

GUÍA DE NIOSH SOBRE ENTRENAMIENTO EN ESPIROMETRÍA

GUÍA DE NIOSH SOBRE ENTRENAMIENTO EN ESPIROMETRÍA

1 de Marzo de 2007

Elaborada por:

CDC/ CENTROS PARA EL CONTROL Y LA PREVENCIÓN DE ENFERMEDADES
Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional/ NIOSH
División de Estudios de Enfermedades Respiratorias
Departamento de Vigilancia Epidemiológica
Morgantown, Virginia Occidental 26505

Y

EL INSTITUTO NACIONAL DE ENFERMEDADES RESPIRATORIAS
México DF, México

El desarrollo de la versión original (1991) de esta guía fue patrocinada por el fondo (NIOSH Grant) número T15-0H-071-25

CONTENIDO DE LA GUÍA DE NIOSH SOBRE ENTRENAMIENTO EN ESPIROMETRÍA

EXONERACIÓN DE RESPONSABILIDAD	iv
RECONOCIMIENTOS	v
RESPONSABLES DEL PROYECTO	vi
ANUNCIO PARA TODOS LOS PARTICIPANTES DEL CURSO	vi
INTRODUCCIÓN	0-1
METAS Y OBJETIVOS DEL CURSO	0-2
UNIDAD 1: REVISIÓN DE LA ANATOMÍA Y FISIOLÓGÍA PULMONAR	1-1
A. El sistema respiratorio	1-1
B. Mecanismos de la respiración	1-3
C. Mecanismos para proteger a los pulmones de los riesgos que son transportados por el aire	1-7
D. El hábito de fumar y las enfermedades pulmonares ocupacionales	1-9
E. Enfermedades pulmonares ocupacionales	1-9
UNIDAD 2: REVISIÓN DE LA ESPIROMETRÍA	2-1
A. Definición de la espirometría	2-1
B. Tipos de espirómetros	2-1
C. Medidas importantes de la función ventilatoria	2-5
D. Limitaciones de la espirometría	2-11
E. Exactitud y precisión	2-12
UNIDAD 3: PROGRAMA DE GARANTÍA DE CALIDAD	3-1
A. Componentes de un buen programa de control de calidad en la espirometría	3-1
B. Verificaciones de la calibración y otras medidas de control de calidad de los equipos	3-4
C. Control de las infecciones	3-7
UNIDAD 4: TÉCNICA ESPIROMÉTRICA	4-1
A. Preparación del equipo	4-1
B. Prepare al sujeto	4-2
C. Posición del sujeto	4-3
D. Realice la prueba	4-5
E. Verifique la aceptabilidad y reproducibilidad de la maniobra	4-7
F. Repita la prueba cuando sea necesario	4-9
G. Archivo de registros y pruebas	4-10
H. Trazos de muestra	4-11

UNIDAD 5: CÁLCULOS ESPIROMÉTRICOS BÁSICOS	5-1
A. Capacidad vital forzada (CVF)	5-1
B. Cálculo de la variabilidad excesiva de la CVF	5-2
C. Volumen espiratorio forzado en el primer segundo (VEF ₁)	5-7
D. Cálculo de la variabilidad excesiva del VEF ₁	5-10
E. Extrapolación retrógrada	5-13
F. Cálculo del volumen extrapolado excesivo	5-22
G. VEF ₁ como porcentaje de la CVF (VEF ₁ /CVF%)	5-30
H. Flujo meso-espiratorio forzado (FEF _{25-75%})(OPCIONAL)	5-35
I. Conversión a unidades BTPS	5-42
 UNIDAD 6: LA COMPARACIÓN DE VALORES OBSERVADOS CON LOS NORMALES ESPERADOS	 6-1
A. Espirometría “normal”	6-1
B. Estudios de referencia de espirometría	6-2
C. El límite menor del rango normal (LMN) (LLN)	6-3
D. Cómo determinar valores esperados usando tablas de referencia	6-4
 UNIDAD 7: COMPARACIÓN DE LOS CAMBIOS DE ESPIROGRAMAS DE SEGUIMIENTO	 7-1
A. Justificación para la comparación de cambios	7-1
B. Interpretación de los cambios en espirogramas de seguimiento	7-1
 UNIDAD 8: REVISIÓN DE LOS ESTÁNDARES PARA EL EQUIPO ESPIROMÉTRICO	 8-1
 UNIDAD 9: EJERCICIOS ADICIONALES	 9-1
 UNIDAD 10: EJERCICIOS ADICIONALES MIDIENDO EL VOLUMEN EXTRAPOLADO	 10-1
 APÉNDICE A: GLOSARIO DE TÉRMINOS USADOS FRECUENTEMENTE EN ESPIROMETRÍA	 A-1
 APÉNDICE B. UNA REVISIÓN SOBRE RIESGOS PULMONARES OCUPACIONALES	 B-1
 APÉNDICE C. REVISIÓN DE LA ENFERMEDAD PULMONAR OCUPACIONAL	 C-1
A. Algunas de las enfermedades pulmonares que muestran un patrón obstructivo	C-1
B. Algunas de las enfermedades pulmonares que muestran un patrón restrictivo	C-2
C. Algunas de las enfermedades pulmonares que muestran un patrón ya sea obstructivo o restrictivo	C-3
 APÉNDICE D. PROGRAMAS DE VIGILANCIA RESPIRATORIA	 D-1
 APPENDIX E.EL ESTÁNDAR DEL “COTTON DUST” DE LA OSHA	 E-1

APÉNDICE F. ESTÁNDARES DE LA SOCIEDAD AMERICANA DEL TÓRAX	F-1
APÉNDICE G. LISTA DE VERIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE LA ESPIROMETRÍA	G-1
APÉNDICE H. ESQUEMA GENERAL DE LOS CÁLCULOS ESPIROMÉTRICOS	H-1
APÉNDICE I. CÁLCULOS MATEMÁTICOS BÁSICOS	I-1
APÉNDICE J. CONVERSIONES MÉTRICAS	J-1
APÉNDICE K. OTROS FACTORES A TOMAR EN CUENTA AL CALCULAR BTPS	K-1
APÉNDICE L. TABLAS DE VALORES ESPERADOS	L-1
APÉNDICE M. TABLAS DE PATRONES OBSTRUCTIVOS Y RESTRICTIVOS	M-1
REFERENCIAS	REF-1

Exoneración de responsabilidad

Las opiniones, hallazgos y conclusiones expresadas aquí, no son necesariamente las del Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH), ni las del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias de México (INER), ni tampoco el que se mencionen nombres o productos constituye una aprobación por parte de NIOSH o del INER.

NOTA: Debido a las limitaciones propias de impresión de la **GUÍA DE NIOSH SOBRE ENTRENAMIENTO EN ESPIROMETRÍA**, la distancia que representa un segundo, puede variar de un espirograma al otro. Mida en la parte superior del espirograma para determinar la distancia de un segundo en cada uno de los ejemplos y de los ejercicios.

RECONOCIMIENTOS

La versión original de este manual se completó en 1991 bajo la dirección del Dr. Audrey R. Gotsch, Director del Programa de Educación Continua y Extensión Extramuros (UOSHERC) y profesor asociado de Medicina Comunitaria y Ambiental, de la Escuela de Medicina UMDNJ-Robert Wood Johnson. En 1994, la Sociedad Americana del Tórax (ATS) actualizó sus recomendaciones para la espirometría. El manual fue actualizado en 1997 por el Dr. John Hankinson para reflejar los cambios en las recomendaciones para espirometría de la ATS emitidas en 1994. El manual fue editado y actualizado por la Dra. Lu-Ann Beeckman-Wagner en 2004 para expandir los procedimientos de control de calidad y para reflejar nuevas ecuaciones de referencia espirométrica. La traducción al español del manual fue realizada por el Dr. Florencio De la Concha y por el Dr. Rogelio Perez-Padilla, del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias de México, y Dra. María Sofía Lioce-Mata, del Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH).

AUTORIDADES Y PERSONAL DEL PROYECTO

La Guía de NIOSH sobre entrenamiento en espirometría fue preparada por:

Oficial de Proyecto NIOSH

Dra. Lu-Ann F. Beeckman-Wagner
Rama de Vigilancia Epidemiológica
División de Estudios en Enfermedades Respiratorias

y

Dra. María Sofía Lioce-Mata
Especialista en Salud Ocupacional
Médico Investigador Senior
Oficina del Director

Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias

Dr. Rogelio Perez-Padilla, y el Dr. Florencio de la Concha (traductores)

ANUNCIO A TODOS LOS PARTICIPANTES DEL CURSO

La Sección (h) (iii) de *Cotton Dust Standard* (29 CFR 1910.43) promulgada por OSHA en 1978, y corregida el 13 de Diciembre de 1985, establece lo siguiente: “Además del personal constituido por médicos certificados, cualquier otra persona que lleve a cabo las pruebas de función pulmonar señaladas por esta sección, deberán haber completado un curso de espirometría aprobado por NIOSH”.

Dentro de NIOSH, la responsabilidad de aprobar los cursos había sido delegada a la División de Entrenamiento Desarrollo y Capacitación (Division of Training and Manpower Development), pero actualmente es parte de la División de Estudios de Enfermedades Respiratorias. Los requerimientos mínimos para aprobar el curso vienen contenidos en el Apéndice D del Standard, e incluye los criterios para los equipos, los técnicos, la interpretación, el contenido del curso y las horas de instrucción. Además, NIOSH ha establecido criterios para la calificación del personal así como del formato del curso.

Cuando NIOSH aprueba un curso, está avalando el hecho de que dicho curso cumple los requisitos mínimos de OSHA/NIOSH para la enseñanza de las personas, con relación a la realización de espirometrías en la Industria Cotton Dust. Esto no implica que el sujeto que toma el curso, quede certificado por NIOSH como técnico en función pulmonar. Dicho estudiante ha aprobado simplemente el curso aprobado por NIOSH. El Standard no exige que se complete un segundo curso ni tampoco que se tome un curso de actualización para completar el primer curso aprobado por NIOSH.

Introducción

Antecedentes: La **Guía NIOSH de entrenamiento en espirometría** se basa en dos publicaciones previas, **El libro NIOSH de trabajo de espirometría** y el **Manual NIOSH de espirometría en medicina ocupacional**. En el nuevo desarrollo curricular, el material que abarca el **Manual NIOSH de Espirometría en Medicina Ocupacional**, ha sido simplificado e incorporado dentro del contenido del **Libro NIOSH de trabajo de espirometría**. Se ha agregado nuevo material que incluye una comparación de los espirómetros de volumen y de flujo, una serie de trazos volumen/tiempo y flujo/volumen, así como procedimientos para garantizar el control de calidad, el análisis de los riesgos y las enfermedades pulmonares ocupacionales y además, información sobre la **Estandarización en espirometría de la Sociedad Americana de Tórax—actualización de 1994(1)**.

La Sociedad Americana de Tórax es la sección médica de la Asociación Americana del Pulmón (*American Lung Association*). Esta sociedad ha tenido una posición de liderazgo en la estandarización y mejoramiento de los instrumentos espirométricos y de sus prácticas. Su primera serie de estándares denominado Declaración de la **ATS-Taller Snowbird sobre estandarización en Eespirometría**, fue incorporado por OSHA en el Cotton Dust Standard, que se promulgó en Junio 23, 1978. Los estándares del taller Snowbird se revisaron en 1987(2), y de nuevo, en 1994, para ser publicados como La **Estandarización de la ATS sobre espirometría—Actualización de 1994(1)**.

OBJETIVO: La **Guía de NIOSH sobre entrenamiento en espirometría** fue elaborada con el objeto de ser utilizada como **material adjunto** al curso de espirometría aprobado por NIOSH. No intenta ser un material de tipo autodidáctico. El aprendizaje de la espirometría requiere de observación, demostración y prácticas manuales.

PÚBLICO AL QUE VA DIRIGIDO: Esta **guía** está dirigida a quienes son responsables directos de llevar a cabo las espirometrías en un sitio de trabajo. Va a ser de interés especial para los médicos interesados en la salud ocupacional, las enfermeras, así como otros profesionales de la salud.

NOTA: Debido a las limitaciones propias de impresión de la **GUÍA DE NIOSH SOBRE ENTRENAMIENTO EN ESPIROMETRÍA**, la distancia que representa un segundo, puede variar de un espirograma al otro. Mida en la parte superior del espirograma para determinar la distancia de un segundo en cada uno de los ejemplos y de los ejercicios.

META Y OBJETIVOS DEL CURSO

META: La meta de este curso es aumentar el número de técnicos en espirometría que:

1. Utilizan métodos estandarizados para lograr espirogramas que sean aceptables y reproducibles.
2. Realizan de manera correcta los cálculos de los parámetros espirométricos básicos.
3. Establecen procedimientos adecuados para garantizar el control de calidad de los equipos de espirometría.
4. Reconocen las aplicaciones, ventajas y limitaciones de la espirometría en el área ocupacional.

Objetivos: Al final de este curso, los estudiantes deberán ser capaces de:

Unidad 1: Revisión de la anatomía y fisiología pulmonar

Describir de manera breve:

- a. La función del sistema respiratorio y el mecanismo de la respiración.
- b. Los mecanismos dentro del sistema respiratorio para proteger a los pulmones de los riesgos transportados por el aire.
- c. Las enfermedades obstructivas y restrictivas.

Unidad 2: Revisión de la espirometría

Describir de manera breve:

- a. Términos espirométricos comunes.
- b. Los espirómetros de volumen y de flujo
- c. Los trazos volumen/tiempo y flujo/volumen.
- d. La maniobra espiratoria forzada, la capacidad vital forzada (CVF), y el volumen espiratorio forzado en el primer segundo (VEF₁).
- e. El papel de la espirometría en la evaluación de la función pulmonar y en la detección de las enfermedades pulmonares ocupacionales.
- f. Las limitaciones de la espirometría como instrumento de tamizaje.
- g. La importancia de la exactitud y precisión en la espirometría.

Unidad 3: Programa de garantía de calidad

Llevar a cabo procedimientos para garantizar el control de calidad:

- a. Calibrar el volumen en los espirómetros de flujo y en los de volumen.
- b. Verificar que el sistema mecánico de registro esté funcionando adecuadamente.
- c. Verificar la exactitud de la lectura de la temperatura ambiental.
- d. Verificar que el inicio de la prueba comience en el momento adecuado, y en el lugar adecuado, sobre el papel cuadriculado.
- e. Verificar que el VEF₁ derivado de manera electrónica, sea calculado usando el método de extrapolación retrógrada.

- f. Verificar que los valores esperados normales (calculados de manera electrónica) sean calculados de manera correcta.
- g. Mantener un diario de calibración y mantenimiento de registros de espirometrías.
- h. Llevar a cabo procedimientos apropiados para el control de infecciones de acuerdo al espirómetro que se esté usando.

Unidad 4: Técnica espirométrica

- a. Preparar de manera correcta el equipo, previo a la espirometría.
- b. Identificar aquellos sujetos en los que es necesario posponer la prueba.
- c. Preparar a los sujetos para que realicen la prueba.
- d. Llevar a cabo la prueba de manera correcta.
- e. Determinar la aceptabilidad de los espirogramas obtenidos
- f. Determinar las razones por las cuales el sujeto presenta dificultades para completar una prueba satisfactoria, y llevar a cabo un asesoramiento sobre las correcciones que se tienen que hacer al repetir las pruebas.
- g. Obtener al menos dos espirogramas que sean reproducibles de una serie de tres que sean aceptables.
- h. Mantener un registro del paciente que incluya los siguientes datos: fecha/hora, talla, sexo, raza, posición durante la prueba, temperatura ambiental, presión barométrica, espirómetro utilizado, pruebas realizadas, resultados de las pruebas, valores esperados normales utilizados, así como comentarios sobre la cooperación y el esfuerzo del sujeto.

Unidad 5: Cálculos espirométricos básicos

Calcular correctamente las mediciones básicas para interpretar los resultados de la prueba:

- a. La capacidad vital forzada (CVF) y la variabilidad entre las dos mayores CVF.
- b. El volumen espiratorio forzado en el primer segundo (VEF_1) y la variabilidad entre los dos VEF_1 mayores.
- c. La extrapolación retrógrada y el volumen extrapolado.
- d. El $VEF_1/CVF\%$
- e. El flujo meso-espiratorio forzado ($FEF_{25-75\%}$) (Medición opcional)
- f. Convertir a BTPS

Unidad 6: La comparación de valores observados con los valores normales esperados

- a. Seleccionar las tablas de valores normales esperados que sean apropiadas para los sujetos y las condiciones del sitio de trabajo.
- b. Usar la misma serie de valores esperados para todos los cálculos espirométricos y para futuras comparaciones.
- c. Determinar los valores normales esperados del sujeto y calcular el porcentaje de los valores esperados de dicho sujeto.
- d. Enumerar los factores que afectan los valores esperados normales (Ejm: edad, sexo, talla, raza).
- e. Calcular el factor de corrección para la raza, de acuerdo a las categorías étnicas apropiadas y de acuerdo a las circunstancias del sitio de trabajo.

Unidad 7: Comparación de los cambios de espirogramas de seguimiento

- a. Determinar el cambio absoluto y el porcentaje de cambio, o cambio porcentual, en los espirogramas de seguimiento.
- b. Identificar aquellos factores no patológicos comunes que pueden potencialmente afectar los cambios en los espirogramas durante el seguimiento (Ejm: edad, talla, estación del año, hora del día, etc).

Unidad 8: Revisión de los estándares para el equipo espirométrico

- a. Enumerar las especificaciones para los espirómetros y los equipos de calibración establecidas por el Cotton Dust Standard, así como las recomendaciones de la Sociedad Americana del Tórax.

Unidad 9: Ejercicios adicionales

- a. Completar de manera exitosa estos ejercicios.

Unidad 10: Ejercicios adicionales para medir el volumen extrapolado

- a. Completar de manera exitosa estos ejercicios.

UNIDAD 1: REVISIÓN DE LA ANATOMÍA Y FISIOLÓGÍA PULMONAR

A. El sistema respiratorio.

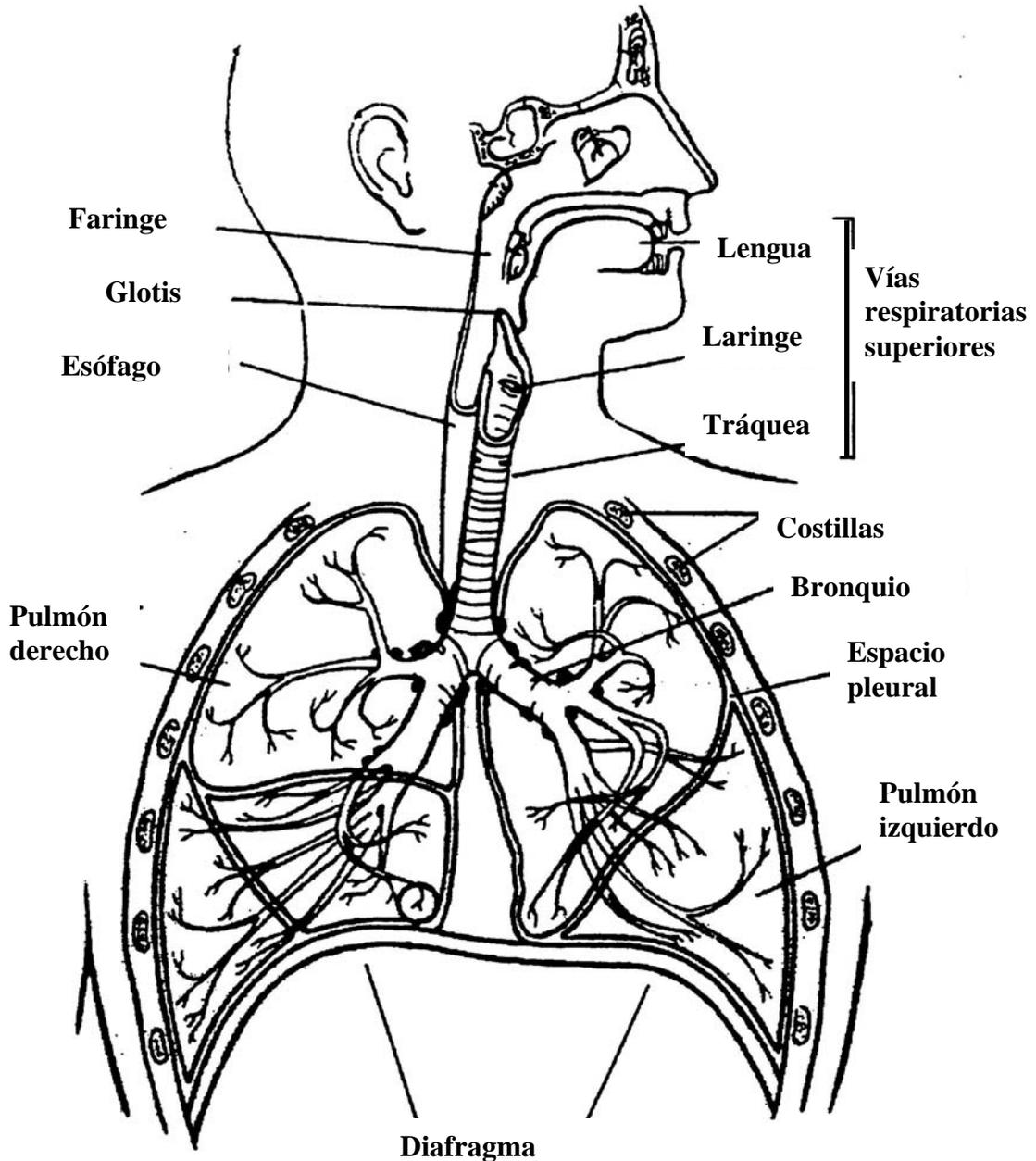
Una persona puede vivir por varias semanas sin alimento y varios días sin agua, pero solamente unos pocos minutos sin oxígeno. Cada célula en el cuerpo necesita un suministro continuo de oxígeno para producir energía y crecer, repararse o reconstituirse, así como para mantener las funciones vitales. El oxígeno debe estar disponible para las células de manera que ellas lo puedan utilizar. Deber ser incorporado dentro del cuerpo como aire purificado, enfriado o calentado, humidificado y entregado en las cantidades adecuada.

El sistema respiratorio es el vínculo para esta fuente vital de oxígeno. Incluye el diafragma y los músculos del tórax, la nariz y la boca, la faringe y la tráquea, el árbol bronquial y los pulmones. Cada uno de estos elementos será tratado más adelante. (Véase **figura 1-1. El sistema respiratorio**). También se encuentran involucrados el torrente sanguíneo, el corazón y el cerebro. El torrente sanguíneo capta el oxígeno de los pulmones para distribuirlo al resto del cuerpo y regresa el dióxido de carbono hacia ellos para su remoción. El corazón crea la fuerza para desplazar la sangre a la presión y velocidad adecuada a través de todo el cuerpo. El fino funcionamiento del sistema completo es regulado por el cerebro y el sistema nervioso autónomo.

Una persona en reposo respira alrededor de 6 litros de aire por minuto. El ejercicio intenso puede incrementar esta cantidad hasta cerca de 75 litros por minuto (3). Durante un período de trabajo de 8 horas, con actividad moderada, la cantidad de aire respirado puede estar alrededor de los 8.5 m³ (300 pies cúbicos). Habitualmente se piensa que la piel, con su área de superficie de 1.9 m² (20 pies cuadrados), presenta la mayor exposición al aire que cualquier otra parte del cuerpo. Sin embargo, son en realidad los pulmones quienes tienen la máxima exposición, con un área de superficie expuesta al aire de 28 m² (300 pies cuadrados) durante la fase de reposo, y de hasta 93 m² (1,000 pies cuadrados) durante una respiración profunda (4).

El sistema respiratorio es susceptible al daño causado por materiales tóxicos inhalados e irritantes, debido a que el área de superficie de los pulmones expuesta al aire es sumamente grande y a que el cuerpo tiene una gran necesidad de recibir oxígeno. La capacidad del sistema respiratorio de funcionar de manera apropiada tiene un gran impacto en el organismo. Las enfermedades de cada una de sus partes pueden conducir a una enfermedad o dañar otros órganos vitales. Por ejemplo, la enfermedad pulmonar ocupacional puede llevar a una cardiopatía.

Figura 1-1- EL SISTEMA RESPIRATORIO



Tomado de la obra: Una introducción a las enfermedades pulmonares ocupacionales, de la Asociación Americana del Pulmón (American Lung Association). Nueva York, NY. Macmillan. 1979: pp 10. (5).

