

# Terapia respiratoria, cuidados en el paciente con obesidad

T.R. José Diego Rodrigo González Barbosa

¿Cómo citar este capítulo? / *How to cite this chapter?*

González-Barbosa JDR, Terapia respiratoria, cuidados en el paciente obeso. En: Guerrero-Gutiérrez MA, coordinador. Anestesiología Bariátrica y para el paciente con obesidad. 1ra. ed. México: Ediciones Prado; 2024. **Pp(487-544)**. DOI: <https://doi.org/10.58281/ep10072421>

### Mecánica y función respiratoria en la obesidad

La obesidad es la enfermedad metabólica más frecuente en el mundo que se caracteriza por la presencia de exceso de tejido adiposo corporal <sup>(1)</sup>. En la actualidad es un problema demasiado extendido en esta parte occidental, la Organización Mundial de la Salud (OMS) calcula un billón de personas alrededor del mundo; en conjunto con la ausencia y/o falta de ejercicio ocasionan el 32% de las muertes en mujeres y el 20% en hombre por lo menos en México <sup>(2)</sup>. Han

generado un aumento exponencial de las tasas de obesidad a nivel mundial.

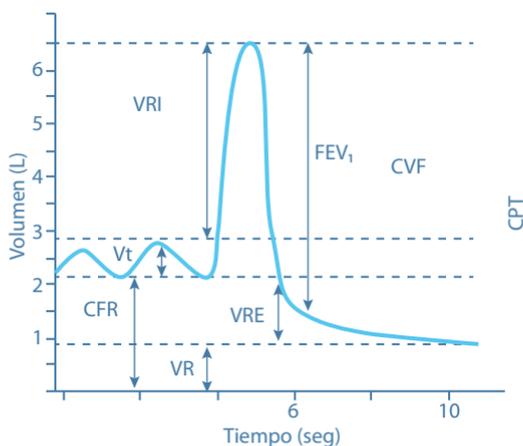
En México, el 70% de los mexicanos padece sobrepeso y casi una tercera parte sufre de obesidad, además se asocian otras enfermedades como la diabetes, enfermedades cardiovasculares, trastornos óseos, musculares y algunos tipos de cáncer. Así mismo, también tiene un reconocido impacto sobre la prevalencia y el pronóstico de algunas enfermedades respiratorias como son el asma<sup>(3)</sup>, síndrome de apneas-hipopneas del sueño<sup>(4, 5)</sup>, síndrome de hipoventilación<sup>(6)</sup>, neumonía<sup>(7)</sup>, y complicaciones respiratorias perioperatorias<sup>(8,9)</sup>. Su diagnóstico depende del índice de Masa Corporal (IMC); de acuerdo con criterios establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), se considera que una persona tiene sobrepeso cuando su IMC está dentro de 25.0 y 29.9 kg/m<sup>2</sup>; se considera obesidad grado I cuando su IMC está dentro de 30.0 y 34.9 kg/m<sup>2</sup>, obesidad grado II cuando el IMC está entre 35.0 y 39.9 kg/m<sup>2</sup>, y obesidad grado III o mórbida cuando el IMC es igual o mayor a 40 kg/m<sup>2</sup>.

El mecanismo que se asocia y está involucrado en la relación obesidad-patología respiratoria es la afección de la función respiratoria que se da en las personas obesas; en este sentido, distintos cambios en la mecánica ventilatoria, así como la función de la musculatura respiratoria y en el control de la respiración afectan la fisiología respiratoria, lo cual originan un amplio espectro de manifestaciones clínicas.

La obesidad influye sobre la mecánica ventilatoria de varias formas<sup>(10, 11)</sup>. En primer lugar, la sobrecarga de peso afectaría las propiedades elásticas de la caja torácica. Esto se ha demostrado al encontrar que las variaciones asociadas a la obesidad de algunas capacidades pulmonares, tales como son la capacidad residual funcional (CRF) o la capacidad pulmonar total (CPT), se asociarían a cambios de las resistencias elásticas del tórax y del pulmón<sup>(12)</sup>. Posiblemente

el mayor grosor de la pared torácica de los sujetos obesos jugaría un papel destacado en este sentido<sup>(13)</sup>.

En la obesidad, las propiedades mecánicas de los pulmones y la pared torácica se alteran por los depósitos de grasa en el mediastino y en la cavidad abdominal, que resultan en una disminución de la distensibilidad toracopulmonar. Las presiones intraabdominal y pleural aumentan, por lo cual el movimiento hacia abajo del diafragma y el retroceso de la pared torácica hacia afuera se restringen alterando el patrón respiratorio y condicionando una reducción del volumen de reserva espiratorio (VRE) y la capacidad residual funcional (CRF). Los volúmenes pulmonares estáticos como la capacidad pulmonar total (CPT) y el volumen residual (VR), pueden encontrarse levemente disminuidos, al igual que medidas dinámicas de función pulmonar como el volumen espiratorio forzado en el primer segundo (VEF1) y la capacidad vital forzada (CVF) (Figura. 1). El volumen corriente



**Figura 1.** Espiograma cronometrado, medición de volúmenes y capacidades pulmonares.

también es menor en pacientes con obesidad, aunque el aumento de la frecuencia respiratoria compensa el patrón de respiración superficial. La distribución de la grasa a predominio abdominal (androide) es un factor de riesgo de disminución del VEF1 y CVF independiente del IMC.

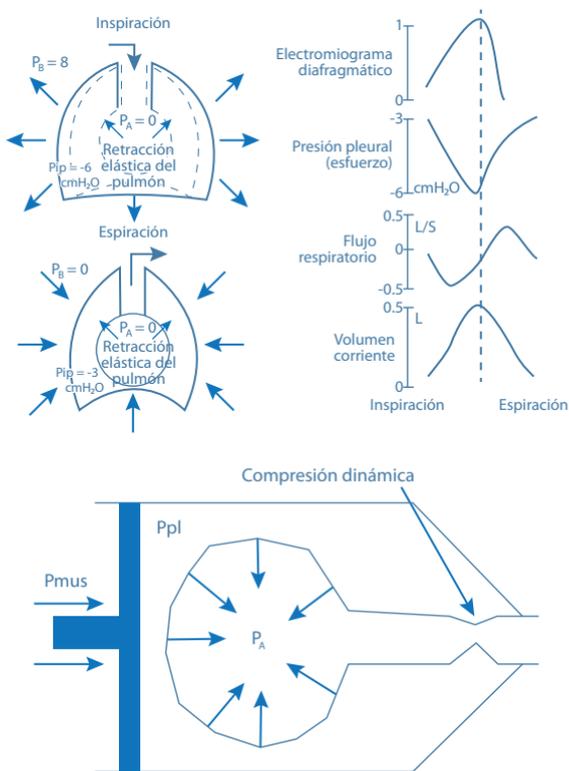
La reducción de los volúmenes pulmonares, el aumento del volumen sanguíneo pulmonar y el colapso alveolar por cierre de la pequeña vía aérea contribuyen a la disminución de la distensibilidad pulmonar, que según las revisiones sería el principal causante de la afección en estos pacientes (6,7).

Las presiones bucales máximas (presión inspiratoria [Pi Max] y espiratoria máxima [Pe Max]) son en general normales, pero pueden encontrarse disminuidas en la obesidad grave. Un comportamiento similar suele observarse en la resistencia de los músculos respiratorios, que se ve alterada en la obesidad extrema (8).

Como consecuencia de estas anomalías, el trabajo ventilatorio se incrementa, de manera que en los pacientes con obesidad mórbida ( $\text{IMC} > 40 \text{ kg/m}^2$ ) el consumo de oxígeno en reposo ( $\text{VO}_2$ ) puede alcanzar hasta el 16% de la  $\text{VO}_2$  total, mientras que no excede el 3-5% en no obesos (9,10). Por otra parte, en los pacientes con obesidad existen anomalías del control de la ventilación que favorecen la retención de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) durante el sueño e incluso durante la vigilia, como ocurre en la hipoventilación alveolar central de pacientes con obesidad (8,10). Otras dos entidades, la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) y las Apneas Obstructivas del Sueño (AOS), frecuentemente presentes en obesos, pueden agravar la hipoventilación alveolar diurna y nocturna.

Está evidenciado que la obesidad ocasiona un aumento de las fuerzas de retracción elástica pulmonar, probablemente secundario a la plétora circulatoria. En este sentido,

existe un incremento de las resistencias elásticas, tanto del pulmón como de la caja torácica, lo cual, unido a la reducción de la distensibilidad pulmonar, condicionar un mayor trabajo respiratorio. Asimismo, los bajos volúmenes pulmonares y el incremento en la tensión elástica de la caja torácica reducirían también el calibre de la pequeña vía aérea, lo que aumentaría su resistencia. (Figura 2).

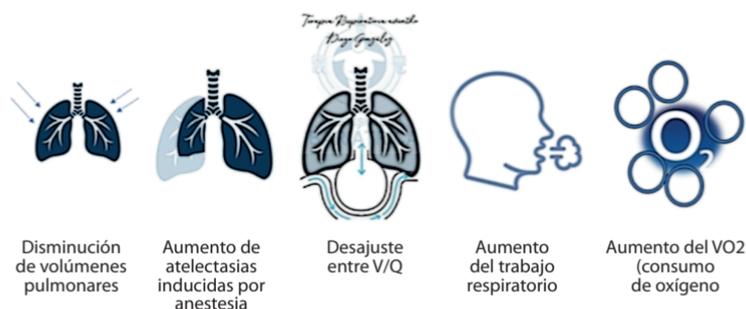


**Figura 2.** Ejemplo de retracción elástica normal, con limitación al flujo de la vía aérea pequeña.

Por último, en poblaciones con obesidad muy grave (IMC  $\geq 50$  kg/m<sup>2</sup>), la resistencia respiratoria está más afectada que en sujetos con menores grados de obesidad (IMC entre 30-50 kg/m<sup>2</sup>), lo que iría a favor de un efecto dosis-dependiente entre el IMC y la resistencia elástica<sup>(14)</sup>.

La elevación diafragmática resultante, que en última instancia es consecuencia de la compresión y eventual colapso del tejido pulmonar debido a la presión transmitida desde el abdomen hacia la pleura y los pulmones<sup>(15)</sup>, es todavía mayor en posición supina y más exagerada en la posición de Trendelenburg<sup>(15, 16)</sup>. Las atelectasias por compresión ocurren cuando la presión local en la pleura es mayor que la correspondiente presión en los alvéolos. Una presión abdominal elevada puede también incrementar la presión en la vena cava inferior y esto hace pasar sangre del abdomen al tórax, lo que aumenta aún más la presión alveolar.

En general, las atelectasias pueden detectarse durante una anestesia general en casi el 90 % de todos los pacientes. Incluso si el paciente tiene un sobrepeso moderado, las circunstancias antes mencionadas pueden reducir la capacidad residual funcional (CRF) y hacer disminuir el volumen pulmonar al final de la espiración (EELV) durante la ventilación mecánica. Esto podría ocasionar reservas respiratorias muy reducidas, dificultando tanto la gestión de las vías respiratorias como la aplicación de estrategias de ventilación protectora en términos de presión y de volumen. A su vez, esto podría tener consecuencias durante la fase postoperatoria, tales como la persistencia de atelectasias. En pacientes con obesidad mórbida, la CRF puede verse reducida hasta en un 50 % tras la inducción de una anestesia general. (Figura 3).



**Figura 3.** Implicaciones de la obesidad.

La valoración completa de la función pulmonar se da por medio de la espirometría forzada, la pletismografía corporal<sup>(17)</sup> y la dilución de monóxido de carbono (DLCO), en conjunto con la medición de la fuerza diafragmática, presión inspiratoria máxima (Pi Max) y la presión espiratoria máxima (Pe Max); demuestran a menudo un patrón de enfermedad “restrictiva” con disminución del volumen de reserva espiratorio (VRE) y de la capacidad residual funcional (CRF).

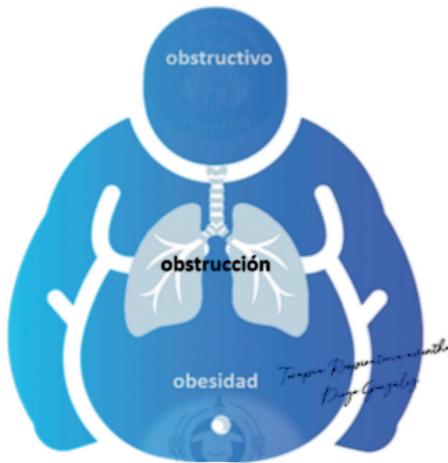
La capacidad pulmonar total (CPT) y el volumen residual (VR) se mantienen, excepto en los casos de obesidad extrema, en los que la CPT y el VR disminuyen a medida que aumenta el peso corporal. La mayor parte de los pacientes mantiene valores normales del cociente volumen respiratorio forzado en 1 segundo/capacidad vital forzada (VEF1/CVF) en ausencia de otras enfermedades pulmonares. El intercambio pulmonar de gases, que se evalúa de manera indirecta mediante la medición de la difusión pulmonar del monóxido de carbono (DPCO), puede ser normal o puede estar aumentado.

