

# Mecánica de la ventilación pulmonar. Espirometría.

## **Propósito general**

Identificar las fuerzas que participan en los procesos de inspiración y espiración y correlacionar con los factores que afectan el flujo de aire durante la ventilación.

## **Propósito específico**

Comprender las bases físicas y fisiológicas de la ventilación pulmonar y el intercambio gaseoso

Conocer la diferencia entre un volumen y una capacidad pulmonar.

Conocer los métodos de medición de volúmenes y capacidades pulmonares.

Analizar las diferencias entre los registros espirométricos de las curvas volumen-tiempo y de las curvas flujo- volumen.

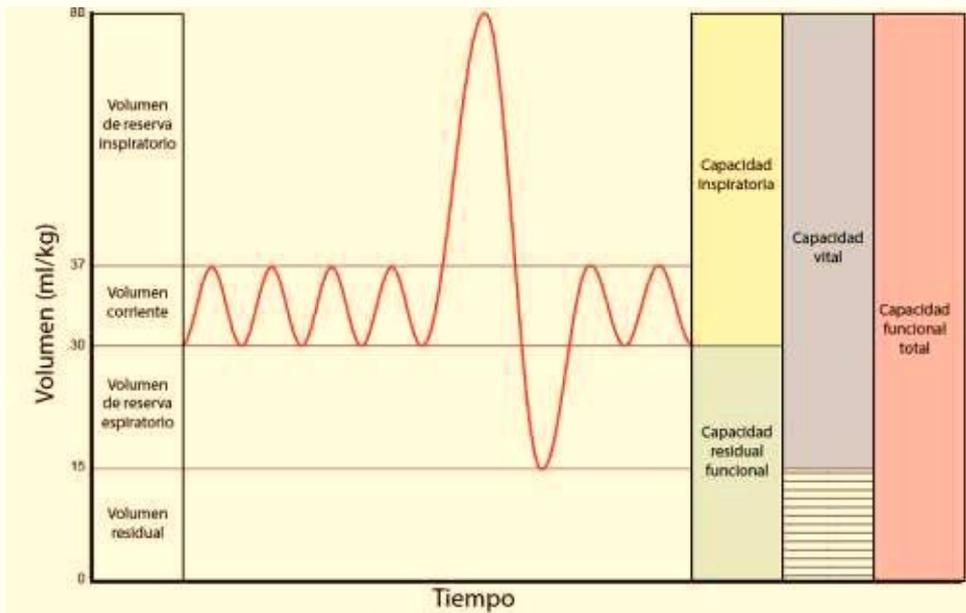
Correlacionar los patrones obstructivos y restrictivos con sus respectivas curvas volumen- tiempo y flujo- volumen.

## **1. Introducción**

El *espirograma* es el registro del movimiento del volumen de aire que entra y sale de los pulmones, se obtiene mediante una prueba de función pulmonar llamada *espirometría*. Los principales volúmenes y capacidades pulmonares que se obtienen mediante esta prueba se describen a continuación. Para una descripción de las características de un espirograma normal, su interpretación y las alteraciones que se pueden observar en un en patologías obstructivas o restrictivas (*ver el anexo I*).

### ***Volúmenes pulmonares estáticos***

Para facilitar la descripción del espirograma este se ha dividido en cuatro volúmenes y cuatro capacidades (Fig. 1).



**Figura 1- Volúmenes y Capacidades Pulmonares.**

## Volúmenes Pulmonares

Se describen 4 volúmenes que cuando se suman, son iguales al volumen máximo al que se pueden expandir los pulmones:

- 1.- **Volumen corriente o volumen de ventilación pulmonar:** es la cantidad de aire que ingresa a los pulmones con cada inspiración o que sale en cada espiración en reposo. Es de aproximadamente 500 ml en el varón adulto.
- 2.- **Volumen de reserva inspiratoria:** se registra cuando se realiza una inspiración forzada, corresponde al aire inspirado adicional al volumen corriente (aproximadamente 3,000 ml)
- 3.- **Volumen de reserva espiratoria:** se registra cuando se realiza una espiración forzada, corresponde al aire espirado adicional al volumen corriente (aproximadamente 1,100 ml).
- 4.- **Volumen residual:** es el volumen de aire que queda en los pulmones después de una espiración forzada; es en promedio de 1,200 ml.

