

## UNIDAD 2: REVISIÓN DE LA ESPIROMETRÍA

### A. Definición de la espirometría

La **espirometría** es una prueba médica de tamizaje que va a medir varios aspectos de la función respiratoria y del pulmón. Se lleva a cabo utilizando un **espirómetro**, un dispositivo especial que registra la cantidad de aire que un sujeto inhala o exhala así como la velocidad a la cual dicho aire es desplazado hacia fuera o dentro del pulmón. Los **espirogramas** son trazos o registros de la información obtenida con la prueba. La prueba espirométrica más común requiere que la persona exhale tan fuerte como pueda, después de haber realizado una inspiración profunda. El esfuerzo del paciente se denomina **maniobra espiratoria forzada**.

### B. Tipos de espirómetros

Existen dos tipos de espirómetros: 1) aquéllos que registran la cantidad de aire exhalado o inhalado en un determinado intervalo de tiempo (espirómetros de volumen) y 2) aquellos que miden qué tan rápido fluye el aire cuando se desplaza hacia adentro o hacia afuera del pulmón, conforme se incrementa el volumen de gas inhalado o exhalado (espirómetros de flujo). Ambos tipos se usan para la detección de enfermedades pulmonares. (Los estándares de los equipos de espirometría se discuten en la **unidad 8: Revisión de los estándares del equipo de espirometría**).

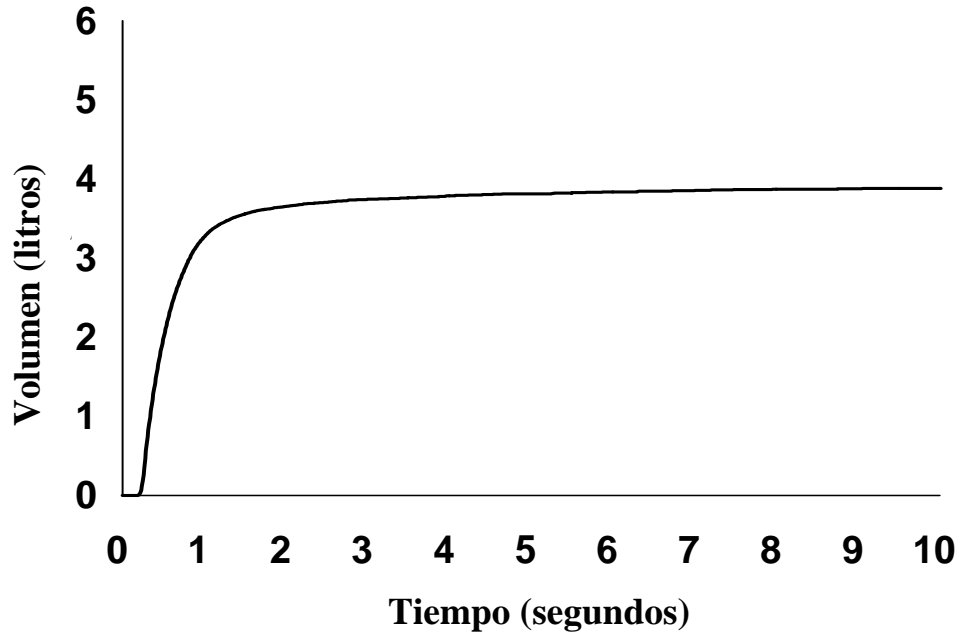
#### 1. Espirómetros de volumen

Los espirómetros de volumen registran la maniobra espiratoria forzada en el momento en que se produce. Cuando el sujeto respira por una boquilla, el aire se mueve hacia un cilindro, una campana de plástico o un diafragma de goma, que a su vez mueve una aguja o plumilla que traza o inscribe una curva sobre el papel gráfico en movimiento. Los espirómetros de sello de agua, los de sello rotador en seco y los espirómetros de fuelle son las tres clases de espirómetro más ampliamente utilizadas (6,9).

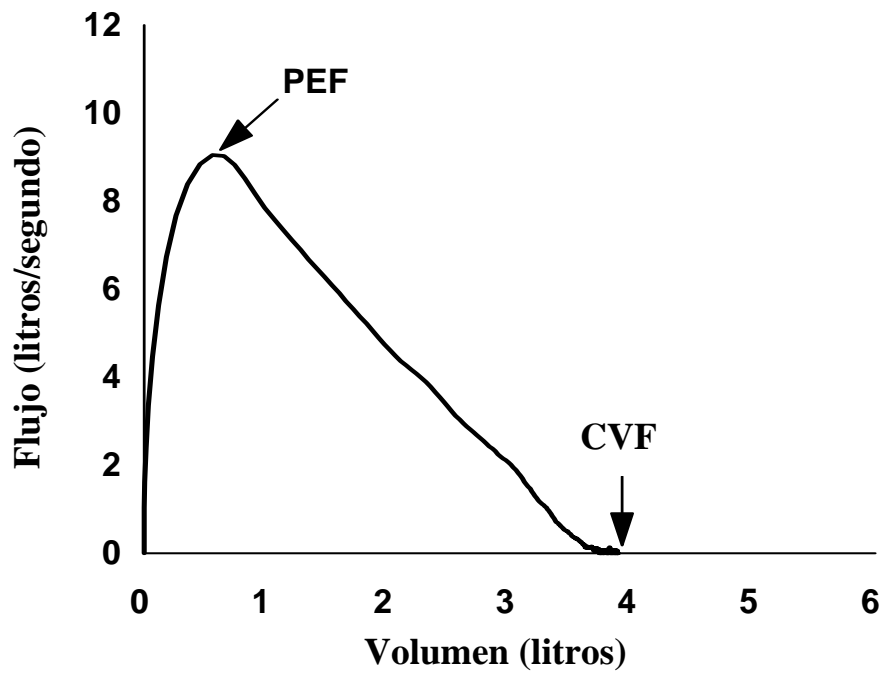
#### Principales características

1. El trazo registra el volumen con relación al tiempo. El eje “y” (vertical) representa el volumen en litros y el eje “x” (horizontal) representa el tiempo en segundos. (Véase **figura 2-1. Curva normal volumen-tiempo**).