La obesidad altera la función ventilatoria por varios mecanismos. A medida que aumenta el IMC se reducen característicamente todos los volúmenes pulmonares al tiempo que el flujo de aire espiratorio se mantiene dentro de la normalidad. Los efectos mecánicos de la obesidad sobre el diafragma y sobre la pared torácica reducen el movimiento del diafragma y la distensibilidad torácica.

Según el National Heart, Lung and Blood Institute, las pruebas de detección a aplicar en una persona con riesgo de problemas relacionados con la obesidad son el cálculo del IMC, la evaluación de otras situaciones asociadas a la obesidad (como el estilo de vida sedentario o la hipertensión) y la determinación del perímetro de la cintura con objeto de valorar la cantidad de tejido adiposo abdominal (que predice el riesgo de enfermedades asociadas a la obesidad). El riesgo aumenta en los hombres con un perímetro de cintura superior a 101,6 cm, así como en las mujeres con un perímetro de cintura superior a 88,9 cm.

A la hora de interpretar los resultados obtenidos en la evaluación de la función pulmonar se deben considerar factores como el sexo, la raza, la edad y la estatura. Los resultados de las pruebas de la función pulmonar pueden no ser un indicador preciso en los pacientes obesos debido a que los valores normales esperados en la espirometría, los volúmenes pulmonares y la DLCO generalmente no están corregidos respecto al peso corporal.

A pesar de que no se tiene en cuenta el peso corporal en los valores pulmonares esperados, los médicos deben recordar que el esfuerzo muscular necesario para la ventilación en reposo y durante el ejercicio es mayor en los pacientes obesos que en las personas con un peso corporal normal. Este aumento del esfuerzo muscular se debe principalmente a los mayores requerimientos ventilatorios que



**Figura 4.** Triada "O".

acompañan al incremento de la demanda metabólica y al aumento de la exigencia mecánica sobre los músculos utilizados durante la inspiración.

Al igual que la obesidad, la EPOC incrementa el trabajo ventilatorio, modifica la mecánica respiratoria y disminuye la eficiencia de los músculos respiratorios. La coexistencia de ambas condiciones contribuye a la hipercapnia. Adicionalmente, la coexistencia de estas anomalías con apneas del sueño ha sido denominada por algunos autores como: "triple O" (Obstructivo, Obstrucción, Obesidad), con mayor riesgo de requerir soporte ventilatorio ante injurias variadas. (Figura 4)

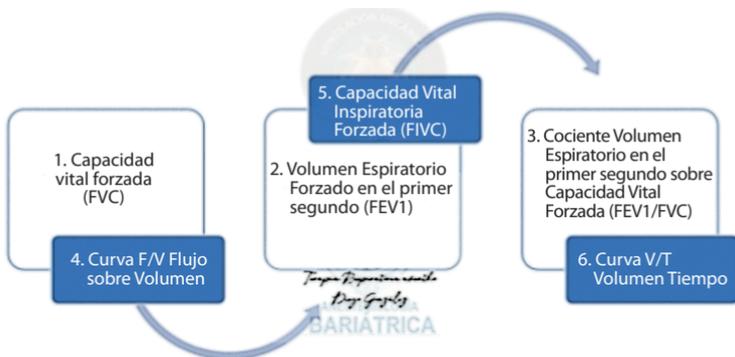
### Espirometría

La espirometría es una técnica sencilla, no invasiva y de bajo costo, que permite una aproximación rápida al conoci-

miento de la función pulmonar. Sus alteraciones se han correlacionado con complicaciones postoperatorias en casos de cirugía bariátrica y no bariátrica en pacientes con obesidad y comorbilidades<sup>(16, 18)</sup>. Es la técnica básica que se recomienda en el paciente obeso para la evaluación del riesgo según la magnitud de la limitación funcional<sup>(10, 19)</sup>. Los pacientes evaluados para cirugía (aún asintomáticos), deben tener un estudio espirométrico aceptable y reproducible en los últimos 3 meses con una adecuada interpretación clínica.

Este estudio deberá cumplir con todos los estándares que se requieren a partir del 2019 con las nuevas actualizaciones, así como las del año 2021 por parte de la European Respiratory Society/American Thoracic Society (ERS/ATS) Global Lung Initiative (GLI)<sup>(19, 20)</sup>. Esto implica cumplir con sus 6 elementos. (Figura 5)

El proceso de verificación del equipo de espirometría incluye la calibración o verificación de la calibración del dispositivo. Esta preparación se define en cinco pasos:



**Figura 5.** Elementos esenciales de la prueba espirométrica.

1. Revisión y configuración del equipo, utilizando los valores de referencia de la Iniciativa Global Pulmonar Quanjer.
2. Verificación y registro de las condiciones medioambientales, considerando los factores Body, Temperature, Pressure, Saturated y Ambient Temperature Pressure Humidity (BTPS; ATPH).
3. Verificación de la jeringa de calibración.
4. Calibración o verificación del equipo.
5. Registro y archivado de los resultados.

La evaluación del desarrollo espirométrico se define con los criterios de aceptabilidad y repetibilidad.

#### **a) Criterios de Aceptabilidad**

Estos criterios se evalúan durante cada maniobra realizada y se definen en tres escenarios.

##### **Criterios de Inicio:**

La curva Flujo sobre Volumen (F/V) debe mostrar un ascenso abrupto, vertical con generación de flujo pico y de morfología triangular, lo cual se evalúa mediante el valor de Pico Flujo Exalatorio (PEF). Este es uno de los valores más importantes para el desarrollo adecuado de toda la prueba.

El Volumen de extrapolación debe ser  $\leq 100\text{ml}$ , o la Diferencia de capacidad vital forzada (CVF) debe ser  $\leq 5\%$ .

##### **Criterios de Término:**

La curva volumen sobre tiempo (V/T) debe identificar una meseta lineal de al menos  $\geq 1$  segundo.

Se debe visualizar el valor del cambio de volumen total a la finalización del soplido  $\leq 0.025\text{L}$  (25ml), denominado como end of test volumen (EOTV) o end of forced expiration (EOFE).

El tiempo de soplido debe ser máximo de 15 segundos (por seguridad del paciente). Como observación: todos los soplos ejercidos deben darse en término en la misma unidad de tiempo (criterio de término), para que no altere y/o modifique el valor de capacidad vital forzada (CVF). Si el paciente sopla durante 2 o 3 segundos y cumple con los criterios de término, la maniobra es totalmente válida; no existe ningún tiempo mínimo de soplido. (Figura. 6 y 7).

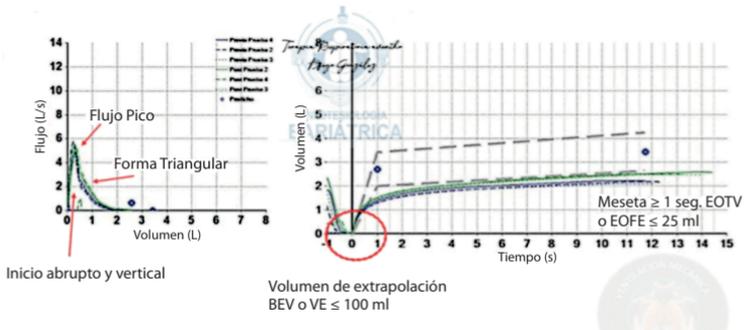


Figura 6. Criterios de aceptabilidad: de inicio y término.

Sexo de nacimiento Masculino    Altura 165 cm    Asma --  
 Origen étnico Hispano    Peso 72 kg    IMC 26.4    EPOC --

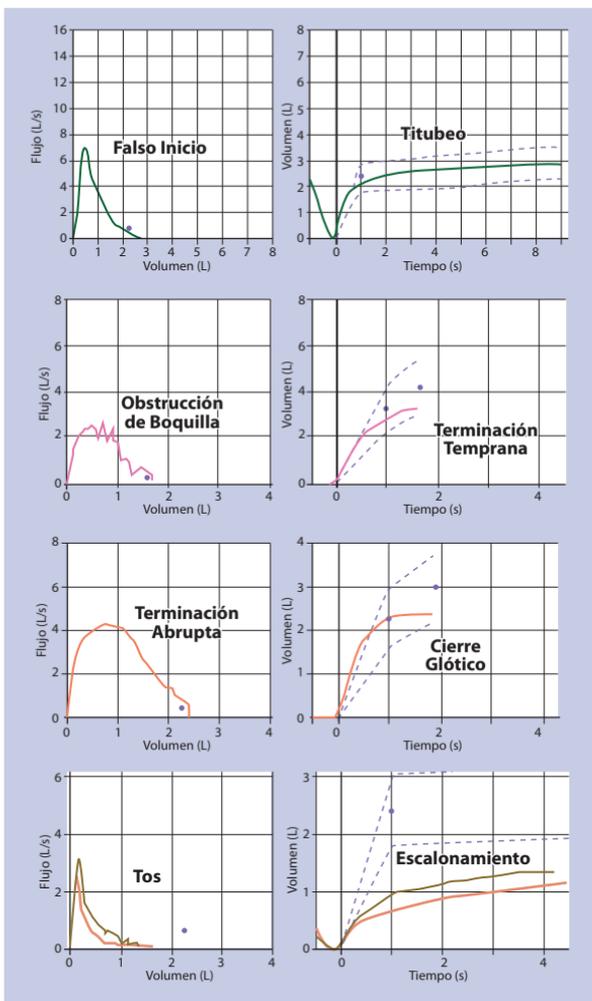
FVC (sólo esp)    Su FEV1 / Predicho: 51 %  
 Fecha del test 04/01, m. Interpretación --  
 Tiempo posterior 04/01, m. Predicho: Quanjer (GLI), 20    BTPS (HNSP/ESP) 1.12/1.02

Parámetro	Previo			P...			P...			Prueba			Prueba			Prueba		
	Mejor	LLN	Puntuaci dn Z	%Pred	Pred	Prueba	Prueba	Prueba	Puntuaci dn Z	%Pred	Camb	%Camb	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba
FVC [L]	2.21*	2.63	-2.50	64	3.43	2.21*	2.19*	2.10*	2.58*	-1.75	75	0.37*	17*	2.58*	2.49*	2.48*		
FEV1 [L]	1.37*	1.99	-3.07	51	2.20	1.37*	1.30*	1.32*	1.65*	-2.43	61	0.28*	20*	1.49*	1.50*	1.46*		
FEV1/FVC [%]	62.3*	66.7	-2.29	-	78.5	62.1*	59.1*	62.8*	64.0*	-2.03	-	1.9	3	58.0*	60.2*	58.9*		
FEV1/VC [%]	-	67	-	-	79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PEF [L/s]	5.79	-	-	-	4.92	5.79	4.65	5.66	-	-	-0.13	-2	5.52	5.28	5.66			
FEF25-75 [L/s]	0.61*	1.06	-2.26	27	2.28	0.61*	0.47*	0.59*	0.44*	-2.48	19	-0.16	-27	0.44*	0.53*	0.46*		
FEF [L/s]	11.7	-	-	-	11.7	12.1	11.8	14.4	-	-	2.7	23	14.4	13.3	14.1			
BEV [L]	-	-	-	-	0.06	0.04	0.07	-	-	-	-	-	0.05	0.07	0.04			
EOTV [L]	-	-	-	-	0.04	0.02	0.00	-	-	-	-	-	0.01	0.00	0.00			

Figura 7. Criterios de repetibilidad: valores más altos de FVC y FEV1 <150 ml.

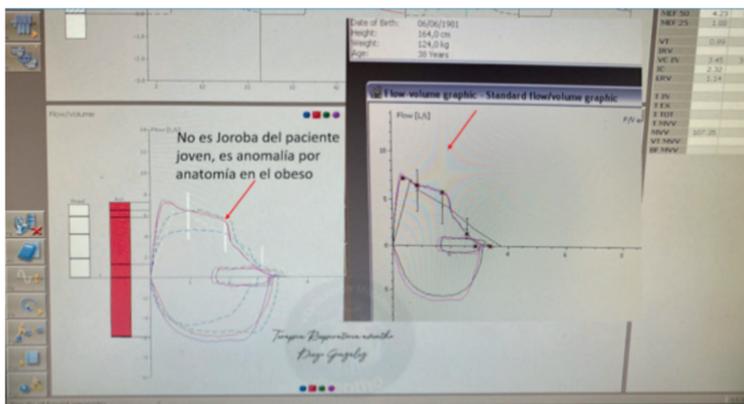
**Criterios (libre de artefactos):**

Las maniobras deben estar libres de artefactos como los siguientes ejemplos: cierre glótico, obstrucción de la boquilla, titubeo, doble exhalación, tos, terminación temprana y pobre esfuerzo. (Figura 8).



**Figura 8.** Identificación de artefactos durante maniobra espirométrica.

En este apartado, es de suma importancia identificar las características morfológicas de la curva flujo sobre volumen F/V en el paciente obeso. No se trata de una alteración (artefacto), sino de evidencias manifestadas por la anatomía del cuello. (Figura. 9).



**Figura 9.** Adaptación morfológica por anatomía en el paciente obeso en curva F/V.

### b) Criterio de Repetibilidad

Una vez que el individuo ha logrado realizar al menos tres maniobras aceptables, se debe verificar el criterio de repetibilidad. Este consiste en asegurar que la diferencia entre los dos valores más altos de FEV1 sea  $\leq 150$  mL y que la diferencia entre los dos valores más altos de FVC sea  $\leq 150$  mL. En pacientes con una FVC menor a 1 litro, este criterio es más estricto y la repetibilidad tanto en FEV1 como en FVC debe ser  $\leq 100$  mL. No importa que los valores sean de diferentes maniobras. (Figura 7).

