



# Pletismografía corporal: actualización en las recomendaciones y procedimiento

## Whole body plethysmography: updates in recommendations and procedure

Irlanda Alvarado-Amador,\* Gustavo I. Centeno-Saenz,\* Mónica Silva-Cerón,\*  
Diana Riego-Ramírez,\* Atzimba Castillo-Ayala,†  
Laura Gochicoa-Rangel,\* Luis Torre-Bouscolet,‡ Selene Guerrero-Zúñiga,\* Ileri Thiri6n-Romero\*

\*Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas. Ciudad de México, México;

†Secretaría de la Defensa Nacional; ‡Instituto de Desarrollo e Innovación en Fisiología Respiratoria.

**RESUMEN.** La pletismografía corporal es una prueba de función pulmonar que mide la mecánica pulmonar a través de la medición de la capacidad residual funcional ( $FRC_{pleth}$ ) y la resistencia específica de la vía aérea (sRaw). Su uso es de gran utilidad para la confirmación de restricción pulmonar, así como para la cuantificación de la hiperinflación pulmonar. El objetivo de este documento es actualizar el procedimiento y las recomendaciones de la pletismografía corporal de acuerdo con los estándares internacionales vigentes de la Sociedad Americana del Tórax y la Sociedad Europea Respiratoria, 2021 y 2023, así como emitir recomendaciones prácticas para su interpretación.

**Palabras clave:** pletismografía corporal, función pulmonar, volúmenes pulmonares.

### Abreviaturas:

ATS = Sociedad Americana del Tórax (*American Thoracic Society*)  
ERS = Sociedad Europea Respiratoria (*European Respiratory Society*)  
ERV = volumen de reserva espiratorio (*expiratory reserve volumen*)  
EVC = capacidad vital espiratoria (*expiratory vital capacity*)  
 $FEV_1$  = volumen espiratorio forzado en el primer segundo  
FRC = capacidad residual funcional  
 $FRC_{pleth}$  = capacidad residual funcional por pletismografía (*functional residual capacity by plethysmography*)  
FVC = capacidad vital forzada (*forced vital capacity*)  
GLI = *Global Lung Initiative*  
IC = capacidad inspiratoria (*inspiratory capacity*)  
ITGV = volumen de gas intratorácico (*intrathoracic gas volumen*)  
LIN = límite inferior de la normalidad

**ABSTRACT.** Body plethysmography (BP) is a lung function test that measures lung mechanic, through the measurement of functional residual capacity ( $FRC_{pleth}$ ), and specific airway resistance (sRaw). It is very useful for confirming pulmonary restriction as well as quantifying pulmonary hyperinflation. The objective of this document is to update the procedure and recommendations for body plethysmography according to the latest international standards -American Thoracic Society (ATS) and European Respiratory Society (ERS) 2021 y 2023- as well as to issue practical recommendations for its interpretation.

**Keywords:** body plethysmography, lung function, lung volumen.

LSN = límite superior de la normalidad  
p5 = percentil 5  
p95 = percentil 95  
PC = pletismografía corporal  
PRISm = espirometría alterada de la relación preservada (*preserved ratio impaired spirometry*)  
Raw = resistencia de las vías respiratorias (*airway resistance*)  
RV = volumen residual (*residual volumen*)  
sRaw = resistencia específica de la vía aérea (*specific airway resistance*)  
SVC = capacidad vital lenta (*slow vital capacity*)  
TLC = capacidad pulmonar total (*total lung capacity*).  
VC = capacidad vital (*vital capacity*)  
VT = volumen corriente (*tidal volumen*)

### Correspondencia:

**Dra. Ileri Thiri6n-Romero**

Fisiología respiratoria, Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas, Ciudad de México, México.

**Correo electrónico:** draisadora.thirion@gmail.com

Recibido: 03-V-2024; aceptado: 16-X-2024.

**Citar como:** Alvarado-Amador I, Centeno-Saenz GI, Silva-Cerón M, Riego-Ramírez D, Castillo-Ayala A, Gochicoa-Rangel L et al. Pletismografía corporal: actualización en las recomendaciones y procedimiento. *Neumol Cir Torax.* 2024; 83 (2):153-165. <https://dx.doi.org/10.35366/119285>



Artículo open access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## INTRODUCCIÓN

La pletismografía corporal (PC) es una prueba de función pulmonar que mide la capacidad residual funcional (FRC<sub>pleth</sub>), también denominada volumen de gas intratorácico (ITGV), así como la resistencia específica de la vía aérea (sRaw)<sup>1</sup> (véase material suplementario). Confirma la presencia de restricción pulmonar y, en enfermedades obstructivas, cuantifica la hiperinflación pulmonar.<sup>2,3</sup>

Los valores obtenidos en la PC dependen de la distensibilidad y elasticidad de la caja torácica y del parénquima pulmonar, así como de la integridad de la musculatura respiratoria. La distensibilidad es la facilidad que tiene un cuerpo para estirarse o deformarse (cambio de volumen que se observa por cambio de presión), mientras que la elasticidad es la oposición que ofrece un cuerpo a ser estirado (capacidad para regresar a su forma original).<sup>4</sup>

La medición de la PC se basa en la Ley de Boyle-Marriott: «el volumen de un gas es inversamente proporcional a la presión a la que está sujeto el gas en condiciones isotérmicas; por lo tanto, durante la compresión de un gas en estas condiciones, el producto de la presión por el volumen permanece constante». El objetivo de esta revisión es actualizar el documento publicado en el 2019 sobre el procedimiento y recomendaciones de pletismografía, de acuerdo con los estándares internacionales vigentes –ATS [Sociedad Americana del Tórax] / ERS [Sociedad Europea Respiratoria] 2021 y 2023–<sup>6,7</sup> y emitir recomendaciones prácticas para su interpretación.

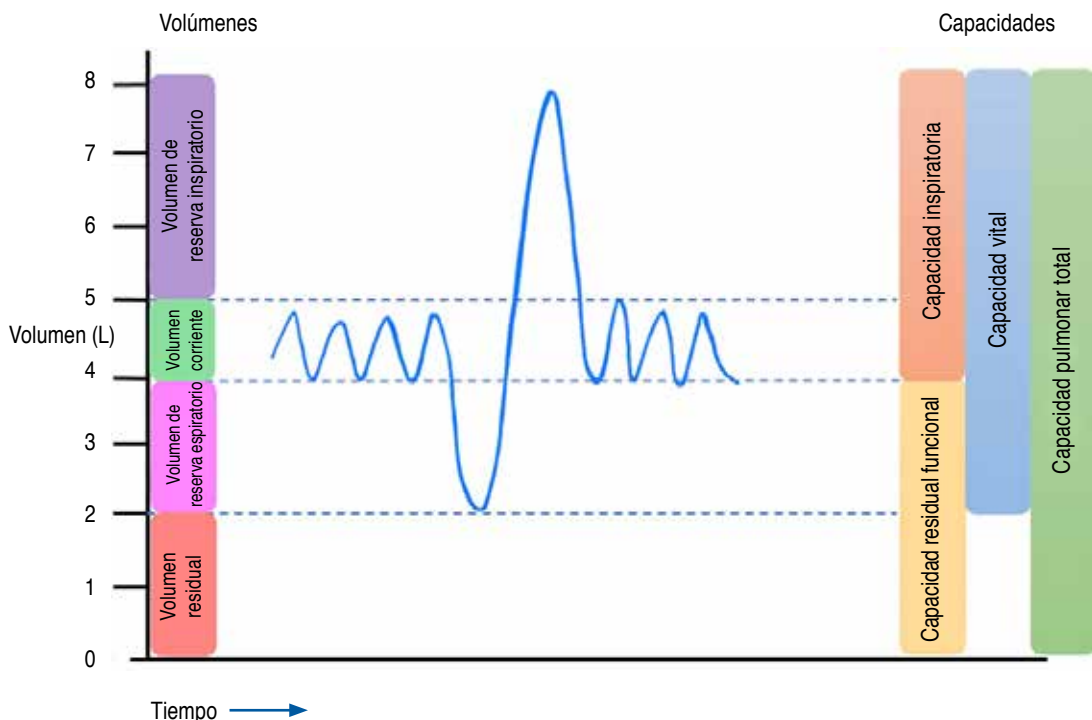
## DEFINICIÓN

La PC es una prueba de mecánica pulmonar que mide los volúmenes pulmonares, cuantifica la cantidad total de gas en el tórax (ya sea que esté en comunicación directa con la vía aérea o no),<sup>5</sup> y mide la capacidad pulmonar total (TLC), la cual está subdividida en cuatro volúmenes y cuatro capacidades que se muestran en la *Figura 1* y sus definiciones se resumen en la *Tabla 1*.<sup>7,8</sup>