**FIGURA 2-1. CURVA NORMAL VOLUMEN-TIEMPO**



**FIGURA 2-2. CURVA NORMAL FLUJO VOLUMEN**



2. En la mayoría de los dispositivos de volumen, la inscripción del trazo se produce mecánicamente durante la maniobra espiratoria del sujeto. Este tipo de espirograma se denomina en ocasiones como trazo de “tiempo real”. Los trazos de “tiempo real” son útiles por las siguientes razones:
  - a. El técnico puede fácilmente determinar cuándo terminar la prueba, observando cómo el esfuerzo del sujeto se va registrando conforme ocurre. Sin embargo, algunos dispositivos de volumen no producen un trazo en “tiempo real”. En su lugar, el trazo es inscrito o impreso una vez que la maniobra espiratoria forzada ha terminado y la computadora ha completado sus cálculos. Si el trazado de volumen-tiempo se produce de manera electrónica, el técnico deberá esperar una versión digitalizada del trazo sobre la pantalla de la computadora.
  - b. Los trazos producidos de manera mecánica permiten el cálculo a mano de los valores espirométricos (véase **unidad 5: Cálculos espirométricos básicos**). Aún si el sistema de la computadora falla, la información del trazo puede ser analizada.
  - c. No son necesarias computadoras o microprocesadores para las operaciones básicas.
3. Algunos espirómetros de volumen son portátiles y susceptibles de operarse en una gran variedad de condiciones ambientales.
4. En ellos son fáciles de llevar a cabo tanto una prueba de fugas como la calibración con la jeringa de tres litros (véase **unidad 3: Programa de garantía de calidad**).
5. Muchos espirómetros de volumen pueden producir curvas o ciclos de flujo/volumen, si se añade un circuito electrónico o digital.

### **Otras consideraciones**

1. Los espirómetros de volumen mantienen su calibración por años, mejor que los espirómetros de flujo.
2. Cuando se usan trazos volumen-tiempo, no resulta práctico determinar a mano el flujo espiratorio pico (FEP), esto es, el punto de flujo máximo de aire durante la maniobra espiratoria forzada, ni tampoco el flujo instantáneo a determinado volumen. Sin embargo, es posible añadir un equipo especial que permitirá que se obtenga dicha información. Los registros o gráficas flujo-volumen se pueden también derivar de muchos de los espirómetros de volumen que se encuentran equipados con un potenciómetro o un descodificador digital conectado a una computadora.
3. Los episodios de tos no resultan tan obvios como se presentan en los trazos de flujo-volumen. El significado de la tos durante una maniobra espiratoria forzada se discute en la **unidad 4: Técnica espirométrica**.

4. Algunos espirómetros de volumen son pesados, difíciles de mover, y pueden fácilmente albergar levaduras o bacterias si no se limpian de una manera adecuada.

## 2. Espirómetros de flujo

Los espirómetros de flujo miden que tan rápido pasa el flujo de aire a través de un detector, y de esa manera calculan el volumen por medios electrónicos. Registran la velocidad del flujo a intervalos muy breves, tales como 30 a 300 veces por segundo, y usan la información obtenida para reconstruir la velocidad del flujo en cada punto del tiempo y del volumen. Este proceso se denomina digitalización. Los tipos más comunes de espirómetros de flujo son los neumotacógrafos, los anemómetros de alambre caliente y los flujómetros de turbinas.

### Características principales

1. Los trazos miden el flujo en relación al volumen. El eje “y” (vertical) o abscisa representa la velocidad del flujo de aire en litros por segundo, y el eje “x” (horizontal) representa el volumen en litros (véase **figura 2-2. Curva normal de flujo volumen**).
2. Los trazos de flujo-volumen son útiles por varias razones:
  - a. El flujo espiratorio pico (FEP) y el flujo instantáneo a cualquier volumen dado, pueden ser fácilmente determinados y los patrones de inicios lentos o con titubeo son más fáciles de reconocer.
  - b. Es muy fácil detectar un episodio de tos debido a que el flujo cae hasta cero, cesando el flujo de aire cuando se cierra la glotis.
  - c. Es fácil detectar un posible artefacto, tal como la oclusión causada por la lengua del sujeto o por sus dientes, debido a que en estos casos el flujo pico va a ser variable o reducido.
  - d. Muchos espirómetros de flujo pueden también imprimir ciclos de flujo-volumen. Éstos dan información tanto de la inhalación como de la exhalación.
3. La computadora puede producir un trazo volumen-tiempo a partir de la información digitalizada de la velocidad de flujo. Sin embargo, estos trazos no son producidos mecánicamente.
4. Los espirómetros de flujo son habitualmente más ligeros y más fáciles de transportar que los espirómetros de volumen.
5. Los sensores de flujo desechables para un uso único, disponibles en algunos de los espirómetros de flujo, van a eliminar el riesgo (extremadamente bajo) de contaminación cruzada.