B. Mecanismo de la respiración

El aire que contiene el oxígeno entra al cuerpo a través de la nariz y la boca. De ahí, atraviesa la faringe o garganta en su camino hacia la tráquea. La tráquea se divide en dos vías aéreas principales llamadas bronquios, los cuales llegan a los pulmones; uno al pulmón derecho y otro al pulmón izquierdo. Los bronquios se subdividen o se ramifican en varias ocasiones formando bronquios más pequeños, quienes a su vez se vuelven a ramificar en varias ocasiones formando bronquiolos. Estos bronquios y bronquiolos se denominan el árbol bronquial debido a que las subdivisiones o ramificaciones que sufren se parecen a las ramificaciones de un árbol, sólo que en una posición inversa. Después de alrededor de 23 divisiones, los bronquiolos terminan en los conductos alveolares. Al final de cada conducto alveolar, se encuentran cúmulos de alvéolos (sacos alveolares). El oxígeno transportado a través del sistema respiratorio es finalmente transportado al torrente sanguíneo a nivel de los alvéolos (Véase **figura 1-2. Diagrama esquemático de la vía aérea**).

La tráquea, los bronquios principales y aproximadamente la primera docena de divisiones de los bronquios más pequeños tienen ya sea anillos o placas de cartílago en sus paredes que les evitan colapsarse o que bloqueen el flujo de aire. El resto de los bronquiolos y los alvéolos no tienen cartílagos y son muy elásticos. Esto permite que respondan a cambios en la presión conforme los pulmones se expanden y se contraen.

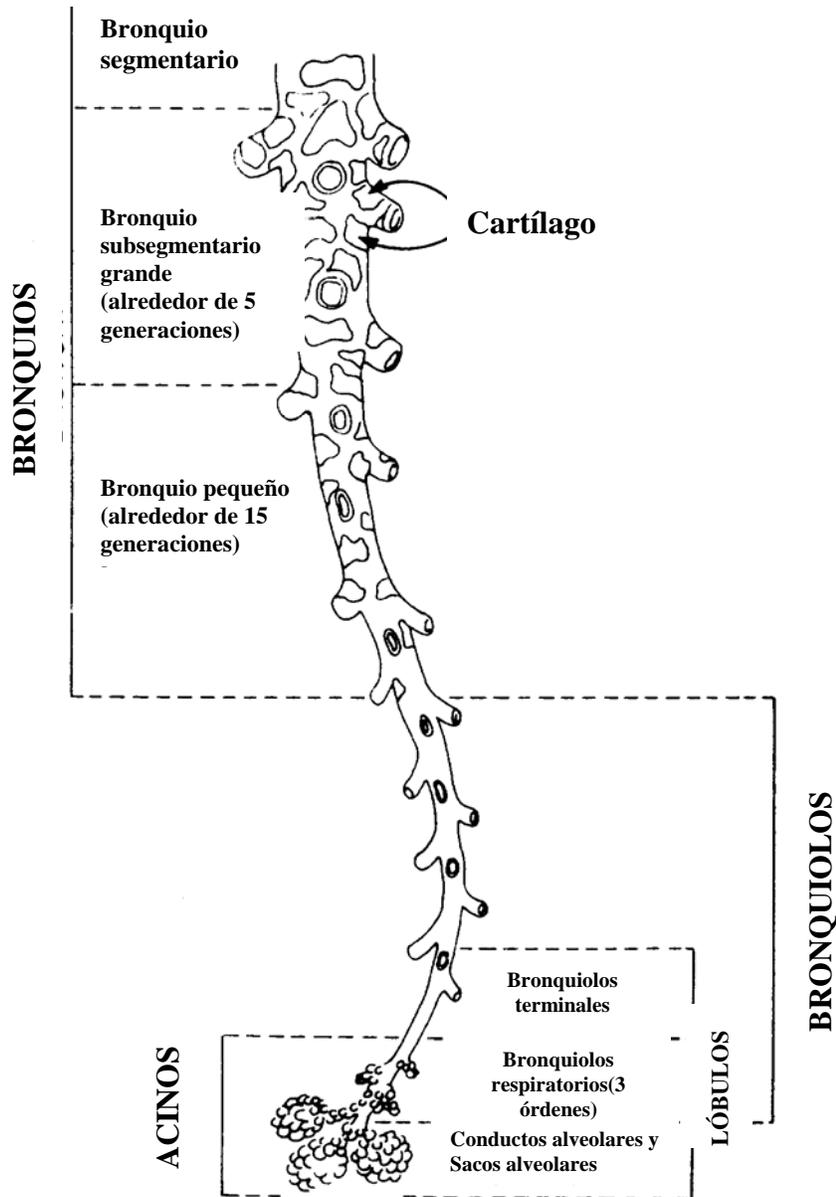
Los vasos sanguíneos del sistema de la arteria pulmonar acompañan a los bronquios y a los bronquiolos. Estos vasos sanguíneos también se ramifican en unidades cada vez más pequeñas hasta terminar en capilares, los cuales se encuentran en contacto directo con los alvéolos. El intercambio gaseoso sucede a través de esta membrana alveolar-capilar cuando el oxígeno se desplaza hacia adentro y el dióxido se desplaza hacia fuera del torrente sanguíneo (Véase **figura 1-3. Imagen ampliada de los alvéolos y los capilares**). Aunque los 300 millones de alvéolos que se encuentran en el pulmón son microscópicos, representan en su conjunto un área de superficie equivalente a las dimensiones de una cancha de tenis (6).

La capacidad de difusión mide la facilidad con la cual el intercambio gaseoso se lleva a cabo entre los alvéolos y los capilares. Ciertas enfermedades pulmonares que afectan a los alvéolos y a la pared de los capilares, pueden interferir con la difusión y reducir la cantidad de oxígeno que llega al torrente sanguíneo. La espirometría no mide la capacidad de difusión, sin embargo, esta se puede medir con una prueba de laboratorio donde se utiliza un instrumento con un costo aproximado entre \$20,000 y \$40,000.

Este movimiento de aire hacia adentro y hacia fuera es lo que denominamos ventilación. La contracción de los músculos inspiratorios (el principal músculo inspiratorio es el **diafragma**) hace que se expanda la cavidad torácica, generando una presión negativa. El flujo de aire resultante que se dirige hacia los pulmones se denomina inspiración. Durante una inspiración máxima, el diafragma se contrae forzando al contenido dentro del abdomen a desplazarse hacia abajo y hacia fuera (Véase figura 1-1). También intervienen los músculos intercostales externos, que se encuentran entre las costillas. Estos músculos se contraen y elevan a las costillas durante la inspiración, incrementando de esa manera el diámetro de la cavidad torácica. Además de estos músculos, los músculos escalenos y esternomastoideos del cuello pueden utilizarse durante ventilaciones extremas o en condiciones de insuficiencia respiratoria.

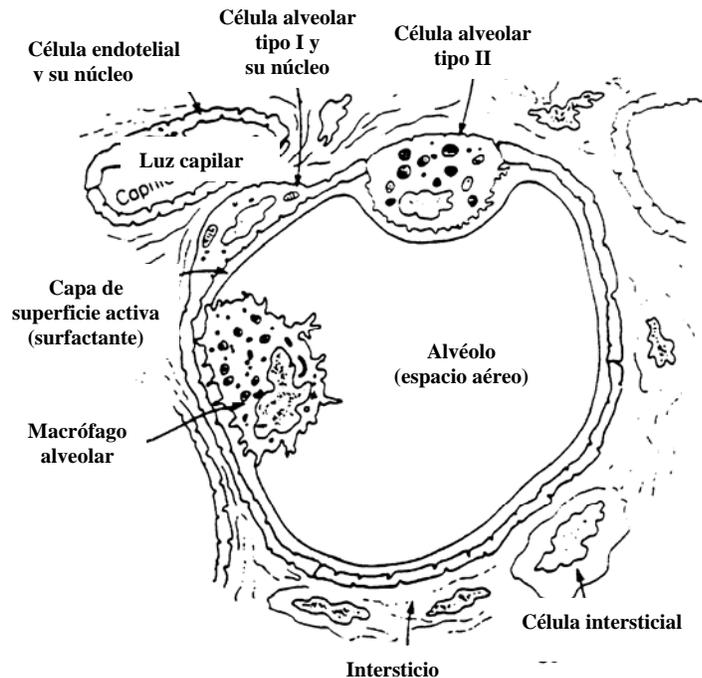
FIGURA 1-2. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LAS VÍAS AÉREAS

Diagrama esquemático de las vías aéreas. Subdivisión progresiva del árbol traqueo-



bronquial, donde se ilustran las vías aéreas de conducción y las unidades respiratorias. Tomado de E.P. Horvath Jr., S.M. Brooks, y J-L- Hankinson [1981]. Manual de Espirometría en Medicina Ocupacional. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos. p.5 (6).

FIGURA 1-3. IMAGEN DE ACERCAMIENTO DE ALVÉOLOS Y CAPILARES



Tomado de E.P. Horvath Jr., S.M. Brooks, y J-L- Hankinson [1981]. Manual de Espirometría en Medicina Ocupacional. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos. P. 9(6).

La espiración normal es un proceso pasivo y es resultado de la elasticidad natural tanto del pulmón expandido como de la pared torácica. (Sin embargo, cuando la respiración es rápida, los músculos intercostales internos y los músculos abdominales se contraen ayudando a sacar el aire de los pulmones de una manera más rápida y completa). Se puede pensar al pulmón como lo opuesto a una esponja. Cuando una esponja es exprimida y liberada, su elasticidad hace que regrese a su tamaño original. Al final de una inspiración, la elasticidad del pulmón causa que regrese a sus dimensiones más pequeñas, lo cual ocurre entre respiración y respiración. La capacidad del pulmón para lograr esto se le denomina elasticidad o **rebote elástico**.

El grado de rigidez o de **distensibilidad** del tejido pulmonar va a afectar la cantidad de presión necesaria para aumentar o disminuir el volumen del pulmón. La distensibilidad pulmonar puede afectar a la elasticidad. Conforme aumenta la rigidez, el pulmón pierde cada vez más la capacidad de regresar a su tamaño normal durante la espiración. Las enfermedades pulmonares se discuten más adelante en esta unidad.

La magnitud de la **resistencia** al flujo del aire también puede afectar a los volúmenes pulmonares. La resistencia es una medida de la facilidad con la cual el aire pasa a través de las vías aéreas. Esta resistencia está determinada por el número, la longitud y el diámetro de las vías

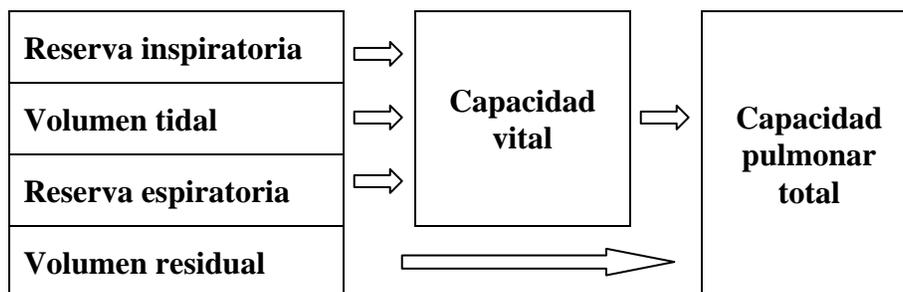
aéreas. Un individuo con un alto grado de resistencia puede no ser capaz de exhalar de manera completa, quedando de esa manera el aire atrapado en los pulmones.

La capacidad total de los pulmones resulta en ocasiones útil para comprender la patología pulmonar. Una estimación razonable de la capacidad pulmonar total se puede obtener al combinar varios parámetros volumétricos. (Véase **figura 1-4. Volúmenes pulmonares**). Los parámetros más comunes son:

1. **Volumen corriente** (también conocido como volumen tidal o VT, volumen en marea, en inglés: *Tidal Volumen*): es, durante una respiración tranquila y relajada, el volumen de aire que es inhalado o exhalado con cada respiración.
2. **Volumen de reserva espiratoria o VRE** (*Expiratory Reserve Volume*): es la máxima cantidad de aire que es exhalada de manera forzada después de una inspiración normal y una espiración normal. La cantidad de aire exhalado será mayor que la que había sido inhalada inmediatamente antes.
3. **Volumen de reserva inspiratoria o VRI** (*Inspiratory Reserve Volume*): es la máxima cantidad de aire que puede ser inhalada de manera forzada después de una inhalación normal.
4. **Volumen residual o VR** (*Residual Volume*): es la cantidad de aire que permanece en los pulmones después de la espiración máxima.
5. **Capacidad vital o CV** (*Vital Capacity*): es la máxima cantidad de aire que puede ser exhalada después de una inhalación máxima. La capacidad vital es la suma del volumen tidal, del volumen de reserva inspiratorio y del volumen de reserva espiratorio. (La cantidad de aire que puede ser exhalada con un esfuerzo máximo después de una inhalación máxima se denomina **capacidad vital forzada** [*Forced Vital Capacity* o CVF]). La CVF es el volumen que es medido en la espirometría y se discutirá con mayor detalle más adelante.
6. **Capacidad pulmonar total o TPT** (*Total Lung Capacity, TLC*): es la suma de la capacidad vital y del volumen residual.

(El lector puede encontrar de utilidad referirse al **apéndice A. Glosario de términos frecuentemente usados en espirometría**, cuando se lea esta y otras unidades subsecuentes.)

Figura 1-4. VOLÚMENES PULMONARES.



C. Mecanismos para proteger a los pulmones de los riesgos que son transportados por el aire.

Los contaminantes del aire pueden estar en forma de gases (vapores), líquidos o sólidos (humos y polvos). (Véase el **apéndice B, una revisión de los riesgos ocupacionales para el pulmón** para una discusión sobre los tipos más frecuentes de riesgos pulmonares que se observan en el ámbito ocupacional.) Diferentes tóxicos químicos o materiales irritantes que son inhalados pueden lesionar al árbol traqueo-bronquial o los pulmones. Estas sustancias pueden también causar daño en otras partes del cuerpo debido a que los pulmones ofrecen una vía importante de exposición.

Para que una sustancia peligrosa afecte los pulmones, debe primero pasar a lo largo del árbol traqueo-bronquial y alcanzar los alvéolos. Los mecanismos de defensa del organismo previenen que alcancen el pulmón todas las partículas excepto aquellas más pequeñas. En términos generales, una persona puede ver a simple vista partículas tan pequeñas como aquellas de 50 micras de diámetro (el símbolo “ μm ” es la abreviación de la palabra micra). Para poner esto en perspectiva diremos que hay 25,400 micras en una pulgada o 10,000 micras en un centímetro. Algunas partículas más pequeñas pueden ser en ocasiones vistas si una fuerte luz es reflejada en ellas (tales como las manchas que pueden ser vistas cuando la luz del sol pasa a través de una ventana). Las partículas de un tamaño respirable son menores a 10 micras y no pueden detectarse sin un microscopio.

El tamaño, la forma y la masa de las partículas determinan el lugar dentro del sistema respiratorio donde son depositadas. Las partículas mayores de 5 micras, habitualmente no permanecen flotando en el aire lo suficiente como para ser inhaladas o atrapadas por la nariz. Las partículas más pesadas se eliminan rápidamente si es que son inhaladas. Es más probable que las partículas de tamaño intermedio (1-5 micras) se depositen en la traquea y en los bronquios. Las partículas más pequeñas (0.01-1 micras) alcanzan con mayor probabilidad los bronquiolos, los conductos alveolares y los alvéolos. Las partículas fibrosas o de forma irregular tienden a quedar atrapadas a nivel de los bronquiolos o a nivel de sus encrucijadas. Sin embargo, algunas fibras y partículas pequeñas viajan fácilmente a los alvéolos debido a sus propiedades aerodinámicas.

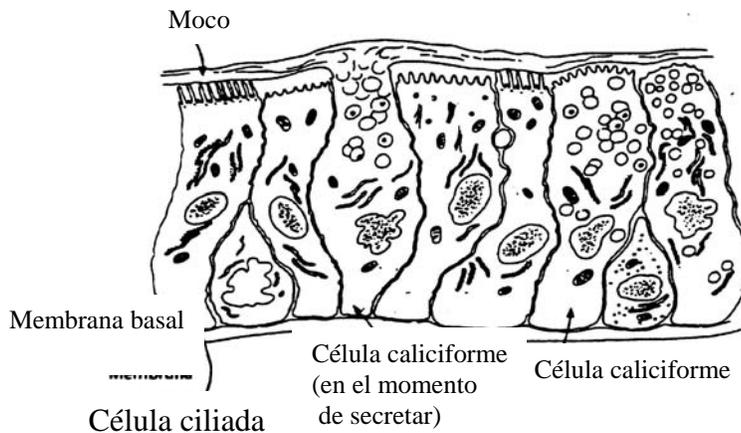
Los pulmones tienen varios mecanismos para protegerse de la contaminación por partículas y por

agentes infecciosos. Los finos vellos de la nariz ofrecen la primera línea de barrera para filtrar grandes partículas de polvo y de otros materiales. Sin embargo, cuando el individuo hace ejercicio o trabaja intensamente, necesita respirar a través de la boca y de esa manera queda superado el filtro nasal.

El reflejo de la tos limpia a la traquea y a los bronquios principales de los materiales extraños . En cualquier momento que los materiales irritantes toquen las paredes de las vías aéreas, el tórax y los pulmones contraatacan rápidamente. Como resultado de esto, el aire es forzado a salir rápidamente de los pulmones, con lo que habitualmente se expele al irritante.

La traquea, los bronquios y los bronquiolos mayores están tapizados con finas células ciliares que tienen estructuras filiformes. Estas células se encuentran cubiertas por una delgada capa de moco que atrapa el material extraño. Los cilios van a oscilar rítmicamente, moviendo el material atrapado hacia la garganta donde se puede tragar o escupir y de esa manera se puede eliminar del cuerpo. Este proceso se denomina escalador mucociliar (véase **figura 1-5. Escalador mucociliar**).

FIGURA 1-5. ESCALADOR MUCOCILIAR



El recubrimiento traqueal donde se encuentran las células ciliadas y las células caliciformes así como la recubierta de moco. Esto, en conjunto, se denomina “escalador mucociliar”.

Tomado de E.P. Horvath Jr., S.M. Brooks, y J.L. Hankinson [1981]. Manual de Espirometría en Medicina Ocupacional. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos. Cincinnati, p.9 (6).

Los macrófagos alveolares son células especializadas que se movilizan con el objeto de destruir bacterias y virus. En los pulmones sanos, la producción de macrófagos y de moco aumenta conforme es necesario para remover materiales extraños y después retorna a niveles normales. Al toser, inmediatamente se remueven las partículas irritantes y al escalador mucociliar puede tomarle unas cuantas horas expulsar el material extraño. Sin embargo, a las áreas más profundas

de los pulmones puede tomarles considerablemente más tiempo para quedar despejadas de las partículas (7). Los pulmones que reciben prolongadas o repetidas exposiciones a contaminantes del aire, eventualmente puede resultar sobrepasada su capacidad, debido al ritmo de depósito de materiales y a la constante irritación. Como resultado, los contaminantes se acumulan, contribuyendo al desarrollo de las enfermedades pulmonares ocupacionales.

D. El fumar y las enfermedades pulmonares ocupacionales

El fumar va a contribuir a las enfermedades pulmonares de varias maneras. Debido a la irritación que produce en las vías aéreas, se altera, en primer lugar, el mecanismo de defensa natural del pulmón y la actividad de los macrófagos y del escalador mucociliar. Por sí mismo, el hábito de fumar es la principal causa de enfermedades pulmonares y cardíacas graves y ciertos tipos de cáncer. Tiene también un efecto sinérgico con otros carcinógenos pulmonares como es el caso de los compuestos de asbesto, cromo y uranio así como el arsénico. El término sinergista significa que el efecto combinado de dos o más sustancias es mayor que la suma de sus efectos por separado. El hábito de fumar aumenta el riesgo de cáncer de pulmón en un 15%, la exposición crónica a asbestos, en un 4%, pero de manera conjunta, el riesgo aumenta hasta un 60% y no solamente se queda en un 19% (8). Como consecuencia de esto, aquellos fumadores que reciben una exposición ocupacional prolongada a otros contaminantes del aire, desarrollan enfermedades del corazón y del pulmón, así como cáncer, de manera mucho más frecuente que los sujetos no fumadores que tienen un grado de exposición comparable; asimismo, estas enfermedades progresan de una manera más rápida debido al daño adicional ocasionado por el fumar en los pulmones.

E. Enfermedades pulmonares ocupacionales

La espirometría es utilizada para detectar anomalías pulmonares que se expresan con patrones obstructivos y restrictivos, o con una combinación de ambas. (Véase **apéndice C. Revisión de la enfermedad pulmonar ocupacional** para encontrar una descripción de las enfermedades pulmonares ocupacionales mejor conocidas. Véase también el **apéndice D. Programas de vigilancia respiratoria**, para obtener información acerca de la espirometría en la vigilancia médica de la enfermedad pulmonar ocupacional). Las alteraciones o las enfermedades obstructivas interfieren con el paso del aire hacia adentro o hacia fuera de los pulmones. El proceso de la enfermedad subyacente altera frecuentemente el diámetro o la integridad de las vías aéreas, causando un aumento en la resistencia al flujo del aire debido a broncoespasmo, edema de la mucosa, así como un aumento en la producción de secreciones. El enfisema es una forma de enfermedad obstructiva. Cuando los individuos con enfisema exhalan (en particular si lo hacen de manera forzada) ocurre un mayor estrechamiento de la vía aérea o inclusive un colapso. El asma y la bronquitis crónica son enfermedades obstructivas frecuentes. Las enfermedades restrictivas tales como la asbestosis y la silicosis, son causadas por cambios en el tejido fibroso que reducen la capacidad de expandirse del pulmón (vgr. presentan una distensibilidad disminuida) pero que no necesariamente afectan al flujo del aire. Aquellos trastornos que afectan el funcionamiento neuromuscular de la pared torácica pueden producir también un patrón restrictivo. Otras enfermedades pulmonares, tales como la neumonía, pueden mostrar tanto patrones obstructivos como restrictivos.