La medición cardinal de la PC es la FRC, para lo cual es preciso que el volumen de aire al final de la espiración a volumen corriente (VT), se mantenga estable. El estándar de espirometría (ATS, 2019) define esta estabilidad como la presencia de al menos tres respiraciones a VT con una diferencia entre el máximo y el mínimo volumen pulmonar al final de la espiración dentro del 15% del VT.<sup>9</sup>

La FRC<sub>pleth</sub> incluye compartimentos pulmonares ventilados y no ventilados, sus resultados pueden ser mayores que los obtenidos por métodos de dilución o lavado de gases, en presencia de obstrucción grave, bullas o enfisema. Aunque teóricamente la FRC<sub>pleth</sub> puede aumentar por el gas abdominal, la cantidad de éste, es pequeña (~100 mL) y volúmenes mayores parecen no tener efecto en la medición de la FRC.<sup>10</sup> En casos de obstrucción grave la FRC<sub>pleth</sub> puede estar sobreestimada cuando la frecuencia respiratoria (FR) durante la maniobra de jadeo es > 1 Hz (60 respiraciones/min) porque la presión bucal subestima el cambio absoluto en la presión alveolar.<sup>7,11</sup>

Después de la medición de FRC, se requiere realizar una maniobra de capacidad inspiratoria (IC) para medir la



**Figura 1:**

Volúmenes y capacidades pulmonares estáticos basados en un espirograma volumen-tiempo.

**Tabla 1:** Volúmenes y capacidades pulmonares.

Volúmenes pulmonares	
Volumen corriente (VT)	Es el volumen de gas inhalado o exhalado durante el ciclo respiratorio normal
Volumen de reserva inspiratorio (IRV)	Es el máximo volumen de gas que puede inhalarse desde volumen corriente al final de la inspiración
Volumen de reserva espiratorio (ERV)	Es el máximo volumen de gas que puede exhalarse desde el volumen corriente al final de la espiración, es decir desde FRC hasta RV
Volumen residual (RV)	Es el volumen de gas que permanece en el pulmón después de una exhalación máxima
Capacidades pulmonares	
Capacidad vital (VC)	Es el máximo cambio de volumen que puede exhalarse o inhalarse entre las posiciones de inspiración completa (TLC) y espiración completa (RV). Corresponde a la suma de los volúmenes desplazables (VT, IRV y ERV)
Capacidad inspiratoria (IC)	Es el máximo volumen de gas que puede inhalarse desde la FRC hasta la TLC. Es la suma de IRV y VT
Capacidad residual funcional (FRC)	Es el volumen de gas presente en el pulmón al final de la espiración pasiva, de un ciclo respiratorio normal. Es la suma de ERV y VR
Capacidad pulmonar total (TLC)	Es el volumen total del pulmón en inspiración máxima. Es la suma de todos los volúmenes RV, ERV, VT y IRV, y puede calcularse también por la suma de la IC y la FRC o del RV con la VC

TLC, y finalizar con maniobra de capacidad vital espiratoria (EVC) lenta hasta llegar a volumen residual (RV), sin que se retire la boquilla.<sup>7</sup> Es importante resaltar la maniobra de EVC lenta, puesto que una maniobra forzada puede ocasionar el cierre prematuro de la vía aérea dependiente y generar sobreestimación del RV (*Figuras 2 y 3*).<sup>7</sup>

Para realizar el cálculo de la TLC y el RV se requiere reportar las subdivisiones pulmonares, para ello es importante la medición de la capacidad vital (VC) y de una de sus subdivisiones, como la IC o el volumen de reserva espiratorio (ERV); la repetibilidad tanto de la IC como del ERV estará determinada en parte por la repetibilidad de FRC.<sup>7</sup>

La espirometría vinculada (asociada) es ideal, la espirometría no vinculada no es una opción que se recomiende para pletismografía.<sup>7</sup>

## INDICACIONES DE LA PC

Sus indicaciones se detallan en la *Tabla 2*.<sup>1,12</sup> Sugerimos medir volúmenes pulmonares en aquellos sujetos con espirometrías anormales (capacidad vital forzada [FVC] disminuida, por ejemplo: probable patrón mixto, PRISm).<sup>6</sup>

## CONTRAINDICACIONES DE LA PC

Son similares al resto de las contraindicaciones para las demás pruebas de función respiratoria (*Tabla 3*).<sup>6,13</sup> Algunos riesgos durante la realización de la PC son: hipoxemia en sujetos con necesidad de oxígeno suplementario, ansiedad, angustia, claustrofobia y disnea.

## EQUIPO Y CONSUMIBLES DE LA PC

El pletismógrafo es una cabina hermética con un volumen de 700-1,200 L (más grande para pacientes con obesidad, muy altos, o con silla de ruedas). Su hermeticidad le permite mantener un volumen constante; así, los cambios en el volumen torácico que acompañan a una compresión o descompresión del gas pulmonar durante las maniobras respiratorias en la obturación, se pueden calcular midiendo los cambios en la presión de la cabina.<sup>7</sup>

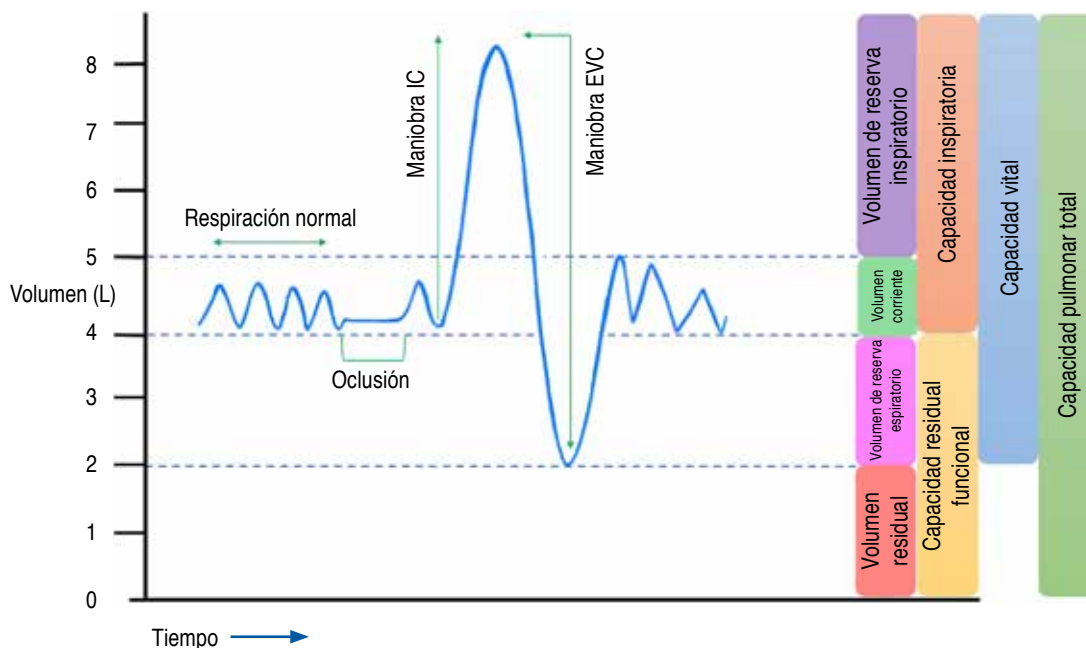
El pletismógrafo requiere: software y hardware conformes a la norma ISO 26782, transductor para presión bucal ( $\geq \pm 50$  cmH<sub>2</sub>O; mínimo 8 Hz de respuesta) y sensor de flujo que cumpla con los estándares presentados para espirometría. Debe medir cambios en la presión de la cabina con precisión dentro de  $\pm 0.2$  cmH<sub>2</sub>O. Los cambios en la temperatura pueden provocar un cambio de presión de hasta 1 cmH<sub>2</sub>O, lo que requiere un rango de trabajo más amplio del transductor.<sup>7,14</sup>