### c) Clasificación de la evaluación de la prueba

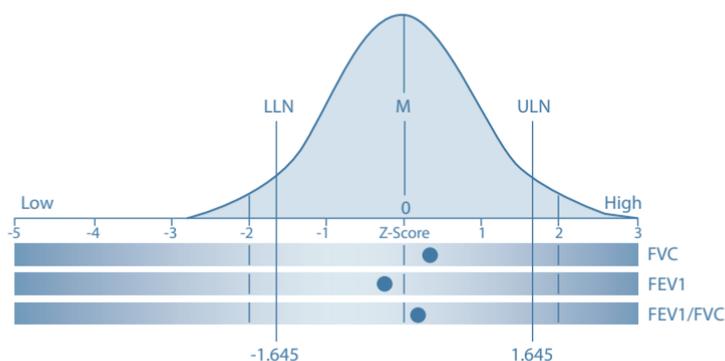
Una vez realizado el estudio cumpliendo con los criterios de aceptabilidad y repetibilidad, se clasifica la calidad de la prueba. (Tabla. 1).

**Tabla 1. Grados de calidad**

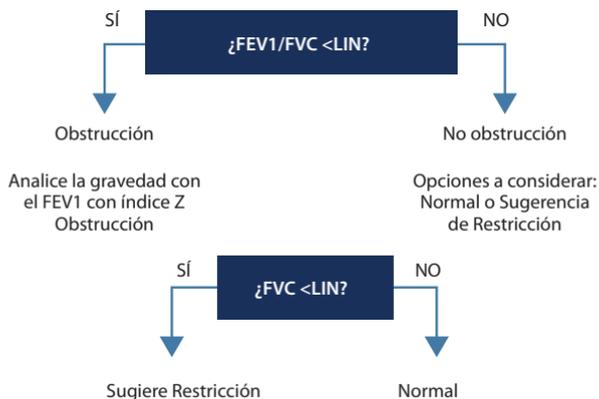
Grado	Número de mediciones	Repetibilidad
A	≥ 3 aceptables	≤ 150 ml
B	2 aceptables	≤ 150 ml
C	≥ 2 aceptables	≤ 150 ml
C	≥ aceptables	≤ 150 ml
E	≥ aceptables ó 1 aceptable	> 250 ml NA
U	0 aceptables y ≥ 1 útil (sólo FEV1)	NA
F	0 aceptables	NSA

Para la interpretación, se debe cumplir con todos los criterios de aceptabilidad, repetibilidad, así como el grado de calidad que debe ser A o, al menos, B (según ATS/ERS 2019). Además de la calidad de la prueba, se deben asegurar los datos antropométricos y demográficos, que hoy en día son indiferentes según la Iniciativa Global Pulmonar (GLI Quanjer 2021), y corresponden a los valores predichos y/o de referencia para todas las Pruebas de Función Respiratoria (PFR). El límite inferior de la normalidad (LIN) por convención es el percentil 5 ( $\pm 1.645$ ). (Figura 10).

Siempre habrá espirometrías con alguna particularidad que dificulta seguir un algoritmo y deberán ser interpretadas por un experto. En términos generales, debemos reconocer que la espirometría identifica tres patrones funcionales que son: obstructivo, restrictivo y normal. La espirometría NO



**Figura 10.** Desviación estándar o índice z score.



**Figura 11.** Interpretación de la espirometría con cociente FEV1/FVC.

diagnostica enfermedades. Los diagnósticos nosológicos se fundamentan en el análisis clínico del médico y los resultados de la espirometría sólo aumentan o disminuyen la probabilidad preprueba de tener una determinada enfermedad. Su abordaje en su diagnóstico primeramente será el cociente FEV1/FVC, este cociente es el más importante predictor que permite realizar una clasificación de obstruido y no obstruido. (Figura 11)

Es de suma importancia entender que el cociente FEV1/FVC indica de manera indirecta la velocidad relativa del vaciamiento pulmonar, es decir, la proporción de la FVC que se exhala en el primer segundo de la maniobra espirada forzada.

En condiciones normales, el porcentaje de la FVC que se debe exhalar en el primer segundo varía, pero generalmente se espera que sea al menos el 70-80%. Sin embargo, este valor puede disminuir con la edad debido a cambios en la elasticidad pulmonar y la fuerza muscular. Es importante tener en cuenta esta variación relacionada con la edad para evitar clasificaciones erróneas de obstrucción en individuos mayores.

Cuando el cociente FEV1/FVC es bajo (menor al límite inferior de la normalidad, LIN), indica que el pulmón se vacía lentamente, lo que sugiere obstrucción bronquial.

Al analizar el FEV1 para graduar el nivel de severidad de la obstrucción, se debe tener en cuenta la desviación estándar o el índice Z para una evaluación más precisa. (Tabla. 2).

**Tabla 2. Mediciones de puntuación Z**

<b>Gravedad del deterioro de la función pulmonar (obstrucción) Utilizando la puntuación Z</b>	
Leve	-1.65 a -2.50
Moderado	-2.51 a -4.00
Severo	> -4

Para finalizar el estudio espirométrico, se debe realizar la evaluación de la respuesta al broncodilatador administrado, que generalmente es un beta-2 agonista como el salbutamol, en una dosis estándar de 400 microgramos, según la estandarización ATS/ERS GLI 2021. Se deberá realizar esta

evaluación sólo si el estudio cumple con los criterios de aceptabilidad, repetibilidad y tiene un grado de calidad A. Además, el valor del pico flujo exhalatorio (PEF) será el más importante para esta evaluación.

Es importante tener en cuenta que el PEF puede sobreestimar el valor de la CVF y los flujos medios (25/75), lo que puede sesgar la “respuesta” al broncodilatador. (Figura 12)

Cumplir con esta evaluación holística es de suma importancia para garantizar un abordaje correcto del paciente obeso y asegurar un ingreso seguro al procedimiento anestésico y a la cirugía en sí misma. Esto ayuda a prevenir complicaciones posteriores y complementa el abordaje espirométrico.

En la obesidad, los depósitos de grasa en el mediastino y la cavidad abdominal alteran las propiedades mecánicas de los pulmones y la pared torácica, lo que resulta en una disminución de la distensibilidad toracopulmonar. Este cambio se traduce en un aumento de las presiones intraabdominal y pleural, lo que restringe el movimiento descendente del diafragma y el retroceso de la pared torácica hacia afuera, alterando el patrón respiratorio y provocando una reducción en el volumen de reserva espiratoria (VRE) y la capacidad residual funcional (CRF). Además, los volúmenes pulmonares estáticos, como la capacidad pulmonar total (CPT) y el volumen residual (VR), pueden disminuir leve-

$$\text{Respuesta a Broncodilatador} = \frac{\text{Valor post broncodilatador (L)} - \text{valor basal (L)} \times 100}{\text{Valor Predicho (L) [referencia Quanjer GLI]}}$$

Ejemplo: Paciente masculino de 37 años, talla 1.85 m, peso 100 kg IMC 29.2

Se obtiene valor de FEV1 de 3.55 L el cual se restara por su resultado basal de este mismo, 3.06 y multiplicar el resultado por 100. El resultado se dividirá por su valor predicho 4.36 (referencia GLI 2012).

$$3.55 - 3.06 = 0.49 \times 100 = 49/4.36 = 11.23\%$$

El valor positivo a respuesta BD será de  $\geq$  del 10%

**Figura 12.** Respuesta a broncodilatador.

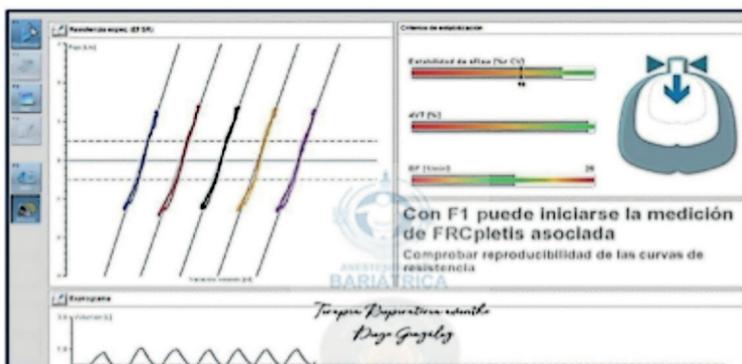
mente, al igual que las medidas dinámicas de función pulmonar, como el volumen espiratorio forzado en el primer segundo (VEF1) y la capacidad vital forzada (CVF). El volumen corriente también tiende a ser menor en pacientes con obesidad, aunque el aumento de la frecuencia respiratoria compensa el patrón de respiración superficial. Además, la distribución de la grasa abdominal (tipo androide) se ha identificado como un factor de riesgo independiente de disminución del VEF1 y CVF, independiente del IMC <sup>(21)</sup>.

La reducción de los volúmenes pulmonares, el aumento del volumen sanguíneo pulmonar y el colapso alveolar por cierre de la pequeña vía aérea contribuyen a la disminución de la distensibilidad pulmonar, que se considera como el principal factor causante de este fenómeno fenómeno según revisiones recientes <sup>(22, 23)</sup>.

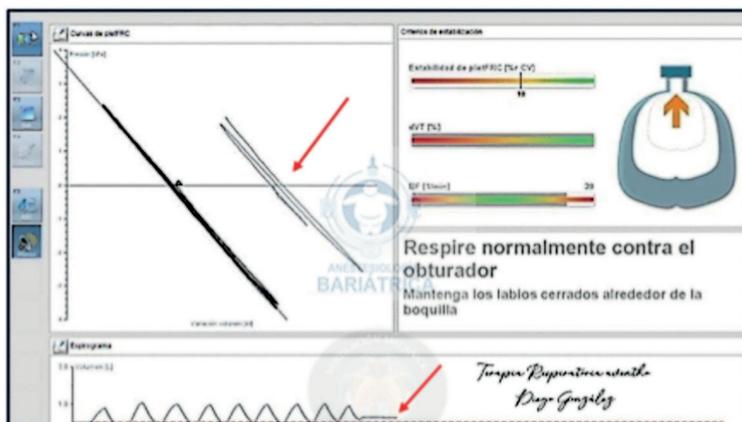
La evaluación de estos cambios se realiza mediante la pletismografía corporal, una técnica que permite la medición completa de los volúmenes pulmonares. Esta prueba confirma y cuantifica la restricción pulmonar, así como también la hiperinsuflación pulmonar, y puede detectar trastornos mixtos y cuantificar el atrapamiento aéreo <sup>(24)</sup>.

Además de la espirometría, varios aspectos deben cumplirse en los cuidados de la calidad de la prueba, como la aceptabilidad:

- El Volumen de Gas intratorácico Global (ITGV) (CRF Pleth) debe ser medible a nivel estable, con variaciones menores a 100 ml.
- La frecuencia respiratoria debe establecerse entre 0.5 y 1.5 Hz (30-90 rpm) o mantenerse estable. (Figura 13)
- Las curvas de la medición del volumen de gas intratorácico global (ITGV) deben ser regulares, sin artefactos y con histéresis mínima entre inspiración y espiración.
- La pendiente de la recta de medición debe ser paralela a la curva de ITGV. (Figura 14)



**Figura 13.** Estabilización volumen corriente (FR) estable para cuantificación de resistencia específica (sRAW) y resistencia total RAWT).



**Figura 14.** Oclusión después de exhalación para medición de cambios de presión de la boca e inferir medición del volumen de gas intratorácico global (ITGV-CFR).

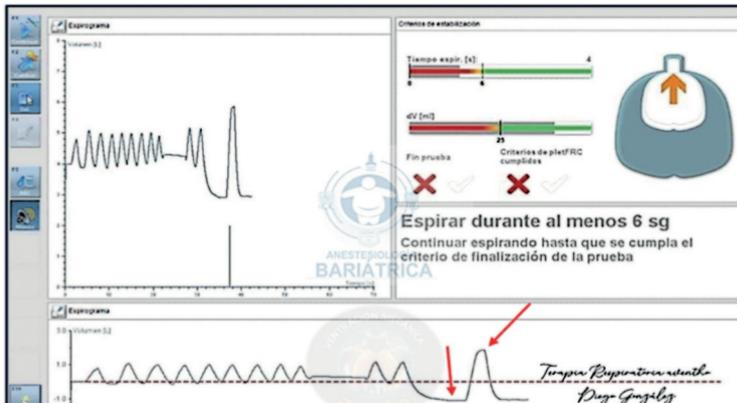


Figura 15. Maniobra de CV en obtención de criterio de término.