La cantidad de aire inspirado por minuto o ventilación pulmonar normal es de 6 l (500 ml por respiración, por 12 respiraciones por minuto).

## Capacidades pulmonares

En el estudio del paciente con alteraciones pulmonares, a veces es deseable considerar la combinación dos o más de los volúmenes pulmonares. Estas combinaciones se denominan capacidades pulmonares, las cuales se describen a continuación:

1.- **Capacidad inspiratoria:** Es igual al *volumen corriente* más el *volumen de reserva inspiratoria*. Representa la cantidad de aire que una persona puede inspirar, comenzando en el nivel espiratorio normal y distendiendo los pulmones hasta la máxima capacidad, su valor aproximado es de 3600 ml.

2.- **Capacidad residual funcional:** Es el *volumen de reserva espiratoria* más el *volumen residual*. Representa el aire que queda en los pulmones al final de una espiración normal. La capacidad residual funcional corresponde al volumen pulmonar en el que la tendencia de retracción de los pulmones y la tendencia opuesta de la pared torácica a expandirse son iguales, es decir están en equilibrio, y corresponde a la posición de reposo del aparato respiratorio (aproximadamente 2,300 ml).

3.- **Capacidad vital:** Es el máximo volumen de aire espirado tras un esfuerzo inspiratorio máximo. Se obtiene sumando el *volumen de reserva inspiratorio* más el *volumen corriente*, más el *volumen de reserva espiratoria* (aproximadamente 4,600 ml).

En clínica el valor de la capacidad vital es importante debido a que se utiliza como un índice de la *función pulmonar*.

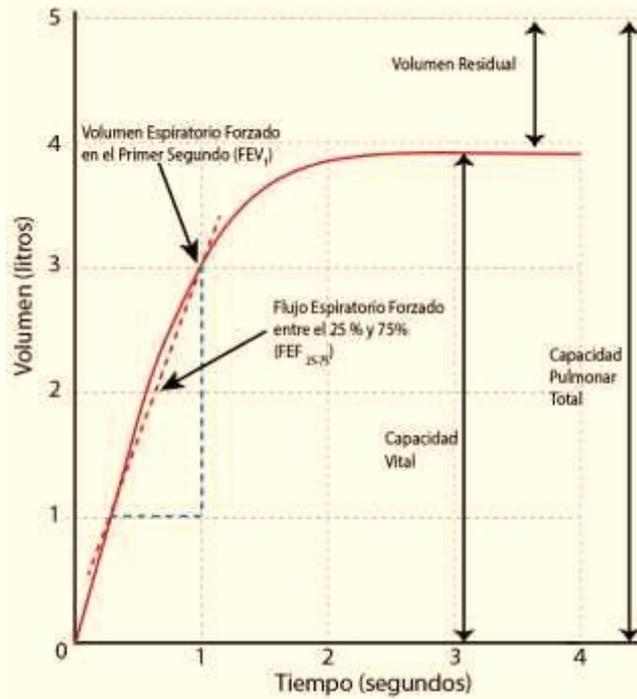
4.- **Capacidad pulmonar total:** Es el volumen máximo que puede ingresar a los pulmones tras un esfuerzo inspiratorio máximo (aproximadamente 5,800 ml). Se obtiene sumando la *capacidad vital* más el *volumen residual*.