Es ideal un tiempo constante de 10 s (rango 5-25 s) para una fuga controlada (que minimiza los cambios de presión que ocurren lentamente). Los cambios de temperatura al interior de la cabina son comunes y pueden detectarse a partir del gráfico volumen-presión (*Figura 4*) durante la oclusión, que muestra una diferencia sistemática en la pendiente entre compresión y expansión.<sup>7,14</sup>

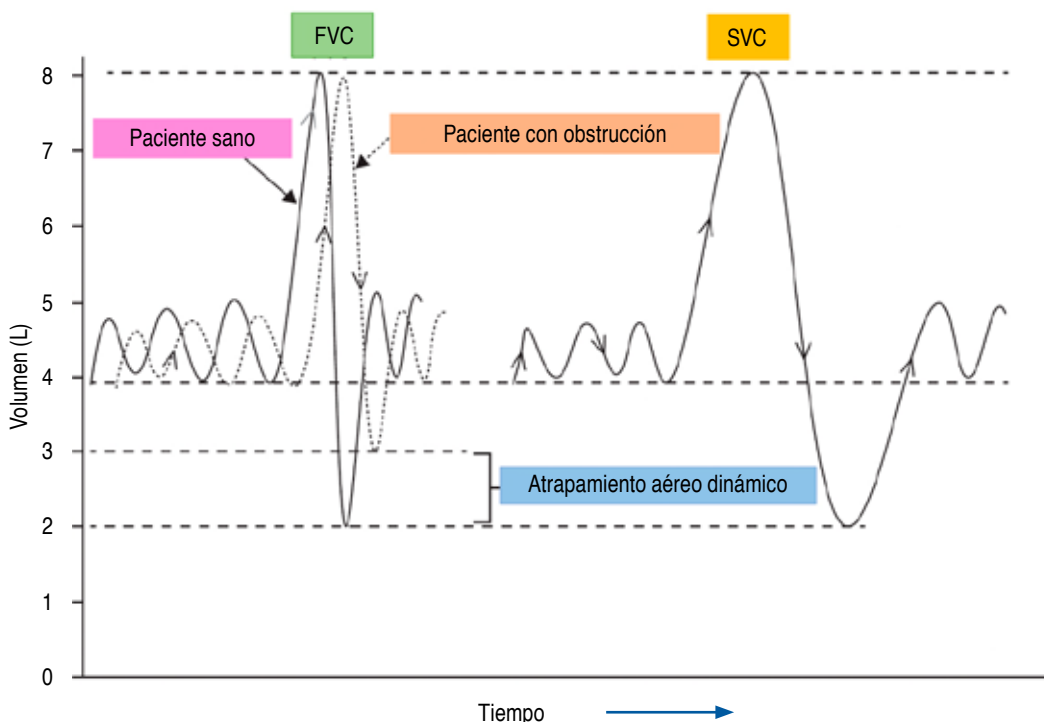
Los fabricantes deben especificar la frecuencia de respuesta de sus sistemas y cómo verificarla. La frecuencia de respuesta debe ser mínimo cinco veces la frecuencia de la señal que se está midiendo, en este caso, para una respiración de jadeo máxima aceptable de 1.5 Hz (90 respiraciones/minuto) esto significa que una frecuencia de respuesta mínima aceptable es de 8 Hz.<sup>7,14</sup>

Es crucial que los equipos tengan conexión en red para transmitir resultados a expedientes electrónicos y facilitar el acceso a información clínica, además de recopilar datos para investigaciones.

En la *Tabla 4* se enlistan otros consumibles necesarios.



**Figura 2:** Maniobra de pletismografía corporal (PC) para volúmenes pulmonares. Gráfico volumen-tiempo que muestra la secuencia de respiración tranquila hasta alcanzar un nivel estable de FRC (capacidad residual funcional) al final de la espiración, posteriormente se cierra el obturador (por un breve período, aproximadamente 2 a 3 s) para medir el volumen de gas intratorácico. A continuación, se abre el obturador y el paciente realiza una maniobra de IC (capacidad inspiratoria) seguida de una maniobra de EVC (capacidad vital espiratoria lenta). Como variación también está permitido que el sujeto realice una respiración después de la obturación y posteriormente IC seguida de una maniobra de EVC. En esta maniobra se calculan todos los volúmenes pulmonares, el paciente debe permanecer conectado a la boquilla con un sellado de labios hermético durante toda la medición y específicamente mientras el obturador está cerrado.



**Figura 3:**

Maniobra de capacidad vital (VC) en un sujeto sano y en un sujeto con obstrucción. En un sujeto sano, la maniobra de capacidad vital espiratoria realizada de una manera forzada (FVC) o lenta (SVC) se espera que ofrezca el mismo resultado. Sin embargo, en un sujeto con un defecto ventilatorio obstructivo, hay un potencial atrapamiento aéreo dinámico y sobreestimación del volumen residual con una maniobra forzada

**Tabla 2:** Indicaciones de la pletismografía corporal.

Confirmación y cuantificación de restricción pulmonar
Confirmación y cuantificación de hiperinflación pulmonar y atrapamiento aéreo especialmente en pacientes con disnea desproporcionada al grado de obstrucción por FEV <sub>1</sub>
Evaluación preoperatoria de cirugía de reducción de volumen
Monitorización y vigilancia de enfermedad con fines clínicos o de investigación
Pacientes con alguno de los siguientes patrones funcionales por espirometría: sugestivo de restricción, PRISm, probable mixto
Disnea o intolerancia al ejercicio

FEV<sub>1</sub> = volumen espiratorio forzado en el primer segundo. PRISm = *preserved ratio impaired spirometry*.

**Tabla 3:** Contraindicaciones relativas de la pletismografía corporal (PC).

Infarto reciente (< 4 semanas)
Insuficiencia cardíaca
Inestabilidad cardiovascular
Taquicardia en reposo (FC > 130 lpm)
Cirugía de tórax o abdomen < 4 semanas; cirugía de ojos u oído < 8 semanas
Tuberculosis pulmonar activa
Infecciones agudas del tracto respiratorio en las últimas dos semanas
Hemoptisis
Aneurisma (de grandes arterias, cerebrales)
Embarazo avanzado (tercer trimestre) o complicado
Salud precaria
Traqueostomía
Sonda pleural
Requerimiento continuo de oxígeno suplementario que no se pueda suspender durante la prueba
Condiciones del sujeto que no permitan introducirlo a la cabina, como claustrofobia, parálisis corporal, soluciones parenterales o aditamentos médicos que no puedan introducirse a la cabina del pletismógrafo

FC = frecuencia cardíaca. lpm = latidos por minuto.

## PROTECCIÓN PERSONAL

Lavado de manos (40-60 s) o con gel-alcohol (20-30 s) antes y después de realizar la prueba, aplica para operador y sujeto. Mascarilla quirúrgica (idealmente N95); cabello corto, o agarrado; uso de guantes (cuando la piel tenga alguna lesión) y protección ocular. Buena ventilación y uso de filtros antimicrobianos.<sup>15</sup>

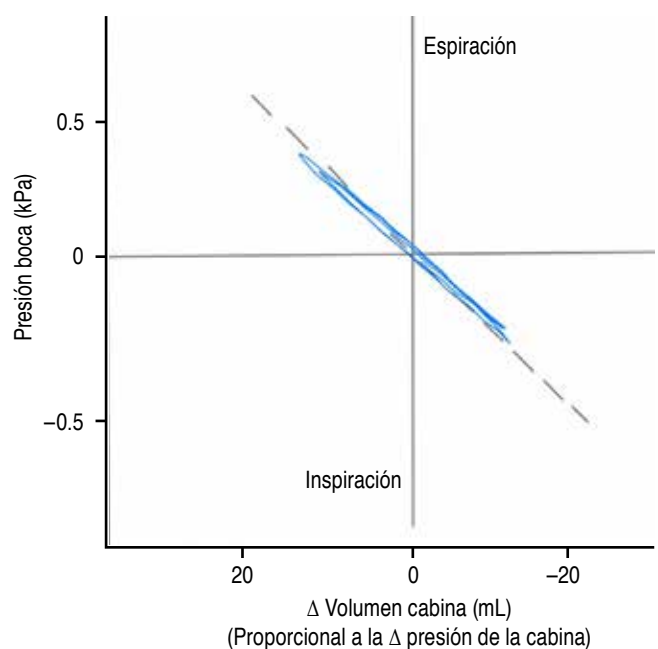
## INDICACIONES AL SUJETO ANTES DE LA PC<sup>13</sup>

Las principales indicaciones se describen en la [Tabla 5](#).