## Otras características

1. Los trazados no son producidos durante la maniobra real sino que en su lugar, son reconstruidos posteriormente a partir de la información computarizada que ha sido registrada. No hay un trazo en “tiempo real” o “hard-copy” que sea registrado de manera independiente del sistema electrónico. Esto puede ser un problema por las siguientes razones:
  - a. El equipo debe incluir una computadora, un microprocesador u otro circuito electrónico; de esa manera, si el sistema electrónico falla completamente, no va a haber un trazado a partir del cual se puedan calcular los valores espirométricos manualmente.
  - b. En algunos sistemas, los técnicos tienen que basarse en la computadora para decidir el fin de la prueba.
  - c. Ya que el trazado es reconstruido, habitualmente va a corresponder con la impresión. De esa manera, los cálculos manuales pueden no ofrecer una manera confiable para verificar que el sistema esté trabajando de manera adecuada.
  - d. Los estándares Cotton Dust así como otras regulaciones federales requieren la elaboración de trazos. De acuerdo a los estándares de Cotton Dust “los trazos deben ser almacenados y estar disponibles para una revisión, y deben ser de dimensiones suficientes para que puedan hacerse mediciones manuales (10)” (Véase **apéndice E. Estándares del Cotton Dust de la OSHA, apéndice D**).
2. El volumen espiratorio forzado en un segundo ( $VEF_1$ ) no puede ser calculado de manera manual a menos que el tiempo esté señalado en segundos en un trazado de flujo-volumen. El  $VEF_1$  es uno de los cálculos espirométricos básicos utilizados en la vigilancia médica. Se discute con más detalle en esta unidad y en la **unidad 4: Técnica espirométrica** y en la **unidad 5: Cálculos espirométricos básicos**.
3. Algunos de los espirómetros de flujo son más difíciles de calibrar que los espirómetros de volumen y pueden perder sus calibraciones con el transcurso del tiempo, si no reciben un mantenimiento adecuado. Los espirómetros de flujo pueden también ser menos exactos para determinar los volúmenes, ya que el cálculo de estos volúmenes debe ser derivado a partir de las señales de flujo.

## C. Medidas importantes del desempeño ventilatorio

Ciertas enfermedades o condiciones afectan la velocidad a la cual el aire puede moverse a través de los pulmones (enfermedades obstructivas) o la capacidad de los pulmones para expandirse (enfermedades restrictivas). (Para más información, véase **unidad 1: Revisión de la anatomía y la fisiología pulmonar** y el **apéndice C. Revisión de la enfermedad pulmonar ocupacional**). Ya que los espirogramas revelan tanto la velocidad del flujo de aire y el volumen de aire desplazado, estos estudios pueden identificar a aquellos individuos que tengan estas enfermedades o condiciones.

Tres mediciones obtenidas por medio de la espirometría son de particular utilidad: **la capacidad vital forzada (CVF), el volumen espiratorio forzado en un segundo (VEF<sub>1</sub>) y el cociente del VEF<sub>1</sub> entre la CVF**. Los espirómetros computarizados frecuentemente imprimen seis o más mediciones de flujo o volumen. Sin embargo, para la mayor parte de los objetivos, es suficiente la CVF y el VEF<sub>1</sub>. La CVF es el volumen total de aire exhalado después de una **maniobra espiratoria** forzada (el acto de exhalar tan fuerte y rápido como se pueda, después de una inspiración máxima). La CVF no debe ser confundida con la **capacidad vital**, la cual se define como la máxima cantidad de aire que el sujeto puede expeler después de una inspiración profunda, ya sea que dicho volumen sea exhalado de manera forzada o no. En sujetos sin obstrucción de las vías aéreas, la CVF es habitualmente igual a la CV. El VEF<sub>1</sub> es la cantidad de aire que una persona expulsa durante el primer segundo de una maniobra espiratoria forzada. (Véase **figura 2-3. CVF y VEF<sub>1</sub> en una curva normal volumen-tiempo** y la **figura 2-4. CVF y VEF<sub>1</sub> en una curva normal flujo-volumen**.)

El cociente del VEF<sub>1</sub> entre la CVF se obtiene haciendo la división. (Véase **unidad 5: Cálculos Espirométricos básicos**, para conocer las instrucciones al trabajar estas mediciones en la computadora.)

Una persona con una CVF baja puede tener una enfermedad restrictiva mientras que un bajo cociente VEF<sub>1</sub>/CVF puede indicar una enfermedad obstructiva. (Véase **figura 2-5. Patrones normal y restrictivo de las curvas volumen tiempo, figura 2-6. Curvas de flujo-volumen, figura 2-7. Patrones normal y obstructivo de curvas volumen-tiempo, y figura 2-8. Curvas de flujo-volumen**). Por ejemplo, en promedio 70-80% de la CVF se exhala en el primer segundo en una persona sana, mientras que una persona con obstrucción de la vía aérea puede ser capaz de exhalar el 60% o menos de la CVF en el primer segundo aun cuando la CVF pueda ser normal. Una persona con una CVF baja típicamente tiene también un VEF<sub>1</sub> bajo, indicando un posible patrón restrictivo. Algunos individuos pueden mostrar también evidencia de una combinación de obstrucción aérea y una CVF baja. (Ver **figura 2- 9. Curvas volumen tiempo normales y con patrón mixto y figura 2- 10. Curvas flujo volumen**). Deberá ser señalado que algunos clínicos pueden considerar que estas curvas muestran un patrón obstructivo en lugar de un patrón mixto. En muchos casos, la baja CVF propia de un patrón de alteraciones mixto es secundaria al atrapamiento de aire y a la espiración incompleta debido a una obstrucción moderada o severa de las vías aéreas. **La tabla 1. Enfermedades respiratorias y resultados de la espirometría** muestra la posible relación entre los resultados de la espirometría y la enfermedad pulmonar.

