coeficiente de correlación interclase que muestra el porcentaje de la medición que se coincide entre dos mediciones. 1 y 2 coinciden en 90%, 2 y 3 coinciden en 40%.



Gráfica 2. Correlaciones y distribución de frecuencias de las tres fórmulas con las que se calculó el poder mecánico y de distensión.

## **CONCLUSIONES.**

**Es posible** determinar cuál es el poder mecánico (mediante un modelo matemático que puede englobar las posibles causas de lesión pulmonar) otorgado por el ventilador, en pacientes bajo ventilación mecánica invasiva en modalidad espontánea VAP (ventilación asistida – proporcional).

Después de analizar los datos de 60 pacientes, la posibilidad de determinar un valor promedio del poder mecánico en pacientes bajo ventilación mecánica invasiva en modalidad espontánea (VAP), puede permitir obtener un parámetro como objetivo a seguir; bajo el contexto de su equivalencia estimada en condiciones cercanas a las fisiológicas, y sobre todo, en pacientes en quienes se desea conservar medidas de protección pulmonar y progresar para retirar de la ventilación invasiva.

Posiblemente haya una asociación entre un poder mecánico como el determinado y la posibilidad de poder progresar a un paciente de la ventilación mecánica invasiva para su retiro, pues el valor determinado fue realizado en condiciones fisiológicas, y el 100% de los pacientes que se encontraron en modalidad espontánea, fueron extubados exitosamente, por lo que seguramente valdrá la pena continuar investigando respecto a estos resultados.

## **CONSIDERACIONES ÉTICAS.**

El presente estudio cumple los lineamientos mencionados en:

- La Declaración de Helsinki.
- La Ley General de Salud.
- El Reglamento de la ley general en materia de investigación en salud titulo Segundo, Capítulo 1:
  - Art. 16. En las investigaciones en seres humanos se protegerá la privacidad del individuo sujeto de investigación, identificándolo sólo cuando los resultados lo requieran y éste lo autorice.
  - Art. 17. Donde considera este tipo de estudios como Investigación con riesgo mínimo.

Asimismo, nos apegamos a las normas de confidencialidad y el anonimato de los pacientes, eliminando los identificadores personales (datos de filiación) que encontramos en los registros clínicos a evaluar.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Mead J, Takishima T, Leith D. Stress distribution in lungs: a model of pulmonary elasticity. *J Appl Physiol* 1970;28(5):596–608.
2. Cressoni M; et al. Mechanical power and development of ventilator-induced lung injury. *Anesthesiology* 2016;124:1100–1108.
3. Gattinoni L, Tonetti T, Cressoni M, Cadringher P, Herrmann P, Mörer O, Protti A, Gotti M, Chiurazzi C, Carlesso E, Quintel M. Ventilator-related causes of lung injury: the mechanical power. *Intensive Care Med* 2016; 42:1567–1575
4. <http://www.ains.med.unigoettingen.de/de/abteilung-anaesthesiologie/forschung/energy-calculator-software>.
5. Marini JJ, Jaber S. Dynamic predictors of VILI risk: beyond the driving pressure. *Intensive Care Med*. 2016;42:1597-600.
6. Guérin C, Papazian L, Reignier J, Ayzac L, Loundou A, Forel JM; investigators of the Acurasys and Proseva trials. Effect of driving pressure on mortality in ARDS patients during lung protective mechanical ventilation in two randomized controlled trials. *Crit Care*. 2016;29,20:384.
7. The Acute Respiratory Distress Syndrome Network: Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med*. 2000;342:1301–1308.
8. Hotchkiss JR, Blanch L, Murias G, Adams AB, Olson DA, Wangensteen OD, et al. Effects of decreased respiratory frequency on ventilator-induced lung injury. *Am J Respir Crit Care Med*. 2000;16:463–468.

9. Laffey JG; Bellani G; Pham T; et – al. Potentially modifiable factors contributing to outcome from acute respiratory distress syndrome: the LUNG SAFE study. *Intensive Care Med.* 2016;42:1865-1876.
10. Li-Chung Chiu, Han-Chung Hu, Chen-Yiu Hung, Chih-Hao Chang, Feng-Chun Tsai, Cheng-Ta Yang, Chung-Chi Huang, Huang-Pin Wu, Kuo-Chin Kao. Dynamic driving pressure associated mortality in acute respiratory distress syndrome with extracorporeal membrane oxygenation. *Annals of Intensive Care* 2017;7:1.
11. Fujita Y, Fujino Y, Uchiyama A, Mashimo T, Nishimura M. High peak inspiratory flow can aggravate ventilator-induced lung injury in rabbits. *Med Sci Monit Int Med J Exp Clin Res.* 2007;13:95–100.
12. Amato MBP, Barbas CSV, Medeiros DM, et al. Effect of a protective-ventilation strategy on mortality in the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 1998;338:347-354
13. Guerin C, Reignier J, Richard J-C, et al. Prone positioning in severe acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 2013;368:2159-2168
14. Villar J, Kacmarek RM, Pérez-Méndez L, et al: A high positive end-expiratory pressure, low tidal volume ventilatory strategy improves outcome in persistent acute respiratory distress syndrome: A randomized controlled trial. *Crit Care Med* 2006; 34:1–8
15. Talmor D, Sarge T, Malhotra A, et al. Mechanical ventilation guided by esophageal pressure in acute lung injury. *N Engl J Med* 2008;359:2095-2104
16. The National Heart, Lung, and Blood Institute ARDS Clinical Trials Network. Higher versus lower positive end-expiratory pressures in patients with the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 2004;351:327-336

17. Mercat A; Richard JC; Vielle B; et – al. Positive end-expiratory pressure setting in adults with acute lung injury and acute respiratory distress syndrome: a randomized controlled trial. JAMA. 2008;299:646-655.
18. Meade MO, Cook DJ, Guyatt GH JAMA. Ventilation strategy using low tidal volumes, recruitment maneuvers, and high positive end-expiratory pressure for acute lung injury and acute respiratory distress syndrome: a randomized controlled trial. 2008;299:637-45.
19. Jardin F, Vieillard-Baron A. Is there a safe plateau pressure in ARDS? The right heart only knows. Intensive Care Med. 2007;33:444-7.
20. Amato MB, Meade MO, Slutsky AS, et al. Driving pressure and survival in the acute respiratory distress syndrome. N Engl J Med 2015;372:747-755.
21. Paternot A, Repessé X, Vieillard-Baron A. Rationale and Description of Right Ventricle-Protective Ventilation in ARDS. Respir Care. 2016 ;61:1391-6.