## PREPARACIÓN DEL EQUIPO ANTES DE LA PC

Control de calidad y calibración:<sup>14</sup>

1. Verificación de calibración del pletismógrafo corporal.
  - a. Verificación de la calibración: procedimiento que establece una relación entre el volumen o flujo medido por el sensor y el flujo o volumen real del calibrador (jeringa). Realice verificación de la calibración de la cabina al menos una vez al día, así el software calculará los factores de corrección.<sup>9,16</sup>
  - b. Realice verificación de la calibración del sensor de flujo del pletismógrafo para volumen con una jeringa de 3 L, por lo menos una vez al día con tres maniobras a flujos diferentes en el rango entre 0.5 y 12 L/s (inyección de 3 L en 0.5 a 6 s). Compruebe que el volumen en cada flujo cumpla el requisito de precisión de  $\leq 3\%$ , asegúrese de guardar los resultados (véase material suplementario para información detallada).<sup>9,16</sup>



**Figura 4:** Maniobra de jadeo. Visualización de una maniobra de jadeo realizada correctamente como una serie de líneas rectas casi superpuestas, separadas sólo por un pequeño cambio térmico. La frecuencia de jadeo objetivo está entre 0.5 y 1 Hz.  $\Delta$ : cambio



**Tabla 4:** Consumibles de la pletismografía corporal (PC).

Consumibles extra de la PC
Jeringa de 3 litros con una exactitud de $\pm 0.5\%$ del volumen absoluto (15 mL), calibrada y con certificado de calibración vigente
<b>Consumibles reutilizables:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensor de flujo</li> <li>• Adaptadores</li> </ul>
<b>Consumibles desechables:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtro desechable con eficiencia <math>&gt; 99\%</math> para filtración de virus, bacterias y micobacterias; espacio muerto <math>&lt; 100</math> mL y resistencia menor <math>1.5</math> cmH<sub>2</sub>O a un flujo de 14 L/s</li> <li>• Boquillas de diversos tamaños</li> <li>• Pinza nasal</li> <li>• Boquillas de silicón</li> </ul>
Báscula y estadímetro calibrados
Cinta antropométrica
Termómetro, higrómetro, barómetro o fuente de presión barométrica local, para el ajuste manual de las condiciones ambientales.

**Tabla 5:** Indicaciones para el sujeto antes de realizar la pletismografía corporal.

Evitar tabaquismo y vapeo dos horas antes
Evitar el uso de prendas restrictivas de tórax, como chalecos, corsés o ropa muy apretada
Mantener su medicación de base. Los broncodilatadores y esteroides inhalados modifican la medición, por lo que la decisión de suspender o continuar estos medicamentos deberá tomarse por el médico que solicita y el técnico deberá reportar el horario de la última dosis
No se requiere de ayuno para la prueba, pero se recomienda alimentación ligera cuatro horas antes
Debe evitar ejercicio intenso el día de la prueba

### PROCEDIMIENTO DE LA PC<sup>5,7,13,14</sup>

1. El personal del laboratorio recibe al paciente, confirma su identidad y que la solicitud coincida con sus datos y el estudio solicitado.
2. Si el paciente habla otro idioma o lengua diferente al español, deberá acompañarlo un familiar o traductor para explicarle el procedimiento.
3. Revise contraindicaciones; si existiera alguna, notifique al médico para evaluar si procede la prueba.
4. Explique el procedimiento y los riesgos antes de realizar la prueba y ofrezca aclaraciones si lo requiere. Se recomienda la siguiente explicación al paciente: «La pletismografía es una prueba que sirve para medir el tamaño de sus pulmones, se parece mucho a la espi-

rometría, pero para realizarla tiene que estar dentro de esta cabina cerrada durante aproximadamente 15 minutos. No se preocupe por estar dentro de la cabina, usted no sentirá malestar y yo lo estaré vigilando e instruyendo en todo momento».

5. Ingrese en el equipo los datos del paciente: nombre completo, fecha de nacimiento, sexo biológico al nacimiento, peso y estatura. Véase material suplementario para la toma de valores antropométricos.
6. Seleccione la ecuación de referencia adecuada para el sujeto.
7. Introduzca al paciente en la cabina del pletismógrafo, siéntelo en posición recta y ajuste la silla para que los pies estén apoyados sobre el piso. Ajuste la altura del sensor de flujo para que el paciente alcance la boquilla sin extender o flexionar el cuello.

Instruya y demuestre cómo realizar la PC: uso de boquilla, usar dientes sin morder, sellar labios, usar pinza nasal, sujeción de mejillas sin levantar brazos; demuestre el jadeo obstruyendo la parte posterior de la boquilla y avise que la puerta permanecerá cerrada durante la prueba.

Recomendaciones: a los pacientes con claustrofobia explíqueles que la puerta se puede abrir en cualquier momento de la prueba. Verifique que la expansión tórácica no se limite por el uso de fajas, corsé, etcétera. En el caso del uso de dentaduras postizas bien ajustadas generalmente se dejan en su lugar, en caso contrario es mejor retirarlas.

### MANIOBRA DE LA PC<sup>7</sup>

1. Cierre la puerta de la cabina y espere a que se establezca la presión y la temperatura.
2. Ajuste el sensor de flujo a cero.
3. Indique al paciente que se coloque la boquilla, la pinza nasal y sujete sus mejillas con las manos. Detener las mejillas es particularmente importante en casos de obstrucción al flujo aéreo, donde reduce, pero no elimina, el impacto de las frecuencias de jadeo más altas.
4. Indíquele que respire tranquilamente hasta que se alcance un volumen pulmonar al final de la espiración estable (FRC estable), generalmente de tres a 10 respiraciones a VT estable. La [Figura 2](#) ejemplifica la maniobra de PC.
5. Ocluya el obturador al final de la espiración (cuando el paciente esté en el nivel de FRC estable) durante aproximadamente 2 a 3 s, tiempo durante el cual el paciente realiza jadeo suave contra el obturador cerrado ( $\sim \pm 1$  kPa [ $\sim \pm 10$  cmH<sub>2</sub>O]) o a una frecuencia entre 0.5 y 1.0 Hz (30 a 60 respiraciones por minuto) y máximo 1.5 Hz (90 respiraciones por minuto).

6. *Nota:* frecuencias de jadeo  $> 1.5$  Hz pueden llevar a una sobreestimación de la FRC. Este efecto aumenta a medida que empeora la obstrucción. Frecuencias de jadeo:

- Registre las maniobras de jadeo aceptables (una serie de dos o tres líneas rectas casi superpuestas, con histéresis mínima entre la inspiración y la espiración), en el gráfico de presión-volumen. Ver [Figura 4](#).
- Durante el jadeo con el obturador cerrado, revise que las maniobras sean aceptables. Verifique el ajuste automático de la diferencia entre ITGV y FRC<sub>pleth</sub> en el trazo del espirograma. La frecuencia de jadeo para cada maniobra debe mostrarse en el reporte numérico.
- Al abrirse la válvula de obturación, debe realizar maniobra de IC, seguida de EVC hasta RV.

7. *Nota:* pacientes con disnea grave pueden tener dificultades para realizar una maniobra de IC inmediatamente después de la maniobra de jadeo contra el obturador cerrado. Para superar esto, indíqueles que permanezcan en la boquilla y respiren dos o tres veces después de la

maniobra de jadeo, antes de realizar las maniobras IC y EVC ([Figura 2](#)).