FIGURA 2-3. FVC y FEV<sub>1</sub> EN UNA CURVA NORMAL VOLUMEN-TIEMPO

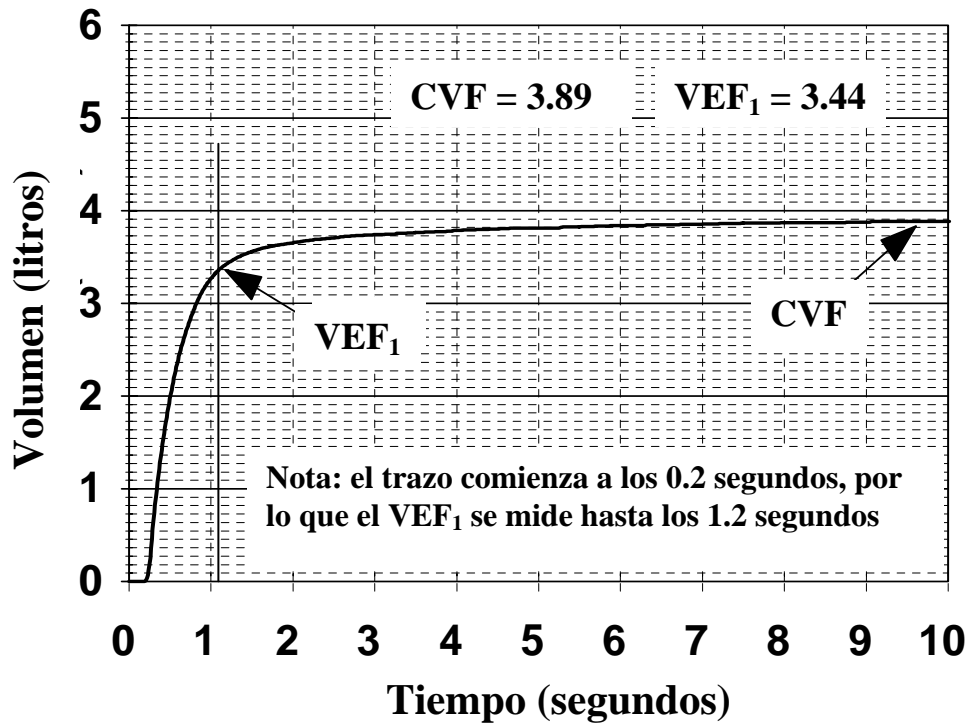


FIGURA 2-4. CVF Y VEF<sub>1</sub> EN UNA CURVA FLUJO VOLUMEN-NORMAL

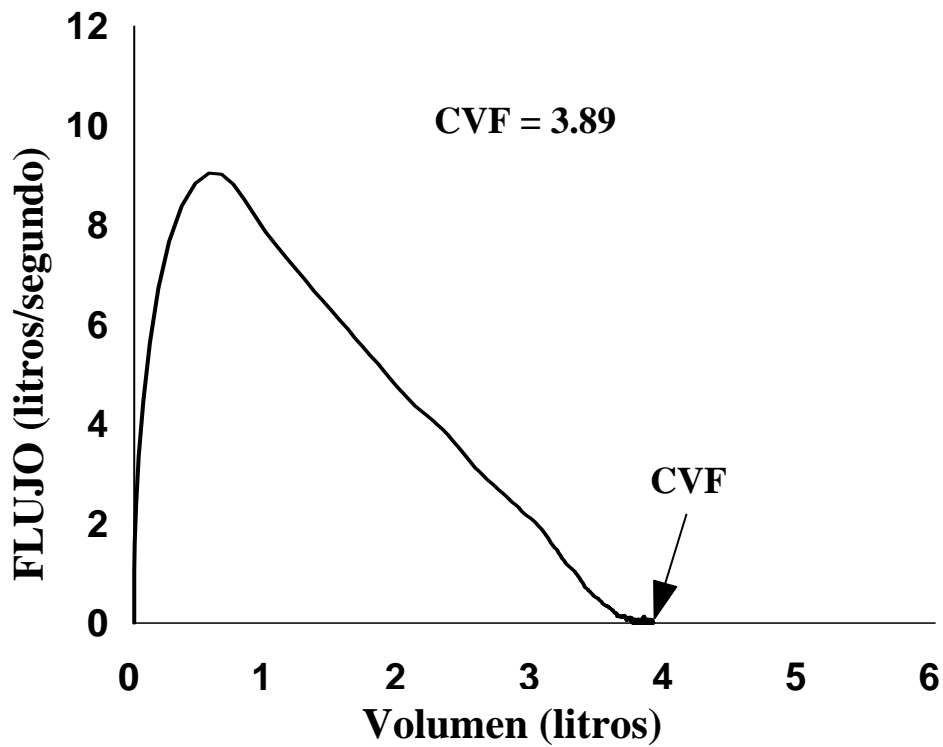