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

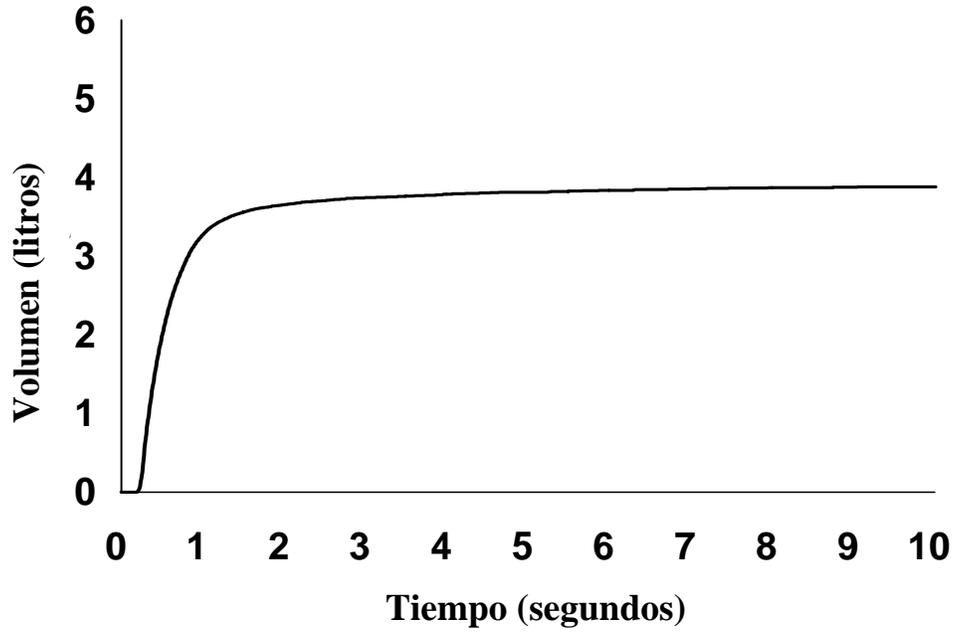
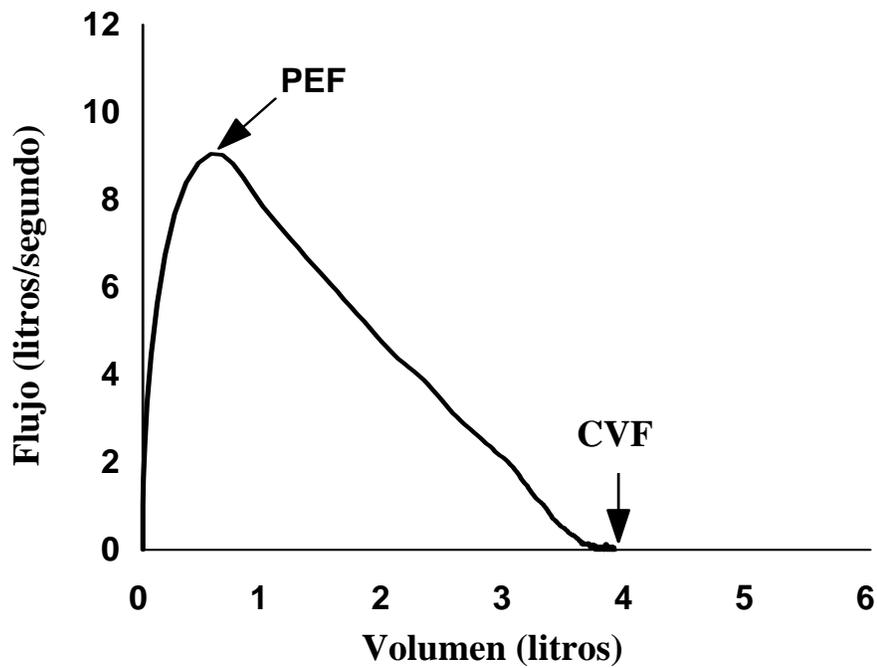


FIGURA 2-2. CURVA NORMAL FLUJO VOLUMEN



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 (VEF₁) y el cociente del VEF₁ 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 VEF₁. 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 VEF₁ es la cantidad de aire que una persona expulsa durante el primer segundo de una maniobra espiratoria forzada. (Véase **figura 2-3. CVF y VEF₁ en una curva normal volumen-tiempo** y la **figura 2-4. CVF y VEF₁ en una curva normal flujo-volumen.**)

El cociente del VEF₁ 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 VEF₁/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 VEF₁ 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 FEV₁ EN UNA CURVA NORMAL VOLUMEN-TIEMPO

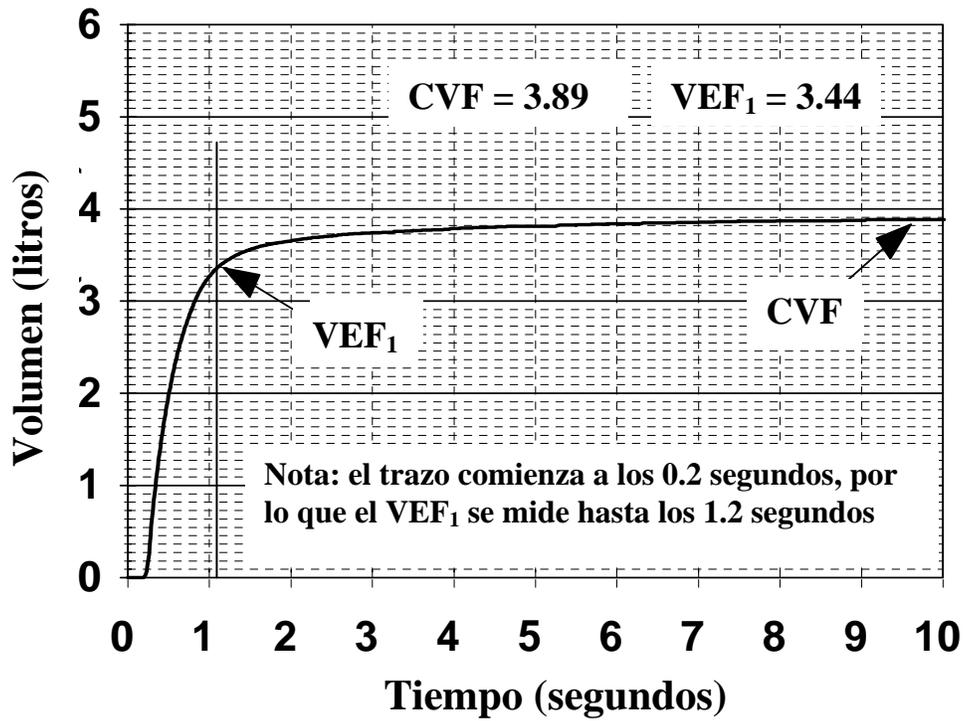


FIGURA 2-4. CVF Y VEF₁ EN UNA CURVA FLUJO VOLUMEN-NORMAL

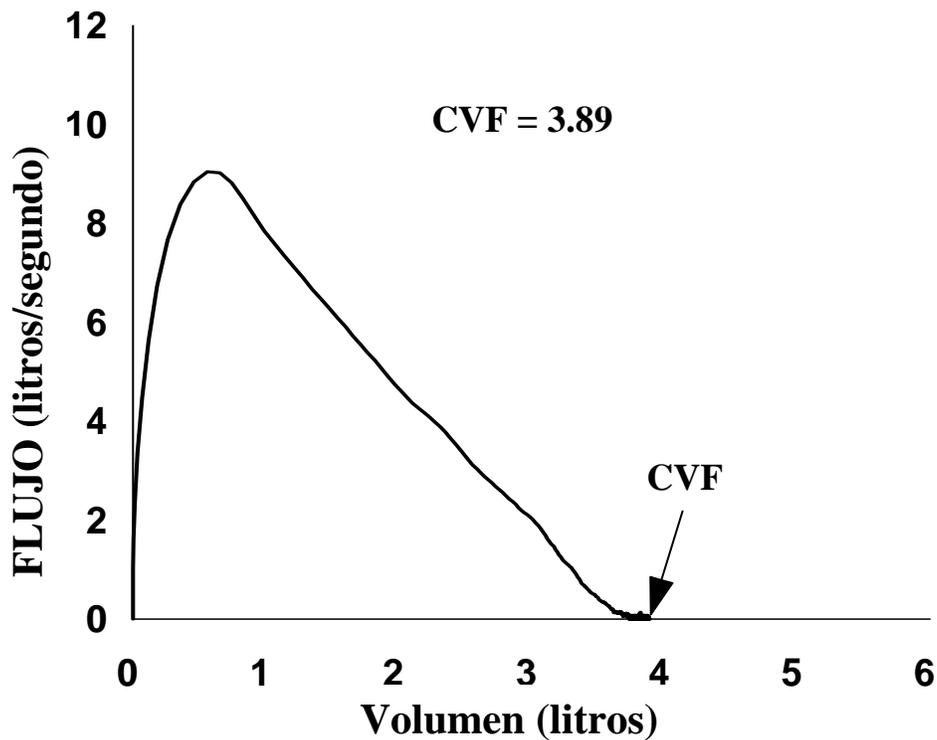


FIGURA 2-5. PATRONES NORMAL Y RESTRICTIVO EN CURVAS DE VOLUMEN-TIEMPO

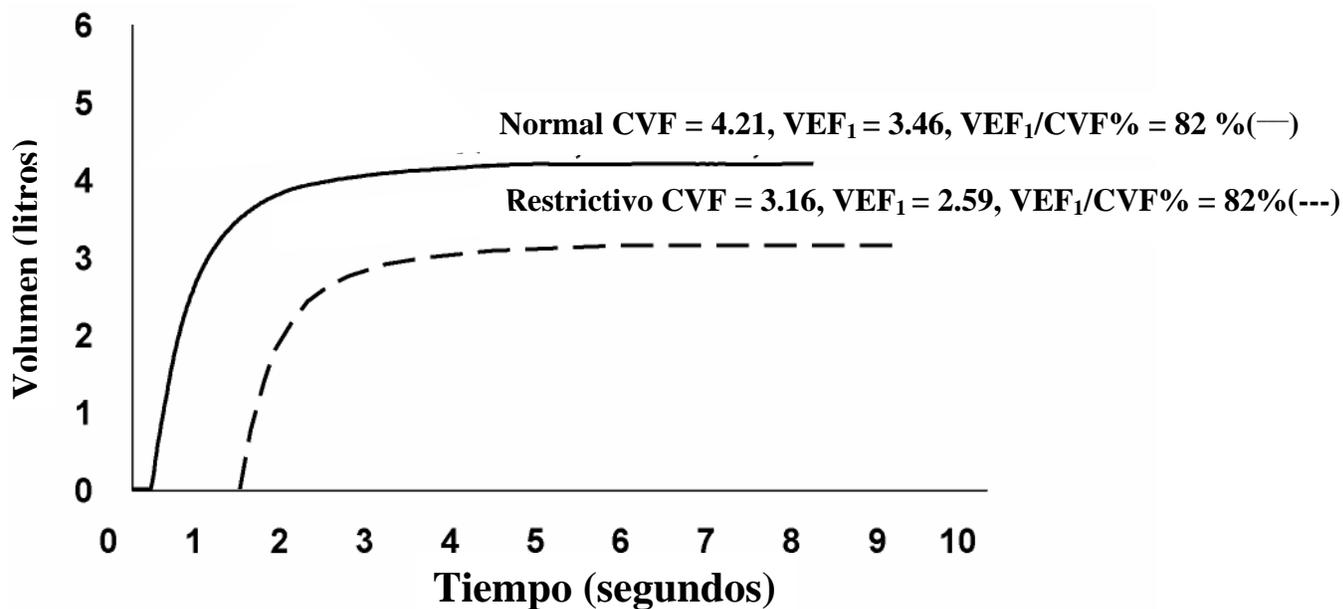


FIGURA 2-6. CURVAS DE FLUJO-VOLUMEN

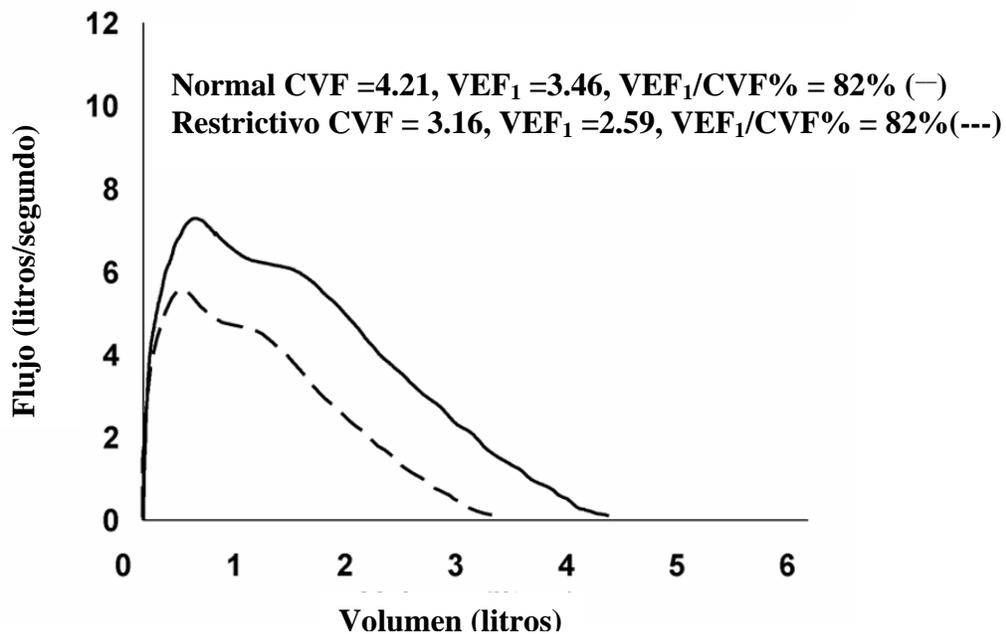


FIGURA 2-7. PATRONES NORMAL Y OBSTRUCTIVO EN CURVAS DE VOLUMEN-TIEMPO

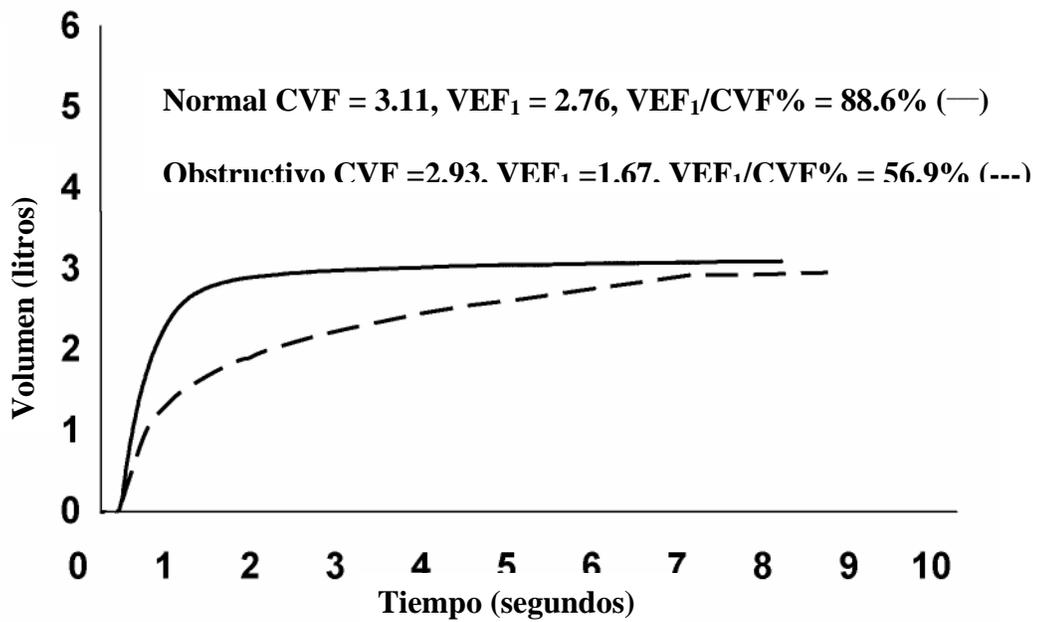


FIGURA 2.8. CURVAS DE FLUJO-VOLUMEN

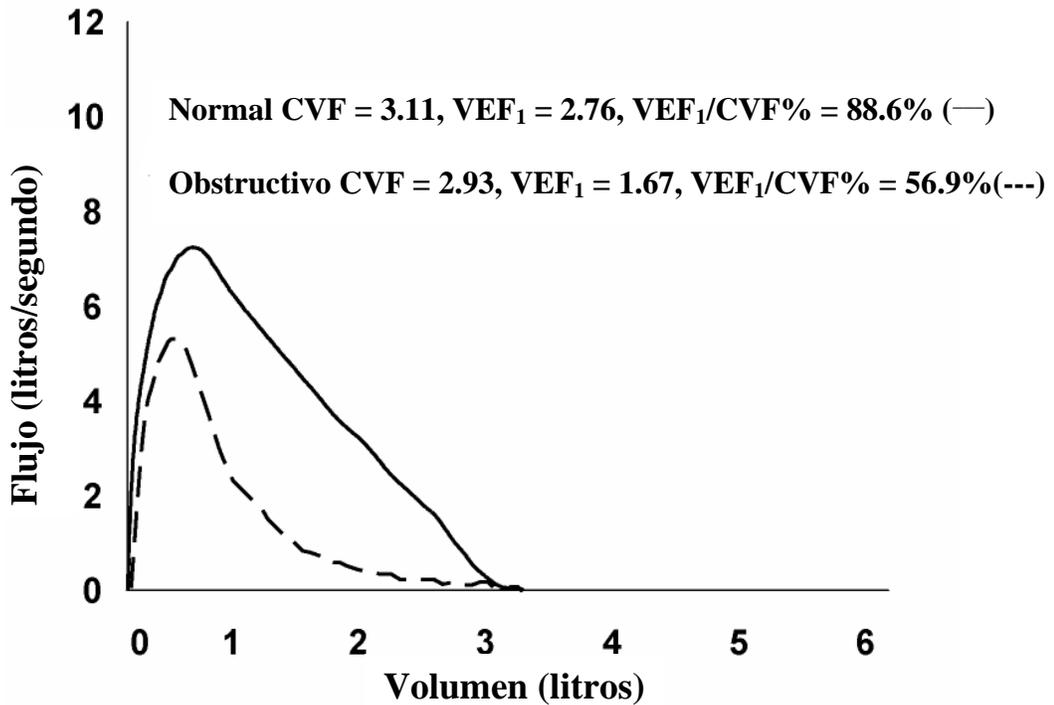


FIGURA 2-9. PATRONES NORMAL Y MIXTO DE CURVAS VOLUMEN-TIEMPO

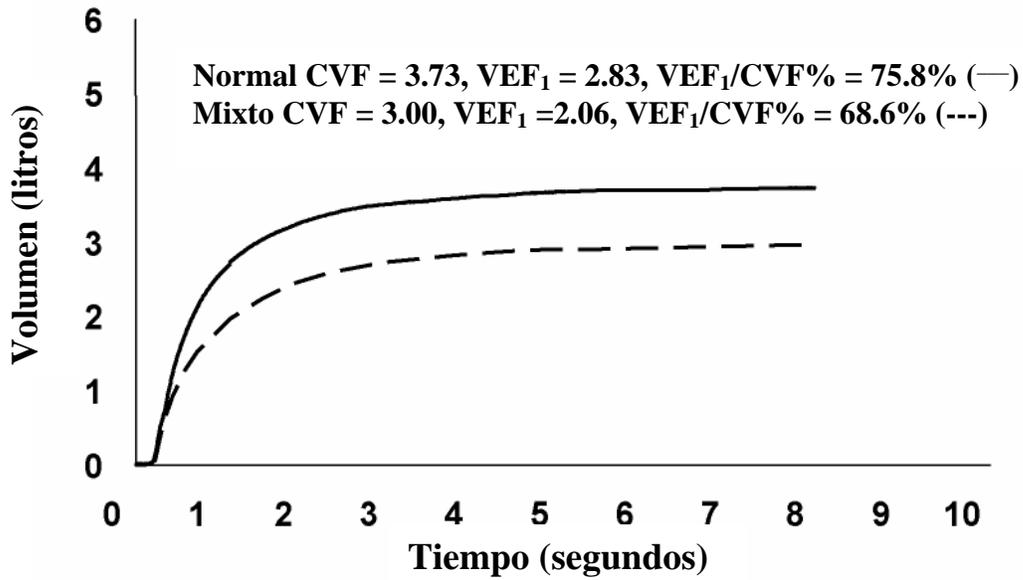


FIGURA 2-10. CURVAS DE FLUJO-VOLUMEN

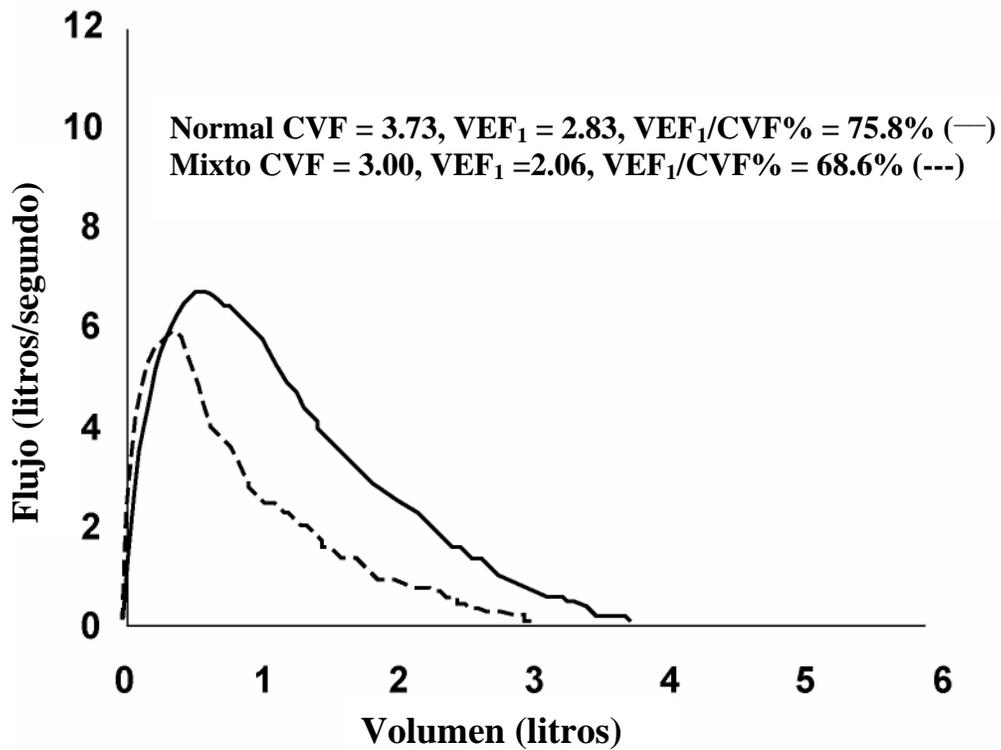


Tabla 1

ENFERMEDADES PULMONARES Y RESULTADOS DE LA ESPIROMETRÍA

Interpretación	CVF	VEF₁	VEF₁/CVF%
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 VEF₁ 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.

UNIDAD 3: PROGRAMA DE GARANTIA DE CALIDAD

¿Por qué preocuparse sobre la calidad? La espirometría se encuentra entre las mediciones más útiles y exactas del estado pulmonar. Sin embargo, si no se realiza de manera correcta, los valores obtenidos pueden generar confusiones y traer como resultado una clasificación equivocada del estado de salud del trabajador (14,15). A ciertos trabajadores se les puede decir que tienen una función pulmonar normal, cuando en realidad tienen una obstrucción de las vías aéreas (un reporte falso negativo) y a otros trabajadores se les puede decir que tienen una enfermedad cuando en realidad sus pulmones se encuentran normales (un reporte falso positivo). Los médicos que llevan a cabo el seguimiento de aquellos trabajadores que tuvieron pruebas equivocadas, pueden concluir que los resultados de la espirometría no son de fiar, lo que coloca en peligro a todo el programa de vigilancia sanitaria de los trabajadores. De esa manera, es fundamental un programa de garantía de la calidad (*quality assurance – QA*) para estar seguros que los resultados de la espirometría tienen algún beneficio en la vigilancia de salud de los trabajadores (16, 17).

A. Componentes de un buen programa de control de calidad en la espirometría:

- Apoyo gerencial y recursos suficientes
- Director del programa QA accesible
- Manual de procedimientos actualizado
- Equipo exacto de espirometría
- Verificación diaria del espirómetro
- Reportes mensuales de la calidad de la espirometría
- Bitácora de mantenimiento del equipo
- Adiestramiento y revisión de los técnicos
- Verificaciones de la calidad de las maniobras

Apoyo de la gerencia. Las pruebas de espirometría requieren tiempo, espacio y apoyo administrativo. Los técnicos necesitan un entrenamiento adecuado, equipo, suministros y un programa de pruebas que vaya con la realidad, así como también un área privada y tranquila para dichas pruebas. El apoyo administrativo es fundamental para asegurar que los recursos sean suficientes para lograr un programa confiable.

Director del programa QA. El director del programa QA asume la responsabilidad directa de todo el programa de garantía de la calidad. El director se asegura que los técnicos se adiestren de manera adecuada y mantengan su nivel de competencia, así como de que los recursos estén disponibles para que los técnicos hagan su trabajo de manera correcta. Se asegura también, que los métodos usados estén apoyados en la evidencia científica y de que todos los técnicos sigan lineamientos establecidos en el programa de garantía de la calidad (18). El director del programa deberá tener suficiente confianza en el proceso de QA, como para que él o ella verifiquen que todos los resultados de las pruebas reportadas del laboratorio sean válidos y exactos.

Manual de procedimientos. Cada programa de monitoreo deberá usar o desarrollar un manual de procedimientos de espirometría. No es suficiente con el manual para el operador distribuido por el fabricante. El manual de procedimientos asegura que los procedimientos de evaluación con espirometría y la información de la calibración del equipo estén disponibles para una

consulta rápida. Asimismo, ayuda a mantener la consistencia del programa, asegurando que los mismos procedimientos estandarizados estén disponibles para todo el personal de base y personal suplente, y dicho manual deberá ser usado para el adiestramiento de nuevo personal. Se puede obtener de la Sociedad Americana de Tórax (ATS), un manual de procedimientos de espirometría denominado “Manejo en el Laboratorio de la Función Pulmonar y Manual de Procedimientos”. Para solicitarlo, vaya a la página de internet de la ATS (<http://.thoracic.org/statements>) y siga las instrucciones ubicadas en la sección denominada “Función pulmonar y pruebas de esfuerzo”. El director del programa puede modificar el manual de acuerdo a la selección del equipo y los procedimientos dentro del programa. El manual del programa deberá ser actualizado conforme a las necesidades y deberán distribuirse copias entre todos los miembros del personal.

Los siguientes tópicos deberán ser incluidos dentro del manual de procedimientos de la espirometría:

- Estándares de espirometría o regulaciones relativas a determinada industria.
- Una descripción de los empleados elegibles y el calendario de evaluaciones.
- Calibración de equipo y procedimientos que evalúan posibles fugas, así como la frecuencia con la que deben ser realizados.
- Una descripción específica de los procedimientos de evaluación de la espirometría.
- Una copia del artículo de donde se han derivado los valores de referencia.
- Una muestra del cuestionario que se realiza antes de la prueba y ejemplos de algunos reportes.
- Manual del operador del espirómetro y de la información necesaria para contactar a las compañías que fabrican y distribuyen el equipo.
- Una lista de los suministros necesarios.
- Instrucciones sobre los procedimientos para el control de infecciones, incluyendo cómo limpiar y esterilizar el espirómetro.
- El registro del nombre y la fecha de la versión actual del manual de procedimientos.