- La medición de las resistencias de la vía respiratoria no debe efectuarse durante la misma maniobra realizada para medir los volúmenes pulmonares, porque las frecuencias óptimas de jadeo son diferentes y el aumento del tiempo en la boquilla aumenta la posibilidad de fugas, lo que puede comprometer la medición de los volúmenes pulmonares. Recomendamos hacer la medición de las resistencias de la vía aérea al final, una vez que tengamos ya seleccionadas las maniobras aceptables y repetibles.
- Finalice la maniobra, permita que el paciente se recupere y repita el proceso; en caso de una maniobra fallida, repita las instrucciones y demuestre nuevamente la prueba.
- Obtenga tres maniobras con criterios de aceptabilidad y evalúe repetibilidad (ver apartado: evaluación de la PC).
- Si ha finalizado el estudio, apoye la salida del paciente de la cabina, guarde los resultados para generar el informe del estudio. Al finalizar, limpie y desinfecte la cabina pletismográfica y el área de atención del paciente.

**Tabla 6:** Criterios de aceptabilidad para la medición del volumen de gas intratorácico (capacidad residual funcional).

Respiración a volumen corriente antes del cierre del obturador y jadeo	
Aceptable	<p><b>Antes del cierre del obturador:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumen corriente estable al final de la espiración</li> </ul> <p><b>Durante el cierre del obturador:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maniobras de jadeo</li> <li>• Líneas rectas superpuestas sin histéresis</li> <li>• Líneas rectas paralelas con histéresis mínima</li> <li>• Frecuencia respiratoria de jadeo entre 0.5 a 1 Hz o entre 1.0 y 1.5 Hz con espirometría normal u obstrucción leve</li> </ul>
Usable	<p>Cualquiera de:</p> <p><b>Antes del cierre del obturador:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumen corriente al final de la espiración inestable, pero sin un cambio significativo en ninguna dirección</li> </ul> <p><b>Durante el cierre del obturador:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maniobra de jadeo parcialmente cerrada</li> <li>• Líneas rectas superpuestas parcialmente</li> <li>• Líneas rectas paralelas con histéresis</li> <li>• Frecuencia respiratoria <math>&gt; 1.5-2.0</math> Hz con espirometría normal u obstrucción leve.</li> </ul>
No aceptable o rechazada	<p>Cualquiera de:</p> <p><b>Antes del cierre del obturador:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumen corriente al final de la espiración inestable con un cambio significativo en cualquier dirección (por ejemplo, incremento en el volumen pulmonar al final de la espiración con cada respiración)</li> </ul> <p><b>Durante el cierre del obturador:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maniobra de jadeo con apertura oral</li> <li>• Sin líneas rectas</li> <li>• Histéresis excesiva</li> <li>• La fuerza para realizar la maniobra de jadeo superó el rango del transductor de presión oral</li> <li>• Frecuencia respiratoria de jadeo <math>&lt; 0.5</math> Hz, <math>&gt; 2</math> Hz con espirometría normal u obstrucción leve o <math>&gt; 1.5</math> con obstrucción significativa</li> </ul>

**Tabla 7:** Criterios de aceptabilidad para la maniobra de la espirometría vinculada.

Maniobra de espirometría después de la medición de capacidad funcional residual (FRC).	
Aceptable*	<b>Espirometría vinculada</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si es &gt; 6 años, SVC <math>\geq</math> (FVC – 150 mL)</li> <li>• Si es <math>\leq</math> 6 años, SVC <math>\geq</math> (FVC – 100 mL) o (FVC – 10% de FVC), cualquiera que sea menor</li> </ul>
Usable <sup>‡</sup>	<b>Cualquiera de:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si es &gt; 6 años, SVC <math>\geq</math> (FVC – 250 mL)</li> <li>• Si es <math>\leq</math> 6 años, SVC <math>\geq</math> (FVC – 200 mL) o (FVC – 10% de FVC), cualquiera que sea menor</li> </ul>
No aceptable o usable (rechazo)	<b>Cualquiera de:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Espirometría no vinculada en la PC</li> <li>• Si es &gt; 6 años, SVC &lt; (FVC – 250 mL)</li> <li>• Si es <math>\leq</math> 6 años, SVC &lt; (FVC – 200 mL) o (FVC – 10% de FVC), cualquiera que sea menor</li> </ul>

FRC = capacidad funcional residual. FVC = capacidad vital forzada. SVC = capacidad vital lenta.

\* Cumple con los criterios de la Sociedad Americana del Tórax (ATS)/Sociedad Europea Respiratoria (ERS) para la evaluación dentro de la maniobra de la capacidad inspiratoria y SVC. Si la espirometría forzada no se realiza en la misma sesión que los volúmenes pulmonares, una alternativa es que se obtengan al menos tres mediciones de la capacidad vital que cumplan con los criterios de aceptabilidad de ERS/ATS para la evaluación dentro de la maniobra y que la mayor de estas capacidades vitales sea un sustituto para la FVC en esta tabla.

<sup>‡</sup> Interpretar con precaución.

## EVALUACIÓN DE LA PC<sup>7</sup>

El estándar ERS/ATS 2023 de volúmenes pulmonares<sup>7</sup> propone la siguiente clasificación basada en FRC y la espirometría vinculada.

1. **Aceptable:** cumple todos los criterios de calidad.
2. **Utilizable:** reportado y usado con precaución.
3. **No aceptable** o **Rechazada:** considerar no informar.

### Criterios de aceptabilidad

La [Tabla 6](#) enlista los criterios de aceptabilidad para la medición de la FRC<sub>pleth</sub> y la [Tabla 7](#) enlista los de aceptabilidad para la maniobra de espirometría vinculada

### Criterios de repetibilidad

1. Obtenga tres valores de FRC<sub>pleth</sub> (ITGV) aceptables que coincidan en un 5%. Calcule la repetibilidad:

$$[(ITGV \text{ mayor} - ITGV \text{ menor}) / ITGV \text{ promedio}] \times 100$$

Si no logra este valor, puede ser usable un valor de 10%.

## GRADUACIÓN DE LA CALIDAD DE PC<sup>7</sup>

El sistema de graduación considera el número de maniobras aceptables para FRC<sub>pleth</sub>, SVC y la repetibilidad, emitiendo como grado de calidad final de la prueba el más bajo obtenido, por ejemplo; con  $\geq$  3 maniobras aceptables para FRC y SVC con repetibilidad entre 5 y 10%, la prueba se clasifica como C ([Tabla 8](#)).

En los grados D, E y U (usable) se emite un reporte, pero debe ser interpretado con precaución.

## REPORTE DE LA PC<sup>7</sup>

### Selección de maniobras

Si obtiene  $\geq$  2 maniobras aceptables que cumplan con repetibilidad de FRC del 5%, éstas y sus maniobras de espirometría vinculadas deben usarse para informar la FRC y otros volúmenes pulmonares.

El valor reportado para FRC es el promedio de las mediciones de FRC técnicamente aceptables utilizadas para el cálculo de la TLC.

TLC es el promedio de la suma de los valores de FRC técnicamente aceptables y maniobras de IC vinculadas.

RV es el valor reportado para TLC menos la SVC más grande medida. Recomendamos que todos los métodos vinculen las maniobras de espirometría con la medición de FRC para calcular la TLC y/o RV.<sup>7</sup> Para más detalles, véase material suplementario. La [Tabla 9](#) muestra la información que debe contener el reporte.

## INTERPRETACIÓN DE LA PC

El estándar ERS/ATS 2021 recomienda utilizar el límite inferior de la normalidad (LIN) y el límite superior de la normalidad (LSN) o percentil 5 (p5) y percentil 95 (p95), respectivamente. Ya no se toma como referencia el porcentaje del predicho.<sup>6</sup>

Recomienda usar los valores de referencia de *Global Lung Function Initiative* (GLI), los cuales integran mediciones según sexo, rango de edad 5-80 años, procedente de 11



países con la limitación de ser predominantemente para poblaciones europeas.<sup>6</sup>

Hemos analizado los valores referencia de GLI en mexicanos que habitan en una altitud moderada (1,500-2,500 m sobre el nivel del mar) encontrando volúmenes pulmonares más altos y, por tanto, pobre ajuste de esta ecuación a nuestra población. Es importante, que en cada región se analice el ajuste de las diferentes ecuaciones. Con fines de interpretación usar sexo biológico al nacimiento y no género.

El algoritmo actualizado para la interpretación de la PC se muestra en la [Figura 5](#).<sup>6</sup>

Inicie con TLC, si es un patrón restrictivo. (Lado izquierdo del algoritmo).