FIGURA 2-5. PATRONES NORMAL Y RESTRICTIVO EN CURVAS DE VOLUMEN-TIEMPO

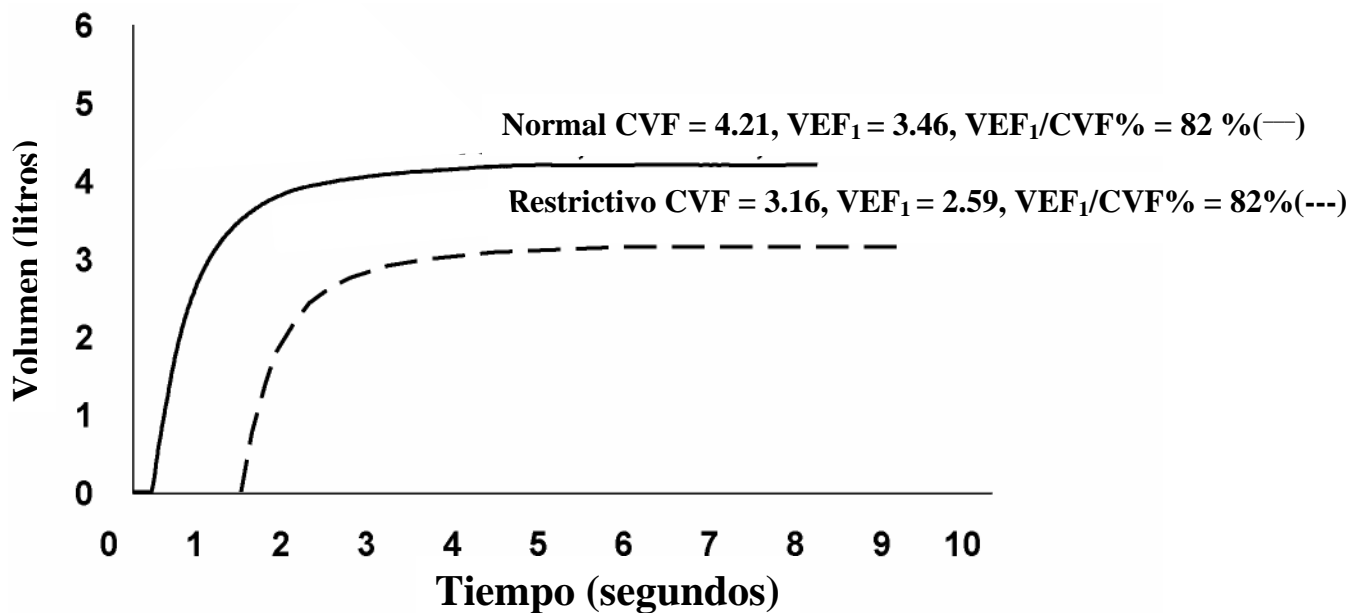
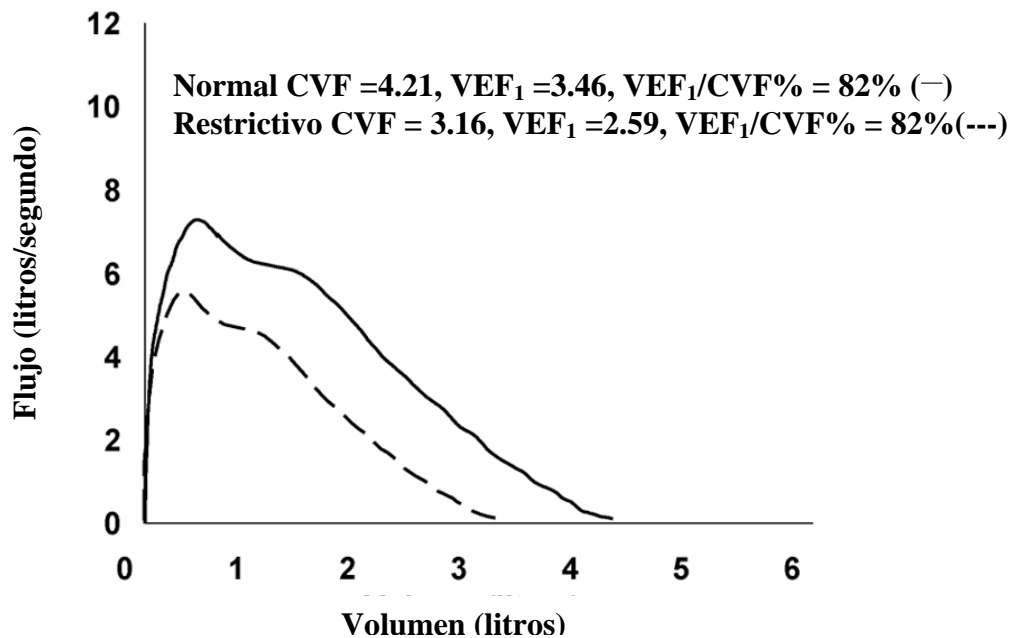
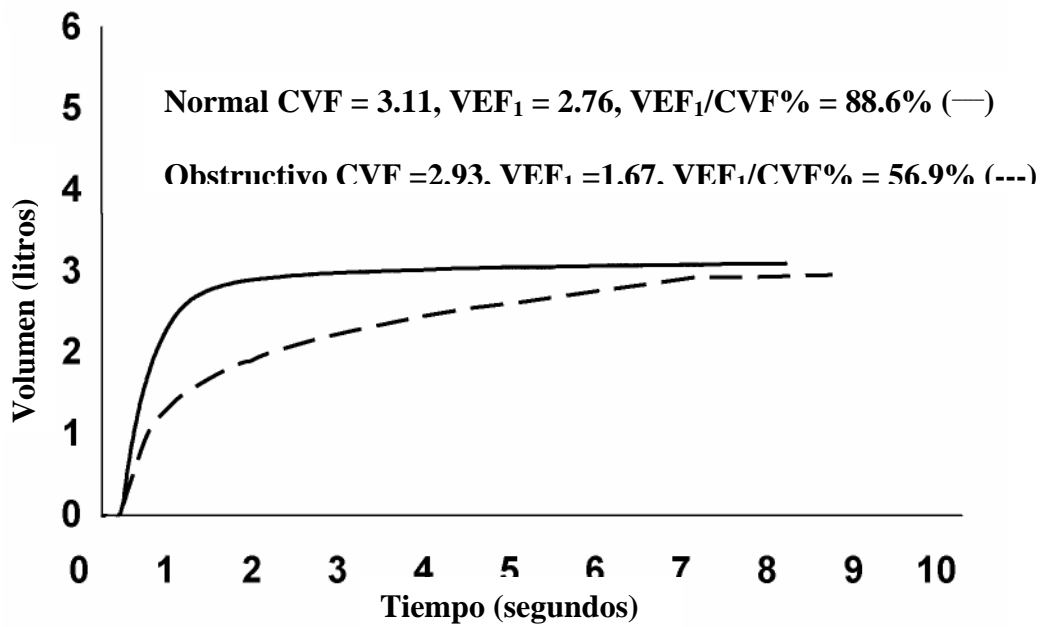