- La medición de la capacidad vital (CV) puede ser relajada o forzada, con el objetivo de alcanzar una meseta de al menos 1 segundo o tener un cambio de volumen al final de la espiración de menos de 0.25 ml. (Figura 15)

La medición de la capacidad vital (CV) en pacientes sanos puede realizarse de manera lenta (CVL) o forzada (CVF), y se espera que los resultados sean similares. Sin embargo, en pacientes con defecto ventilatorio obstructivo, como en el caso de la obesidad, existe la posibilidad de que se produzca un atrapamiento dinámico de gas y una sobreestimación del volumen residual (VR) con una maniobra forzada. Esto puede afectar la precisión de la medición de la capacidad vital en estos pacientes. (Figura 16)

### **Criterios de Repetibilidad:**

- La varianza debe ser menor al 5% entre las maniobras aceptables de ITGV (CRF), calculada como:  $(ITGV\ mayor - ITGV\ menor) / ITGV\ promedio$ .

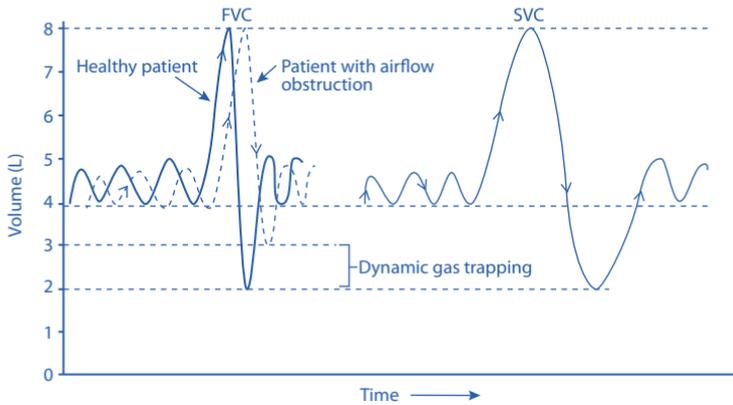


Imagen tomada de: <https://erj.ersjournals.com/content/62/4/2201519.figures-only> revisada: 15 noviembre 2023

**Figura 16.** Identificación de atrapamiento de aire dinámico.

- La diferencia entre las dos capacidades vitales (CV) más altas debe ser  $\leq 150$  ml. (Figura 17)

Para su interpretación es crucial obtener al menos 3 maniobras aceptables y repetibles para calcular el promedio de los siguientes parámetros:

- Volumen de gas intratorácico global (ITGV)
- Capacidad inspiratoria (CI)
- Volumen de reserva espiratoria (VRE)

Se reporta el mayor valor de capacidad vital (CV) y se compara con el valor predicho. Además, se toman en cuenta los valores de capacidad pulmonar total (CPT) y volumen residual (VR) (promedio) en relación con el valor predicho.

La valoración de atrapamiento aéreo puede realizarse si el volumen residual (VR) está por encima del límite superior

### ***Pletismografía corporal***

	PRED	MEJOR	1	3	(% PRED)	Índice-Z	Índice-Z
EFR	0.30	0.32	0.31	0.31	106		
R tot	0.30	0.35	0.36	0.35	118		
TLC	4.51	4.52	4.49	4.50	100	0.02	
IC		2.48	2.43	2.47			
ITGV	2.56	2.04	2.06	2.02	80	-1.05	
ERV		«0.03	«0.03	«0.03			
RV	1.91	2.01	2.03	1.99	105	0.27	
RV%TLC	42.08	44.45	45.20	44.20	106	0.41	
FRC%TLC	56						
VC MÁX	2.70	2.51	2.46	2.51	93	-0.49	
VT		0.90	0.87	0.86			

*Terapia Respiratoria asistida  
Diego González*

**Figura 17.** Criterio de repetibilidad: varianza y CV <150.

de la normalidad (LSN), utilizando los valores de índice Z, así como los índices VR/TLC o CI/TLC. (Figura 18)

### **Calibración previa e interfaces**

Es fundamental tener un conocimiento preciso del tipo de equipo con el que se está trabajando para garantizar un montaje correcto y seguro. Esto implica conocer las interfaces del equipo, que incluyen el circuito ventilatorio, los filtros, nebulizadores, humidificadores, circuito cerrado de aspiración, espacio muerto, cámaras espaciadoras, sensores de flujo, sensores de CO2, entre otros.

Se necesita añadir estas interfaces antes de comenzar para asegurar las compensaciones necesarias, como el aumento de resistencias y el espacio muerto mecánico, lo que garantizará un manejo ventilatorio óptimo.

Además, tener un entendimiento físico del ventilador mecánico es esencial para realizar las conexiones adecuadas a

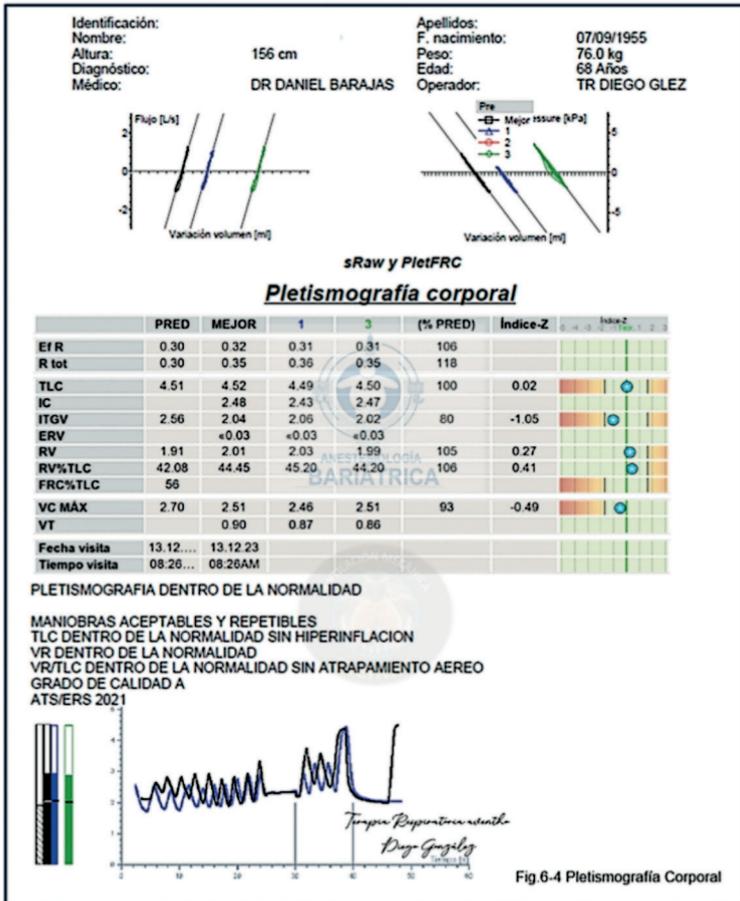
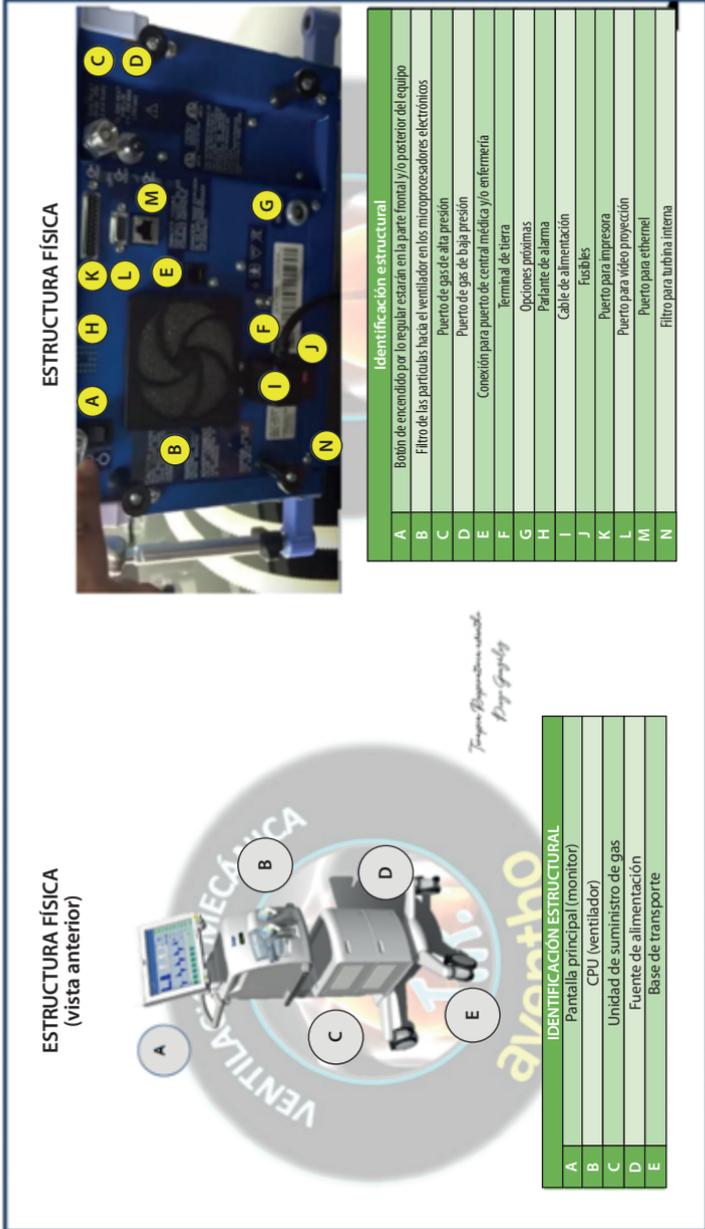


Figura 18. Pletismografía corporal.

las fuentes de energía eléctrica y neumática (aire/oxígeno), así como a las válvulas inspiratorias y espiratorias, y a los puertos de monitores externos. (Figura 19)



**Figura 19.** Estructuras físicas del ventilador: mecánico.

Se deben identificar las interfaces previamente para asegurar su correcta colocación y luego proceder con las calibraciones necesarias. Estas calibraciones suelen llevarse a cabo mediante pruebas cortas o largas, siendo recomendable realizarlas al menos una vez al mes. Una vez que todo está integrado de manera adecuada, se puede iniciar el proceso de calibración, que implica el análisis detallado de cada componente, tal como se describe en la tabla 3.

Podemos desfasar esta vigilancia previa en: a) diagrama de bloques, b) sistemas de control, c) sistema de gases, d) sistema de monitoreo interno, e) interfaz operador – ventilador f) interfaz paciente – ventilador g) sistemas de seguridad y alarmas h) sistema de alimentación, i) vinculación entre bloques.

**Tabla 3. Calibración completa del de la máquina de asistencia ventilatoria**

Paso de la Prueba	Función	Interacción del usuario
Compensación cero	Prueba de los transductores de la presión inspiratoria y espiratoria, sensores de flujo a presión ambiente	Seguir indicaciones
Prueba de fugas	Determina la capacidad del sistema para mantener la presión	Seguir indicaciones
Presión del circuito	Comprueba la puesta cero de los solenoides inspiratorio y espiratorio Realiza una prueba cruzada de la válvula de seguridad y los transductores de presión inspiratorios y espiratorios a niveles de presión diferentes. Verifica la función de puesta cero de los solenoides.	Ninguno

<b>Paso de la Prueba</b>	<b>Función</b>	<b>Interacción del usuario</b>
Prueba de verificación cruzada del sensor de flujo	Verificación de todos los sensores de flujo a los volúmenes de velocidad especificados.	Ninguno
Transductor de velocidad de la válvula espiratoria	Verifica la velocidad con la que el transductor envía la señal y si el circuito de control la reconoce.	Ninguno
Sistema de seguridad	Prueba el funcionamiento de la válvula de seguridad	Ninguno
Almacenamiento interno	Verifica la función del dispositivo de almacenamiento interno	Ninguno
Comunicación	Verificación del puerto en serie como Ethernet	Ninguno
Iluminación LCD	Verifica la intensidad de retroiluminación LCD	
Batería	Verificación del tiempo de vida media y carga de las baterías	Ninguno
Pantalla de estado	Verificación de la pantalla LCD Comunicación con el CPU Comunicación con el compresor, si está instalado	Ninguno
Alarmas	Verificación de alarmas audibles Verificación de alarmas visuales	Seguir indicaciones
Prueba de control giratorio	Verificación del control giratorio	Seguir indicaciones
Prueba de teclas fuera y dentro de pantalla	Verificación de función de teclas internas y en bisel	Seguir indicaciones
Compresor	Prueba el funcionamiento general del compresor, transductor de presión, respirador, motor y válvula de descargue de presión	Seguir indicaciones

[Diagrama de bloques] se puede considerar un Ventilador Mecánico como una unidad constituida por los siguientes bloques:

- Sistema de control
- Sistema de provisión de gases
- Sistema de monitoreo interno
- Interfaz operador – ventilador
- Interfaz paciente – ventilador
- Sistemas de seguridad y alarmas
- Sistema de alimentación

En la figura 20 se puede observar este mismo sistema de bloques <sup>(25)</sup> y la interrelación de estos para un ventilador de hoy en día.