## VOLÚMENES PULMONARES DINÁMICOS

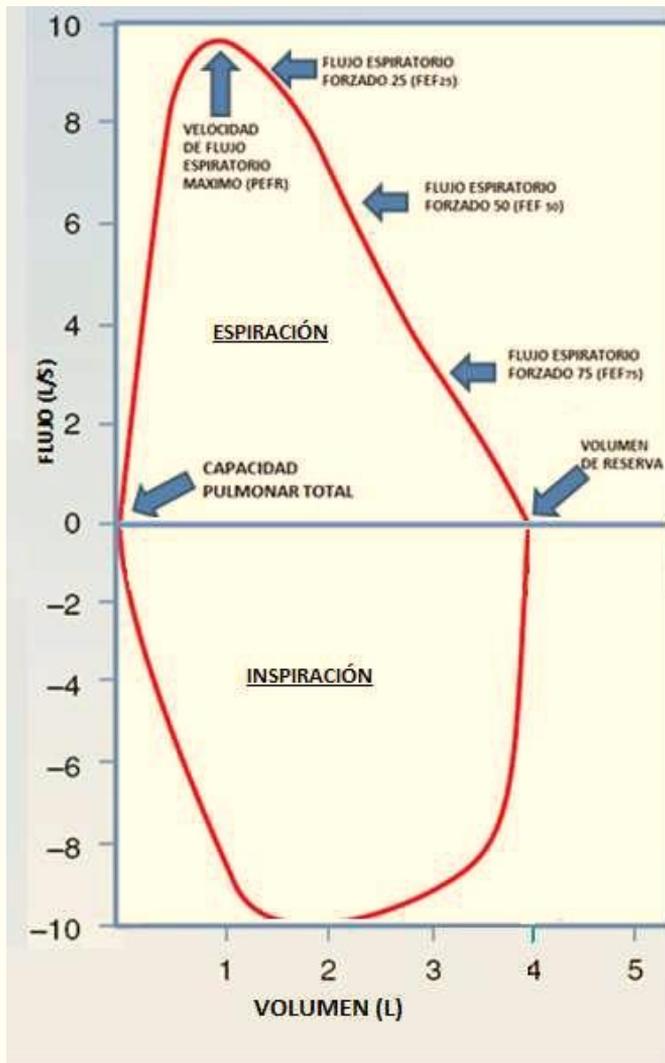
Se denominan dinámicos porque involucran el *factor tiempo*, para su medida se usa el espirómetro. Para realizarla se pide al sujeto que llene de aire sus pulmones al máximo, hasta alcanzar su **Capacidad Pulmonar Total**. Posteriormente se le pide que realice una espiración forzada durante al menos 6 segundos. Con esta maniobra se pueden medir los siguientes parámetros funcionales:

**Capacidad Vital Forzada (CVF):** Es el volumen total que el paciente espira mediante una espiración forzada máxima, después de llenar sus pulmones al máximo.

El **FEV1**, Es el volumen de aire espirado en el primer segundo (Fig. 2).



**Fig. 2. Espiograma.** En el eje horizontal lo que se mide es el aire espirado, por lo que el volumen es cero al inicio del registro.



**Figura 3. Curva Flujo-Volumen.** Relaciona los flujos máximos generados con los volúmenes dinámicos (tanto inspiratorio como espiratorio). En el caso de la rama espiratoria, el primer 30% corresponde a esfuerzo dependiente, mientras que el resto no está relacionado con el esfuerzo si no de la compresión dinámica de las vías aéreas.

Modificado de Koeppen B. M., B. A. Stanton. Berne y Levy: Fisiología. Elsevier, 6ª Ed., 2009.

El **FEF 25-75%**, es el flujo de aire en la parte media de la espiración forzada entre el 25% y 75% (se mide en litros/s). Es la medida más sensible para detectar la obstrucción precoz de las vías respiratorias, sobre todo en las de pequeño calibre. Se obtiene identificando en el trazo espirométrico el 25% y el 75% de los puntos volumétricos de la **Capacidad Vital Forzada**, para después medir el *volumen* y el *tiempo* entre esos dos puntos (litros/s) (Fig. 2 y 3).

**Índice FEV1/CVF (Índice de Tiffeneau):** Es la relación entre el volumen espirado en el primer segundo con respecto a la capacidad vital forzada. Este valor se considera patológico cuando es menor de 0.7. Todos los valores obtenidos se deben comparar con tablas de acuerdo a edad, talla y sexo del paciente. Los valores obtenidos en un espirograma se considerarán normales si se encuentran entre el 80 y 120% de los esperados para ese paciente, de acuerdo con tablas de normalidad poblacional. Todos los volúmenes y capacidades pulmonares son aproximadamente un 20- 25% menores

en mujeres que en varones, y son mayores en personas de constitución grande y atléticas que en personas de constitución pequeña y asténicas.