Una vez diagnosticada la restricción, evalúe la relación FRC/TLC o RV/TLC si es  $>$  LSN o p95, revise la relación FEV<sub>1</sub>/FVC de la espirometría del paciente, si FEV<sub>1</sub>/FVC es patrón mixto (restricción por pletismografía + obstrucción por espirometría).

Si la relación FEV<sub>1</sub>/FVC no es  $<$  al LIN o p5, se trata de una restricción compleja.

Si FRC/TLC o RV/TLC no es  $>$  al LSN o p95 se trata de una restricción simple.

**Tabla 8:** Graduación de la pletismografía corporal.

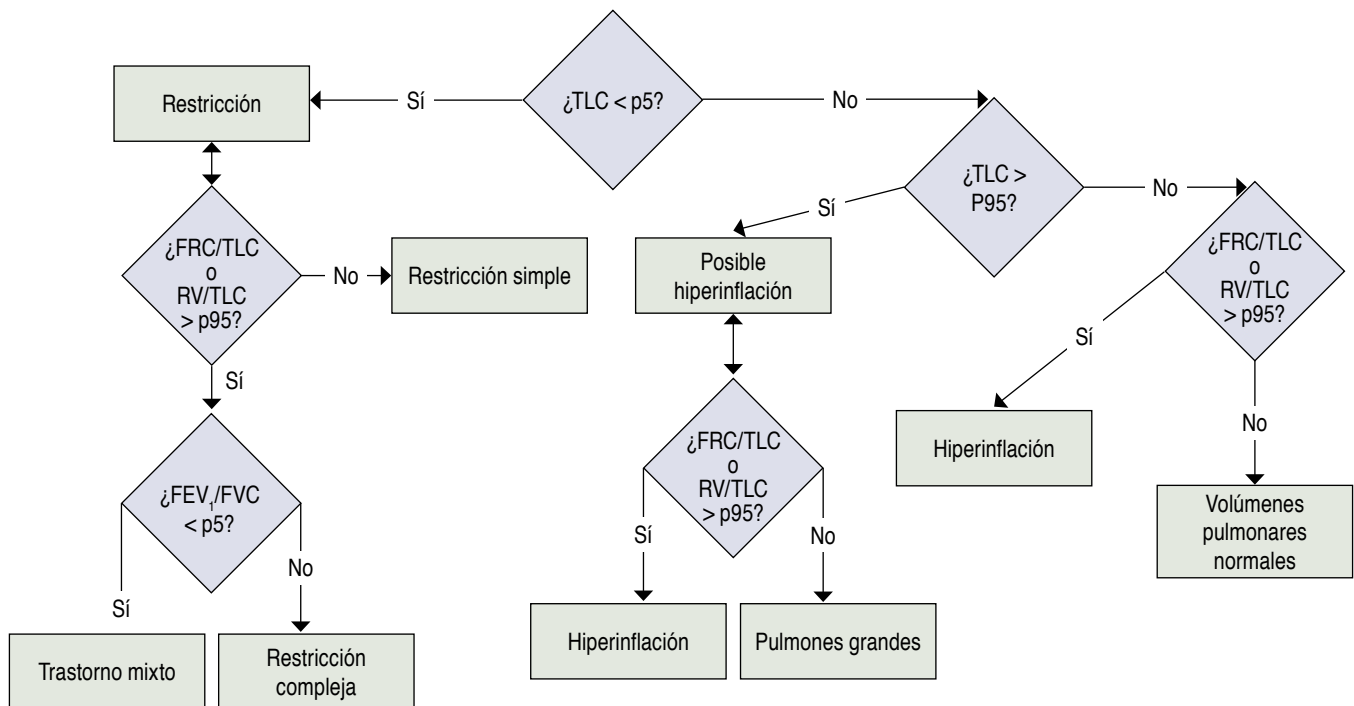
Sistema de graduación para una prueba de volumen pulmonar usando PC			
Grado	Número de mediciones de FRC	Número de mediciones de SVC	Repetibilidad de FRC
A	$\geq 3$ aceptables	$\geq 3$ aceptables	Dentro del 5%
B	$\geq 2$ aceptables	$\geq 2$ aceptables	Dentro del 5%
C	$\geq 2$ aceptables	$\geq 2$ aceptables	Dentro del 10%
D	1 aceptable y $\geq 1$ usable	1 aceptable y $\geq 1$ usable	Dentro del 10%
E	1 aceptable y 0 usable	1 aceptable y 0 usable	NA
U	0 aceptable y $\geq 1$ usable	0 aceptable y $\geq 1$ usable	Dentro del 10%
F	0 aceptable ni usable		

FRC = *funcional residual capacity* (capacidad funcional residual). NA = no aplica. SVC = *slow vital capacity* (capacidad vital lenta).

**Tabla 9:** Elementos que debe contener el reporte de la pletismografía corporal.

Contenido del reporte
Nombre completo del paciente
Fecha de nacimiento
Número de identificación
Parámetros antropométricos (edad, sexo, peso y estatura)
Ecuación de referencia
Valores absolutos de los volúmenes y capacidades pulmonares en litros, con dos decimales y en condiciones de presión ambiental y temperatura corporal (BTPS)
Valores absolutos, porcentajes del predicho; y LIN y Z-score (ERS/ATS 2021) de las tres maniobras aceptables de ITGV-VC, que incluya FRC <sub>pleth</sub> , IC, ERV, VC, TLC y RV
El valor promedio de tres maniobras aceptables para FRC <sub>pleth</sub> , IC, ERV y TLC (cálculo: IC + FRC)
El valor más alto de VC
RV = TLC promedio menos el valor más alto de VC
Gráficas de los espirogramas que demuestren que la maniobra se realizó en forma vinculada y de las maniobras de ITGV
Opcional: fecha de última calibración y datos ambientales

ATS = *American Thoracic Society* (Sociedad Americana del Tórax). BTPS = *body temperature, pressure, saturated* (temperatura corporal y presión saturada con vapor de agua). ERS = *European Respiratory Society* (Sociedad Europea Respiratoria). ERV = *expiratory reserve volumen* (volumen de reserva espiratorio). FRC<sub>pleth</sub> = *funcional residual capacity* (capacidad residual funcional por pletismografía). IC = *inspiratory capacity* (capacidad inspiratoria). ITGV = *intrathoracic gas volume* (volumen de gas intratorácico). LIN = límite inferior de la normalidad. RV = *residual volumen* (volumen residual). TLC = *total lung capacity* (capacidad pulmonar total). VC = *vital capacity* (capacidad vital).



**Figura 5:** Algoritmo de interpretación de volúmenes pulmonares.

FEV<sub>1</sub> = volumen espiratorio forzado en el primer segundo. FRC = capacidad residual funcional. FVC = capacidad vital forzada. p5 = percentil 5. p95 = percentil 95. RV = volumen residual. TLC = capacidad pulmonar total.

Por otra parte, regrese al inicio del algoritmo y revise TLC, si TLC no es < al LIN o p5 (lado derecho de la figura), proceda a ver si es > LSN o al p95, si tampoco está por arriba de estos, analice la relación FRC/TLC o RV/TLC y vea si es > LSN o p95, si no está por arriba, se trata de volúmenes pulmonares normales.

Si la TLC no es > LSN o al p95, pero la relación FRC/TLC o RV/TLC es > p95 se trata de hiperinflación o atrapamiento aéreo.

Si desde el inicio la TLC es > LSN o p95 se trata de una posible hiperinflación, proceda a ver la relación FRC/TLC o RV/TLC, si no es > LSN o p95 se trata de pulmones grandes.

Si en esta misma parte del algoritmo, la FRC/TLC o RV/TLC es > LSN o p95 se confirma la hiperinflación.

La hiperinflación puede ocurrir con TLC, FRC y RV, o sólo con FRC o sólo con RV; en la primera situación, el aumento de la TLC indica pérdida de la retracción elástica,

por lo que probablemente sea debido a enfisema; mientras que, en la última situación, el aumento de la FRC o RV sin aumento de la TLC puede observarse en bronquitis crónica o asma, sugiriendo atrapamiento aéreo.