Interfaz Paciente – Ventilador: estas interfaces las podemos desarrollar de esta manera; trasladar el gas que el ventilador brinda al paciente durante la fase inspiratoria, además, conduce el gas exhalado por el paciente durante la fase respiratoria hacia el ventilador, para luego ser liberado hacia el



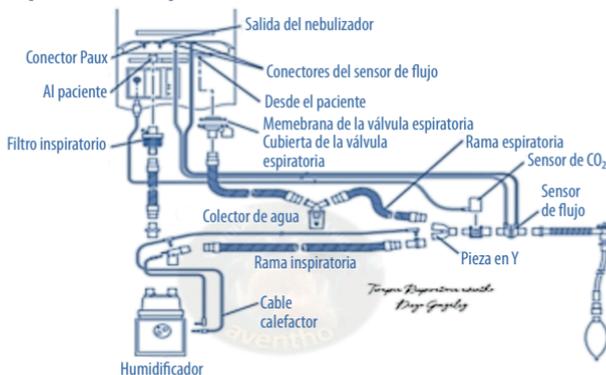
Figura 20. Diagrama de bloques.

medio ambiente; acondicionar el gas inspirado, aumentando su temperatura, agregando filtración y humedad; realizar las mediciones de flujos y presiones del gas inspirado hacia el paciente, medir la presión de la vía aérea y la temperatura del gas administrado a través de sensores incorporados en la propia interfaz (circuito del paciente). (Figura 21)

Sistemas de seguridad y alarmas: Estos sistemas alertan al operador mediante señales visuales y audibles sobre posibles fallos, los cuales han ido aumentando con las generaciones de equipos. Las alarmas pueden activarse debido a fallos mecánicos del ventilador, ajustes de programación inadecuados o a una patología del paciente que no esté bien controlada. Algunas alarmas son programadas por el operador, mientras que otras vienen predefinidas por el fabricante.

Se debe comprender el proceso de calibración de los equipos de asistencia ventilatoria para garantizar su uso correcto y seguro. Ningún dispositivo que no supere todas las pruebas de calibración debe utilizarse con el paciente. El operador selecciona el modo de ventilación y ajusta los

### Circuito respiratorio del paciente



**Figura 21.** Diagrama de bloques.

parámetros de funcionamiento mediante la interfaz paciente-ventilador.

Los datos ingresados son enviados al sistema de control, que calcula la posición de los solenoides proporcionales y establece el comportamiento de los componentes del sistema de suministro de gases a través de señales de consigna durante cada ciclo respiratorio. Este sistema entrega gas al paciente según las condiciones impuestas por el sistema de control, y los valores reales de presión y flujo suministrados se registran en tiempo real mediante el sistema de monitoreo interno.

Este sistema compara los valores recibidos con los calculados previamente y realiza correcciones si es necesario para aproximarse a los valores ajustados por el operador, modificando las señales de consigna enviadas al sistema de suministro de gases. Así se establece un bucle de control cerrado (realimentado) que reacciona ante perturbaciones y trata de mantener de forma constante los parámetros ajustados por el operador en el sistema respiratorio.

Este proceso de realimentación se lleva a cabo decenas de veces por segundo, y el tiempo de respuesta de las válvulas de suministro de gases es de aproximadamente 10 milisegundos para un ventilador. El objetivo principal es ventilar con seguridad.

### **Humidificación Activa – Pasiva**

Continuando con el tema de las interfaces en ventilación mecánica, la humidificación desempeña un papel crucial en la administración y vigilancia de la terapia respiratoria. El acondicionamiento del aire que se entregará al paciente, con temperatura de 37°C y humedad relativa al 100%, así como una humedad absoluta de 43.9 mg de H<sub>2</sub>O por litro, es

fundamental para el funcionamiento adecuado del sistema respiratorio. Estos parámetros son responsabilidad de la vía aérea superior (VAS) y deben ser controlados artificialmente por los operadores.

Desde el punto de vista fisiológico, la mucosa nasal en la VAS transfiere calor al aire inspirado a través de procesos de convección y radiación, alcanzando temperaturas de aproximadamente 34°C en la nasofaringe al final de la inspiración. La humidificación del aire se produce en las vías aéreas periféricas.

El físico irlandés Robert Boyle abordó estos factores en su tratado sobre la ley de los gases, utilizando el concepto de Body Temperature Pressure Saturated (Temperatura Corporal Presión Saturada) expresado en unidades que incluyen el índice de masa corporal, la temperatura (37°C), la altitud, la presión barométrica y la humedad. Estos factores influyen en el transporte de aire hacia el sistema respiratorio, destacando la importancia de la temperatura, la presión, la masa y la humedad.

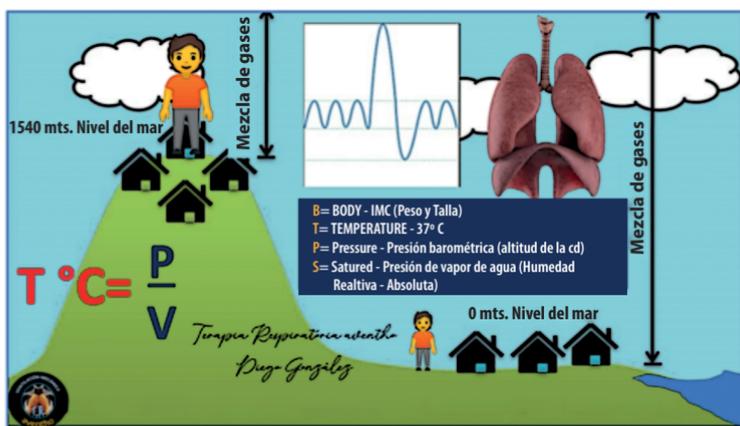
Según Boyle, mantener una temperatura constante de 37°C es crucial para generar cambios de presión y volumen en el sistema respiratorio. Se sabe que un cambio de presión ( $\Delta P$ ) de cada cmH<sub>2</sub>O produce un cambio de volumen de aproximadamente 80-120 ml en condiciones naturales no patológicas.

$$\frac{T^{\circ}C}{P} \\ V$$

La temperatura siempre deberá estar adecuadamente controlada en la administración del aire hacia el paciente, ajustándose siempre al objetivo de 37°C. Cada grado Celsius de variación puede modificar el volumen de aire aproximadamente en un 0.5-1%. La presión barométrica y la altitud

deben estar correctamente configuradas en el ventilador mecánico, pudiendo ajustarse manual o automáticamente dependiendo de la generación del equipo que estemos utilizando. (Figura 22)

Conforme el aire desciende hacia la vía aérea inferior, se va acondicionando en el área conocida como el ISB o LSI (isothermic saturation boundary – límite de saturación isotérmico), donde se alcanzan las condiciones óptimas del aire para permitir una interacción idónea del V/Q (intercambio de gases), mediado por los factores BTPS<sup>26</sup>. Este lugar específico se encuentra a 5 cm por debajo de la Carina, entre la 2da y la 4ta generación bronquial, donde la mucosa retiene parte del calor durante la espiración mediante convección y condensación. Parte del agua es reabsorbida por el moco, la temperatura es devuelta a la mucosa, se calienta y rehidrata, preparándose así para el siguiente ciclo ventilatorio, principalmente en la fase inspiratoria. Existe una pérdida diaria



**Figura 22.** Factores que influyen en la movilización ventilatoria, BTPS y ley de Boyle.

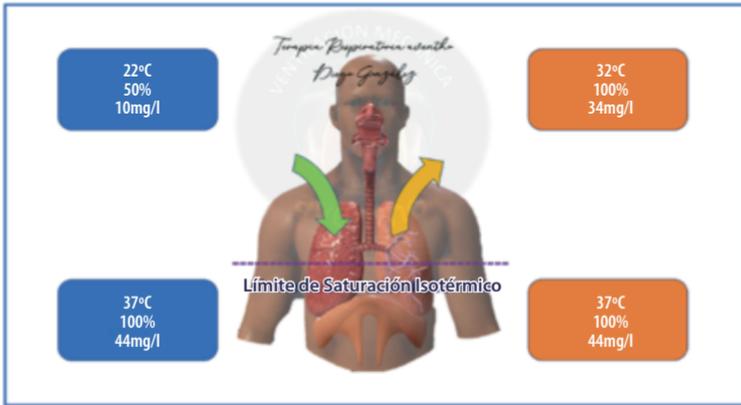
de aproximadamente 200 a 300 ml y 180 kcal, por lo tanto, la humidificación es un proceso que requiere energía. (Figura 23 y Tabla 4)

**Tabla 4. Relación entre temperatura del gas, humedad absoluta y presión de vapor de agua**

Temperatura del gas (°C)	Humedad Absoluta (mg/L)	Presión de Vapor de Agua (mmHg)
0	4,85	4,6
5	6,8	6,5
10	9,4	9,2
15	12,8	12,8
20	17,3	17,5
25	23,0	23,7
30	30,4	31,7
34	37,6	39,8
36	41,7	44,4
37	43,9	46,9*
38	46,2	49,5
40	51,1	55,1
42	56,5	61,3
44	62,5	68,1

Relación entre temperatura del gas, humedad absoluta y presión de vapor de agua de la vía aérea (\*condición ideal del gas, límite de saturación isotérmica).

Durante el proceso de humidificación, se produce una evaporación continua que, a su vez, genera condensación simultánea. Para aclarar los conceptos de humedad, podemos definirlos de la siguiente manera: la humedad absoluta



**Figura 23.** Proceso natural del acondicionamiento de aire.

(HA) es la masa de agua contenida en un gas, expresada en mg/L; la humedad relativa (HR) es el contenido actual de agua del gas en relación con el contenido de un gas saturado (vapor de agua).

El límite de saturación isotérmico puede verse afectado por un déficit o una exacerbación del control inadecuado en la administración de humidificación y temperatura (Tabla 5). Es de suma importancia mantener una administración a 37°C para conservar las condiciones de humedad absoluta de 43,9 mg/L y una presión de vapor de agua de 46,9. (Figura 24)

Para definir los dispositivos utilizados en el ámbito respiratorio, los dividiremos en dos categorías: humidificadores activos (que administran y mantienen calor y agua sobre la unidad de gas administrada, dispositivo-interfaz-paciente) y humidificadores pasivos (que reciclan la fase espiratoria del paciente para ser administrada en un menor porcentaje hacia el paciente). Todo paciente bajo ventilación mecánica debe contar con un sistema de humidificación lo antes posible para garantizar el adecuado desplazamiento del aire, así

como su temperatura y humedad, y para asegurar de mejor manera el proceso de V/Q (difusión/perfusión), lo que evitará el desplazamiento del LSI (límite de saturación isotérmico) (Tabla 6). Se debe evitar la pérdida de agua (5-7 mg/L) en la vía aérea. Todas estas especificaciones están establecidas por los requisitos de rendimiento para humidificadores establecidos por la American Society for Testing and Materials (ASTM) (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales) <sup>(33)</sup>.

### **Humidificadores activos**

Cuando el aire es derivado desde la válvula inspiratoria hacia la cámara de humidificación, este aire pasa por debajo del líquido (agua inyectable) y emerge en forma de borboteo, lo que aumenta la evaporización y, a su vez, incrementa la humedad a medida que las partículas condensadas se hacen más pequeñas. Este proceso está guiado por el nivel de temperatura. Sin embargo, este tipo de dispositivo presenta una mayor resistencia al flujo aéreo, lo que puede generar un aumento en el transporte bacteriano desde el reservorio del paciente al utilizar flujos mayores a 60 l/min. Este dispositivo proporciona niveles de humedad aproximados de 15 mg/L a 20 mg/L de humedad absoluta.

### **Pass Over - Sobre Paso**

Este sistema de humidificación atraviesa por encima o sobre el nivel del agua del reservorio, lo que genera menor resistencia al flujo aéreo en comparación con los humidificadores de burbuja, ya que no pasa por debajo del agua. Actualmente, existen tres tipos de humidificadores <sup>(9)</sup> que proporcionan características de humedad en la vía aérea:

**Tabla 5. Peligros por mala adecuación de la humidificación**

Peligros	Deficit	Exceso
Estructural	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdida de función ciliar</li> <li>• Ulceración de la mucosa</li> <li>• Pérdida de surfactante</li> <li>• Daño de glándula mucosa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alteración de función ciliar</li> <li>• Pérdida de surfactante</li> </ul>
Fisiológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento de viscosidad del moco</li> <li>• Disminución de la distensibilidad</li> <li>• Aumento de las resistencias</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de resistencias</li> <li>• Aumento de balance hídrico</li> </ul>
Clínico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento del trabajo respiratorio</li> <li>• Retención de secreciones</li> <li>• Atelectasias</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento de riesgo para NAVM</li> <li>• Atelectasias</li> </ul>
Mecánico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caída de volumen corriente</li> <li>• Disminución del volumen minuto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de presión pico</li> <li>• Aumento de resistencias</li> <li>• Caída de VC y VM</li> <li>• Aumento de FR</li> <li>• Atrapamiento aéreo</li> <li>• Aumento del AP</li> </ul>

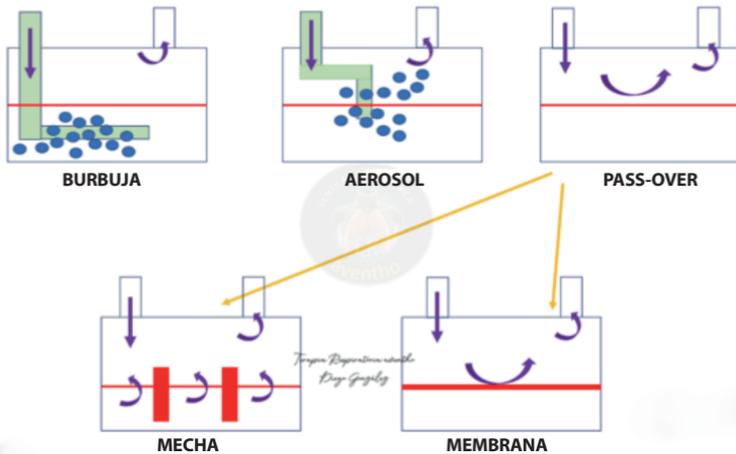
1. Reservorio simple.
2. Humidificador de mecha.
3. Humidificador de membrana.