Existen en dos tipos de espirómetros: los abiertos y los cerrados. Los usados en nuestro laboratorio son espirómetros de tipo abierto con medición a partir de un neumotacógrafo, que miden la diferencia de presión que se genera al pasar un flujo laminar a través de una resistencia conocida. El cabezal transforma el flujo turbulento que pasa a su través en laminar, la diferencia de presión existente entre los extremos del neumotacógrafo es directamente proporcional al flujo. El transductor de presión transforma la señal de presión diferencial en señal eléctrica, que luego es ampliada y procesada. La integración electrónica del valor del flujo proporciona el volumen movilizado.

## 2. Material Espirometría

- Espirómetro
- Oxímetro
- Bolsa de papel estraza
- Ropa cómoda

## 3. Actividad en la sesión

### Procedimiento Experimental (Espirometría)

Se debe realizar la calibración del espirómetro mediante la aplicación un volumen de aire que debe parecerse, tanto en la magnitud de flujos como de volúmenes y tiempos, a la propia señal biológica de la espiración forzada. En este sentido, se realizará la calibración mediante una jeringa certificada de 3 litros, procedimiento que será realizado por el profesor de laboratorio.

### Descripción de la maniobra

Antes de empezar, se darán al sujeto instrucciones precisas, claras y concisas. Tras colocar la boquilla en la boca y comprobar que no hay fugas y que el paciente no la obstruye o deforma se le pedirá que:

- Inspire todo el aire que pueda con una pausa al llegar a la capacidad pulmonar total aproximadamente de 1 segundo
- Sople rápido, fuerte y conservando una postura erguida.
- Prolongue la espiración seguido y sin parar hasta que se le indique.
- Cuando se le indique que pare, retire la boquilla y descanse. Estos pasos se repetirán al menos 3 veces, pero pueden ser más.
- Describa los resultados obtenidos en las espirometrías,
- Defina si cumplen con los criterios de aceptabilidad (ver anexo I).



- En caso de que sean aceptables, discuta si la espirometría es normal o si existe un patrón obstructivo o restrictivo.

### **Preparación del sujeto y el material**

1. Seleccionar un voluntario por equipo (la prueba puede tomar varios minutos).
2. Medir el peso y la altura del voluntario e ingresar su información en el espirómetro.
3. Sostener el neumotacografo, que tiene una boquilla adherida a un extremo. Colocar la boquilla en su boca, apretándola con sus dientes. Asegúrese de que sus labios estén bien sellados alrededor del exterior de la boquilla y que su lengua no bloquee el orificio. Puede respirar normalmente a través de esta boquilla con mucha facilidad.
4. Realizar la prueba con el individuo sentado erguido, sin cruzar las piernas y sin ropa ajustada. Durante la maniobra la espalda estará apoyada en el respaldo, vigilando que no se incline hacia delante durante su realización. La utilización de pinza nasal en la espirometría forzada es controvertida, aunque resulta imprescindible en la medición de la Capacidad Vital, para evitar posibles fugas por la respiración nasal. Pese a que, en la literatura, algunos autores no han identificado diferencias entre maniobras realizadas con o sin pinza nasal, se recomienda su utilización.

Haga un reporte de la práctica con los resultados obtenidos

## 4. Anexo

### INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

#### CRITERIOS DE ACEPTABILIDAD

La decisión sobre la aceptabilidad de una maniobra de espirometría forzada considerará su inicio, su transcurso y su finalización.