Equipo de espirometría exacto. Algunos espirómetros de los modelos detección de flujo que se fabricaron antes de 1995, eran inexactos. Casi todos los modelos más recientes son exactos cuando salen de la fábrica, sin embargo, es muy probable que algunos pierdan en mayor grado su exactitud a lo largo de los meses o años de uso. La Sociedad Americana de Tórax ha publicado lineamientos para verificar la exactitud de un espirómetro, utilizando trazos modelo de espirometría (*waveforms*) a partir de un generador (1). Antes de comprar un espirómetro, revise los resultados del examen de exactitud de dicho modelo y pregúntele al proveedor cuánto dura la garantía del espirómetro con relación a dicha exactitud. Compre una jeringa de calibración de 3 litros para llevar a cabo verificaciones diarias. Pregúntele al proveedor si el espirómetro puede ser configurado de acuerdo a las ecuaciones de referencia NHANES III, así como para un chequeo de la calidad de las maniobras, el almacenamiento de los resultados de las 3 mejores maniobras, y la impresión de gráficas de flujo-volumen así como de volumen-tiempo.

Comprobaciones de calibración y otras medidas de control de calidad de los equipos
Verificaciones diarias sobre la exactitud del espirómetro. Son necesarias verificaciones diarias con relación a fugas y a la exactitud del espirómetro. Se pueden obtener resultados falsos positivos y falsos negativos a partir de un espirómetro inexacto. Los espirómetros que detectan

volúmenes tienden a presentar fugas. Una fuga puede causar una medición falsamente baja de la capacidad vital en los trabajadores examinados (19). Por otro lado, los espirómetros que detectan flujo, tienden a taparse, lo que puede aumentar falsamente los resultados. Algunos espirómetros pueden presentar otros problemas como el de producir correcciones para BTPS inexactas debido a la alta temperatura interna y, por último, el de que corra incorrectamente el papel de registro debido a cintas de hule o goma muy antiguas. Es importante que los laboratorios mantengan un registro cuidadoso de todas las evaluaciones llevadas a cabo en el equipo para detectar fugas, para calibrarlo, así como de los procedimientos de mantenimiento. Estos registros ayudarán en la identificación de problemas con el equipo para minimizar errores de exactitud (Véase la sección sobre el **registro de mantenimiento del equipo**, más abajo).

Reportes mensuales sobre la calidad de la espirometría. Un supervisor, un director médico o un tercero en discordia capacitado, deberán revisar y calificar la calidad de las pruebas de espirometría (y los registros de verificación de la calibración). Los reportes mensuales o de cada cuatro meses sobre la calidad de las sesiones de prueba (por los técnicos) son parte fundamental de un programa QA de espirometría. Al menos 95% de las pruebas deberán tener una calidad aceptable (alcanzando los criterios que se enumeran más abajo tanto para la reproducibilidad como para la aceptación de la maniobra). Se deberá supervisar o volver a adiestrar a cualquier técnico, cuando su calidad global en las pruebas de espirometría descienda por abajo del 90%.

Registros del mantenimiento del equipo. Para cada espirómetro, manténgase una bitácora de calidad en la que se registren las verificaciones de la calibración, el mantenimiento, las renovaciones y las reparaciones, incluyendo la fecha y la hora, el nombre del técnico, los procedimientos realizados, los resultados y los pasos tomados para remediar los problemas. Algunos equipos de espirometría computarizados almacenan esta información en una base de datos. Regístrese el modelo, el número de serie y el número de identificación de cada espirómetro que se use. Guarde también el manual del fabricante, las garantías, etc. junto con el manual de procedimientos. Los fabricantes frecuentemente actualizan o revisan su software.

Adiestramiento y evaluación de los técnicos. Un técnico bien adiestrado y competente viene a ser el factor más importante para asegurar una buena calidad en los resultados de la espirometría (20). Cada técnico deberá haber completado de manera exitosa un curso de adiestramiento en espirometría de 16 horas, aprobado por NIOSH, antes de llevar a cabo pruebas de espirometría en el ámbito laboral. El certificado de su examen deberá ser enmarcado y colgado sobre la pared de la habitación donde se realizan las pruebas de espirometría. El desarrollo profesional continuo y los seminarios dirigidos a técnicos, donde se revisen las últimas técnicas, equipos y procedimientos, asegurarán que el programa se mantenga al día.

Maniobras para verificar la calidad. Los técnicos deberán asesorar vigorosamente y de manera eficiente a cada uno de los individuos para que lleven a cabo maniobras aceptables y, asimismo, deben reconocer los diferentes patrones de aquellas maniobras inadecuadas. Un inicio lento (esfuerzo de expulsión inadecuado) puede causar valores disminuidos del VEF_1 . Durante la prueba, una inhalación inadecuada antes de la maniobra de exhalación, puede reducir de manera falsa los valores de la CVF. Los espirómetros que verifican automáticamente la aceptabilidad de cada maniobra de CVF pueden servir para recordárselo al técnico (21).

Algunos software automatizados van a revisar cada espirometría con relación a los criterios de aceptabilidad de la ATS (1). Puede o no ser posible que se muestre en la pantalla de la computadora un código de error para avisarle al técnico. La presencia de un código de error deberá hacer considerar a la maniobra como inadecuada. Recuérdese que el objetivo del técnico es el de obtener al menos tres maniobras aceptables. Una maniobra es considerada aceptable si no contiene ninguno de los siguientes errores:

- 1) Volumen extrapolado $\geq 5\%$ de la CVF o 150 ml
- 2) Presencia de tos durante el primer segundo
- 3) Esfuerzo variable
- 4) Cierre de la glotis
- 5) Tiempo de exhalación menor de 6 segundos
- 6) Fugas
- 7) Errores sobre la línea basal

Las sesiones de evaluación en las cuales el VEF₁ con valor más alto, menos el segundo valor más alto del VEF₁ (o CVF), varíen en más de 0.20 litros, van a indicar una mala reproducibilidad (o grado de semejanza) y deberán ser interpretadas con reserva. La presencia de una pobre reproducibilidad del VEF₁ o de la CVF en una sesión de evaluación, viene a ser una indicación de que el esfuerzo no fue máximo. Esto reduce también la confianza que se tenga en la interpretación de los cambios medidos de manera subsecuente en la función pulmonar (cambio antes y después del turno laboral). La reproducibilidad del VEF₁ y de la CVF, así como de la calidad de todas sesiones de evaluación, deberán ser verificadas ya sea de manera manual o por medio de un espirómetro automatizado.

B. Verificaciones de la calibración y otras medidas de control de calidad de los equipos

Verificación diaria de la exactitud. Se necesitarán realizar verificaciones diarias con relación a fugas y a la exactitud del volumen del espirómetro. Los espirómetros de volumen deberán verificarse a diario con relación a fugas, y su exactitud deberá verificarse usando una jeringa de 3.0 litros. También, de manera diaria y antes de usarse, los espirómetros de flujo deberán chequearse con relación a la exactitud del volumen a 3 diferentes flujos. Durante las encuestas a nivel industrial u otro tipo de estudios de campo, donde un gran número de personas es evaluado, las verificaciones de la calibración deberán hacerse al menos cada cuatro horas.

Cuando se esté utilizando un espirómetro de volumen, realice los siguientes chequeos cada 3 meses:

1. Verifique la exactitud con la que corre el papel.
2. Verifique la exactitud del termómetro interno.
3. Verifique la jeringa de calibración para una fuga.
4. Verifique que la medición de los volúmenes sea exacta en el rango completo de valores.

Cómo verificar la presencia de una fuga en el espirómetro de volumen. Las fugas son comunes cuando los espirómetros han sido desarmados para limpiarse. Se deberá realizar una verificación de fugas todos los días antes de evaluar a los sujetos y antes de realizar la prueba de la calibración. Varios espirómetros utilizan la gravedad, el peso de un metal, o un resorte, para hacer regresar la campana a la posición cero del volumen al final de cada maniobra de CVF. Para

algunos espirómetros, esta presión de retorno puede generar suficiente presión (alrededor de 2 cm de agua) como para ser utilizada para verificar fugas, mientras que en otros, va a ser necesario un peso más grande o una liga de goma. Consulte el manual del operador o el servicio de atención a clientes para conocer el método recomendado para incrementar la presión dentro del espirómetro cuando se quieren verificar fugas. Comience la prueba de fugas inyectando alrededor de 3 litros de aire del ambiente en el espirómetro (usando quizás una jeringa de calibración), ocluya el extremo de la boquilla para respirar y utilice el método recomendado para generar la presión interna. Anote en seguida el volumen de inicio, espere un minuto, y vuelva a anotar el volumen final. No deberá haber cambio en la medición (menos de 0.02 litros). Una disminución en el volumen por más de 0.02 litros indica que hay una fuga y no deberán realizarse evaluaciones hasta que la falla haya sido corregida. Se deberán buscar las causas habituales de fugas (como fracturas en la boquilla para respirar, una falta de hermetismo en la conexión de la boquilla, una placa floja, falta de una rondana, etc.). Para descubrir exactamente el problema, intente repetir la prueba de verificación sin tener conectada la boquilla, conectando a la abertura de la boquilla un tapón de goma. Se puede usar un sellador especial de silicón para sellar algunas fugas.

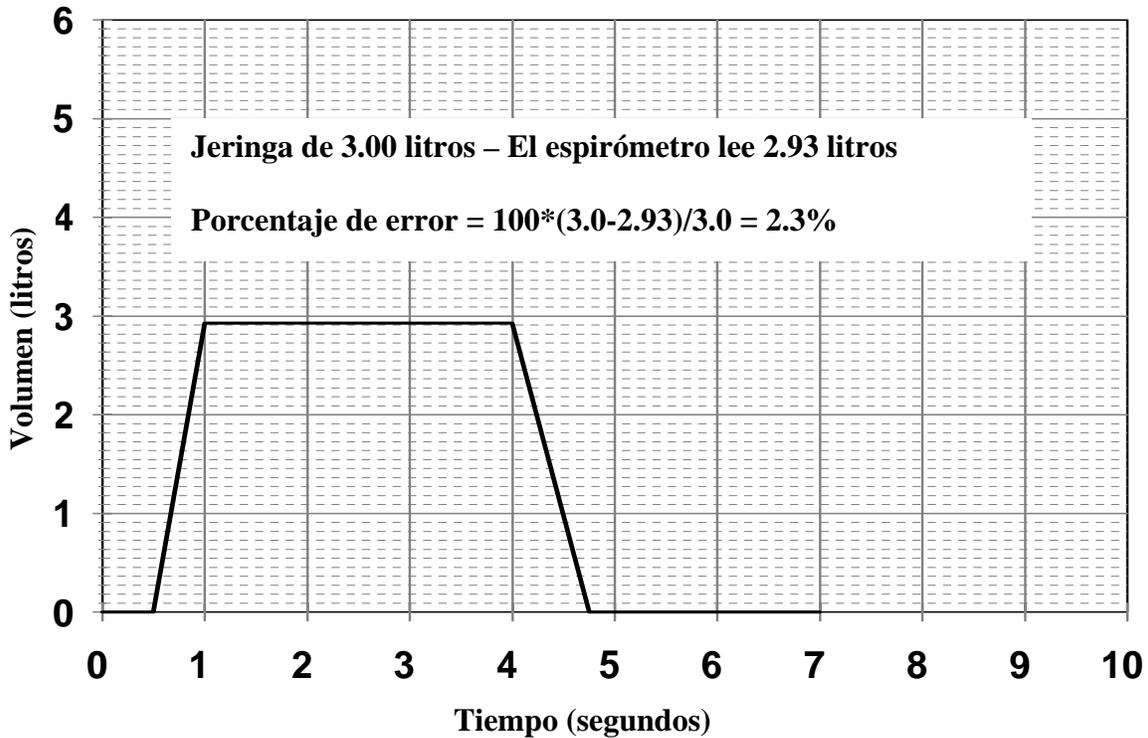
Cómo verificar la exactitud de un espirómetro de volumen. Utilice una jeringa exacta de calibración de 3.00 litros. Si la jeringa de calibración se ha caído de manera accidental, ha perdido sus componentes, o tiene una fuga, se deberá regresar al fabricante para su reparación y su recalibración. Asegúrese que la corrección BTPS esté apagada, para evitar un error de cálculo cuando se calibre un sistema de espirometría computarizado.¹ Mantenga la jeringa cerca del espirómetro de manera que tengan ambos la misma temperatura. El volumen registrado cuando se inyecta el aire de la jeringa al espirómetro, debe de estar dentro de $\pm 3\%$ de 3.00 litros (entre 2.91 y 3.09 litros). (Véase **figura 3-1. Jeringa de calibración volumen-tiempo**).

Registre los resultados de la calibración y de la prueba de fugas en la hoja diaria de trabajo o en la bitácora de calidad. Si el volumen es bajo (menos de 2.91 litros) repita primero la prueba de la fuga. Si se está usando un espirómetro de sello de agua, verifique el nivel de agua. Si el volumen es alto (arriba de 3.09 litros) verifique para ver si el volumen cero es el correcto y asegúrese que la temperatura de la jeringa de calibración sea idéntica al espirómetro.

EJEMPLO. Se inyectó aire de una jeringa de 3 litros en el espirómetro produciéndose el trazo que se muestra más abajo (**Figura 3-1. Verificación de la calibración volumen tiempo con la jeringa**). Para alcanzar los criterios de $\pm 3\%$ de 3 litros, el volumen debe caer entre 2.91 – 3.09 L. El volumen que se lee es de 2.93 litros, esto es, dentro de límites aceptables (si la línea basal no empieza en cero, recuerde hacer el ajuste correcto).

¹ Esto se hace habitualmente seleccionando la opción “verificación de la calibración” que aparece en la pantalla o la impresión. Si se ha seleccionado de manera inadvertida la evaluación regular de la CVF, y se inyecta aire de la jeringa de calibración (simulando una maniobra de CVF del sujeto), la computadora va a reportar la CVF como si el aire hubiera sido exhalado a temperatura corporal. Esto incrementará de manera falsa el resultado de la calibración de 3.00 litros, hasta cerca de 3.30 litros (con el factor de corrección BTPS).

Figura 3-1. VERIFICACIÓN DE LA CALIBRACIÓN VOLUMEN-TIEMPO CON JERINGA



Es importante comprender la diferencia entre verificaciones de calibración y recalibración del espirómetro. Deberá usted verificar la calibración del espirómetro todos los días; sin embargo, la calibración del espirómetro no deberá ajustarse a menos que las verificaciones repetidas nos muestren que ha perdido su exactitud, al mismo tiempo que no se encuentre una causa mecánica para esta pérdida de exactitud. Revise el trazo de ejercicio volumen-tiempo (**Figura 3.2 Verificación de la calibración volumen-tiempo con jeringa**) obtenido de un chequeo de la calibración de un espirómetro de sello rodante seco, al final de este capítulo.

Cómo verificar la exactitud de un espirómetro de flujo. Verifíquese la exactitud del volumen utilizando una jeringa de calibración de 3.00 litros todos los días, antes de utilizar el espirómetro. Seleccione la opción “verificación de calibración “(*calibration check*) del menú que ofrece el espirómetro (hágalo de manera que el software no aplique el factor de corrección BTPS a los resultados). Si el sensor de flujo es permanente y está calentado (como en algunos modelos viejos), verifique el manual para ver si el calentador deberá ser apagado por lo menos 30 minutos antes de la verificación de la calibración. Si se está usando un sensor de flujo permanente no calentado, y éste fue limpiado recientemente, asegúrese que esté completamente seco y a temperatura ambiente antes de la verificación de la calibración. Si el espirómetro utiliza sensores desechables, utilice un nuevo sensor de cada una de las cajas para realizar la

verificación de la calibración. Para estas verificaciones, algunos espirómetros de flujo requieren un adaptador especial que se acomode entre la jeringa y el sensor de flujo.

Llene primero por completo la jeringa con aire, y después únala firmemente al sensor de flujo y vacíela hasta escuchar un suave chasquido, lo cual significa que la jeringa se ha vaciado por completo. No golpee la jeringa mientras la vacía para evitar daños. Desconéctela, vuélvala a llenar con aire y entonces vacíe la jeringa tres veces , cada vez a diferente velocidad: primero vacíela en menos de un segundo(rápido), después en 2 a 3 segundos (medio)y la tercera vez tómese alrededor de seis segundos (lento). Cuente “diez mil uno, diez mil dos” etc., mientras la vacía, para ir marcando la velocidad del vaciamiento. La CVF resultante de las tres maniobras deberá ser entre 2.91 y 3.09 litros. Registre los tres resultados en la hoja de registro diario o en la bitácora de calidad.

Verificaciones cada cuatro meses para los espirómetros de volumen. Para verificar un aparato que registre los trazos de manera mecánica, utilice un cronómetro para asegurarse que un segundo registrado en el trazo es igual a $\pm 1\%$ de un segundo real (o la mitad de la división más pequeña del tiempo en la gráfica). Ya que resulta difícil medir un segundo de manera exacta, mida cuánto tiempo se lleva la plumilla para atravesar un segmento de 10 segundos del papel y divida el resultado entre diez. Observe que corra bien el papel, ya que el *clutch* o los rodadores de goma se pueden zafar (lo que indica la necesidad de reemplazarlos). Registre sus resultados en la bitácora de calidad.

Utilice un termómetro de referencia para verificar la exactitud del termómetro usado para mediar la temperatura interna del espirómetro. Si las dos temperaturas no coinciden dentro del rango de un grado centígrado, el factor de corrección BTPS va a ser inexacto. Si el espirómetro de volumen no mide la temperatura dentro de la campana o la cámara de volumen, pregunte al fabricante cómo instalar un termómetro, o pídale a su ingeniero que lo instale. Los termómetros electrónicos para los sitios abiertos o cerrados (disponibles desde \$20 dólares) deberán funcionar bien.

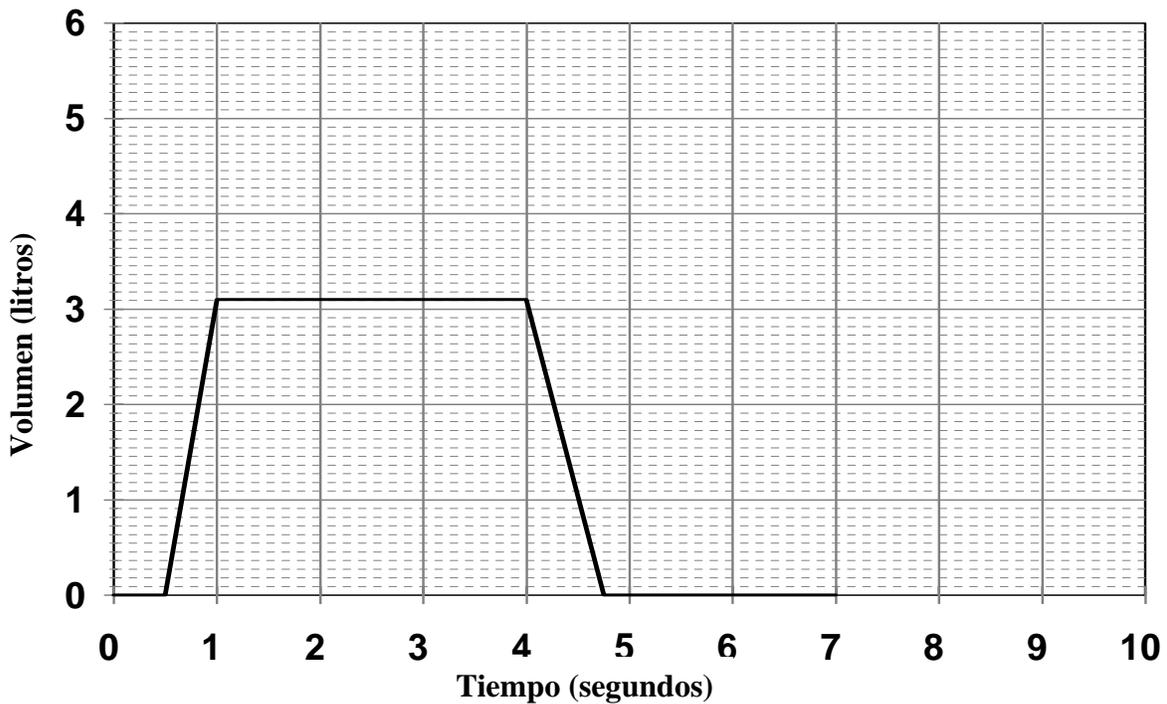
Verifique que el espirómetro inicie la prueba al momento correcto. Algunos espirómetros inician en falso la prueba, si es que el sujeto agita la boquilla cuando inhala. Esto causa una disminución artificial del VEF₁ (22). Algunos requieren un volumen de exhalación excesiva antes de que el papel cuadriculado o la plumilla comiencen a moverse. Calcule el VEF₁ a mano a partir del trazo, y compárelo al VEF₁ calculado electrónicamente, para asegurarse que se está usando el equivalente de la extrapolación retrógrada para determinar el inicio de la prueba (Las instrucciones para calcular el VEF₁ y la extrapolación retrógrada se ofrecen en la **unidad 5: Cálculos espirométricos básicos**).

C. Control de las infecciones. Aunque no se ha documentado la transmisión de infecciones a través de la espirometría, no deberá pasar desapercibido el riesgo teórico. Los Centros para el Control y Prevención de Enfermedades de los Estados Unidos (*Centers for Disease Control and Prevention CDC*; <http://www.cdc.gov>) han publicado varios lineamientos para prevenir la contaminación cruzada.

Lávese siempre las manos antes y después de una prueba de espirometría

Instruya a los trabajadores para quitar y desechar las boquillas desechables en cada sesión.
Utilice pinzas nasales estériles o desechables.
No evalúe a aquellos trabajadores que presenten una infección respiratoria activa (un proceso gripal o resfriado).
Cuando se utilice un espirómetro de volumen, considere utilizar “filtros” de espirometría desechables.
No reutilice sensores de flujo diseñados para su uso en un único paciente.
Siga las recomendaciones de los fabricantes de espirómetro para su limpieza y desinfección.
Las superficies más duras deberán desinfectarse frotándolas con alcohol isopropílico.
Verifique con su Oficina Nacional o Estatal de Salud sobre las instrucciones para el control de infecciones en los dispositivos utilizados en la atención a la salud.

Figura 3-2. VERIFICACIÓN DE LA CALIBRACIÓN VOLUMEN-TIEMPO CON JERINGA: EJERCICIO



RETROALIMENTACIÓN: El volumen de la verificación de calibración es de 3.1 litros, que no está dentro del intervalo aceptado. Verifique que la jeringa está funcionando adecuadamente. Si lo está, se requiere una reparación del espirómetro antes de usarlo de nuevo.

UNIDAD 4: TÉCNICA ESPIROMÉTRICA

Un técnico bien adiestrado viene a ser fundamental para la obtención de resultados espirométricos exactos y precisos. Las consecuencias de no introducir medidas de aseguramiento de la calidad fueron discutidas en las unidades dos y tres. Una preparación y un asesoramiento deficientes del sujeto pueden también afectar de manera adversa los resultados. Esta unidad cubrirá los pasos que son necesarios llevar a cabo para ayudar al sujeto a lograr el mejor trazo posible. (Véase **apéndice G. Lista de verificación para la espirometría**, para obtener un resumen del material cubierto en esta unidad.)

A. Preparación del equipo.

1. Verifique que el equipo haya sido limpiado de manera adecuada de acuerdo a los lineamientos establecidos (Véase **unidad 3: Programa de garantía de la calidad**, con relación a las recomendaciones para el control de las infecciones).
2. Asegúrese que el equipo esté listo:
 - a. Conecte la manguera, si es pertinente al caso.
 - b. Verifique el suministro de papel.
 - c. Indique la velocidad del papel
 - d. Verifique la posición de las agujas o pajillas.
 - e. Hágale al equipo una prueba, haciéndolo correr. Es preferible que la prueba la haga usted, ya que usted estará ya familiarizado con sus resultados, si es que ha llevado a cabo de manera rutinaria maniobras espiratorias forzadas (véase **unidad 3: Programa de garantía de la calidad**).
3. Asegúrese que se haya **verificado la calibración** el día que se va a ejecutar la prueba, de acuerdo a los lineamientos establecidos. (Véase **unidad 3: Programa de garantía de la calidad** para mayor información).
4. Verifique que haya **suficientes suministros** (boquillas, clips nasales, vasos para guardar prótesis dentales, formas individuales para anotar al sujeto así como otros materiales usados) para realizar y registrar las pruebas. Anote qué insumos van a necesitar pronto, un nuevo pedido.
5. Anote la **temperatura** ambiente o de la **habitación** (se prefiere la temperatura dentro del espirómetro) y conviértala a grados centígrados si es necesario (véase **unidad 5: Cálculos espirométricos básicos, sección I: Conversión a BTPS**, para consultar las tablas de conversión). Anote la presión barométrica si es necesario.
6. Verifique que la báscula y el estadiómetro para **medición de peso y talla** estén funcionando adecuadamente.
7. Tenga preparada un **área aislada** donde el sujeto pueda quitarse aquella ropa que restrinja sus movimientos o alguna dentadura que esté floja.