### Reservorio simple

El aire que se entregará al paciente solo entra en contacto con la superficie del agua caliente, lo que resulta en una carga de humedad menor.

### Humidificador de membrana

En este dispositivo se presenta una membrana hidrofóbica que separa la corriente de aire del agua temperada, lo



**Figura 24.** Humidificadores activos.

que permite el paso del vapor generado por el dispositivo, evitando que patógenos y agua líquida puedan traspasarla.

De la diversidad de dispositivos disponibles, el dispositivo de Pass-Over se destaca por proporcionar la mejor manera de administrar la humedad. Mantienen flujos adecuados, así como temperatura y humedad, sin generar resistencia al paso del flujo aéreo programado ni aerosoles, lo que minimiza los riesgos de propiciar infecciones. (Figura 24).

### Humidificadores pasivos

Mejor conocidos como ICH (intercambiadores de calor y humedad), Nariz Artificial o HME (heat moistured exchanger), estos dispositivos tienen como fundamento la retención de temperatura y humedad del aire espirado. Cuando se realiza la siguiente administración de aire (inspiración), este se aporta con cierto nivel de estos factores. Existen dos

tipos de intercambiadores de calor y humedad (ICH) mostrados en la figura 25.

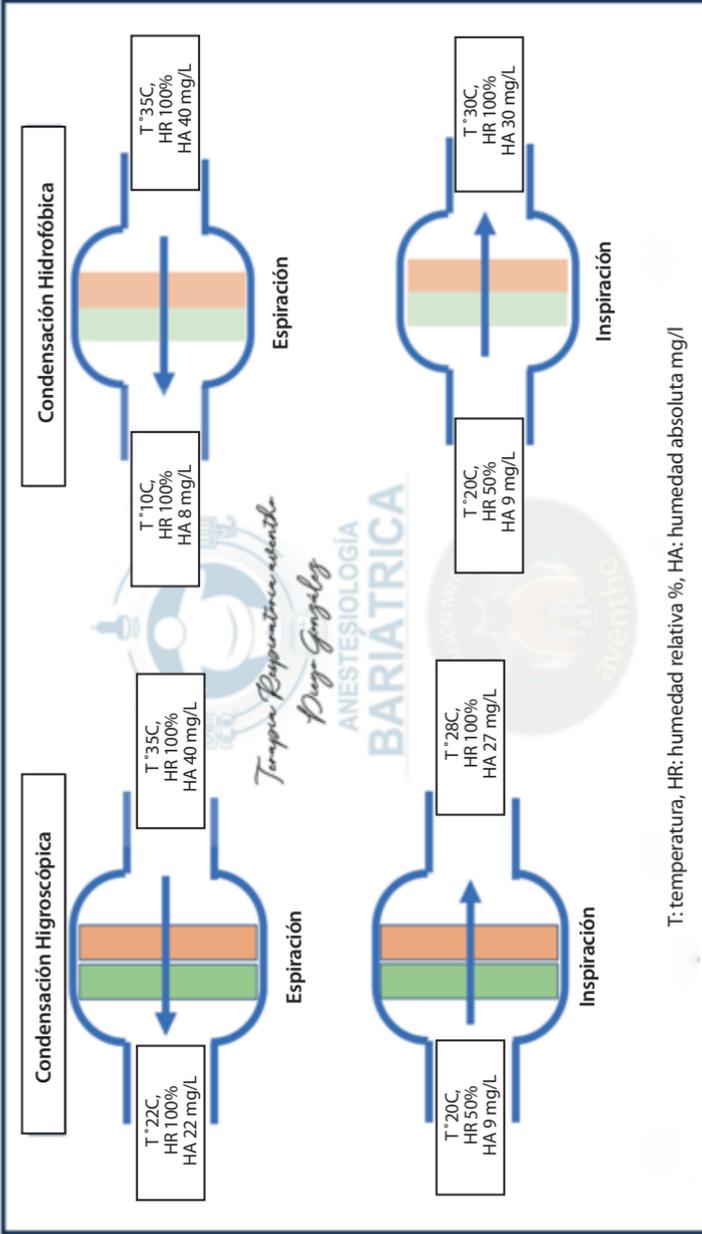
### **Humidificadores de condensación simple**

Estos contienen un elemento condensador que proporciona temperatura por conductividad, y consisten en la utilización de una gasa metálica. Estos dispositivos solo administran el 50% de la humedad exhalada y tienen una eficacia del 50%.

### **Higroscópicos**

Estos dispositivos suministran la condensación de humedad mediante una baja conductividad a través de materiales como papel, lana o espuma. Algunos químicos, como el cloruro de litio y el calcio, se incluyen para aumentar la absorción de vapor de agua, lo que incrementa el aporte de humedad. Estos ICH generalmente logran aproximadamente un 70% de eficiencia, devolviendo alrededor de 27 mg/L de humedad, en comparación con los 40 mg/L exhalados.

Las características que deben cumplir estos dispositivos están reguladas por la Organización Internacional de Normalización (ISO). Deben garantizar al menos un 70% de eficiencia y proporcionar 30 mg/L de vapor de agua. Si el aporte es menor a esta recomendación, no se deberían emplear. La eficiencia del equipo puede verse afectada por el aumento de los volúmenes corriente, el flujo inspiratorio y la fracción inspirada de oxígeno (FiO<sub>2</sub>). El nivel máximo de resistencia que pueden proporcionar al paso del flujo aéreo no debe superar los 2.4 cmH<sub>2</sub>O/L/s a una tasa máxima de 60 L/m.



**Figura 25.** Proceso de humidificación higroscópica e hidrofóbica.

La condensación presente en el dispositivo ICH y el tubo endotraqueal (TET) es un indicador de un buen aporte de humedad. El tiempo de vida media por el proveedor es de 24 horas o por alguna razón necesaria de cambio, como la impactación de secreciones, sangre o interferencia del volumen corriente o volumen minuto, así como alteraciones en la presión pico, entre otros. No debe utilizarse en situaciones como hipotermia ( $<32^{\circ}\text{C}$ ), pacientes con broncorrea, sangrado de vía aérea, con volúmenes muy pequeños o altos (250-1000 ml), hiperosmolaridad plasmática o en tratamiento de deshidratación importante, o con retirada difícil.

Como observación adicional, está justificada la implementación de un espacio muerto (15 cm) en pacientes con traqueostomía, lo cual permite la movilización segura del circuito ventilatorio, disminuyendo el riesgo de decanulación. El empleo de este con pacientes intubados con EPOC (enfermedad pulmonar obstructiva crónica) y obesidad es importante, ya que aumenta el riesgo de retener un mayor nivel de  $\text{CO}_2$ .

Un control exhaustivo de la humidificación también reduce los riesgos de propiciar Neumonía Asociada a Ventilación Mecánica (NAVME) <sup>(27, 28)</sup>. Es esencial asegurar una temperatura constante de  $37^{\circ}\text{C}$  con una humedad relativa del 100% y una humedad absoluta de 44 mg/L cuando se maneja invasivamente a un paciente bajo ventilación mecánica. En el caso de la ventilación mecánica no invasiva, no se pueden alcanzar estos mismos niveles, pero se busca un aporte aproximado de  $34^{\circ}\text{C}$  con una humedad relativa del 100% y una humedad absoluta de 30.4 mg/L, debido a las posibles fugas que deben ser compensadas por el software del Ventilador Mecánico.

Es importante tener en cuenta los factores BTPS (Body Temperature Pressure Saturated) para acondicionar el aire que será movilizado en cada ciclo ventilatorio.

## Filtros

El gas exhalado por pacientes críticos conlleva patógenos virales o bacterianos que pueden transmitirse al personal de salud, otros pacientes y familiares. Existe un riesgo latente de exposición a estas partículas que se aerolizan en el medio ambiente. Los mecanismos de acción dependen de principios físicos como sedimentación, impactación y difusión. Los circuitos de ventilación mecánica empleados en el manejo respiratorio son abiertos, lo que significa que estos dispositivos liberan el aire hacia el entorno donde se está utilizando el soporte ventilatorio, lo que puede contener productos de degradación celular de microorganismos como bacterias gramnegativas u otros gérmenes. Los filtros comúnmente se componen de una estructura rígida que, en su interior, posee láminas conformadas por fibras que capturan partículas. Cuando el gas fluye a través de este camino, las partículas se depositan sobre el material utilizado. Los mecanismos de filtración están mediados por 6 factores (Figura 26): Intercepción, Impactación inercial, Sedimentación gravitacional, Difusión, Atracción electrostática y Tamizado.

**Intercepción:** Las partículas suspendidas siguen linealmente el flujo de aire, lo que les permite ser interceptadas dentro del radio de la fibra del filtro. Este mecanismo funciona con partículas de un diámetro promedio de 0,1 a 1 mm o mayores.

**Impactación Inercial:** Estas partículas tienen dificultad para cambiar de dirección frente a los cambios en la corriente del flujo de aire. Por lo tanto, viajan directamente y golpean físicamente la fibra del filtro, incluso si el cambio de dirección del flujo de aire es mayor que el radio de la partícula. Este proceso afecta a partículas con un tamaño entre 0,3 y 1 mm.



**Figura 26.** Mecanismos de filtración.

**Sedimentación Gravitacional:** Las partículas de mayor masa están sujetas a los efectos de la gravedad, lo que hace que se depositen en las fibras del filtro debido a los pequeños movimientos del flujo de aire.

**Difusión:** Las partículas se mueven constantemente al azar debido al efecto del movimiento browniano (zigzagante). Este mecanismo afecta principalmente a partículas de menor tamaño, alrededor de 0,1 mm. Cuanto más pequeña es la partícula y más lenta es la corriente de aire, mayor es la posibilidad de que impacte y se adhiera a las fibras del filtro.

**Atracción Electroestática:** Los filtros se cargan electroestáticamente durante el proceso de fabricación, lo que aumenta la captación de partículas. Dentro de este sistema, hay tres partes:

1. Las partículas cargadas en la línea de flujo son atraídas por sus cargas opuestas (+/-).
2. Las partículas neutras en la línea de flujo son atraídas hacia la fibra del filtro cargado con un campo eléctrico, creando una atracción debido a la carga opuesta.
3. Estas partículas son atraídas hacia las fibras neutras por fuerzas inductivas sobre las mismas.

Tamizado: Las partículas son incapaces de atravesar las aperturas en la estructura del filtro debido a su gran tamaño.

Los tipos de filtros pueden definirse de dos maneras: primero, aquellos diseñados para reducir los riesgos asociados con bacterias y/o virus; y segundo, aquellos destinados simplemente a filtrar cualquier partícula, ya sea patógena o no, del aire hacia la vía aérea.

Filtros Mecánicos: Estos filtros están compuestos por una lámina de vidrio densa unida a alguna resina, lo que proporciona una alta resistencia al flujo de aire por unidad. Esto se debe a la alta densidad de sus fibras. Para reducir esta resistencia, se emplea una lámina de vidrio con una gran superficie; esta lámina es hidrófoba, lo que reduce en gran medida la absorción de agua en condiciones de operación normales. Estos filtros son conocidos como filtros HEPA (High Efficiency Particulated Air). (Figura 27)



**Figura 27.** Filtros High Efficiency Particulated air (HEPA).

**Filtros Electrostáticos:** Estos filtros emplean una capa plana de material fibrilado como barrera. La densidad de estos filtros es considerablemente menor en comparación con los filtros de vidrio (mecánicos), lo que resulta en una menor resistencia al flujo de aire por unidad. Como resultado, el filtro no necesita ser plegado para aumentar su superficie, lo que reduce el espacio muerto y las consideraciones electrostáticas.

Debido a estas características, estos filtros se dividen en dos partes: los filtros tribocargados y los filtros fibrilados.