1. El inicio debe ser rápido y sin vacilaciones. Como criterio adicional para valorar el inicio de la maniobra se puede utilizar el tiempo en alcanzar el flujo espiratorio máximo (PET), que debe ser inferior a los 120 ms. Si es mayor, se indicará al paciente que sople más rápido al inicio.
2. El transcurso de la maniobra espiratoria debe ser continuo, sin artefactos ni evidencias de tos en el primer segundo que podrían afectar el FEV1. Para verificarlo, debe observarse tanto la gráfica de volumen-tiempo como la de flujo-volumen. En caso de no obtener un registro correcto, generalmente debido a tos o cierre de la glotis, se pedirá al paciente que la realice más relajado (sin dejar de soplar fuerte) y que no disminuya la fuerza generada hasta el final de la espiración.
3. La finalización no debe mostrar una interrupción temprana ni abrupta de la espiración, por lo que los cambios de volumen deben ser inferiores a 25 ml durante  $\geq 1$ s. El final «plano» de la maniobra solo se ve en la curva volumen-tiempo. La maniobra debe tener una duración no inferior a 6 s. Los adultos jóvenes pueden tener dificultad para mantener la espiración más de 4 s, a veces menos. En estos casos hay que verificar que el final no haya sido abrupto. En caso de una mala finalización, se pedirá al paciente que no pare hasta que se le indique, aunque le parezca que no sale aire.

Una maniobra será considerada útil (de ella se derivarán los parámetros espirométricos) cuando tenga un buen inicio y no existan artefactos en el primer segundo. Se considerará que es aceptable (deberán tenerse en cuenta los errores para determinar si pueden utilizarse los parámetros espirométricos obtenidos) cuando no existan errores en el inicio, en el transcurso ni en la finalización.

*VER LOS EJEMPLOS GRAFICOS DE LOS CRITERIOS DE ACEPTABILIDAD AL FINAL DE ESTE DOCUMENTO.*

#### CRITERIOS DE REPETIBILIDAD

La diferencia entre las 2 mejores CV, CVF y FEV1 aceptables debe ser inferior a 150 ml. Se realizarán un mínimo de 3 maniobras aceptables, con un máximo de 8, dejando entre ellas el tiempo suficiente para que el paciente se recupere del esfuerzo.

#### Valores de referencia

Los parámetros de las pruebas de función pulmonar presentan una gran variabilidad interindividual y dependen de las características antropométricas de los pacientes (sexo, edad, talla, peso y raza). La interpretación de la espirometría se basa en la comparación de los valores producidos por el paciente con los que teóricamente le corresponderían a un individuo sano de sus mismas características antropométricas.

### **Interpretación**

La espirometría es útil para el diagnóstico, para la valoración de la gravedad y para la monitorización de la progresión de las alteraciones ventilatorias. Su interpretación debe ser clara, concisa e informativa y su evaluación debe ser individualizada, teniendo en cuenta la representación gráfica y los valores numéricos junto con la integración del interrogatorio clínico. Se considera que la espirometría es normal cuando sus valores son superiores al límite inferior del intervalo de confianza (LIN). El LIN está alrededor del 80% del valor teórico del FEV1, CVF y CV, de 0,7 para la relación FEV1/FVC, y aproximadamente el 60% para el FEF25-75% en sujetos menores de 65 años y detallas no extremas.

### **EJEMPLOS GRÁFICOS DE LOS CRITERIOS DE ACEPTABILIDAD**

#### **Recordar que se deben considerar los siguientes puntos: Inicio Adecuado**

- Elevación abrupta y vertical del volumen forzado y se debe alcanzar en menos de 120 ms.