8. Tenga lista una **silla sin ruedas** para el sujeto.
9. Tenga disponibles suficientes **cestos de basura** para depositar las mascarillas, las boquillas, etc.
10. Siga los lineamientos de su institución para el **manejo de desechos médicos**.

B. Prepare al sujeto

1. Explíquelo el motivo del estudio de espirometría

- a. Preséntese y dígame que el día de hoy se le van a tomar ciertas mediciones para comprobar su estado de salud o el de sus pulmones. La palabra “prueba” pone frecuentemente nerviosa a las personas al pensar que no se sabrán las respuestas correctas o que no lo van a aprobar. Trate de evitar el uso de dicha palabra al hablarle al sujeto para evitar que desarrolle una “angustia de examen”.
- b. Señale el espirómetro y hágale notar que lo va a usar para registrar la cantidad de aire que puede exhalar y qué tan rápido lo puede hacer. (**NOTA: La exhalación tan forzada como sea posible en un espirómetro se llama **maniobra espiratoria forzada****).
- c. Haga énfasis en que el procedimiento no lo va a lastimar, pero que para lograr resultados válidos y de utilidad, la persona debe respirar tan fuerte y tan rápido como le sea posible cuando se le indique, y que el procedimiento debe repetirse varias veces para obtener toda la información necesaria.
- d. Explíquelo que usted le va a decir cómo se realiza el procedimiento y que también le va a dar una demostración previa de la prueba, pero que antes de eso, necesita hacerle algunas preguntas.

2. **Verifique si la prueba puede llevarse a cabo o debe ser pospuesta.** Ciertas condiciones pueden afectar los resultados. Siga los criterios establecidos por su institución para posponer la espirometría. Si en su institución no hay criterios, a continuación se ejemplifican algunas preguntas que pueden utilizarse como guía para que pueda tomar decisiones. Antes de aplicar estas preguntas, es conveniente que usted las revise con el médico de la organización para determinar si alguna debe eliminarse o se deban agregar otras.

Si se pospone la prueba, asegúrese de darle otra cita a la persona antes de que abandone la instalación, e indique en la hoja de registros la razón por la que fue pospuesta.

- a. **¿Cómo se siente hoy?** Investigue si la persona presenta alguna enfermedad aguda que pueda afectar su capacidad para tomar una respiración profunda o soplar de

manera forzada. Si ese es el caso, posponga la espirometría, al menos por tres días.

- b. **¿Ha usted fumado cigarrillo, pipa o puro en la última hora?** Si éste es el caso, posponga la espirometría al menos una hora. El fumar puede tener un efecto a corto plazo en las vías aéreas pequeñas.
- c. **¿Ha usted usado algún medicamento inhalado en la última hora, como es el caso de los broncodilatadores en aerosol?** Si éste es el caso, posponga la espirometría al menos una hora. Estos agentes pueden tener un efecto a corto plazo en las vías aéreas pequeñas.
- d. **¿Qué ha comido usted en la última hora?** Una comida copiosa puede tener un efecto a corto plazo sobre la capacidad del sujeto para tomar aire lo más intensamente posible. Después de averiguar qué es lo que el sujeto ha comido, decida si la cantidad de alimento es suficiente como para influenciar los resultados. Si es así, posponga la espirometría por lo menos una hora.
- e. **¿Ha tenido usted alguna infección respiratoria, como gripe, neumonía, resfriado severo o bronquitis, en las últimas tres semanas?** Si éste es el caso, considere posponer la prueba por lo menos hasta que hayan pasado tres semanas, o aún más si persiste la tos. Estas enfermedades pueden tener un ligero efecto a corto plazo en las vías aéreas.
- f. **¿Ha tenido usted una infección o problemas en el oído en las últimas tres semanas?** Si éste es el caso, posponga la prueba al menos tres semanas. La persona puede experimentar una molestia en el oído durante la exhalación forzada.
- g. **¿Ha tenido usted cirugías recientes?** Si la persona ha tenido cualquier cirugía mayor, tales como cirugía oral, cirugía del tronco, o cirugía del ojo, consúltese con su cirujano para determinar cuánto tiempo es necesario posponer la prueba. La capacidad del sujeto de tomar tanto aire como le sea posible, o en el caso de cirugía oral, de lograr que la boca embone perfectamente con la boquilla, pueden estar temporalmente afectadas.

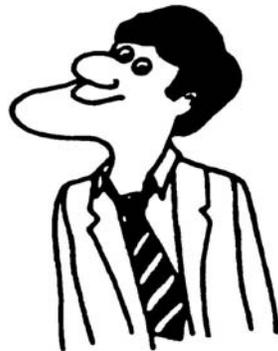
C. Posición del sujeto

1. **Sentado o parado.** La persona puede sentarse o permanecer parada. Se prefiere que esté de pie, en particular en las personas obesas, ya que algunos estudios han demostrado que se obtiene una CVF mayor estando de pie (23). Si la persona va a realizar la prueba de pie, ponga una silla detrás de ella. Puede que desee sentarse entre una y otra prueba. Si la persona va a hacer la prueba sentada, sugiérasele que se siente derecho. **Anote en la hoja del informe la posición en que se realizó la prueba.**

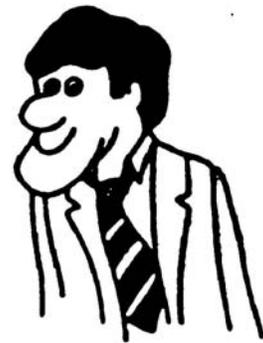
Siempre que sea posible, cuando la espirometría se realiza en días subsecuentes, los sujetos deben efectuar la prueba en la misma posición que se usó la primera vez. Si el sujeto realiza parado la primera prueba pero se sienta al efectuarla de manera subsecuente, la CVF puede mostrar una disminución que es el resultado de la posición más que de la enfermedad pulmonar. Esto va a dificultar la interpretación de los resultados a menos que se haya anotado la posición en el informe. **Nota: la posición de pie deberá usarse en las mujeres gestantes, en los sujetos obesos, así como en los niños, con el objeto de obtener el mejor resultado.**

2. **Ropa.** Indíquele a la persona que se afloje su ropa si está muy entallada, como es el caso con las corbatas o cualquier sostén o faja, los cuales van a restringir una respiración profunda. Puede que usted vaya necesitar de batas así como de un área donde la persona pueda cambiarse, si es que fuese necesario.
3. **Posición del mentón y del cuello.** Instruya al paciente para que eleve su mentón y extienda el cuello ligeramente. Esta posición va a permitir la exhalación más forzada posible (Véase figura 4-1. Posición del mentón y del cuello.)
4. **Clip o pinza nasal.** Nosotros recomendamos que el sujeto use un clip nasal. Muéstrelle cómo usarlo. Este clip va a prevenir que el aire se escape por la nariz durante la prueba. Si esto no es posible, haga que el sujeto se apriete la nariz al realizar la prueba.

FIGURA 4-1. POSICIÓN DEL MENTÓN Y DEL CUELLO



Correcta



Incorrecta

5. **Prótesis dental.** Pregúntele a la persona si tiene dientes postizos o si estos se desprenden. Si no es el caso, deben dejarse en su lugar, ya que resulta frecuentemente difícil lograr un cierre hermético alrededor de la boquilla, si la dentadura no está en su

lugar. Anótese en el reporte si se va a realizar la prueba usando dicha dentadura. Observe la forma de las curvas de la dentadura para determinar si puede obstruir el flujo de aire de la persona. Mantenga recipientes para dentaduras de plástico en caso que se requiera.

D. Realice la prueba

1. Explique a la persona cómo deberá hacerse la maniobra espiratoria forzada:

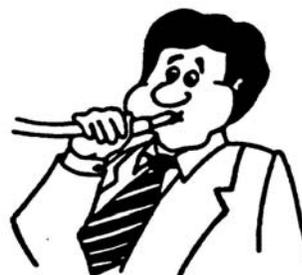
- a. Sostenga el tubo del espirómetro cerca de un hombro de manera que pueda cerrarse cuando sea necesario.
- b. Tome aire lo más pronto posible después de respirar varios ciclos durante algunos segundos.
- c. Coloque el tubo del espirómetro en la boca y ubíquelo sobre la lengua entre los dientes. Coloque la boquilla firmemente en la boca, asegurándose de que la persona no frunza los labios como al tocar un instrumento musical de viento. Instruya al sujeto a no inhalar de la boquilla, a menos que la información sobre la inspiración así como de la espiración no esté siendo registrada (Véase **figura 4-2. Posición correcta de la boca**).
- d. Mantenga el mentón ligeramente elevado y asegúrese que la lengua quede fuera de la boquilla.
- e. Sin más titubeos, sople (bote el aire) en la boquilla del espirómetro tan fuerte, rápida y completamente como sea posible.
- f. Continúe soplando mientras pueda hasta que se le diga que se detenga.

FIGURA 4.2 POSICIÓN CORRECTA DE LA BOCA

Boca bien
cerrada alrededor
de la boquilla



Correcta



Incorrecta

2. **Demuéstrele siempre a la persona la técnica correcta usando una boquilla.**
Averigüe si la persona tiene alguna pregunta.
3. **Lleve a cabo preparaciones de último momento en el equipo, si es necesario:**
 - a. Coloque la plumilla de registro en la posición apropiada sobre el papel cuadriculado.
 - b. Inicie el movimiento del papel al menos un segundo antes de que el sujeto sople en la boquilla.
4. **Asesore y motive a la persona.**
 - a. Instruya a la persona: “en el momento en que esté listo, tome la mayor cantidad de aire posible, coloque su boca firmemente alrededor de la boquilla, y sin más titubeos, sople en el espirómetro tan fuerte, rápido y completo como le sea posible.” Observe que el sujeto inhale profundamente, coloque la boquilla y expulse el aire de manera explosiva.
 - b. Motive al sujeto de manera activa y enérgica mientras realiza la maniobra. Ponga **énfasis en que la persona tiene que soplar, dígame: “¡sople, siga soplando, sople, sople, sople!”** Diversos estudios han demostrado que el estímulo y motivación activos tanto durante la inspiración como la espiración, ayudan al sujeto a dar su máximo esfuerzo.
 - c. Continúe animándolo a que siga exhalando hasta el punto en el cual el trazo llegue a ser casi plano—una meseta obvia en la curva volumen-tiempo. Ya que es difícil para el técnico determinar durante la maniobra, el final de la prueba, mejor dígame que sople el mayor tiempo posible. Después de cada maniobra permítale descansar por algunos minutos.

Definición estandarizada de la meseta de acuerdo a OSHA Cotton Dust: Menos de 25 ml de cambio en el volumen, en 0.5 segundos (véase **apéndice E. OSHA Cotton Dust Standard, apéndice D**). Esto resulta difícil de ver y requiere que el técnico se acostumbre a ver la magnitud de los cambios. Además, un estudio ha demostrado que siguiendo estrictamente el criterio de 25 ml en 0.5 segundos, trae como resultado una finalización prematura de la maniobra de la CVF y por ende, un valor menor de las CVF (24).

Definición de la meseta por la ATS en 1994: La Sociedad Torácica Americana define el final de la prueba como: Una meseta en la curva volumen-tiempo, definida ésta como la ausencia de cambio en el volumen durante al menos un segundo, o un tiempo espiratorio razonable. En un sujeto joven *normal*, la espiración *habitualmente* se va a terminar en menos de 6 minutos. En un sujeto con un proceso obstructivo o en un adulto mayor sano, se requiere un tiempo espiratorio más prolongado para alcanzar la meseta. Sin embargo, raramente se justifican exhalaciones prolongadas **múltiples** (1). (Véase: **apéndice F. Estándares de la American Thoracic Society**).

5. **Cerciórese de la aceptabilidad de cada trazo antes de continuar la prueba.**
(Véase abajo).

E. Cerciórese de la aceptabilidad y reproducibilidad de la maniobra

Fundamento. Los resultados del espirograma se utilizan para detectar posibles condiciones que afectan la capacidad para exhalar tan completo y forzado como pueda. Los resultados son comparados, ya sea con el espirograma previo del programa, si se cuenta con él, o con tablas establecidas con resultados esperados para personas con las mismas condiciones (vgr. sexo, edad, talla, etc.). (La comparación de los resultados se discutirá con mayor detalle en la **unidad 6: La Comparación de valores observados con los normales previstos**, y en la **unidad 7: Comparación de los espiogramas de seguimiento**). Si se obtienen resultados que no son exactos, la información que se obtenga de las comparaciones no va a ser correcta, generando la posibilidad de que no se detecten serias enfermedades pulmonares, o diagnosticando enfermedades que no existen. De esa manera, la meta de cada prueba es la de obtener maniobras **aceptables y pruebas reproducibles**.

1. Para fines de la prueba espirométrica, **aceptable** se define como aquella maniobra (trazo) libre de errores. **Reproducible** se define como aquélla sin una variabilidad excesiva. Más abajo se discuten los criterios para determinar si los trazos son aceptables y reproducibles.
2. **Criterios para un espirograma aceptable:** Una maniobra espiratoria forzada que está libre de los errores que se enumeran a continuación (en la sección H se dan ejemplos de trazos con errores). Algunos errores pueden verse fácilmente, mientras que otros requieren de cálculos.
 - a. **Titubeos y falsos inicios**, indican que el sujeto no exhala de manera forzada al inicio de la maniobra. Una estrategia para detectarlos la constituye el criterio de que el volumen extrapolado no sea mayor del 5% de la capacidad vital forzada (CVF) o de 150 ml, tomándose el mayor de estos volúmenes. (véase **unidad 5: Cálculos espirométricos básicos** para una definición de la CVF e instrucciones para calcular el volumen extrapolado). Algunos espirómetros automatizados calculan y muestran esto al final de cada maniobra. Si usted usa un espirómetro automatizado, verifique que estos cálculos y las verificaciones del volumen extrapolado sean realizadas.
 - b. **Tos.**

ATS 1994: Tos durante el primer segundo de la maniobra o en otro momento que pueda afecta los resultados. La tos durante el primer segundo puede afectar el volumen espiratorio forzado en un segundo (VEF₁). Sin embargo, la tos hacia el final de la maniobra no afectan los cálculos espirométricos (1). (Véase **unidad 5: Cálculos espirométricos básicos** para una definición y para instrucciones de cómo calcular VEF₁).

- c. **Esfuerzo variable** donde el sujeto expulsa el volumen de una manera inconstante.
 - d. **Cierre de la glotis.** Algunas veces la glotis se cierra involuntariamente interrumpiendo de manera temporal y completamente el flujo. Un patrón similar se va a observar si un sujeto interrumpe su esfuerzo activo y mantiene su boca en la boquilla.
 - e. **Finalización temprana** antes de que una meseta evidente sea alcanzada (sin cambio de volumen por al menos 1 segundo, después de un tiempo de exhalación de al menos 6 segundos (10 segundos es óptimo). (La meseta se define en la **sección D. Realice la prueba**, en esta unidad.).
 - f. **Fugas.** Son causadas cuando las personas no sellan herméticamente el circuito o si el volumen del espirómetro no es hermético.
 - g. **Error de la línea basal.** La plumilla de registro debe comenzar el trazo del esfuerzo del sujeto a nivel del cero, para la línea de volumen, y debe comenzar a moverse hacia arriba cuando la maniobra espiratoria forzada comienza.
3. **Criterios para valorar espirogramas reproducibles** (después de tres maniobras aceptables). Los dos valores más altos para la CVF y el VEF₁ tomados de maniobras espiratorias forzadas aceptables, deben mostrar una mínima variabilidad. (Véase **unidad 5 Cálculos espirométricos básicos** para las definiciones y para calcular la CVF, el VEF₁ y la variabilidad excesiva). Mientras que resulta importante calcular y determinar si la prueba satisface los criterios de reproducibilidad, es igualmente importante evaluar de manera visual las curvas volumen-tiempo (y las curvas de flujo-volumen, si están disponibles) para determinar si el tamaño y la forma de las curvas son reproducibles (véase Figuras 4-20 a 4-23).
4. **Número de maniobras a realizar: Invite al sujeto a que realice por lo menos 3 maniobras que sean aceptables, con valores de CVF y VEF₁ que caigan dentro de los 200 ml de la CVF, o del VEF₁ con segundo valor más alto** (Los criterios de reproducibilidad han cambiado con el tiempo: ATS-1994, dentro de 200 ml; ATS-1987-dentro del 5%; Cotton Dust-dentro del 10%) **de las maniobras aceptables.** La ATS recomienda que el máximo de maniobras sean ocho durante cualquiera de las sesiones de evaluación (1). Sin embargo, 8 maniobras pueden causar demasiada incomodidad para muchos individuos, particularmente en aquéllos con enfermedades pulmonares y una severa obstrucción de las vías aéreas. Si después de cinco intentos, el número de trazos necesarios para alcanzar criterios aceptables no se ha logrado, cerciórese de que el sujeto pueda continuar. Considere la posibilidad de programar la prueba para otro día.

Después de cada maniobra, verifique para determinar si la misma es aceptable de acuerdo a los criterios señalados arriba, antes de llevar a cabo pruebas adicionales.

Si se encuentra algún error, comente con el sujeto las maneras de prevenirlo antes de continuar. (Véase **sección F. Pruebas de repetición de acuerdo a necesidades**, que se revisan más abajo en esta unidad, para encontrar las sugerencias de asesoramiento del sujeto).

Después de que tres maniobras aceptables han sido obtenidas, verifique la presencia de una variabilidad excesiva antes de continuar (véase **unidad 5: Cálculos espirométricos básicos**, para calcular la excesiva variabilidad).

NOTA: Los individuos con función pulmonar normal generalmente son capaces de realizar maniobras espiratorias forzadas con resultados reproducibles. Sin embargo, un estudio reciente reportó que los individuos de baja estatura pueden tener más dificultades para satisfacer los criterios de reproducibilidad (25). Además de eso, los individuos con alteraciones pulmonares, especialmente aquéllos con enfermedades obstructivas, requieren frecuentemente mayores tiempos exhalatorios. Esto puede llevar a resultados más variables y a una mala reproducibilidad (26). La actualización de 1994 de la estandarización de la ATS señala que el eliminar los resultados de pruebas que no alcanzan los criterios de reproducibilidad, puede conducir a un sesgo, ya que los sujetos con alteraciones pulmonares pueden quedar excluidos de este análisis (1). La importancia sobre esta preocupación se ilustra dentro de las condiciones de medicina ocupacional, donde la información de grupos se utiliza en algunas ocasiones para detectar posibles exposiciones a riesgos de daño pulmonar. Si no se incluyen las personas con excesiva variabilidad, la información puede indicar que la exposición dentro del sitio de trabajo no presenta un riesgo adverso, cuando de hecho sí lo presenta. De esa manera, los trabajadores podrían continuar expuestos al riesgo.

La actualización ATS de 1994 recomienda que la reproducibilidad sea una meta y por lo tanto debe realizarse un esfuerzo durante la prueba para lograrla. Sugiere, asimismo, que el criterio de reproducibilidad sea usado como una guía para determinar si son necesarias más maniobras sin excluir a los sujetos:

“Etiquetar resultados como originados de información sin conformación de los criterios de reproducibilidad. Los criterios de aceptabilidad deben aplicarse antes de que se apliquen los criterios de reproducibilidad. Las maniobras inaceptables deberán ser desechadas antes de aplicar los criterios de reproducibilidad. El único criterio para calificar como inaceptable la ejecución por parte de un sujeto, es que tenga menos de dos curvas aceptables. No se deberá rechazar ningún espirograma únicamente sobre la base de una mala reproducibilidad. La reproducibilidad de los resultados deberá ser considerada al momento de la interpretación. El uso de información obtenida a partir de maniobras con mala reproducibilidad, se deja a discreción del individuo que interpreta. Además de eso, la utilización de información a partir de maniobras inaceptables, debido, a no haber logrado los requerimientos al final de la prueba, se deja también a la discreción del sujeto que interpreta”(1).

F. Repítase la prueba cuanto sea necesario.

1. **Motive a la persona.** Revise con la persona estos problemas frecuentes antes de proseguir con maniobras adicionales:
 - a. Una terminación prematura o un vaciamiento incompleto de los pulmones, debido a un esfuerzo insuficiente al final de la maniobra (baja CVF o ausencia de meseta).
 - b. No tomar la inspiración más profunda posible (baja CVF y bajo VEF₁)
 - c. No soplar o espirar de manera suficientemente forzada y completa, particularmente durante la porción inicial de la maniobra (un flujo pico bajo, un volumen extrapolado grande, y un esfuerzo variable).
 - d. Falla para mantener el hermetismo entre la boca y la boquilla o en la nariz (fugas).
 - e. Fruncir los labios como si se tocara un instrumento musical.
 - f. Obstruir la boquilla con la lengua o la dentadura. Si las dentaduras parecen ser un problema, sugiérale a la persona que se la quite para lo que queda de la prueba.
 - g. Encogerse o no extender el mentón.
2. **Permita a la persona que se recupere entre una y otra maniobra.** La persona puede requerir varios minutos antes de continuar.

G. Archivo de registros y pruebas.

Presentamos abajo los lineamientos para conservar los registros de las personas.

1. **Sistemas consistentes.** La consistencia en el mantenimiento de los registros es importante para asegurar que toda la información necesaria sea obtenida.
2. **Hojas de datos.** Como mínimo, se deberá obtener toda la siguiente información cada vez que se realiza una espirometría:
 - a. Fecha y hora de la prueba.
 - b. Nombre de la persona, número de identificación, edad, talla, sexo y raza.
 - c. Tipo de espirómetro que se haya usado (vgr. tipo, número de serie, etc.)
 - d. Temperatura ambiente y temperatura del espirómetro.
 - e. Posición que adoptó la persona durante la prueba, parado o sentado.
 - f. Fuente de los valores de referencia que se utilizaron (valores normales previstos).
 - g. Resultados de la prueba.
 - h. Nombre del técnico o sus iniciales.
 - i. Presión barométrica. Esta información deberá incluirse si no resulta muy difícil de obtener. Los cambios en la presión barométrica son particularmente importantes cuando se van a realizar pruebas a diferentes altitudes.
 - j. Cualquier comentario por parte del técnico sobre la cooperación del paciente/su esfuerzo, así como otros comentarios sobre la sesión en general.

Cuando se usa la espirometría para la vigilancia médica, resulta frecuentemente de ayuda tener una hoja de información que resuma, dentro del expediente del paciente, los resultados de las pruebas espirométricas y las comparaciones. Esto ofrece una manera

rápida de mantenerse atento a cualquier cambio. Algunos espirómetros están conectados a una computadora con una base de datos de resultados, lo cual automatiza este proceso. (En la última página de esta unidad, La **hoja de datos de estudios de función pulmonar**, se presenta una muestra de este tipo de hojas).

3. **Trazos.** El espirograma como tal deberá también ser incorporado en el registro permanente. Las regulaciones federales concernientes a la espirometría requieren de un registro permanente, lo cual asegura el acceso al trazo en una fecha posterior, aun en casos de que no se cuente con registros computarizados. Algunos recomiendan que la persona firme cada trazo conforme se obtenga. Esto elimina cualquier posibilidad de confusión, especialmente en casos de trazos mecánicos que no imprimen el nombre de la persona.
4. **Confidencialidad.** Recuerde que los resultados de la prueba espirométrica y los trazos son información confidencial, lo mismo que cualquier registro médico.
5. **Duración del tiempo que se deben conservar los registros.** La mayoría de las regulaciones federales con relación a las exposiciones en sitios de trabajo, exigen guardar los registros durante 30 años a partir de la fecha en que el empleado haya dejado de trabajar. Cerciórese de los requerimientos aplicables para su compañía o su industria.
6. **Copias de respaldo.** Haga copias de respaldo de toda la información computarizada que considere fundamental.

H. Trazos de muestra

1. **Titubeo o falso inicio** (esto puede incluir un volumen extrapolado excesivo) (**Figuras 4-3 y 4-4**). Las curvas de volumen-tiempo tienen un inicio lento en lugar de un ascenso marcado. El pico de la curva flujo-volumen se desplaza a la derecha, alejándose del eje de las “y” o eje vertical.