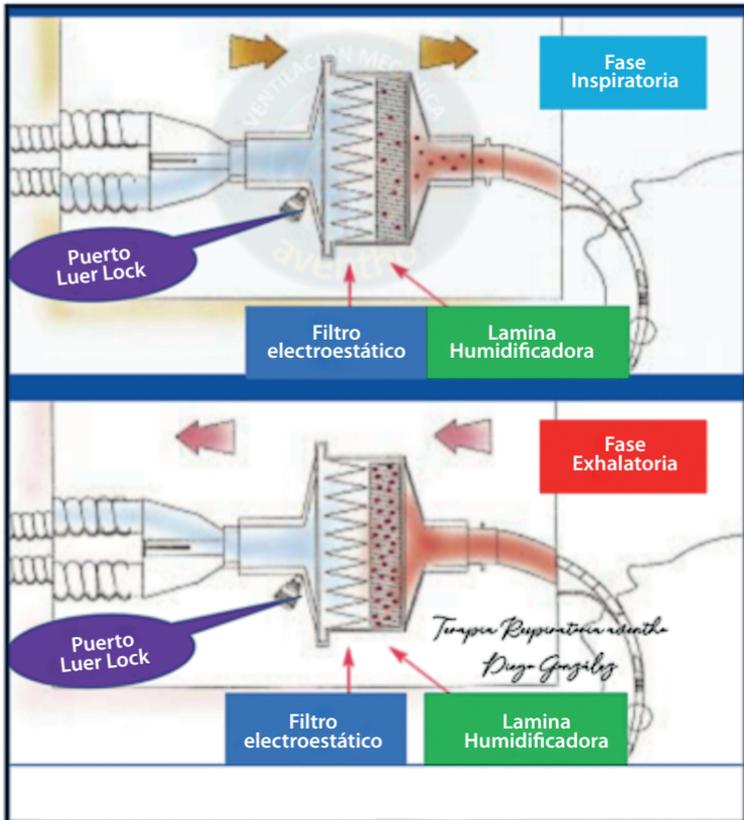
**Tribocargados:** Estos filtros utilizan dos tipos de materiales: fibras modacrílicas y fibras de propileno. Durante su fabricación, estas fibras se frotan entre sí, lo que crea cargas positivas y negativas que sirven para retener bacterias Gram negativas y Gram positivas debido al efecto de carga opuesta. Estos filtros siempre deben colocarse después de la Y o separador del circuito ventilatorio. Se identifican con un puerto (Luer Lock) que permite la medición del nivel de CO<sub>2</sub> exhalado, así como la medición de la presión del sistema. (Figura 28)

**Filtros Fibrilados:** Estos filtros consisten en una lámina de propileno a la que se le aplica una carga electrostática mediante la implementación de un electrodo. Este electrodo emite iones a los lados de la hoja con carga opuesta, lo que resulta en la carga electrostática de la lámina, también conocida como electreto. Estos filtros se colocan únicamente en la válvula inspiratoria del ventilador mecánico.

Las especificaciones que deben cumplir incluyen un nivel de filtración bacteriana (BFE) del 99,999%, una eficiencia de filtración viral del 99,99%, un espacio muerto inferior a 42 ml, una resistencia al flujo de aire de aproximadamente 1.5 cmH<sub>2</sub>O como máximo a un flujo de 60 l/min. Además, sus conexiones son de 22 mm I.D, con una salida de 15 mm/22 mm.

Los filtros denominados HEPA (High Efficiency Particulate Air) se caracterizan por su eficiencia de filtración de partículas, la cual depende del flujo de gas utilizado durante cualquier prueba<sup>(30, 31, 32)</sup>.

Actualmente, existen métodos más rigurosos para establecer la eficiencia de los filtros, conocidos como subgrupos de Ultra Baja Penetración (ULPA), que ofrecen una filtración aún mejor, pero tienen una mayor resistencia al paso del flujo de aire, lo que limita su uso en el ámbito médico. Los



**Figura 28.** Funcionamiento de filtración electrostática.

filtros HEPA están clasificados de acuerdo con el porcentaje de partículas de un tamaño determinado que no logran ser filtradas. (Tabla 6)

Dentro de los filtros mecánicos se encuentran los filtros hidrofóbicos, los cuales han sido adoptados actualmente para reducir la aerosolización en la ventilación mecánica. Estos fueron instituidos debido a la pandemia de 2019 por el SARS-CoV-2 y se comenzaron a emplear el 15 de abril de 2004, según la Directiva a Todas las Instalaciones/Configuraciones de Atención Médica de Alto Riesgo para Procedimientos Generadores de Aerosoles en Condiciones de Brote, emitida por el Ministerio de Salud y Cuidados a Largo Plazo de la provincia canadiense de Ontario. Estos filtros fueron pioneros en la implementación durante los casos de SARS (Síndrome Respiratorio Agudo Severo), en colaboración con el fabricante Hamilton Medical.

**Tabla 6. Clasificación por nivel de filtración**

Filtros HEPA			
TIPO	CLASE	EFICIENCIA	PENETRACIÓN
HEPA	H 10	85%	15%
HEPA	H 11	95%	5%
HEPA	H 12	99,5%	0,5%
HEPA	H 13	99,95%	0,05%
HEPA	H 14	99,995%	0,005%

Los filtros hidrofóbicos utilizan una membrana repelente al agua, que es porosa con un espesor aproximado de 0,2  $\mu\text{m}$ . Además, cuentan con una gran superficie y una baja conductividad térmica. Estos filtros tienen una eficacia en la filtración bacteriana que puede reducir los riesgos de desarrollar neumonía asociada a la ventilación

mecánica (NAVIM), aunque no son ideales para pacientes con reserva respiratoria limitada. El aire espirado alcanza niveles de temperatura aproximados de 35°C, con una humedad relativa del 100% y una concentración de humedad absoluta de 40 mg/L, que resulta en una recuperación de 8 mg/L de humedad absoluta.

Estos filtros pueden ser utilizados en diversos escenarios, como unidades de cuidados intensivos, salas de operaciones, traslados y cuidado domiciliario. Es crucial identificar correctamente estos filtros para garantizar su efectividad y evitar que afecten la gestión de la ventilación. A continuación, se describen los siguientes escenarios, enfocados en una colocación adecuada para asegurar su efectividad:

**Filtros antibacterianos/virales:** Su ubicación es exclusivamente en la válvula inspiratoria. Se pueden utilizar junto con intercambiadores de calor y humedad (ICH) o humidificadores de membrana (HME).

**Filtros electrostáticos:** Se colocan después de la Y o separador del circuito del ventilador mecánico. No es necesario instalar algún filtro antibacteriano/viral, aunque se pueden complementar con un filtro hidrofóbico en la válvula exhalatoria o con características HEPA.

**Filtros HEPA:** Se colocan tanto en la válvula inspiratoria como en la espiratoria. Se pueden complementar con un humidificador pasivo en la Y o separador del circuito. No se deben añadir filtros con características antibacterianas/virales ni higroscópicas.

Es de suma importancia tener conocimiento sobre la diversidad de filtros y humidificadores pasivos para su correcta colocación y garantizar su efectividad.

Los filtros hidrofóbicos se colocan únicamente en la válvula inspiratoria y espiratoria. Estos filtros son de gran importancia, ya que reducen significativamente los riesgos de

aerosolización en el entorno y aseguran una mayor retención de moléculas de agua. Son empleados en pacientes con procesos neumónicos o SARS-COV-2.

Quando los ventiladores mecánicos no tienen la capacidad de compensar la distensibilidad del circuito, se debe realizar el cálculo manualmente. Esto se conoce como compensación de volumen corregido, y consiste en calcular un factor de corrección que es un promedio del espacio muerto mecánico y/o instrumental causado por las interfaces utilizadas. El volumen de compresión se refiere al gas que queda en el circuito del ventilador durante la presurización inspiratoria. Las tuberías del sistema conforman un reservorio que reduce parte del volumen corriente programado, lo que se denomina volumen de compresión. Este aspecto es conocido, pero poco utilizado y generalmente representa entre 2 y 3 ml/cmH<sub>2</sub>O. (Figura 29)

Esto también implica tener en cuenta el aumento de las resistencias causadas por el uso de filtros e interfaces. El cálculo debe ser verificado mediante la compensación de estas resistencias en las calibraciones previas, las cuales pueden calcularse durante la ventilación. (Figura 30)

Es de suma importancia identificar correctamente las interfaces utilizadas en el manejo ventilatorio. Esto garantiza la colocación adecuada de la amplia variedad de filtros disponibles, cada uno con una función específica. Hay que tener en cuenta que la implementación de agua en los humidificadores activos, junto con la condensación de los humidificadores pasivos y los filtros, puede ocasionar un aumento considerable de las resistencias y la distensibilidad. Se ha demostrado que la resistencia del tubo endotraqueal o de la cánula de traqueostomía aumenta con el uso de intercambiadores de humedad y calor (ICH).

<b>Compensación de Volumen:</b>	Compliance del circuito * (Pmas - PEEP)
<b>Volumen Corriente corregido:</b>	Volumen Corriente programado + compensación de volumen
Ejemplo: VC 450 ml, compliance del circuito 2.5 ml/cmH2O, Pmax 35 cmH2O, PEEP 8 cmH2O	
Compensación de Volumen: $2.5 * (35 - 8) = 67.5$ ml	
Volumen Corregido: 517 ml	

**Figura 29.** Compensación de volumen corregido.

$$R = \frac{\text{P Pico o Máxima} - \text{P Plateau o Meseta}}{\text{Flujo}}$$

Normal	Alrededor de 4 cm H2O/seg
<b>SIRA</b>	de 5 a 14 cm H2O/seg
<b>EPOC</b>	de 13 a 26 cm H2O/seg

**Figura 30.** Cálculo de resistencia.

En cuanto al cuidado en la Ventilación Mecánica No Invasiva (VMNI) / Presión Positiva Continua en la Vía Aérea (CPAP), podemos dividirlo en tres escenarios: preoperatorio, durante la intervención quirúrgica y posoperatorio.

En el manejo preoperatorio, se recomienda una preoxigenación al 100% antes de la inducción anestésica y la elección de agentes anestésicos y bloqueantes musculares fácilmente reversibles, preferiblemente de acción corta<sup>(39, 40)</sup>. Se deben realizar esfuerzos para controlar el riesgo de reflujo gastroesofágico y broncoaspiración<sup>(23)</sup>.

El diámetro traqueal se reduce con el aumento del Índice de Masa Corporal (IMC)<sup>(41)</sup>. Se debe optimizar la permeabilidad de la vía aérea, preferiblemente con el paciente en posición Trendelenburg invertida (elevando la cabeza y parte superior del tórax de 20 a 30 grados por encima del plano horizontal), ya que esto optimiza la oxigenación<sup>(40, 42)</sup>. Durante la inducción anestésica, en pacientes con síndrome de apnea obstructiva del sueño (SAOS), el uso de presión positiva continua en la vía aérea (CPAP) puede emplearse para mantener la capacidad residual funcional y reducir el tiempo de desaturación<sup>(43)</sup>. Se ha evidenciado que la posición supina en pacientes con IMC >35 e IMC >40 tiene repercusiones perjudiciales; el volumen pulmonar de los pacientes con obesidad ya es aproximadamente un 20 % inferior a lo esperado antes de la inducción de la anestesia<sup>(33)</sup>, y en posición supina dicho volumen se reduce además en un 50 %<sup>(35)</sup>. Las fluctuaciones de la presión transdiafragmática también aumentan significativamente, lo que conduce a la tensión del tejido pulmonar y aumenta el trabajo respiratorio de los pacientes que respiran espontáneamente en la fase de inducción o la fase postoperatoria<sup>(36)</sup>.

Un estudio reveló que 7 de cada 8 pacientes mostraban restricciones en el flujo debido al colapso de las vías aéreas pequeñas cuando estaban en posición supina, en comparación con 2 de cada 8 pacientes en posición vertical. Steier *et al.*<sup>(44)</sup> midieron una presión espiratoria positiva al final de la espiración intrínseca media (PEEPi) de 5,3 cm de H<sub>2</sub>O en pacientes obesos en posición supina. Pankow *et al.*<sup>(45)</sup> validaron esta observación al demostrar que la PEEPi en pacientes con obesidad aumentaba de 1,4 cm de H<sub>2</sub>O a 4,1 cm de H<sub>2</sub>O cuando se cambiaban de posición vertical a posición supina. El aumento medio de la PEEPi era de 0,2 cm de H<sub>2</sub>O por cada unidad de IMC<sup>(37, 38)</sup> en posición supina. “Incluso sin

anestesia, los pacientes con obesidad muestran importantes restricciones en la ventilación una vez acostados”.

Otra estrategia para optimizar la ventilación intraoperatoria es mantener una posición Trendelenburg invertida desde la inducción de la anestesia hasta inmediatamente después de la extubación<sup>(38)</sup>.

Se recomienda el monitoreo continuo de la oxigenación con oximetría de pulso y, idealmente, de la ventilación con capnografía. Es importante restringir el aporte excesivo de líquidos, ya que puede agravar el edema en la vía aérea<sup>(49)</sup>.

Con base en esta evidencia, podemos definir el cuidado en cuatro aspectos generales: (Figura 31)

1. Posición Trendelenburg invertida.
2. Monitoreo de oximetría de pulso y capnografía.
3. Selección del tamaño de interfaz adecuado.
4. Humidificación adecuada.

La atención a pacientes con obesidad no solo requiere una metodología adaptada durante la preoxigenación, la inducción y el mantenimiento de la anestesia general, sino



**Figura 31.** Cuidados de terapia respiratoria.

que también es crucial un cuidado respiratorio adecuado en el período posoperatorio. Esta atención integral es fundamental para prevenir complicaciones pulmonares.

La Terapia Respiratoria complementa el abordaje del paciente durante la anestesia y cirugía bariátrica en casos de obesidad. Esto implica un cuidado específico de todos los equipos ventilatorios, como el ventilador mecánico y las máquinas de anestesia, así como de los dispositivos que intervienen en el apoyo ventilatorio, como las interfaces nasales, oronasales y totales, y los dispositivos de oxigenoterapia de bajo y alto flujo. Además, se debe considerar la posición del paciente, como la posición de Trendelenburg invertida, que influye en la mecánica respiratoria. Esta evaluación se realiza mediante pruebas de función respiratoria, principalmente la espirometría, la pletismografía corporal y la dilución de monóxido de carbono, que deben realizarse cumpliendo todas las normativas actuales establecidas por la Sociedad Americana del Tórax (ATS) y la Sociedad Respiratoria Europea (ERS).