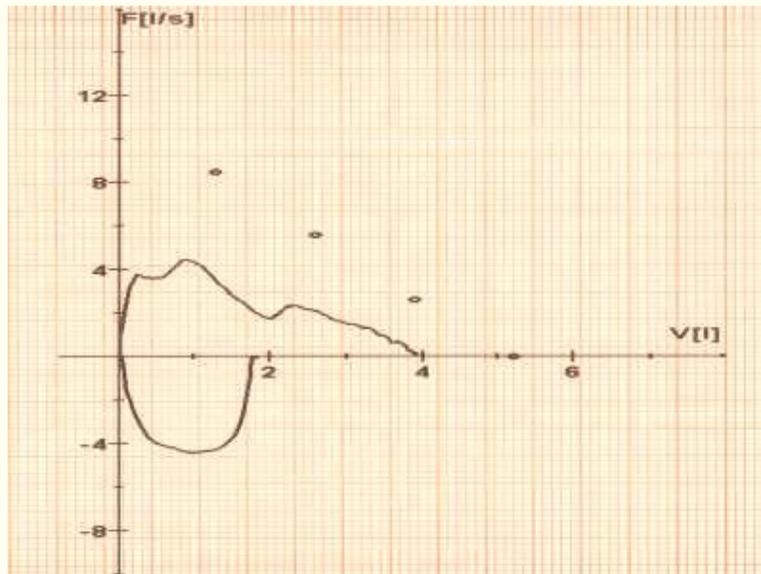
#### **Termination adecuada**

- Sin cambios mayores de 25 ml durante al menos 1 segundo en la curva volumen-tiempo.

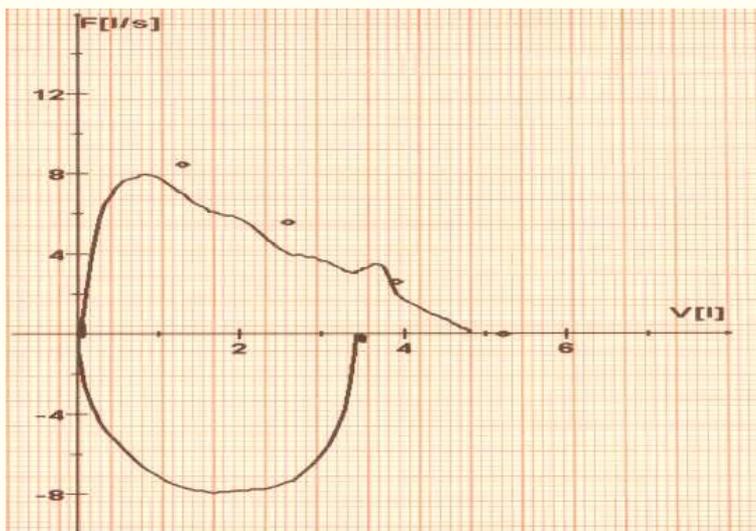
#### **Libre de artefactos**

- Sin terminación temprana
- Sin tos
- Sin cierre glótico
- Sin esfuerzo variable
- Sin exhalaciones repetidas
- Sin fuga alrededor de la boquilla.