**FIGURA 4-3. CURVA VOLUMEN-TIEMPO
-VOLUMEN EXTRAPOLADO (V_{EXT})**

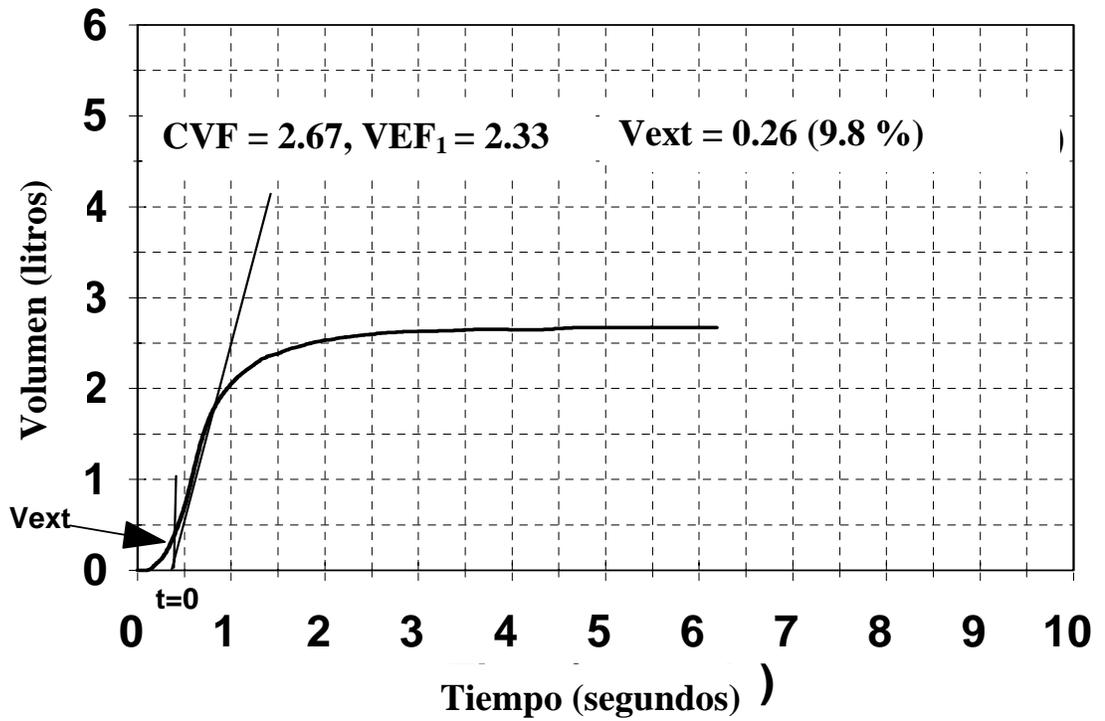
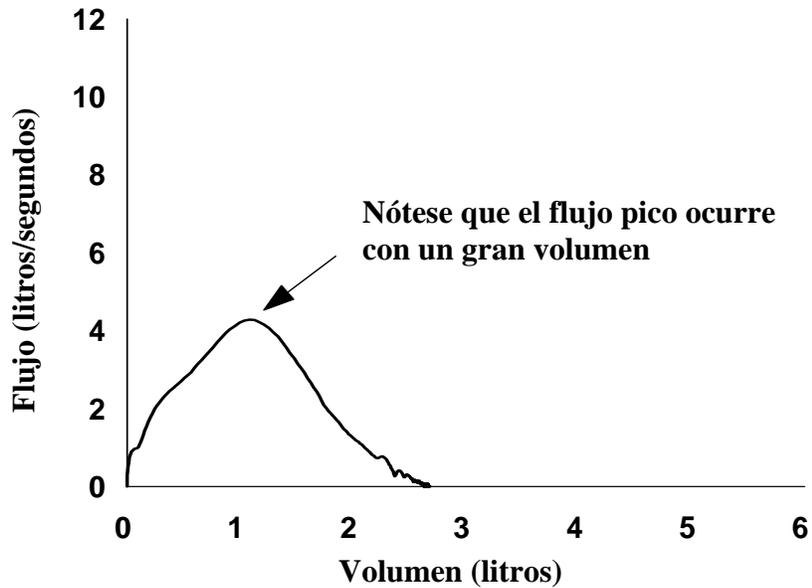


FIGURA 4-4- CURVA FLUJO-VOLUMEN- V_{EXT}



2. **Tos:**(Figuras 4-5 y 4-6). Ambas curvas, la de volumen tiempo y la de flujo volumen, muestran depresiones en lugar de una línea continua.

FIGURA 4-5. CURVA VOLUMEN-TIEMPO-TOS

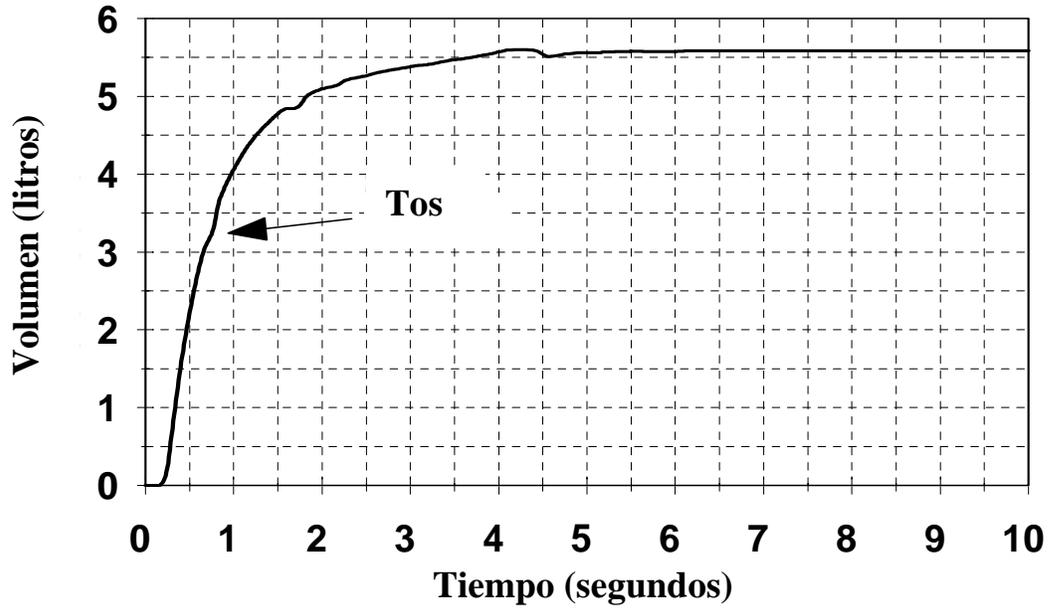
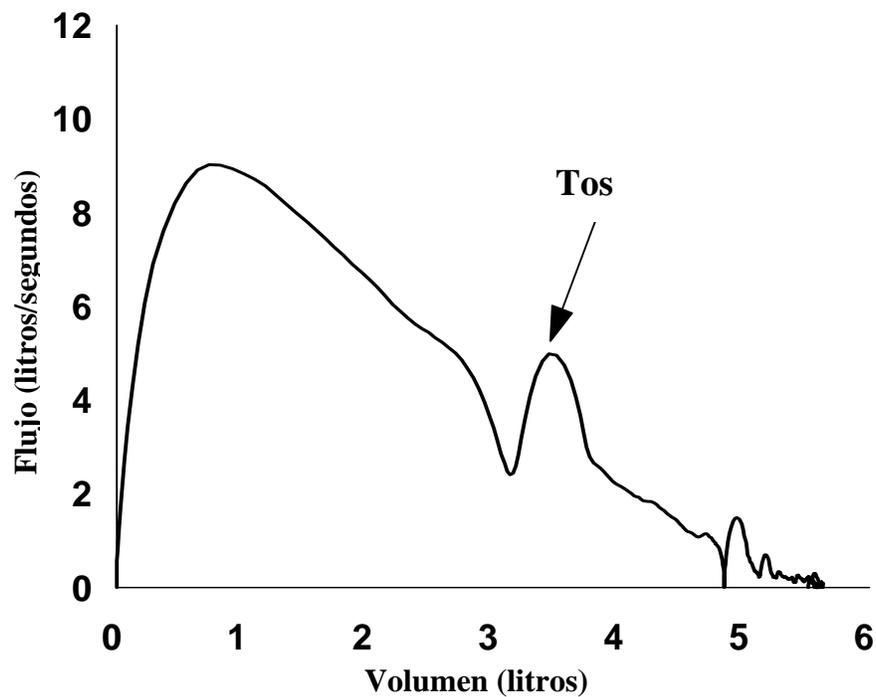


FIGURA 4-6. CURVA FLUJO-VOLUMEN-TOS



3. **Esfuerzo variable.** (Figuras 4-7 y 4-8). Ambas curvas presentan depresiones similares a las observadas con la tos. Resulta habitualmente difícil distinguir entre tos y un esfuerzo variable en el trazo. Sin embargo, cualquiera de las dos causas, durante el primer segundo, va a invalidar el trazo para ser usado en los cálculos. Nótese que el trazo del esfuerzo variable termina también de una manera prematura en esta muestra.

FIGURA 4-7. CURVA VOLUMEN-TIEMPO-ESFUERZO VARIABLE

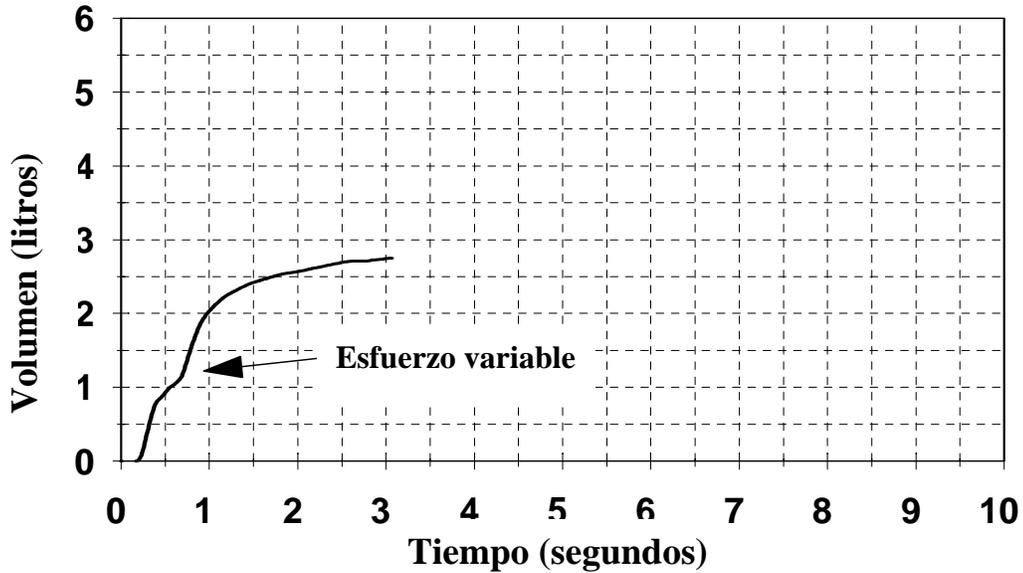
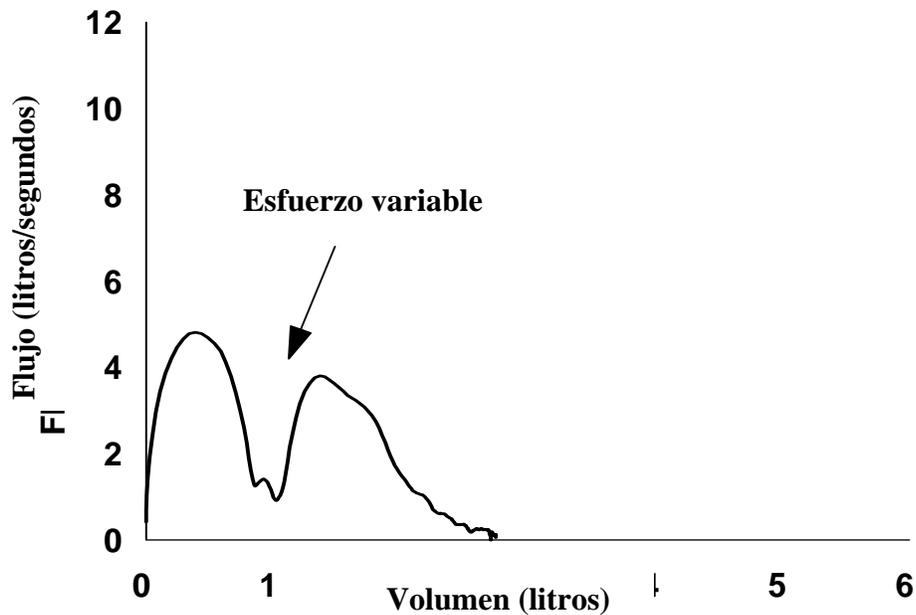


FIGURA 4-8. CURVA FLUJO VOLUMEN



4. Cierre de la glotis (Figuras 4-9 y 4-10). Ambas curvas terminan de manera abrupta. En la de volumen-tiempo se alcanza una meseta artificial, con una inclinación de la curva en el momento que cesa el esfuerzo espiratorio. En la curva flujo-volumen, la línea del trazo se cae de manera muy marcada.

FIGURA 4-9. CURVA VOLUMEN TIEMPO-CIERRE DE LA GLOTIS

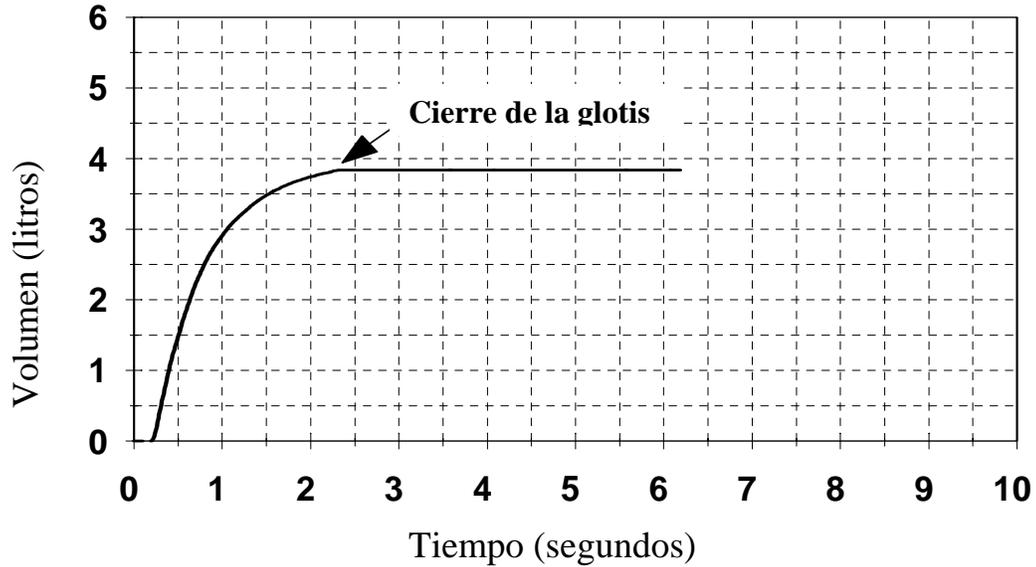
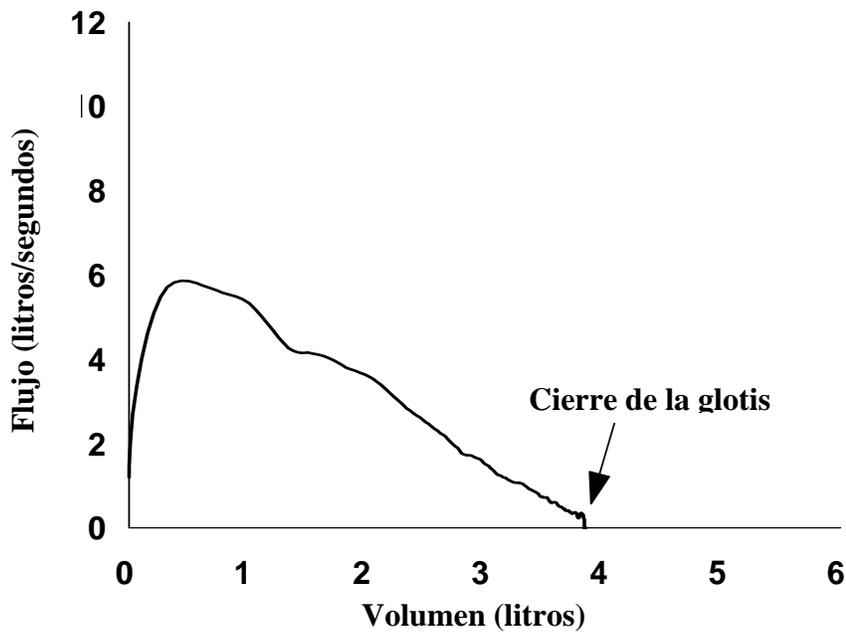


FIGURA 4-10. CURVA FLUJO VOLUMEN



5. **Terminación temprana. (Figuras 4-11 Y 4-12).** La curva volumen tiempo no forma una meseta y es menor a 6 segundos en este ejemplo. La curva flujo volumen muestra un volumen total disminuido, y la línea del trazo (flujo) tiene una caída marcada al final de la espiración.

FIGURA 4-11. CURVA VOLUMEN TIEMPO-TERMINACIÓN TEMPRANA

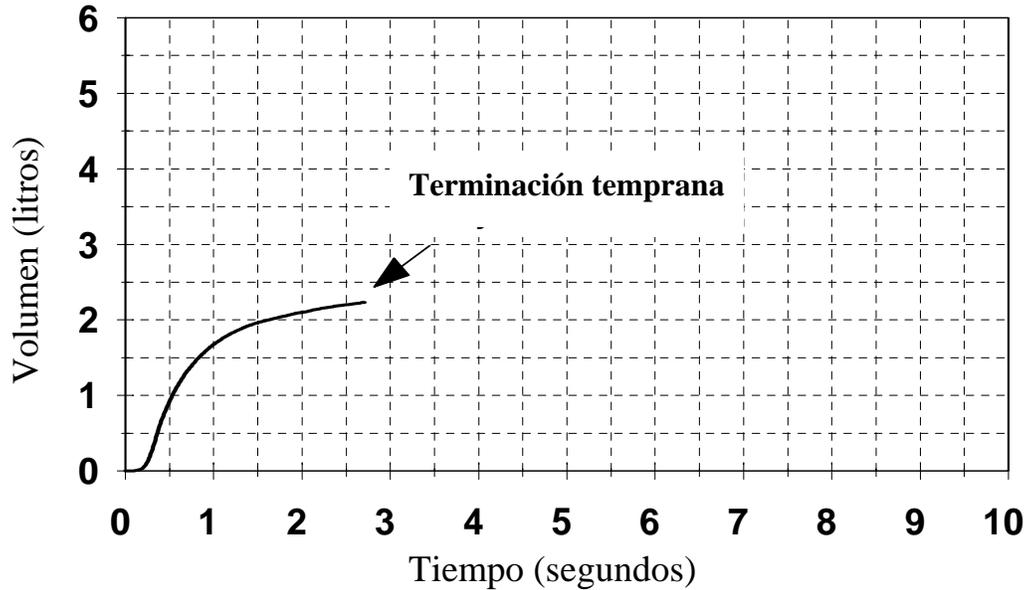
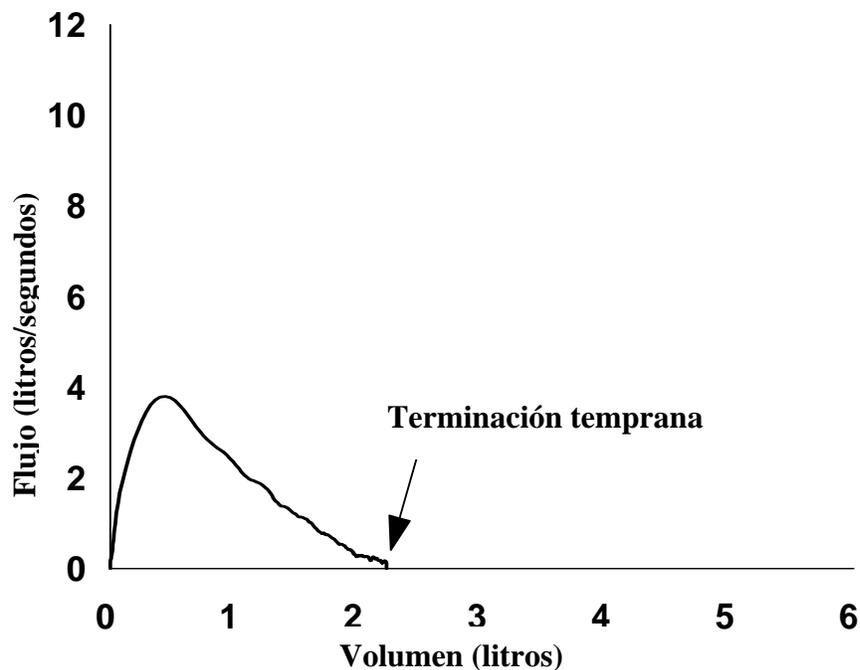


FIGURA 4-12. CURVA FLUJO VOLUMEN



6. **Fugas (figuras 4-13 y 4-14).** La curva volumen-tiempo se cae en lugar de alcanzar una meseta. La curva flujo-volumen “retrocede” hacia el final. Este patrón puede ser ocasionado por fugas en el espirómetro de volumen o alrededor de la boquilla.

FIGURA 4-13. CURVA VOLUMEN-TIEMPO-FUGAS

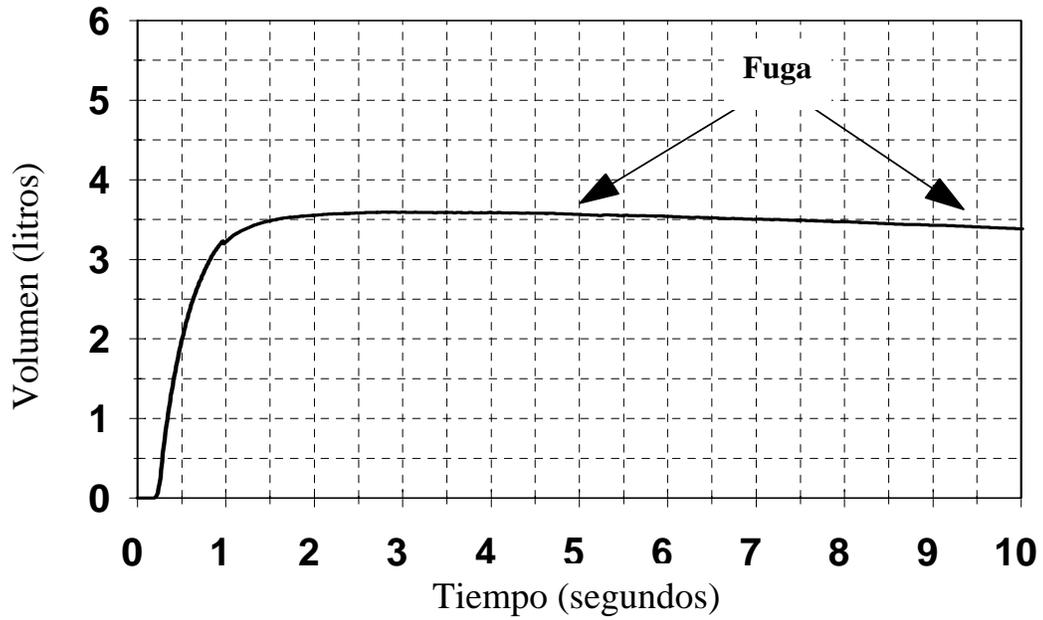
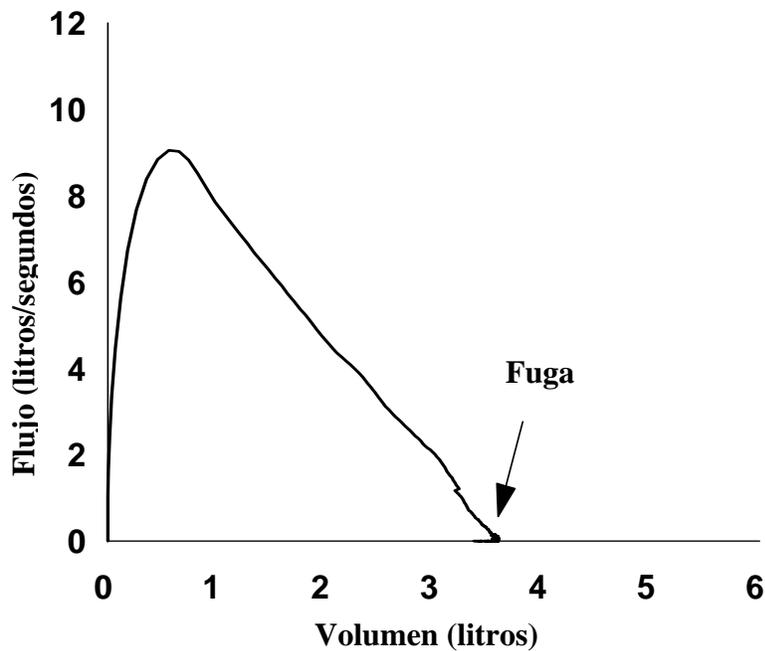


FIGURA 4-14- CURVA FLUJO-VOLUMEN



7. **Error de la línea basal.** (Figuras 4-15 y 4-16). Ninguno de los dos trazos comienza en el cero con relación al volumen. Si los otros criterios de aceptabilidad sí se lograron, este trazo puede usarse calculando los ajustes para marcar donde debería encontrarse la línea de valor cero.