## CONCLUSIONES

La PC representa una herramienta diagnóstica invaluable en la clasificación de los trastornos ventilatorios. A la luz de las actualizaciones en la técnica de realización y de interpretación, es imperativo que los profesionales de la salud adaptemos y apliquemos estas innovaciones, con la finalidad de mejorar la precisión de las mediciones, profundizar en la comprensión de sus resultados y así facilitar una mejor toma de decisiones clínicas. Aún falta trabajar en una ecuación de referencia que ajuste mejor a la población mexicana.

## Material suplementario

### Resistencia específica de la vía aérea

En mecánica de fluidos, la resistencia se define como la relación entre la presión impulsora (diferencia de presión que impulsa a un fluido a moverse de un punto a otro) y el flujo. Mayor presión necesaria implica mayor resistencia.

En el ámbito respiratorio, la resistencia de las vías respiratorias (Raw) es la relación entre la diferencia de presión entre los alvéolos y la boca (esta última es constante durante la respiración libre) y la tasa de flujo determinada en la boca.<sup>5</sup>

La pletismografía corporal (PC) evalúa la resistencia de las vías respiratorias, pero la medida principal registrada es la resistencia específica de las vías respiratorias (sRaw) que, pese a su nombre, no es una resistencia literal.<sup>17</sup>

Como la presión alveolar no se puede medir durante la respiración libre, se usa un marcador sustituto de la resistencia al flujo de aire, relacionando la tasa de flujo con el volumen de desplazamiento o la presión en la cabina, ambos directamente medibles. Este volumen de desplazamiento refleja los cambios en el volumen torácico necesarios para crear la presión impulsora en el pulmón.<sup>18</sup>

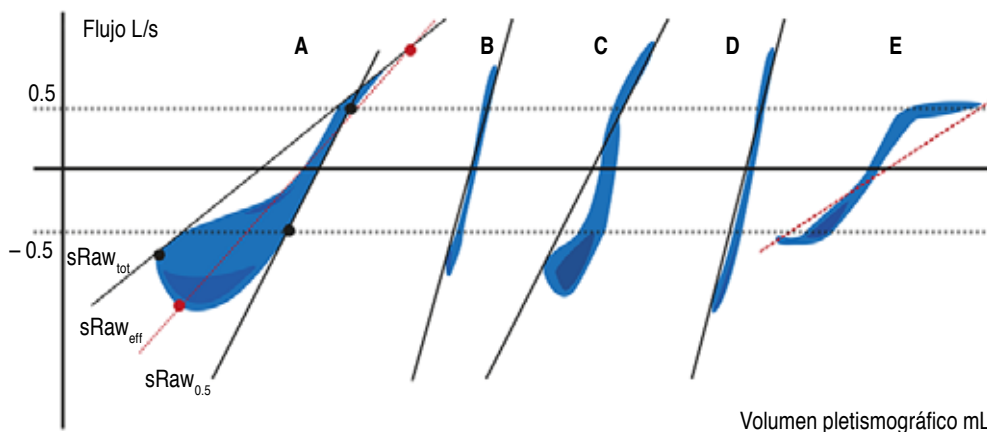
La relación entre el volumen de desplazamiento o, equivalentemente la presión en la cabina y la tasa de flujo, expresada en unidades adecuadas se denomina «resistencia específica de las vías respiratorias, sRaw». Al graficar el flujo verticalmente contra el volumen de desplazamiento horizontalmente se obtienen «curvas cerradas» que indican la sRaw (Figura 6B). En sujetos sanos, estas curvas son casi rectas, mientras que en pacientes con patologías respiratorias muestran patrones útiles para el diagnóstico diferencial (Figura 6). Una curva más plana sugiere mayor sRaw. Es importante diferenciar estas curvas como «asas de resistencia específica» y no simplemente «asas de resistencia», ya que esta distinción afecta la interpretación de los datos.<sup>1,19</sup>

El siguiente ejemplo ilustra cómo el sRaw es afectada por el volumen pulmonar y la resistencia de las vías respiratorias. Considere dos pacientes con idénticos volúmenes y resistencias pulmonares, ambos generan la misma presión alveolar y flujo de aire, resultando en asas idénticas de respiración o sRaw. Sin embargo, si uno de los pulmones es el doble de grande que el otro, este paciente necesitará el doble de volumen de desplazamiento para generar la misma presión, duplicando su sRaw pese a tener la misma resistencia. De forma similar, si los volúmenes son iguales pero la resistencia de uno es el doble que la del otro, el paciente con mayor resistencia requerirá el doble de cambio en la presión alveolar, resultando en un asa menos empujada y una sRaw doble. Esto demuestra que la sRaw varía según el volumen pulmonar y la resistencia de las vías respiratorias, y que las asas de respiración pueden ser similares con diferentes resistencias si las proporciones de volumen y resistencia son inversas.<sup>1</sup>

## PREPARACIÓN DEL EQUIPO ANTES DE LA PRUEBA

### Control de calidad y calibración<sup>14</sup>

1. Verificación de calibración diaria del pletismógrafo corporal.



**Figura 6:** Gráfico flujo-volumen pletismográfico. **A)** Curva de resistencia en un sujeto con obstrucción crónica donde primordialmente en la inspiración se generan grandes cambios de volumen para pequeños cambios de flujo, se presentan los cálculos propuestos de la pendiente que mejor describe a la curva.

- sRaw<sub>tot</sub> se determina como la pendiente de una línea recta trazada entre los puntos máximos de cambio de volumen inspiratorio y espiratorio. Representa un valor máximo y es sensible a cambios en la vía aérea pequeña; sin embargo, tiene una amplia variabilidad.
- sRaw<sub>eff</sub> es la resistencia efectiva específica que corresponde a un análisis dimensional de la curva, desde el cual se informa también una pendiente representativa. Su medición es menos variable, se considera que está compuesta principalmente por resistencia de las vías aéreas centrales.
- sRaw<sub>0.5</sub> consiste en trazar una línea entre los puntos de +0.5 L/s con -0.5 L/s. Generalmente esta porción de la gráfica es más lineal por lo que tiene menor variabilidad y se considera también representativa de la vía aérea central. Su ajuste por flujo permite eliminar valores artificialmente altos por presencia de turbulencia.

**B)** Curva de resistencia normal, los sujetos sanos requieren pequeños cambios de volumen para generar flujo inspiratorio y espiratorio durante la respiración a volumen corriente, los valores de sRaw son muy parecidos en los tres cálculos. **C)** Curva representativa de pacientes con obstrucción aguda. **D)** Resistencia en paciente con enfermedad restrictiva, note como se generan altos flujos para pequeños cambios de volumen. **E)** sRaw de paciente con estenosis traqueal, se requieren amplios cambios de volumen para generar flujos bajos tanto en la inspiración como en la espiración.

Adaptado de: Guerrero-Zúñiga S et al. Pletismografía corporal: recomendaciones y procedimiento. Neumol Cir Torax. 2019;78(Supl 2):S113-S123.

- a. Realice verificación de calibración del transductor de presión de boca en forma diaria.
- b. La señal de pletismografía se calibra diariamente utilizando una señal de volumen con magnitud y frecuencia similar a las que serán registradas con los pacientes.
- c. Durante la verificación de calibración y el uso, evite cambios rápidos en la presión y las vibraciones de la habitación (ejemplo: cierre abrupto de puertas, cambios en las corrientes de aire de la habitación provenientes de la calefacción, ventilación y aire acondicionado, y sistemas de filtro de aire de partículas de alta eficiencia). Los vientos intensos y la luz solar directa también pueden afectar las mediciones.<sup>7</sup>
- d. Asegúrese de que el obturador de oclusión bucal ofrece una resistencia mínima a la apertura y al cierre (es decir, que no se bloquee).
- e. Siga las instrucciones del fabricante para configurar el equipo.
- f. Mensualmente realice la validación de precisión del volumen determinado, con un modelo de pulmón o contenedor con una frecuencia de compresión-descompresión de 0.5 a 1 Hz. La precisión del pletismógrafo debe mantenerse en  $\pm 50$  mL o 3% del volumen del modelo usado (lo que sea más grande) basado en el promedio de cinco determinaciones.
- g. Es conveniente contar con controles biológicos sanos, capaces de lograr maniobras con un coeficiente de variación  $< 5\%$  para FRC y TLC; a quienes se realizan pruebas mensualmente; ante actualizaciones de software o sospechas de error del equipo, mediciones por fuera de dos desviaciones estándar del habitual ameritan verificación exhaustiva del equipo en busca de errores y mantenimiento correctivo.
- h. Verifique que los criterios de aceptabilidad se encuentren dentro de límites aceptables (acorde con las indicaciones del fabricante):
  - h.1. QPB = Factor de calidad (coeficiente de variación) de presión de la cabina.
  - h.2. Verificación Tau (constante de tiempo (Tau) = vida media en segundos).
  - h.3. KPB = Factor de calibración.