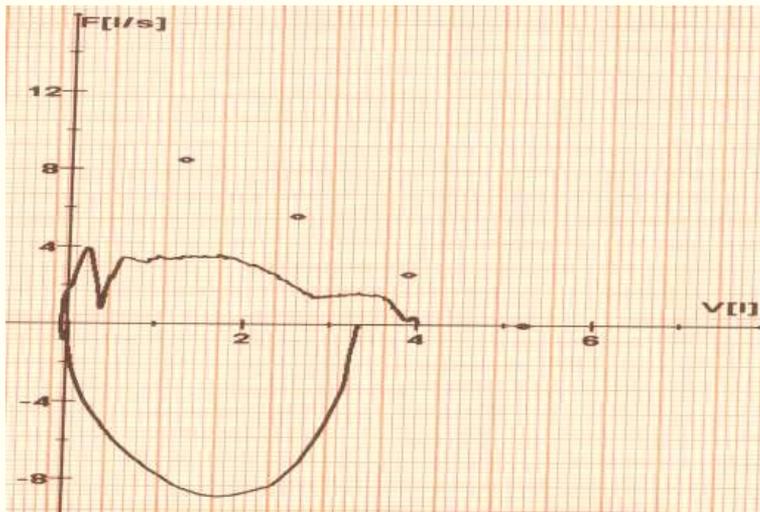
## EJEMPLOS



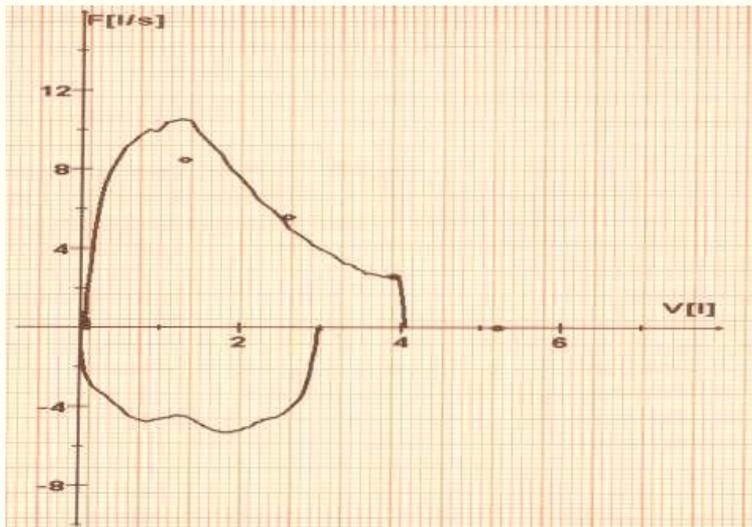
**Inicio no adecuado.** Sin presencia de elevación abrupta y vertical.



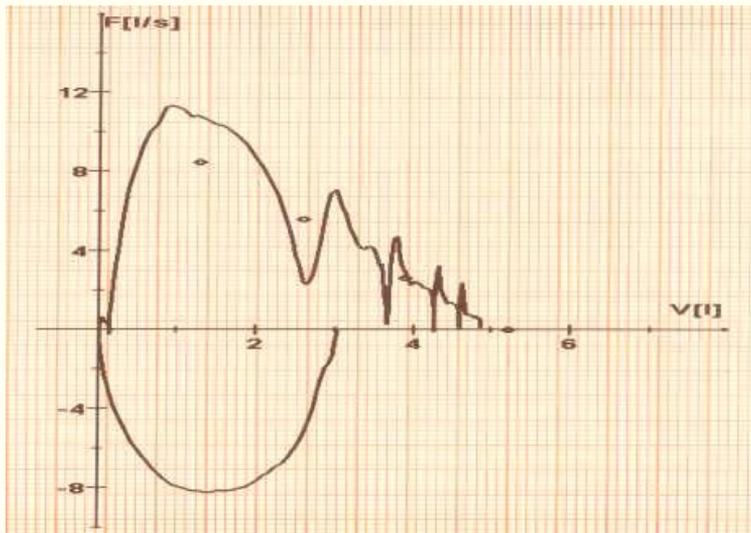
**Doble exhalación.** Posterior a inicio que tampoco es adecuado, se presenta un segundo pico que indica que se realizó una segunda exhalación.



**Fuga de aire a través de la boquilla.** Se presenta inicio súbito. Con presencia de picos y descensos abruptos que indican que el flujo no es continuo por presencia de fuga intermitente de aire entre la boquilla y el paciente.



**Cierre glótico.** Con inicio inadecuado con doble exhalación y en la parte final de la exhalación se presenta caída abrupta del flujo, que indica que durante la exhalación forzada se presentó cierre abrupto de vía aérea superior (glotis) por el esfuerzo forzado realizado.



**Tos.** Durante el descenso se presentan múltiples picos que indican esfuerzos súbitos y continuos sugerente de acceso de tos.

### **Alteraciones respiratorias: un enfoque espirométrico clínico**

#### **Alteraciones Obstructivas**

En este tipo de alteración las enfermedades más representativas son la Bronquitis crónica, el enfisema y el asma, las tres se engloban en el término, Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC), la cual se caracteriza por obstrucción crónica de las vías aéreas pequeñas.

El flujo aéreo puede verse obstruido de tres formas:

Excesiva producción de moco en la bronquitis,

Estrechamiento causado por espasmo bronquial como en el asma

Colapso de las vías aéreas durante la espiración como en el enfisema.

Se define por una relación FEV1 /FVC reducida (menor del LIN). En la práctica clínica el uso ha impuesto, por su sencillez, la definición de obstrucción a partir de una relación FEV1 /FVC menor de 0,7.