FIGURA 4-15- CURVA VOLUMEN TIEMPO-ERROR DE LA LÍNEA DE BASE

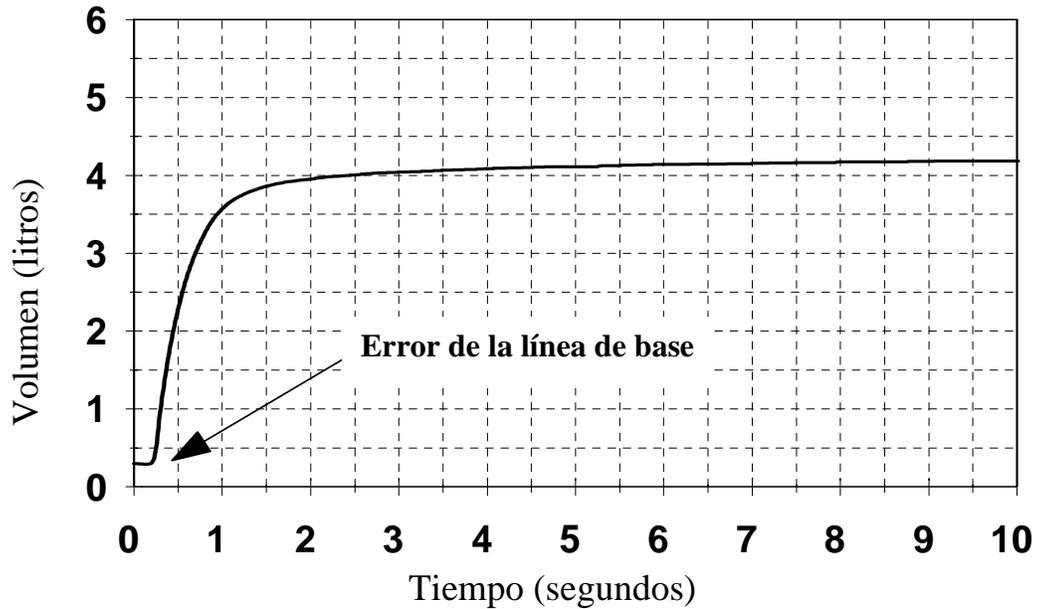
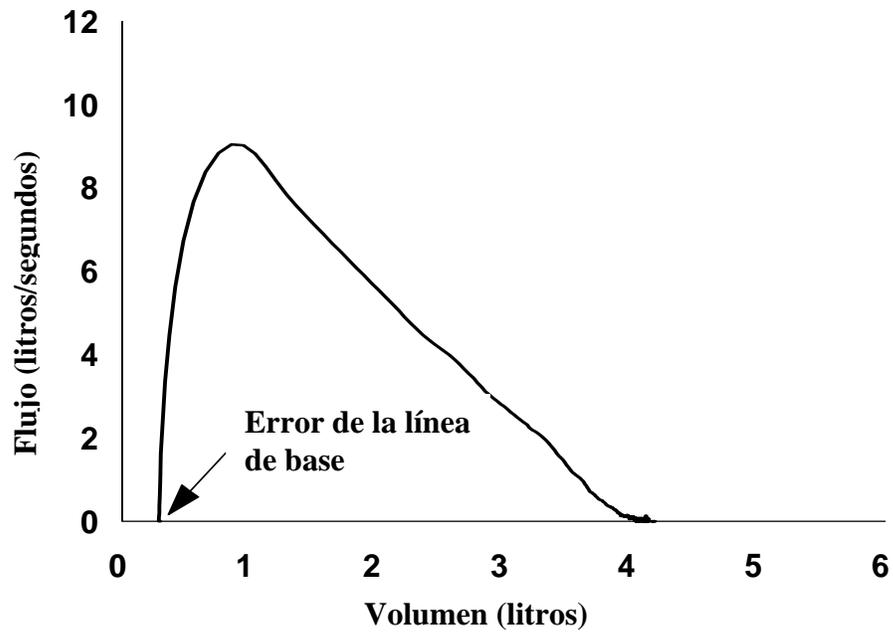


FIGURA 4-16. CURVA FLUJO-VOLUMEN.



EJEMPLO: 8ª. Inspección visual de las curvas, en pruebas no reproducibles. Las figuras 4-17 y 4-18 muestran una prueba no reproducible **con** 3 curvas aceptables. El cálculo real de la variabilidad excesiva se cubrirá en la unidad 5, pero una inspección visual de las curvas que se muestran abajo, revelan una variabilidad evidente en la magnitud (CVF) de las curvas. Ya que los volúmenes variables (CVF) muy probablemente se deben a una exhalación incompleta, el sujeto deberá ser instruido para que **tome una inspiración más profunda** antes de realizar la exhalación forzada.

FIGURA 4-17. CURVA VOLUMEN-TIEMPO-PRUEBA NO REPRODUCIBLE

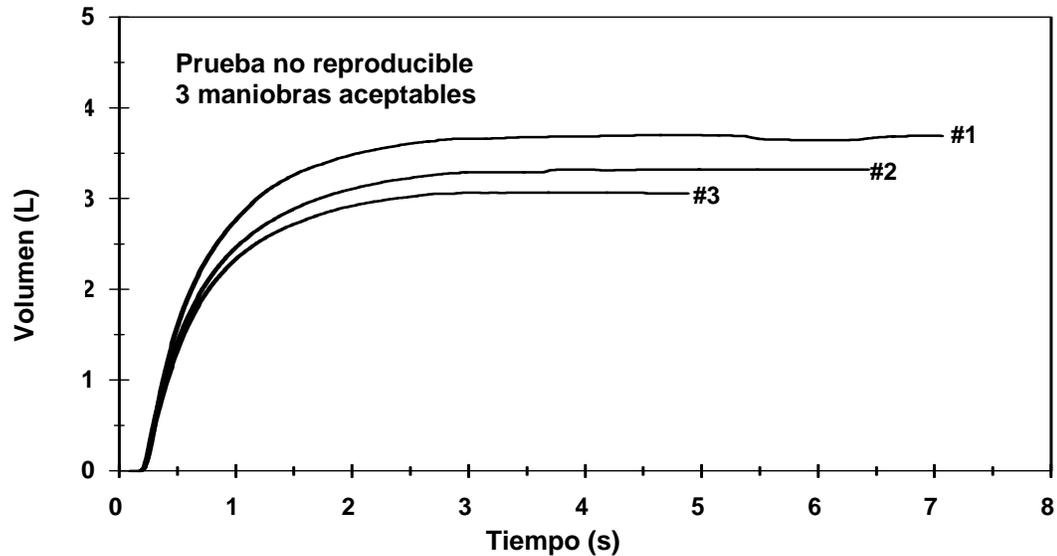
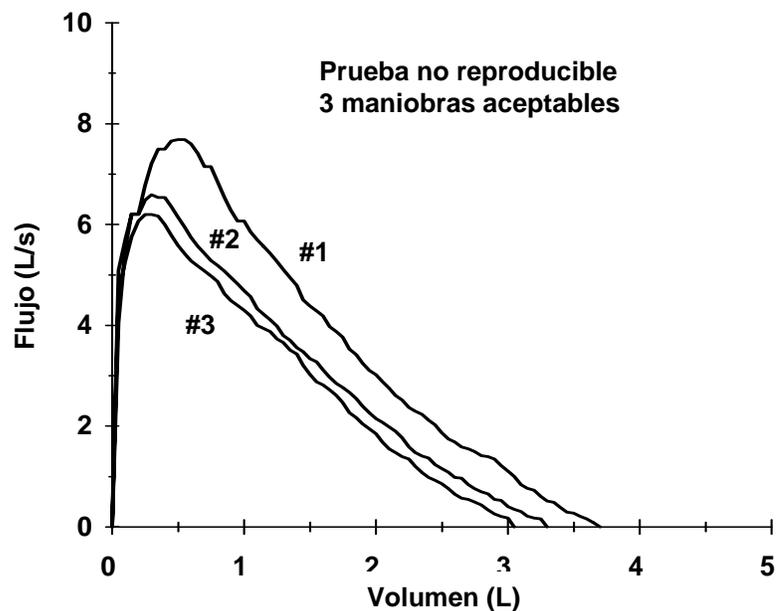


FIGURA 4-18. CURVA FLUJO-VOLUMEN-PRUEBA NO REPRODUCIBLE



Ejemplo.8b. Inspección visual de las curvas de pruebas reproducibles. Las figuras 4-19 y 4-20 muestran una prueba reproducible con 3 curvas aceptables. La inspección visual de las curvas que se muestran abajo, revela una reproducibilidad evidente en el tamaño (CVF) de las curvas. Esto indica que muy probablemente el sujeto inhaló de manera completa antes de realizar la exhalación forzada. Si se cuenta con la imagen de la curva flujo-volumen, entonces los flujos en las cercanías del flujo pico deberán también ser reproducibles (los valores de flujo más altos en la figura 4-20). Si el flujo pico no es reproducible, entonces el sujeto deberá ser instruido para que **expulse forzosamente de manera adecuada**.

FIGURA 4-19. CURVA VOLUMEN-TIEMPO-PRUEBA REPRODUCIBLE

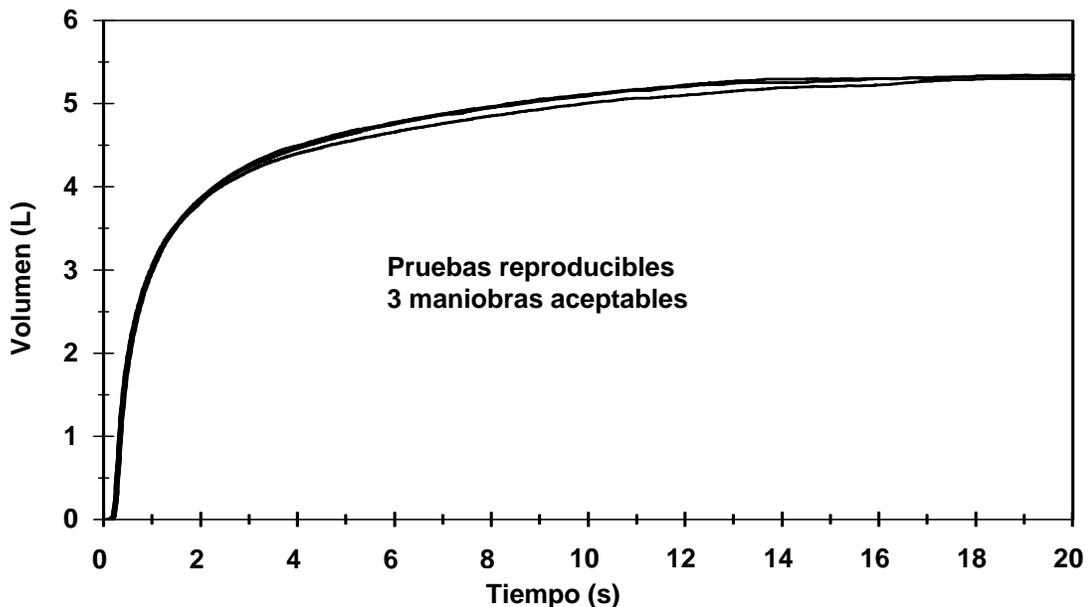
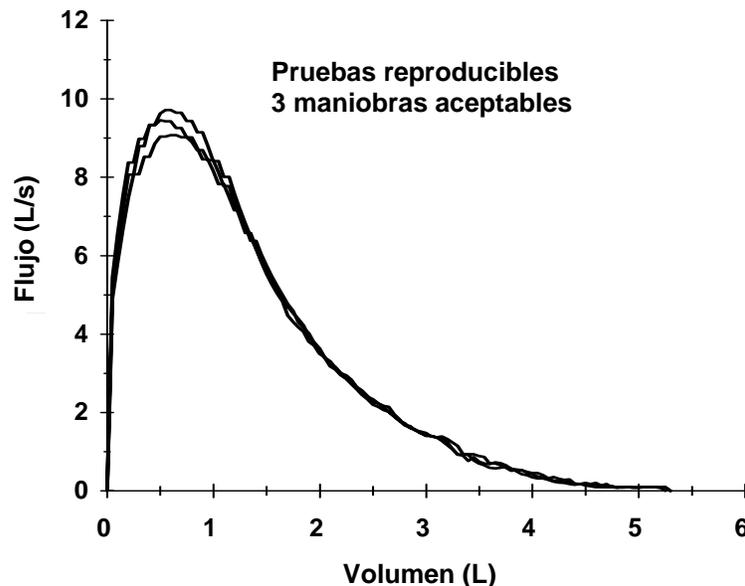


FIGURA 4-20. CURVA VOLUMEN-TIEMPO-PRUEBA REPRODUCIBLE



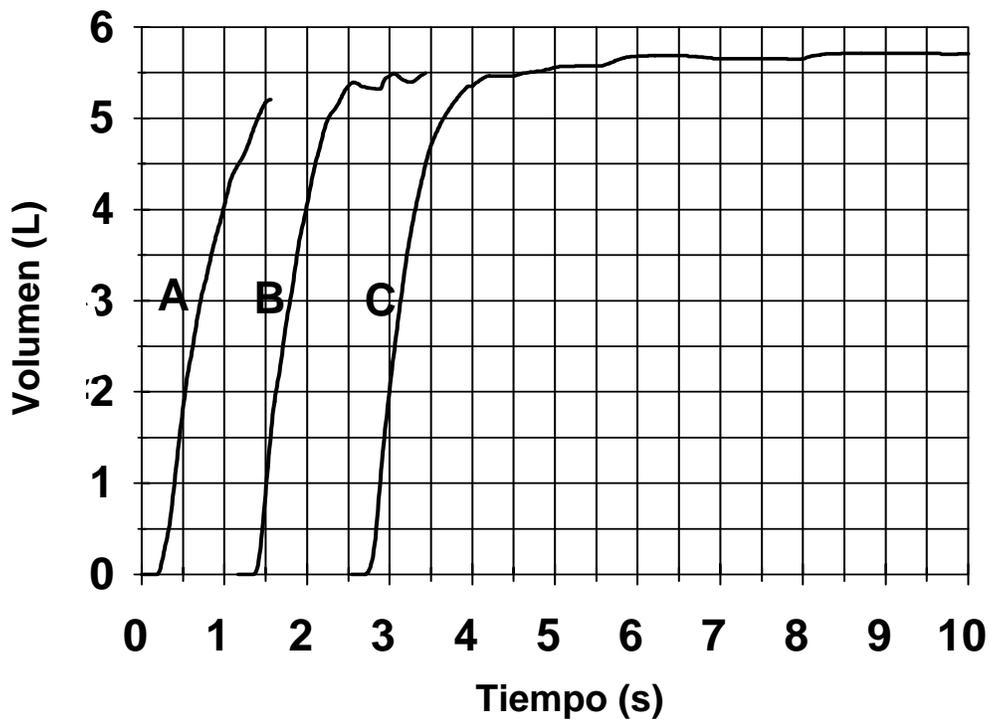
EJERCICIOS:

Se presentan varios ejercicios en las siguientes páginas para que los estudiantes puedan practicar la selección de trazos aceptables. La detección de titubeos o de falsos inicios, como es el caso de un volumen extrapolado excesivo, se cubrirá en la **unidad 5**:

Cálculos espirométricos básicos. Los estudiantes pueden practicar sus habilidades con relación a la aceptabilidad, completando los primeros diez ejercicios en la **unidad 9**:

EJERCICIO 1: (Con referencia a la figura 4-21) ¿Logran alcanzar las curvas que se muestran abajo, los criterios de aceptabilidad?

FIGURA 4-21. CURVA VOLUMEN TIEMPO-EJERCICIO.



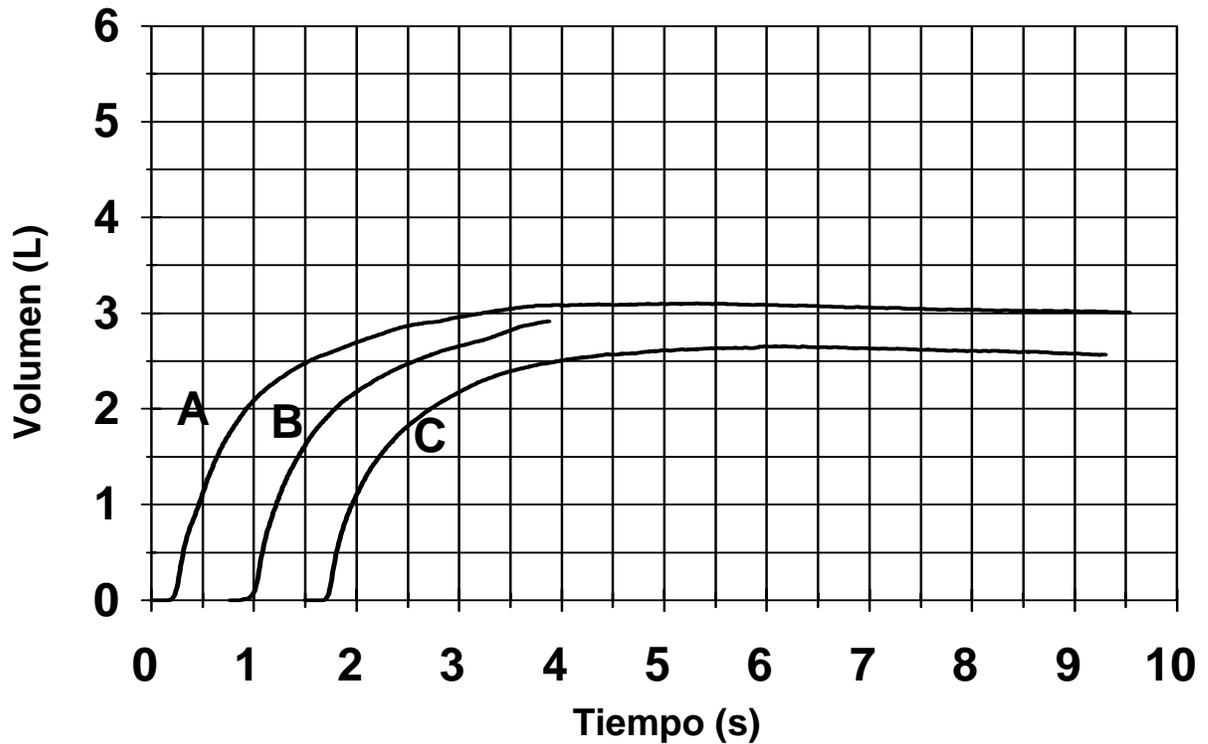
RETROALIMENTACIÓN:

No. Las curvas A y B muestran una terminación temprana. La curva B muestra un evento de tos. La curva C muestra un evento de tos ó esfuerzo variable.

EJERCICIO 2:

(Con referencia a la Figura 4-22.) ¿Logran las curvas mostradas abajo, los criterios de aceptabilidad?

FIGURA 4-22- CURVA VOLUMEN-TIEMPO-EJERCICIO

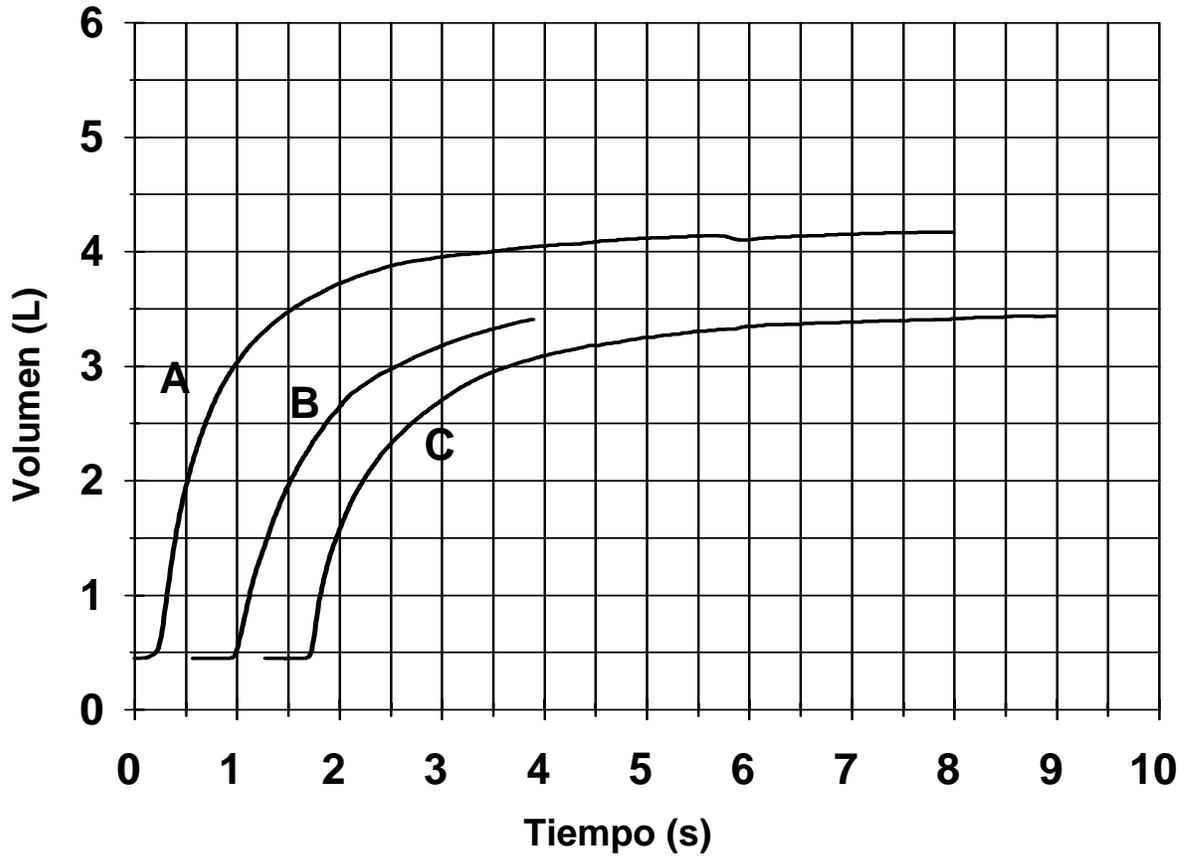


RETROALIMENTACIÓN:

No. Las curvas A y C muestran posibles fugas. La curva B muestra una terminación temprana. Verifique si hay una fuga, sobretodo alrededor de la boquilla, y asesore a la persona a que ejecute una exhalación **más prolongada**.

EJERCICIO 3: (Con referencia a la figura 4-23.) ¿Logran las curvas que se muestran abajo, alcanzar los criterios de aceptabilidad?

FIGURA 4-23. CURVA VOLUMEN TIEMPO-EJERCICIO



RETROALIMENTACIÓN:

No. Los tres trazos muestran un error de la línea basal. La curva B no tiene meseta. En la curva C, va a depender del criterio el que se afirme si se alcanzó la meseta.

HOJA DE DATOS DE UNA ESPIROMETRÍA (MUESTRA)

Nombre:		Seguridad Social# o # de identificación:					
Sexo:	Raza ¹ :	Fecha de nacimiento:					
Ubicación del empleo:		Denominación del empleo:					
Fecha:							
Iniciales del técnico:							
Médico:							
Tipo de espirómetro o número de serie # ²							
Valores esperados utilizados							
Motivo para realizar la prueba ³							
Temperatura " C							
Posición: Sentado o parado							
Edad							
Talla ⁴							
Fuma ⁵ si/no							
Cambió trabajo ⁶ si/no							
Esfuerzo de la persona (bueno, razonable, malo)							
Valores observados (BTPS)	CVF						
	VEF ₁						
	$\frac{VEF}{CVF}$ 1%						
Valor normal previsto	CVF						
	% Pred.						
	VEF ₁						
	% Pred.						
Cambio % o litros	CVF						
	VEF ₁						

NOTAS: 1. El VEF₁ y la CVF esperados en personas no caucásicas (negros y asiáticos) deberá multiplicarse por 0.85

2. Asegúrese que el n° de serie del espirómetro y otro tipo de información relevante se registren en la bitácora.

3. Por ejemplo, motivo rutinario, o por exposición a asbestos, polvo de algodón, etc.

4. Expresada en pies para motivos de NIOSH.

5. Si la respuesta es afirmativa, registre el historial sobre el hábito de fumar en la hoja de la persona.

6. Anote abajo la información concerniente al cambio de ubicación dentro del trabajo: fecha, ubicación, proceso, edificio, etc. Utilice papel extra si es necesario.

a: _____ c: _____
 b: _____ d: _____

UNIDAD 5: CÁLCULOS ESPIROMÉTRICOS BÁSICOS

Varios de los valores espirométricos pueden calcularse de manera manual, a partir de espirogramas volumen-tiempo producidos de manera mecánica. Como se ha discutido en la **unidad 2: Revisión de la espirometría**, esto permite que la información obtenida sea de utilidad, inclusive cuando el componente electrónico del equipo este funcionando mal. Véase **apéndice H. Esquema general de los cálculos espirométricos**, para obtener un resumen de esta unidad. Véase también el **apéndice I. Cálculos matemáticos básicos** y el **apéndice J. Conversiones métricas**.