Es fundamental no pasar por alto la importancia de la humidificación activa, especialmente en la ventilación no invasiva (VMNI), así como el uso de presión positiva continua en la vía aérea (CPAP), tanto antes, durante y después del procedimiento quirúrgico. De esta manera, se promueve una mayor conciencia sobre el papel complementario que puede y debe desempeñar el personal de salud, especialmente los terapeutas respiratorios, en el enfoque holístico de la ventilación.

## Referencias

1. Original / Obesidad Función pulmonar y obesidad Carlos Carpio1, Ana Santiago1, Abelardo García de Lorenzo2 y Rodolfo

- Álvarez-Sala<sup>1</sup> Servicio de Neumología. <sup>2</sup>Servicio de Medicina Intensiva. Hospital Universitario La Paz. Instituto de Investigación Hospital Universitario La Paz (IdiPAZ). Universidad Autónoma de Madrid. España. [https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0212-16112014001200009](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112014001200009) citado 11 noviembre 2023.
- <https://www.gob.mx/issste/articulos/la-obesidad-en-mexico> citado 15 nov 2023.
  - Van Huisstede A, Castro Cabezas M, van de Geijn GM, Mannaerts GH, Njo TL, Taube C, *et al*. Underdiagnosis and overdiagnosis of asthma in the morbidly obese. *Respir Med* 2013; 107: 1356-1364. <https://www.clinicalkey.com/#!/content/journal/1-s2.0-S0954611113001819#refInSitubib8> citado 14 noviembre 2023
  - Fritscher LG, Mottin CC, Canani S, Chatkin JM. Obesity and obstructive sleep apnea-hypopnea syndrome: the impact of bariatric surgery. *Obes Surg* 2007; 17: 95-9.
  - Newman AB, Foster G, Givelber R, Nieto FJ, Redline S, Young T. Progression and regression of sleep-disordered breathing with changes in weight: the Sleep Heart Health Study. *Arch Intern Med* 2005; 165: 2408-13.
  - Mokhlesi B, Tulaimat A. Recent advances in obesity hypoventilation syndrome. *Chest* 2007; 132: 1322-36.
  - Phung DT, Wang Z, Rutherford S, Huang C, Chu C. Body mass index and risk of pneumonia: a systematic review and meta-analysis. *Obes Rev* 2013; 14: 839-57.
  - Farina A, Crimi E, Accogli S, Camerini G, Adami GF. Preoperative assessment of respiratory function in severely obese patients undergoing biliopancreatic diversion. *Eur Surg Res* 2012; 48: 106-110.
  - Update 2019 Perioperative lung Protection for obese patients, Effective Pre-oxygenation and Induction in Obese Patients <https://www.draeger.com/Content/Documents/Content/obese-patients-1t-wp-9101955-en-gb.pdf> fecha de consulta 18 noviembre 2023.

10. Ray CS, Sue DY, Bray G, Hansen JE, Wasserman K. Effects of obesity on respiratory function. *Am Rev Respir Dis* 1983; 128: 501-6.
11. Biring MS, Lewis MI, Liu JT, Mohsenifar Z. Pulmonary physiologic changes of morbid obesity. *Am J Med Sci* 1999; 318: 293-7.12.
12. Unterborn J. Pulmonary function testing in obesity, pregnancy and extremes body habitus. *Clin Chest Med* 2001; 22: 759-67.
13. Salihoglu T, Salihoglu Z, Zengin AK, Taskin M, Colakoglu N, Babazade R. The impacts of super obesity versus morbid obesity on respiratory mechanics and simple hemodynamic parameters during bariatric surgery. *Obes Surg* 2013; 23: 379-83.
14. Hodgson LE, Murphy PB, Hart N. Respiratory management of the obese patient undergoing surgery. *J Thorac Dis. Mayo de* 2015;7(5):943-52.
15. Steier J, Jolley CJ, Seymour J, *et al.* Neural respiratory drive in obesity. *Thorax*. Agosto de 2009;64(8):719-25
16. European Respiratory Society/American Thoracic Society technical statement: standardisation of the measurement of lung volumes, 2023 update <https://erj.ersjournals.com/content/62/4/2201519.figures-only> citado 15 noviembre 2023.
17. Obesidad: una carga excesiva para la función pulmonar. <https://www.elsevier.es/es-revista-nursing-20-pdf-S0212538212700237> fecha de revisión 23 noviembre 2023.
18. Standardization of Spirometry 2019 Update An official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement Brian L. Graham, Irene Steenbruggen, Martin R. Miller, Igor Z. Barjaktarevic, Brendan G. Cooper, Graham L. Hall, Teal S. Hallstrand, David A. Kaminsky, Kevin McCarthy, Meredith C. McCormack, Cristine E. Oropez, Margaret Rosenfeld, Sanja Stanojevic, Maureen P. Swanney†, and Bruce R. Thompson; on behalf of the American.
19. Thoracic Society and the European Respiratory Society <https://www.atsjournals.org/doi/10.1164/rccm.201908-1590ST> fecha 09 septiembre 2023.
20. ERS/ATS technical standard on interpretive strategies for routine lung function tests Sanja Stanojevic, David A. Kaminsky,

- Martin R. Miller, Bruce Thompson, Andrea Aliverti, Igor Barjaktarevic, Brendan G. Cooper, Bruce Culver, Eric Derom, Graham L. Hall, Teal S. Hallstrand, Joerg D. Leuppi, Neil MacIntyre, Meredith McCormack, Margaret Rosenfeld, Erik R. Swenson *European Respiratory Journal* 2022 60: 2101499; DOI: 10.1183/13993003.01499-2021 <https://erj.ersjournals.com/content/60/1/2101499> fecha de revisión 03 marzo 2023.
21. Dixon AE, Peters U. The effect of obesity on lung function. *Expert Rev Respir Med*. 2018; 12(9): 755-67.
  22. De Lucas Ramos P, Rodríguez González-Moro JM, Rubio Socorro Y. Obesidad y función pulmonar. *Arch Bronconeumol*. 2004; 40(5): 27-31.
  23. Benumof Hagberg C. Benumof and Hagberg's Airway Management. 3ered. Philadelphia: Elsevier; 2012. p. 892-901. <https://mdanderson.elsevierpure.com/en/publications/benumof-and-hagbergs-airway-management-third-edition> citado 14 noviembre 2023.
  24. European Respiratory Society/American Thoracic Society technical statement: standardisation of the measurement of lung volumes, 2023 update Nirav R. Bhakta, Aisling McGowan, Kathryn A. Ramsey, Brigitte Borg, Jana Kivastik, Shandra Lee Knight, Karl Sylvester, Felip Burgos, Erik R. Swenson, Kevin McCarthy, Brendan G. Cooper, Francisco García Río, Gwen Skloot, Meredith McCormack, Carl Mottram, Charles G. Irvin, Irene Steenbruggen, Allan L. Coates, David A. Kaminsky *European Respiratory Journal* 2023 62: 2201519; DOI:10.1183/13993003.01519-2022 <https://erj.ersjournals.com/content/62/4/2201519.figures-only> fecha de revisión 13 noviembre 2023.
  25. Daneri Pablo A. (2007). *Electromedicina: Equipos de diagnóstico y cuidados intensivos*. 1ª Edfile:///C:/Users/diego/Downloads/Electromedicina\_%20Equipos%20de%20Diagn%C3%B3stico%20y%20Cuidados%20Intensivos%20(%20PDFDrive%20).pdf (cita: 20 febrero 2022).
  26. American Society for Testing and Materials (ASTM): Standard specification for humidifiers for medical use (F1690), Conshohocken, PA, 1996, ASTM. Revisado 23 febrero 2022.

27. Klompas M, Branson R, Eichenwald EC, Greene LR, Howell MD, Lee G, *et al.* Strategies to Prevent Ventilator-Associated Pneumonia in Acute Care Hospitals: 2014 Update. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 2014;35(08):915–36.
28. Ardehali SH, Fatemi A, Rezaei SF, Forouzanfar MM, Zolghadr Z. The Effects of Open and Closed Suction Methods on Occurrence of Ventilator Associated Pneumonia; a Comparative Study. *Arch Acad Emerg Med.* 2020;8(1):e8.
29. Medicines and Healthcare Regulatory Authority. Risk of using different airway humidification devices simultaneously. 2015. NHS/PSA/W/2015/012. December 2015. <https://www.england.nhs.uk/patientsafety/wp-content/uploads/sites/32/2015/12/psa-humidification-devices.pdf> (accessed 13/03/2020).
30. Davey AJ. *Ward's Anesthetic Equipment*, 5a ed. Philadelphia, PA: Elsevier Saunders; 2005: 133-153.
31. Wilkes AR. The effect of gas flow on the filtration performance of breathing system filters. *Anaesthesia* 2004; 59: 278-282.
32. Trust Science Innovation. Health and safety. Mechanisms of Filtration for High Efficiency Fibrous Filters. Application notes ITI-041. 2008.
33. American Society for Testing and Materials (ASTM): Standard specification for humidifiers for medical use (F1690), Conshohocken, PA, 1996, ASTM.
34. Eichenberger A, Proietti S, Wicky S, *et al.* Morbid obesity and postoperative pulmonary atelectasias: an underestimated problem. *Anesth Analg.* Diciembre de 2002;95(6):1788-92.
35. Nestler, C., Wrigge H. *et al.*: Individualized positive end-expiratory pressure in obese patients during general anesthesia: a randomized controlled clinical trial using electrical impedance tomography; *Br J Anaesth.* [https://www.bjanaesthesia.org/article/S0007-0912\(17\)54148-3/fulltext](https://www.bjanaesthesia.org/article/S0007-0912(17)54148-3/fulltext) citado: 10 nov 2023.
36. Steier J, Jolley CJ, Seymour J, *et al.* Neural respiratory drive in obesity. *Thorax.* Agosto de 2009;64(8):719-25. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19386586/> citado 16 noviembre 2023.
37. Pankow W, Podszus T, Gutheil T, *et al.* Expiratory flow limitation and intrinsic positive end-expiratory pressure in obesity. *J Appl*

- Physiol (1985) 1998;85:1236-43. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9760311/> citado 16 noviembre 2023.
38. Schumann, R.: Pulmonary Physiology of the Morbidly Obese and the Effects of Anesthesia. *International Anesthesiology Clinics*. 51 (3): 41-51, Verano 2013 DOI: 10.1097/ AIA. 0b013e3182981252. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23797644/> citado 17 noviembre 2023.
39. Hennis PJ, Meale PM, Hurst RA, *et al*. Cardiopulmonary exercise testing predicts postoperative outcome in patients undergoing gastric bypass surgery. *Br J Anaesth*. 2012; 109(4): 566-71. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22810563/> citado 17 noviembre 2023.
40. Telem DA, Jones DB, Schauer PR, *et al*. Updated panel report: best practices for the surgical treatment of obesity. *SurgEndosc*. 2018; 32(10): 4158-64. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21136099/> citado 18 noviembre 2023.
41. D'Anza B, Knight J, Greene JS. Does body mass index predict tracheal airway size? *Laryngoscope*. 2015; 125(5): 1093-7. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25251641/> citado 18 noviembre 2023.
42. Dakin J, Margaron M. Sleep-disordered breathing and anaesthesia in the morbidly obese. *Current Anaesthesia and Critical Care*. 2010; 21(1): 24-30. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2873205/> citado 16 noviembre 2023
43. Neligan PJ. Metabolic syndrome: anesthesia for morbid obesity. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2010; 23(3): 375-83. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20446347/> citado 11 noviembre 2023.
44. Koenig SM. Pulmonary complications of obesity. *Am J Med Sci*. 2001; 321(4): 249-79. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11307867/> citado 20 noviembre 2023.
45. Rabec C, de Lucas Ramos P, Veale D. Respiratory complications of obesity. *Arch Bronconeumol*. 2011; 47(5): 252-61. <https://www.archbronconeumol.org/en-estadisticas-S1579212911700611> citado 20 noviembre 2023.
46. Lam T, Singh M, Yadollahi A, Chung F. Is Perioperative Fluid and Salt Balance a Contributing Factor in Postoperative Worsening of Obstructive Sleep Apnea? *Anesth Analg*. 2016;

122(5):1335-39.[https://www.ramr.org/articulos/volumen\\_21\\_numero\\_4/articulos\\_especiales/articulos\\_especiales\\_evaluacion\\_respiratoria\\_y\\_manejo\\_de\\_pacientes\\_con\\_obesidad\\_candidatos\\_a\\_procedimientos\\_quirurgicos\\_y\\_cirugia\\_bariatrica.php](https://www.ramr.org/articulos/volumen_21_numero_4/articulos_especiales/articulos_especiales_evaluacion_respiratoria_y_manejo_de_pacientes_con_obesidad_candidatos_a_procedimientos_quirurgicos_y_cirugia_bariatrica.php) citado 22 noviembre 2023.