FIGURA 2-6. CURVAS DE FLUJO-VOLUMEN

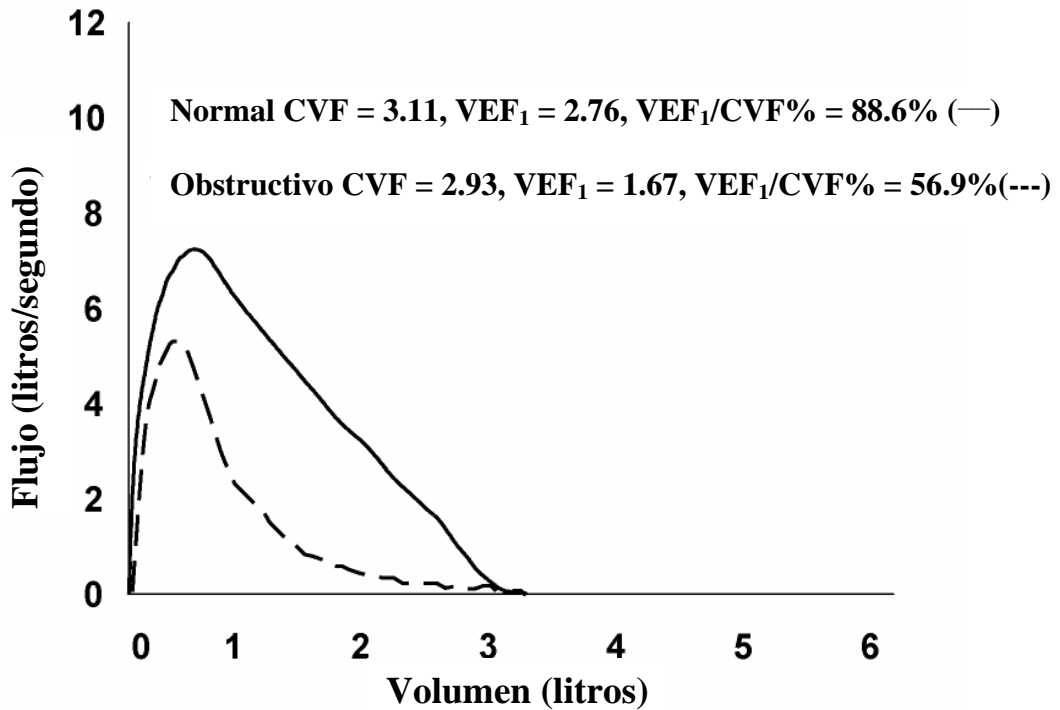




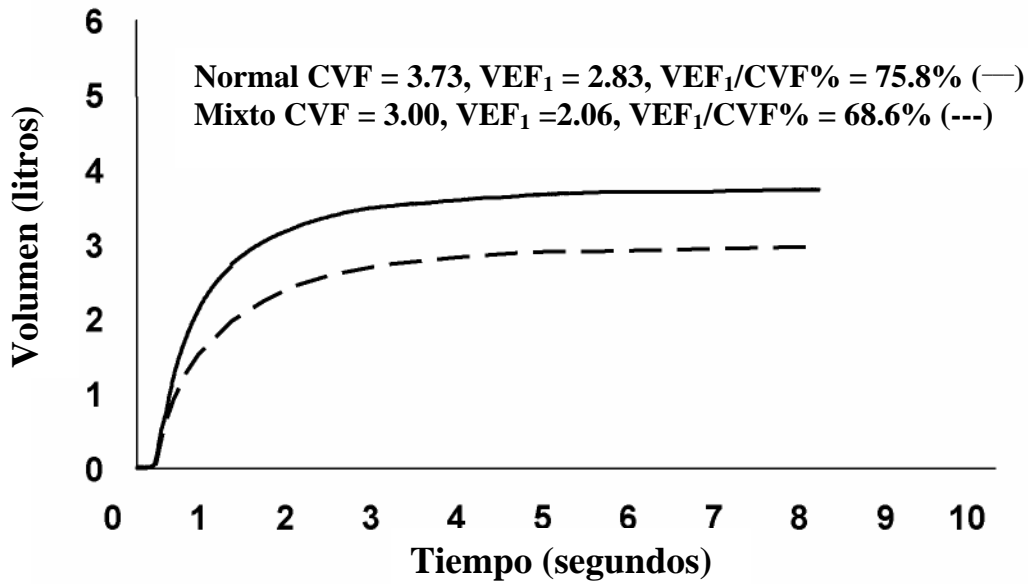
**FIGURA 2-7. PATRONES NORMAL Y OBSTRUCTIVO EN CURVAS DE VOLUMEN-TIEMPO**



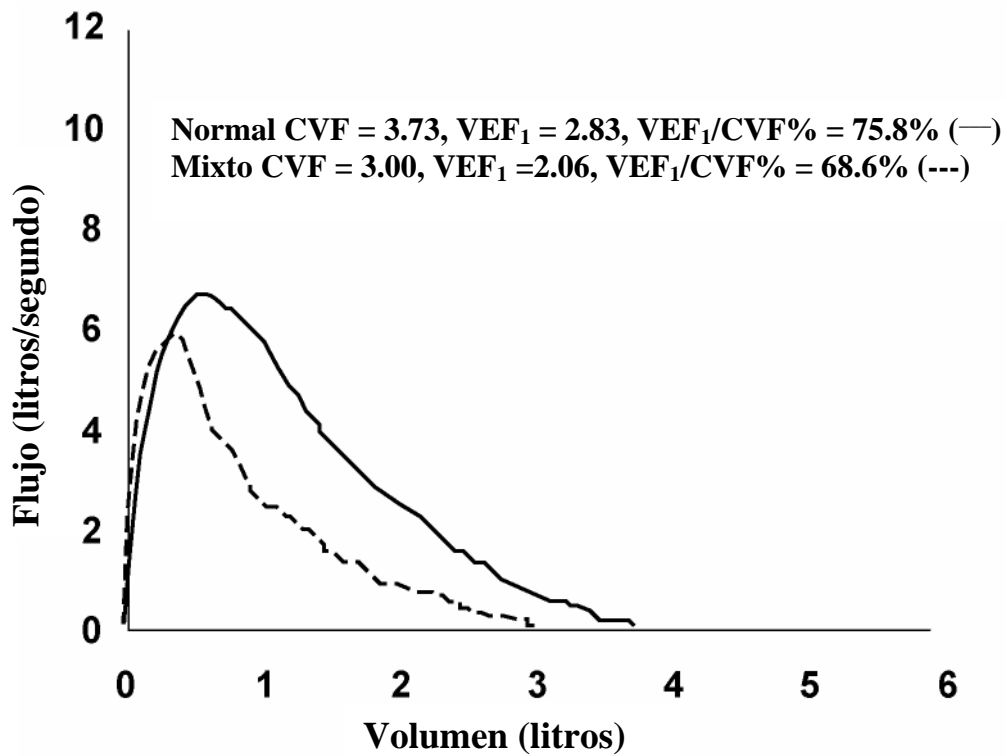
**FIGURA 2.8. CURVAS DE FLUJO-VOLUMEN**



**FIGURA 2-9. PATRONES NORMAL Y MIXTO DE CURVAS VOLUMEN-TIEMPO**



**FIGURA 2-10. CURVAS DE FLUJO-VOLUMEN**



**Tabla 1**

**ENFERMEDADES PULMONARES Y RESULTADOS DE LA ESPIROMETRÍA**

<b>Interpretación</b>	<b>CVF</b>	<b>VEF<sub>1</sub></b>	<b>VEF<sub>1</sub>/CVF%</b>
Espirometría normal	Normal	Normal	Normal
Obstrucción de vías aéreas	Baja o normal	Bajo	Bajo
Restricción pulmonar	Baja	Bajo	Normal
Combinación de obstrucción y restricción	Baja	Bajo	Bajo

La prueba de la espirometría se utiliza tanto como prueba de detección o tamizado así como ayuda para establecer un diagnóstico. Como herramienta para la detección, la espirometría se realiza de manera periódica en aquellos trabajadores con riesgo de una enfermedad pulmonar ocupacional, debido a la exposición a riesgos específicos respiratorios. Como herramienta diagnóstica, se usa cuando un paciente tiene una determinada sintomatología médica o se descubre una anormalidad durante la exploración física, como sería el caso de la disnea, por un lado, y las sibilancias, por el otro. Esta prueba puede también medir los efectos de regímenes terapéuticos, tales como el uso de broncodilatadores o esteroides.