Como ya se mencionó, existe una dificultad para el vaciamiento pulmonar, en la mayoría de las ocasiones el ingreso de aire es normal, lo que en la espirometría se traduce, como una disminución de la velocidad de flujo espiratorio para cualquier volumen pulmonar y aumento del volumen residual.

Conforme la enfermedad avanza se observa disminución del índice de Tiffeneau, mayor aumento del volumen residual con Capacidad pulmonar total normal o aumentada, así como aumento de la relación Volumen Residual/Capacidad Pulmonar Total y descenso de la Capacidad Vital por el aumento del volumen residual. En adultos un descenso del índice de Tinneauf por debajo de 0.7 se considera un patrón obstructivo.

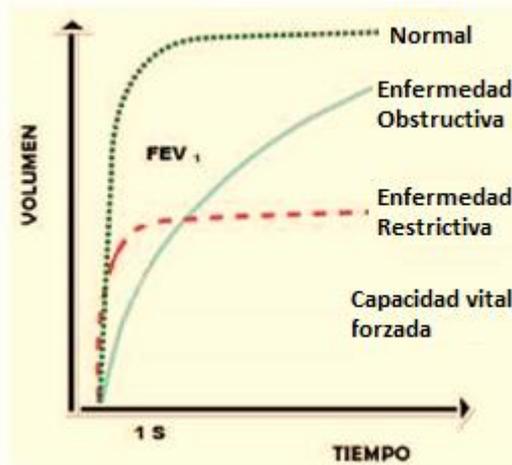
### Alteraciones restrictivas

Se caracterizan por dificultad para el llenado pulmonar lo que originará disminución de los volúmenes pulmonares especialmente de la *Capacidad Pulmonar total* y de la *Capacidad Vital*. El diagnóstico se establece cuando la Capacidad pulmonar total es menor del 80% del valor esperado.

Se define por una FVC reducida con una relación FEV1/FVC por encima del LIN o incluso al valor medio de referencia. Se debe sospechar un trastorno restrictivo cuando la FVC esté por debajo del LIN, la relación FEV1/FVC supere su LIN.

Estas alteraciones se clasifican en intraparenquimatosas extraparenquimatosas, dependiendo de dónde se encuentre lo que está causando la restricción al llenado. En *las intraparenquimatosas* como en la fibrosis, existe rigidez del parénquima, lo que causa que al pulmón le cueste trabajo llenarse de aire, el volumen residual disminuye con un flujo espiratorio normal o casi normal.

Cuando la restricción es *extraparenquimatosas* por disfunción inspiratoria y espiratoria, al pulmón le cuesta trabajo llenarse y vaciarse, por lo que el volumen residual aumenta al no poder vaciarse adecuadamente.



Se muestra el espirograma de un paciente normal, de un paciente con un patrón respiratorio obstructivo y el de un paciente con un patrón respiratorio restrictivo.

Modificado de *Manual para el uso y la interpretación de la espirometría por el médico*, 1ª Ed. Asociación Latinoamericana del Tórax. México, 2007.

## 5. Referencias

1. Fox, Stuart Ira., Fisiología Humana, 13ª edición, Mc Graw Hill, México D.F., 2014.
2. Peter Atkins, Julio De Paula, “Atkins Química Física”, 8va edición, Editorial Médica Panamericana, 2007.
3. Guyton, A. C. y Hall, J. E. Tratado de Fisiología Médica. 13a Ed. Barcelona, España. Editorial Elsevier Saunders, 2016.
4. Ganong WF. Fisiología Médica. Mc Graw Hill - Lange, 25ª Edición 2016.
5. Boron W. y Boulpaep, E. Medical Physiology, 3a Ed., Philadelphia, Editorial Elsevier- Saunders, 2017.
6. Manual para el uso y la interpretación de la espirometría por el médico, 1ª Ed. Asociación latinoamericana del Tórax. México, 2007.
7. Oliva Hernandez C. Estudio de la función pulmonar en el paciente colaborador Parte I. Anales de Pediatría, Asociación Española de pediatría. 2007. P 393- 406.



CC BY

Esta obra está bajo una  
Licencia Creative Commons  
Atribución 4.0 Internacional