## PROCEDIMIENTO DE LA PC

### Medidas antropométricas

1. Registre el peso en kilogramos, en unidades cerradas al 0.5 kg más cercano; mida la estatura con el individuo sin calzado, en posición completamente erecta, talones juntos y mirando al frente.
2. En los pacientes que no puedan mantenerse de pie o sufran de deformidad de caja torácica, puede utilizarse la medición de la extensión de los brazos para estimar la estatura de pie: mida la distancia entre las puntas de los dedos centrales (envergadura del brazo).
3. Para los hombres caucásicos: altura = envergadura del brazo/1.03; para los hombres afroamericanos: altura = envergadura del brazo/1.06; y para las mujeres altura = envergadura del brazo/1.01.
4. En el caso de pacientes que no puedan ser medidos de pie y además no cuenten con un brazo se puede medir la media envergadura, como la distancia entre la punta del dedo medio y la vértebra cervical prominente y se multiplica por 2. Y si se llega a presentar algún paciente con deformidad importante de la postura corporal en quien no sea posible medir la envergadura de forma lineal se deberá calcular la envergadura compuesta (segmentos).

## REPORTE DE LA PC

### Selección de maniobras

En caso de no obtener al menos dos maniobras de FRC aceptables y repetibles, todas las maniobras con FRC aceptable o utilizable y que cumplan con repetibilidad de al menos 10% se deben usar para el cálculo. Si se consideran tres o más maniobras (ejemplo: uno aceptable y dos utilizables) y no se cumple con la repetibilidad de FRC de al menos 10%, la maniobra con la mayor diferencia de FRC respecto al FRC promedio debe descartarse junto con su espirometría vinculada. Luego se recalcula la repetibilidad de FRC y se descartan maniobras adicionales de forma similar hasta que se cumpla con la repetibilidad de al menos 10%. La coexistencia de dos maniobras de FRC aceptables pero que no sean repetibles en al menos 10% es infrecuente; si ocurre, intente obtener otra maniobra para determinar cuál es la atípica.

**Conflicto de intereses:** los autores declaran no tener conflicto de intereses.

## REFERENCIAS

1. Criée CP, Sorichter S, Smith HJ, Kardos P, Merget R, Heise D, *et al.* Body plethysmography - Its principles and clinical use. *Respir Med.* 2011;105(7):959-971. doi: 10.1016/j.rmed.2011.02.006.
2. Schulze J, Smith HJ, Eichhorn C, Salzmänn-Mannique E, Drebler M, Zielen S. Correlation of spirometry and body plethysmography during exercise-induced bronchial obstruction. *Respir Med.* 2019;148:54-59. doi: 10.1016/j.rmed.2019.01.011.
3. Dykstra BJ, Scanlon PD, Kester MM, Beck KC, Enright PL. Lung volumes in 4,774 patients with obstructive lung disease. *Chest.* 1999;115(1):68-74. doi: 10.1378/chest.115.1.68.

4. Frappell PB, MacFarlane PM. Development of mechanics and pulmonary reflexes. *Respir Physiol Neurobiol.* 2005;149(1-3):143-154. doi: 10.1016/j.resp.2005.05.028.
5. Zysman-Colman Z, Lands LC. Whole body plethysmography: practical considerations. *Paediatr Respir Rev.* 2016;19:39-41. doi: 10.1016/j.prrv.2015.11.008.
6. Stanojevic S, Kaminsky DA, Miller M, Thompson B, Aliverti A, Barjaktarevic I, et al. ERS/ATS technical standard on interpretive strategies for routine lung function tests. *Eur Respir J.* 2022;2101499. doi: 10.1183/13993003.01499-2021.
7. Bhakta NR, McGowan A, Ramsey KA, Borg B, Kivastik J, Knight SL, et al. European Respiratory Society/American Thoracic Society technical statement: standardisation of the measurement of lung volumes, 2023 update. *Eur Respir J.* 2023;62(4):2201519. doi: 10.1183/13993003.01519-2022.
8. Quanjer PH, Sly PD, Stocks J. Uniform symbols, abbreviations, and units in pediatric pulmonary function testing. *Pediatr Pulmonol.* 1997;24(1):2-11. doi: 10.1002/(sici)1099-0496(199707)24:1%3C2::aid-ppul2%3E3.0.co;2-s
9. Graham BL, Steenbruggen I, Miller MR, Barjaktarevic IZ, Cooper BG, Hall GL, et al. Standardization of spirometry 2019 update. An official American Thoracic Society and European Respiratory Society technical statement. *Am J Respir Crit Care Med.* 2019;200(8):e70-e88. doi: 10.1164/rccm.201908-1590st.
10. Dubois AB, Botelho SY, Bedell GN, Marshall R, Comroe JH Jr. A rapid plethysmographic method for measuring thoracic gas volume: a comparison with a nitrogen washout method for measuring functional residual capacity in normal subjects. *J Clin Invest.* 1956;35(3):322-326. doi: 10.1172/JCI103281.
11. Shore SA, Huk O, Mannix S, Martin JG. Effect of panting frequency on the plethysmographic determination of thoracic gas volume in chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis.* 1983;128(1):54-59. doi: 10.1164/arrd.1983.128.1.54.
12. Pellegrino R, Viegi G, Brusasco V, Crapo RO, Burgos F, Casaburi R, et al. Interpretative strategies for lung function tests. *Eur Respir J.* 2005;26(5):948-968. doi: 10.1183/09031936.05.00035205.
13. Miller MR, Crapo R, Hankinson J, Brusasco V, Burgos F, Casaburi R, et al. General considerations for lung function testing. *Eur Respir J.* 2005;26(1):153-161. doi: 10.1183/09031936.05.00034505.
14. Coates AL, Peslin R, Rodenstein D, Stocks J. Measurement of lung volumes by plethysmography. *Eur Respir J.* 1997;10(6):1415-1427. doi: 10.1183/09031936.97.10061415.
15. Schonfeldt-Guerrero P, Gochicoa-Rangel L, Aguirre-Franco C, Arce SC, Rodríguez-Flores C. ALAT 2023 Recommendations for performing respiratory function studies. *Arch Bronconeumol.* 2023;59:619-620. doi: 10.1016/j.arbres.2023.04.004.
16. Miller MR, Hankinson J, Brusasco V, Burgos F, Casaburi R, Coates A, et al. Standardisation of spirometry. *Eur Respir J.* 2005;26(2):319-338. doi: 10.1183/09031936.05.00034805.
17. Stocks J, Godfrey S, Beardsmore C, Bar-Yishay E, Castile R; ERS/ATS Task Force on Standards for Infant Respiratory Function Testing. European Respiratory Society/American Thoracic Society. Plethysmographic measurements of lung volume and airway resistance. ERS/ATS Task Force on Standards for Infant Respiratory Function Testing. European Respiratory Society/American Thoracic Society. *Eur Respir J.* 2001;17(2):302-312. doi: 10.1183/09031936.01.17203020.
18. De Mir-Messa I, Sardón-Prado O, Larramona H, Salcedo-Posadas A, Villa-Asensi JR; Grupo de Técnicas de la Sociedad Española de Neumología Pediátrica. Body plethysmography (I): standardisation and quality criteria. *An Pediatr (Barc).* 2015;83(2):136.e1-136.e7. doi: 10.1016/j.anpedi.2014.10.029.
19. Guerrero-Zúñiga S, Vázquez-García JC, Gochicoa-Rangel L, Cid-Juárez S, Benítez-Pérez R, Del-Río-hidalgo R, et al. Body plethysmography: recommendations and procedure. *Neumol Cir Torax.* 2019;78(Supl 2):S113-S123.