**D. Limitaciones de la espirometría**

Aunque la espirometría puede ofrecer información útil para el diagnóstico y la detección, tiene ciertas limitaciones. Los resultados de la prueba pueden mostrar patrones de enfermedades restrictivas u obstructivas, pero estos resultados no son específicos para determinada enfermedad. Por ejemplo, el espirograma de una persona puede mostrar un VEF<sub>1</sub> bajo pero el clínico puede no ser capaz de determinar si la causa se debe al asma, al enfisema o a alguna otra enfermedad obstructiva. Se necesitará información adicional tal como la de la exploración física, las radiografías de tórax, así como la historia clínica y los antecedentes ocupacionales.

La espirometría puede detectar frecuentemente enfermedades obstructivas en etapas tempranas, pero para algunas de las enfermedades restrictivas, puede no ser lo suficientemente sensible como para mostrar anormalidades antes de que ocurra un daño extenso y en algunos casos, irreversible. Por ejemplo, se pueden hallar en los rayos X los signos de silicosis y de la neumoconiosis de los trabajadores de minas de carbón cuando los resultados de la espirometría aún son normales. De esa manera, la espirometría no deberá ser la única herramienta de detección dentro de un programa de vigilancia respiratoria. Los aspectos de un programa ideal de vigilancia se describen en el **apéndice D. Programas de vigilancia respiratoria**.

## E. Exactitud y precisión

Los resultados espirométricos deben ser **exactos** o libres de errores para ser de utilidad. Por ejemplo, tres litros de aire inyectados en el espirómetro deben registrarse como tres litros de aire en el trazo. Los resultados deben también ser **precisos** o reproducibles. Por ejemplo, un espirómetro debe ser capaz de registrar de manera constante tres litros, cuando esa cantidad se le inyecte en repetidas ocasiones. De esa manera, la información obtenida debe ser comparable entre diferentes condiciones externas o de un intervalo de tiempo a otro.

La Sociedad Americana de Tórax (American Thoracic Society -ATS) ha jugado un papel preponderante en la estandarización y calibración de los instrumentos y las prácticas espirométricas. El documento de la ATS, Estandarización de la Espirometría---1994, una actualización (1) señala las serias consecuencias que pueden ocurrir si la precisión y la exactitud no se mantienen.

La espirometría se utiliza para influir en decisiones acerca de los individuos, como sería en caso de las siguientes dudas: ¿Presenta el sujeto suficiente evidencia de una prueba pulmonar alterada para prohibírsele trabajar en determinado empleo? ¿Deberá un tratamiento ser iniciado o continuado? ¿Califica esta persona para una compensación del seguro por incapacidad, sobre la base de una alteración de sus pruebas de función pulmonar? Las respuestas a cada una de estas preguntas, basadas en maniobras espirométricas, pueden tener un efecto dramático en el estilo de vida de una persona, en sus estándares de vida así como en su futuro tratamiento.

Durante la reciente evaluación de los espirómetros comerciales disponibles, se encontraron dispositivos que tenían errores sobre la CVF tan grandes como 1.5 L, un error del 25% (11). Si se utiliza un espirómetro inexacto, particularmente un espirómetro con poca reproducibilidad, la mejoría o el empeoramiento pueden deberse por completo a variaciones del espirómetro y no tener nada que ver con el sujeto.

De manera semejante, se requieren espirómetros exactos para estudios epidemiológicos. Las tasas de mejoría o de deterioro de una función pulmonar medida, con relación a la exposición ambiental y/o a características individuales, pueden ser erróneas de no ser exactas, o si se utilizan espirómetros imprecisos (2). ¿Qué se puede hacer para asegurar los resultados espirométricos más exactos y precisos? Más abajo se presentan, de manera resumida, los “Pasos de la estandarización de la espirometría” recomendados por la ATS en su actualización de 1994 (1). Cada uno de los tópicos se cubre con mayor detalle en otras unidades de esta guía. Cuando se consideró apropiado, cada unidad se refiere tanto a los estándares de Cotton Dust como a los de la ATS. (Véase **apéndice F. Estándares de la Sociedad Americana del Tórax** para obtener una copia completa de la Estandarización de la espirometría—Actualización de 1994.)

## Equipo

1. Desempeño. Escoja equipos que reúnan o excedan los estándares Cotton Dust y de la ATS y que hayan sido adecuadamente validados (vgr. En los que se pueda demostrar que los estándares han sido logrados). Compruebe con el fabricante para verificación, y contacte laboratorios de evaluación independientes para obtener información sobre los estudios de

validación de espirómetros. (Véase **unidad 8: Revisión de los estándares para el equipo espirométrico.**)

2. Control de Calidad del Equipo. Compruebe que el equipo esté funcionando apropiadamente verificando la calibración y otros parámetros del equipo, así como realizando procedimientos de mantenimiento a intervalos regulares (Véase **unidad 3: El Programa que garantiza la calidad.**)

### **Resultados espirométricos**

1. Desempeño. Obtenga los mejores resultados posibles de los sujetos a través de un adecuado entrenamiento y preparación. (Véase **unidad 4: Técnica espirométrica.**)
2. Cálculos. Use métodos de cálculos estandarizados por la ATS para determinar los resultados de la prueba. (Véase **unidad 5: Cálculos espirométricos básicos.**)
3. Aceptabilidad. Utilice solamente resultados de maniobras que hayan estado libres de errores. (Véase **unidad 4: Técnica espirométrica.**)
4. Reproducibilidad. Use resultados con mínima variabilidad siempre que sea posible. (Véase **unidad 5: Cálculos espirométricos básicos.**)

### **Interpretación de resultados**

1. Valores de referencia: Seleccione valores de referencia apropiados para las condiciones y asegúrese que los mismos valores sean usados de manera constante. (Véase **unidad 6: La comparación de los valores observados y aquéllos predichos como normales** y la **unidad 7: La comparación de cambios durante los espirogramas de seguimiento**).

Los técnicos en espirometría juegan un papel fundamental en la obtención de resultados exactos y precisos. Frecuentemente son ellos quienes tienen la responsabilidad primaria para ver que las medidas que garantizan la calidad se lleven a cabo. Se encargan, además, de seleccionar, preparar y entrenar a los sujetos. Por último, determinan cuáles estudios son aceptables y reproducibles. De esa manera, resulta sumamente importante que estos individuos reciban un entrenamiento comprensible en dichas áreas. Aunque los estándares de Cotton Dust no requieren recertificación, estudios recientes (12,13) han sugerido que algún tipo de programa de control de calidad que evalúe las habilidades de los técnicos de una manera continua, puede tener un efecto dramático sobre la mejoría en la calidad de las evaluaciones espirométricas.