A. Capacidad vital forzada (CVF)

DEFINICIÓN

La máxima cantidad de aire que puede ser exhalada de manera forzada después de una inspiración máxima, o la máxima cantidad de aire que el sujeto puede expulsar, después de haber tomado la mayor cantidad de aire posible. La CVF resulta útil para detectar enfermedades restrictivas, ya que si se obtienen resultados menores que los esperados, pudiera traducir que el pulmón no se puede expandir de manera normal. La CVF puede también estar reducida en las enfermedades obstructivas graves.

CÓMO CALCULARLA:

1. Después que el sujeto haya producido tres trazos aceptables, calcule el volumen total de cada trazo (cuente las líneas de volumen en el papel gráfico). Recuerde que los trazos aceptables no presentan errores, como ya se explicó en la **unidad 4: La Técnica espirométrica, sección E: Verificación de la aceptabilidad y la reproducibilidad de la prueba**.
2. Verifique si no hay una variabilidad excesiva entre las dos CVF de mayor magnitud, para saber si van a ser necesarias maniobras adicionales. (Véase la siguiente sección, **Cálculo de la variabilidad excesiva de la CVF**, en busca de instrucciones). Si los criterios de reproducibilidad no se logran, continúe la prueba de acuerdo a lo necesario, asumiendo que la persona es capaz de continuar.
3. Si los criterios de reproducibilidad se logran, use la CVF con el mayor volumen para los futuros cálculos, a menos que se especifique lo contrario.

EJEMPLO (Véase figura 5-1. Curva volumen-tiempo-medición de la CVF): La CVF para la curva A es de 3.55 L

EJERCICIO ¿Cuáles son las CVF para las curvas B y C? ¿Cuál de las tres curvas tiene la mayor CVF?

RETROALIMENTACIÓN:

Curva B-CVF = 3.33 L
Curva C- CVF = 3.26 L
Mayor CVF- Curva A (3.55 L)

DETALLES QUE RECORDAR:

1. Utilice siempre el mayor volumen, a partir de un trazo aceptable, para asegurarse que se están usando los máximos resultados.
2. La CVF deberá expresarse en litros, con cifras redondeadas a dos decimales (vgr. 4.25 L).
3. Recuerde convertir su respuesta a unidades BTPS si es necesario. (Para la definición de BTPS y las instrucciones para calcularla, véase **sección I: Conversión a BTPS**, que se ve más adelante en esta unidad).

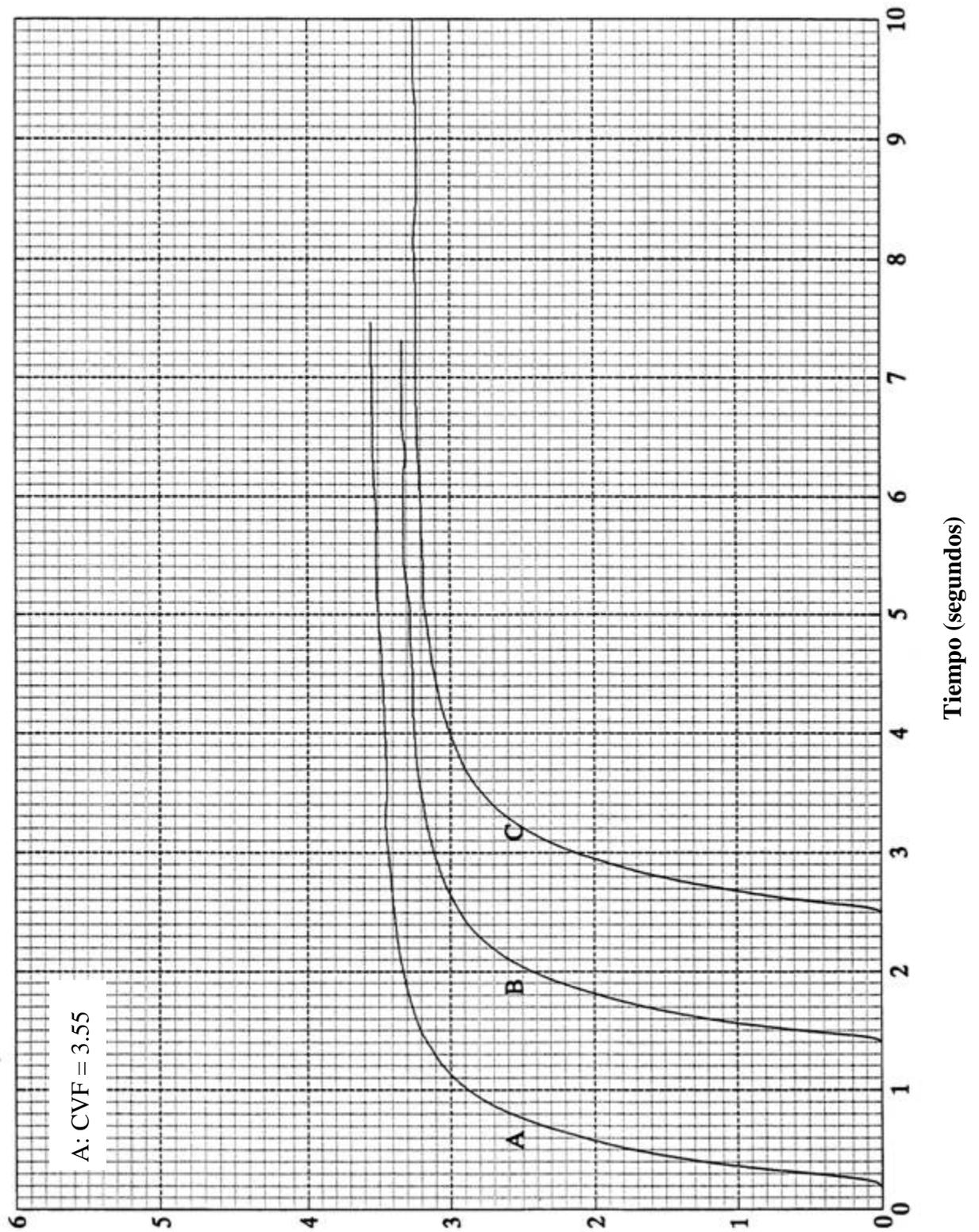
B. Cálculo de la variabilidad excesiva de la CVF.

DEFINICIÓN:

Usando tres espirogramas aceptables (tres trazos) se van a examinar aquellos dos con mayores CVF, para determinar si entre ellos hay más de **200 mililitros** de diferencia (0.20L). [**Nótese (opcional)**: los criterios de reproducibilidad han cambiado en el transcurso de los últimos 20 años: ATS-1994, 200 ml; ATS-1987, 5% ó 100 ml (el valor mayor de estos dos); Cotton Dust-1979, 10% ó 100 ml (el valor mayor). Para determinar “cuál es mayor” hágase lo siguiente, si la diferencia es mayor de 100 ml (100 ml también, para los criterios Cotton Dust), entonces deberá usarse el criterio de porcentaje. Si la diferencia **no** es mayor de 100 ml, entonces no se necesita usar el criterio de porcentaje, ya que los trazos no tienen una variabilidad excesiva]. (Véase **unidad 4: Técnica espirométrica, sección E: Verificación de la aceptabilidad y reproducibilidad de la prueba**, para encontrar los criterios para evaluar a un espirograma como aceptable).

FIGURA 5-1 CURVA VOLUMEN-TIEMPO- MEDICIÓN DE LA CVF

FIGURA 5-1 CURVA VOLUMEN-TIEMPO- MEDICIÓN DE LA CVF



CÓMO CALCULARLA:

Para saber si la diferencia es mayor de 200 ml (calcule la mejor CVF – la segunda mejor CVF):

1. Determine los volúmenes de los dos trazos aceptables con las mayores CVF.
2. Reste el volumen de la segunda mayor CVF, del volumen de la mayor CVF.

Para saber si la diferencia es excesiva, expresado esto en porcentaje (OPCIONAL):

1. Siga los pasos 1 y 2 señalados anteriormente.
2. Continúe con los siguientes pasos si la diferencia es mayor de 200 ml (100 ml de acuerdo a Cotton Dust).
3. Divida la resultante (diferencia) entre el volumen de la mayor CVF.
4. Multiplique el resultado por 100 para encontrar el porcentaje de la diferencia, ó:

$$\% \text{ Reproducibilidad} = \frac{\text{Mejor CVF} - \text{Segunda mejor CVF}}{\text{Mejor CVF}} \times 100$$

EJEMPLO: (Véase la figura 5-2. Curva volumen-tiempo-variabilidad de la CVF).

La curva A (CVF-3.55 L) y la curva B (CVF – 3.33 L) son las dos mayores de manera que son las que se van a usar:

$$3.55 - 3.33 = 0.22$$

Ya que 0.22 es mayor de 200 ml (0.20L), hay una excesiva variabilidad entre las curvas A y B.

Ya que 220 ml son mayores que 100 ml (ATS-1987), el criterio del 5% puede aplicarse de manera apropiada. Además de eso, 220 ml es mayor que 100 ml (Cotton Dust). De esa manera, el porcentaje de reproducibilidad (opcional), puede usarse de manera apropiada conforme a ATS-1987 y Cotton Dust, y se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{ Reproducibilidad} = \frac{\text{Mejor CVF} - \text{Segunda mejor CVF}}{\text{Mejor CVF}} \times 100$$

$$0.22/3.55 = .062$$

$$0.062 \times 100 = 6.2\%$$

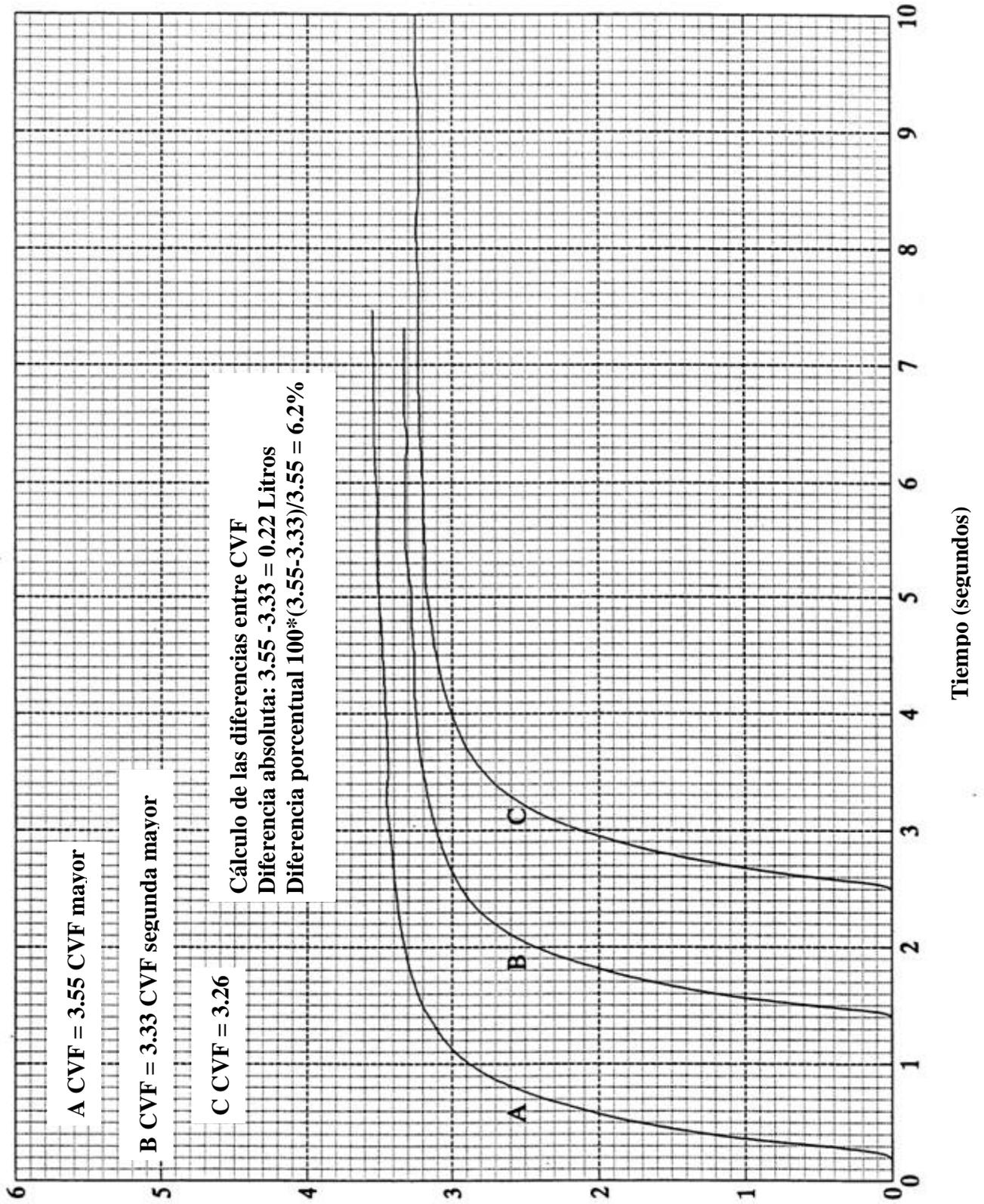
Ya que 6.2% es mayor que 5%, hay una excesiva variabilidad entre las curvas A y B, si se utilizan los criterios de la ATS-87(criterio del 5%), pero no, si se utilizan los criterios del Cotton Dust (criterio del 10%).

EJERCICIO: (Véase figura 5-2. Curva volumen-tiempo - Variabilidad de la CVF). ¿Cuánta variabilidad habría si las curvas A y B fueran las dos mayores?

RETROALIMENTACIÓN: 0.07 L o [(3.33 – 3.26)/3.33]X 100 = 2.1%

FIGURA 5-2. CURVA VOLUMEN-TIEMPO- VARIABILIDAD DE LA CVF

FIGURA 5-2. CURVA VOLUMEN-TIEMPO- VARIABILIDAD DE LA CVF



EJERCICIO: Tres trazos aceptables tienen los siguientes valores de CVF: A = 1.90 L, B = 1.19 L, C = 1.97 L ¿Cuánta variabilidad habría entre las dos mayores CVF?

RETROALIMENTACIÓN: 70 ml Ya que es menos de 200 ml (criterio de la ATS-1994), no hay una variabilidad excesiva. Opcional: No hay una variabilidad excesiva utilizando los 100 ml de la ATS-1987 o el criterio de Cotton Dust.

DETALLES PARA RECORDAR:

1. 1 litro = 1000 mililitros (ml)
2. La actualización de 1994 de la Estandarización de la Espirometría de la ATS, recomienda que la reproducibilidad sea una meta para la cual hay que poner todos los esfuerzos. Sugiere que los criterios de reproducibilidad sean usados como guía para determinar si son necesarias más maniobras y para no excluir al sujeto (1). El sustento de esto se discute en la **unidad 4: Técnica espirométrica, sección E. Verificación de la aceptabilidad y la reproducibilidad de la prueba.**

C. Volumen espiratorio forzado en un segundo (VEF₁)

DEFINICIÓN:

El volumen de aire exhalado durante el primer segundo de la maniobra espiratoria forzada. El VEF₁ es de utilidad para detectar enfermedades obstructivas, ya que una persona con obstrucción de las vías aéreas no será capaz de exhalar tanto aire durante el primer segundo, como lo haría una persona con pulmones normales. El VEF₁ puede también estar disminuido si la persona tiene una enfermedad restrictiva severa.

CÓMO CALCULARLO:

1. Encuentre el punto de inicio de una maniobra espiratoria forzada, junto con la línea basal, en un espirograma aceptable. Una manera más exacta para determinar el inicio de la prueba será descrita más abajo en esta unidad, en la **sección E. Extrapolación retrógrada**. Este es el punto donde el tiempo (t)= cero. Observe la escala en su papel gráfico para determinar la longitud de un segundo. Mida la distancia apropiada de t = 0 a t = 1.
2. Trace una línea recta de manera vertical, desde el punto de la línea basal, donde t = 1, hacia donde intercepta con la curva. Determine el volumen en el papel gráfico, en el punto de la intercepción. Esto es el VEF₁.

EJEMPLO: (Véase figura 5-3. Curva volumen-tiempo - Medición del VEF₁):

Para la curva A, t = 0 se encuentra a los 0.24 segundos, por lo cual t = 1 se encuentra en 1.24 segundos. Una línea recta trazada verticalmente a nivel de t = 1, intercepta la curva en el punto de 3.15 litros. De esa manera, el VEF₁ para la curva A es de 3.15 litros.

EJERCICIO: Calcule el VEF₁ para las curvas B y C

RETROALIMENTACIÓN: Curva B – VEF₁ = 2.98 L
Curva C – VEF₁ = 2.82 L

EJERCICIO OPCIONAL: Calcule la CVF para las curvas A, B y C en la figura 5-3 y determine si existe una excesiva variabilidad.

RETROALIMENTACIÓN: Curva A – CVF = 3.98 L
Curva B – CVF = 3.86 L
Curva C – CVF = 3.65 L

$$3.98 - 3.86 = 0.12 \text{ L}$$

$$\% \text{ Reproducibilidad(opcional)} = (0.12 / 3.98) \times 100 = 3.0\%$$

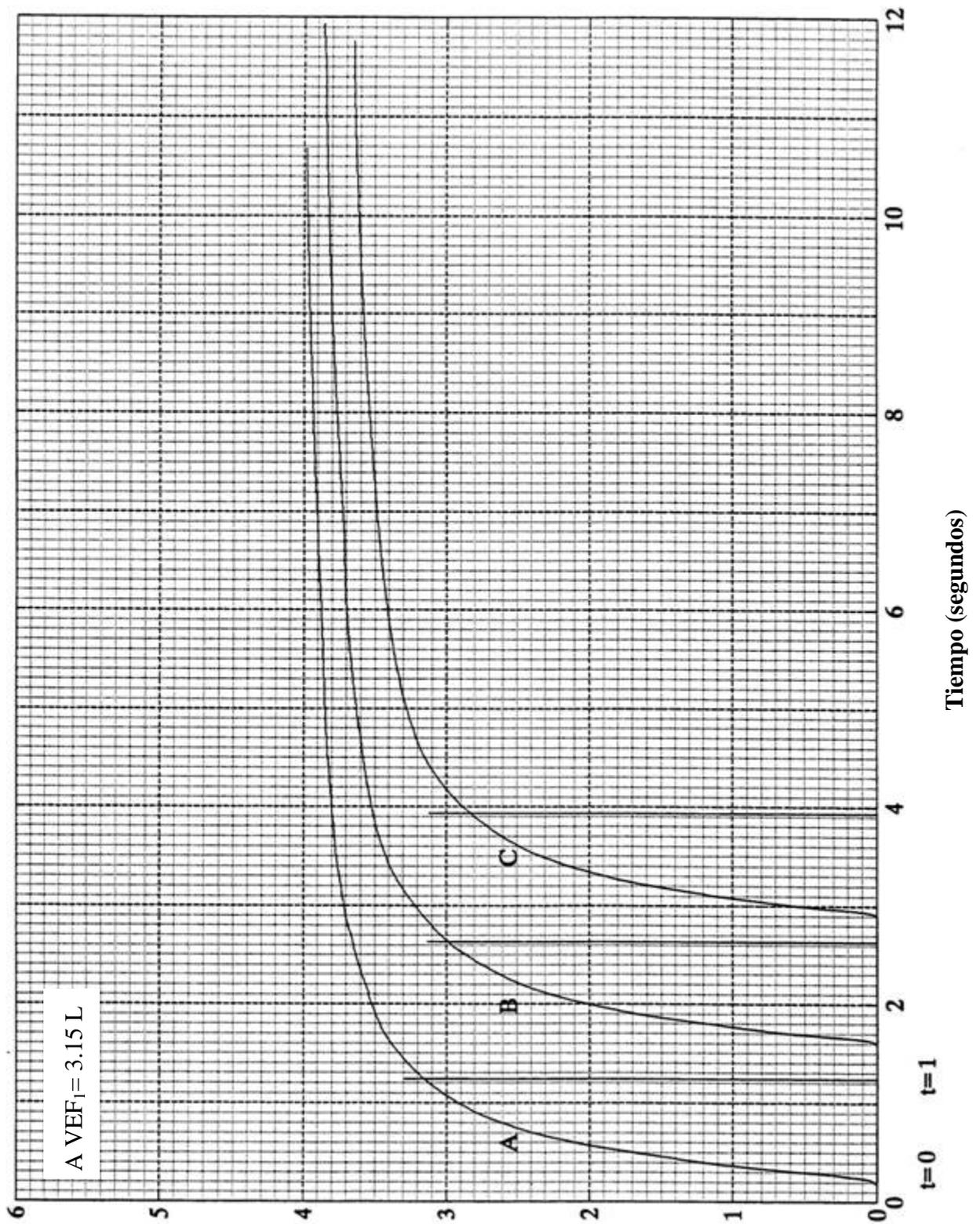
La variabilidad entre las curvas A y B es de solamente 120 mililitros y de un 3%, de manera que las dos CVF no presentan una variabilidad excesiva, de acuerdo a todos los criterios. Nótese (opcional) que 120 mililitros es mayor que 100 ml; de esa manera, el criterio de porcentaje es usado para determinar la excesiva variabilidad bajo los criterios de Cotton Dust.

DETALLES PARA RECORDAR:

1. El VEF₁ que deberá usarse en subsecuentes análisis deberá ser el mayor, independientemente de la curva en que haya ocurrido. Por ejemplo, el mayor VEF₁ puede no estar en la misma curva con la mayor CVF.
2. El VEF₁ deberá expresarse en litros, redondeada la cifra en dos decimales (vgr. 3.15).
3. La variabilidad excesiva y el volumen extrapolado deben ser calculados para determinar si es necesario realizar maniobras adicionales. Véase la siguiente sección para más detalles.
4. Recuerde convertir el resultado a BTPS cuando sea necesario. Para la definición de BTPS y las instrucciones para su cálculo, véase **sección I: Conversión a BTPS**, que se trata más abajo en esta unidad.

FIGURA 5-3. CURVA VOLUMEN TIEMPO - MEDICIÓN DEL VEF₁

FIGURA 5-3. CURVA VOLUMEN TIEMPO - MEDICIÓN DEL VEF₁



D. Cálculo de la excesiva variabilidad del VEF₁.

DEFINICIÓN:

Utilizando tres espirogramas aceptables, seleccione aquellos dos con los mayores VEF₁ y determine si hay más de **200 ml** de diferencia entre ambos. [**Nota (opcional)**: los criterios de reproducibilidad han cambiando a lo largo de 20 años: ATS-1994, 200 ml; ATS-1987 5%, ó 100 ml (cual sea el más grande); Cotton Dust-1979, 10% ó 100 ml (cual sea más grande). Para determinar “cuál de los dos valores es mayor”, hágase de la siguiente manera. Si la diferencia es mayor de 100 ml, entonces el criterio de porcentaje deberá ser utilizado. Si la diferencia **no es** mayor de 100 ml, entonces el criterio de porcentaje no necesita ser usado debido a que el trazo no presenta una variabilidad excesiva]. Recuerde que un trazo aceptable es aquél que no presenta errores, como se explica en la **unidad 4: Técnica espirométrica, sección E: Verificación de la aceptabilidad y reproducibilidad del la prueba.**

CÓMO CALCULARLA:

Para saber si la diferencia es mayor de 200 ml (Calcule el VEF₁ mayor – VEF₁ segundo mayor):

1. Determine el VEF₁ de cada uno de los trazos de un espirograma aceptable.
2. Substraiga el segundo mejor VEF₁ del mejor VEF₁

Para saber si la diferencia expresada como porcentaje es excesiva (OPCIONAL):

1. Siga los pasos 1 y 2 señalados más arriba.
2. Continúe con los siguientes pasos si la diferencia es mayor de 200 ml (100 ml para Cotton Dust).
3. Divida el resultado (la diferencia) entre el volumen del mayor VEF₁.
4. Multiplique el resultado por 100, para encontrar el porcentaje de la diferencia, ó:

$$\% \text{ Reproducibilidad} = \frac{\text{Mejor VEF}_1 - \text{Segunda mejor VEF}_1}{\text{Mejor VEF}_1} \times 100$$

EJEMPLO: (Figura 5-4 Curva volumen-tiempo – Medición del VEF₁). La curva A (VEF₁ = 3.15 L) y la curva B (VEF₁ = 2.92 L) tienen los dos mayores VEF₁s.

$$3.15 - 2.92 = 0.23 \text{ L}$$

Para expresar la reproducibilidad en porcentaje (**OPCIONAL**):

$$0.23/3.15 = 0.073 \text{ y } 0.073 \times 100 = 7.3\%$$

Ya que 230 ml es mayor que 200 ml, hay una variabilidad excesiva.

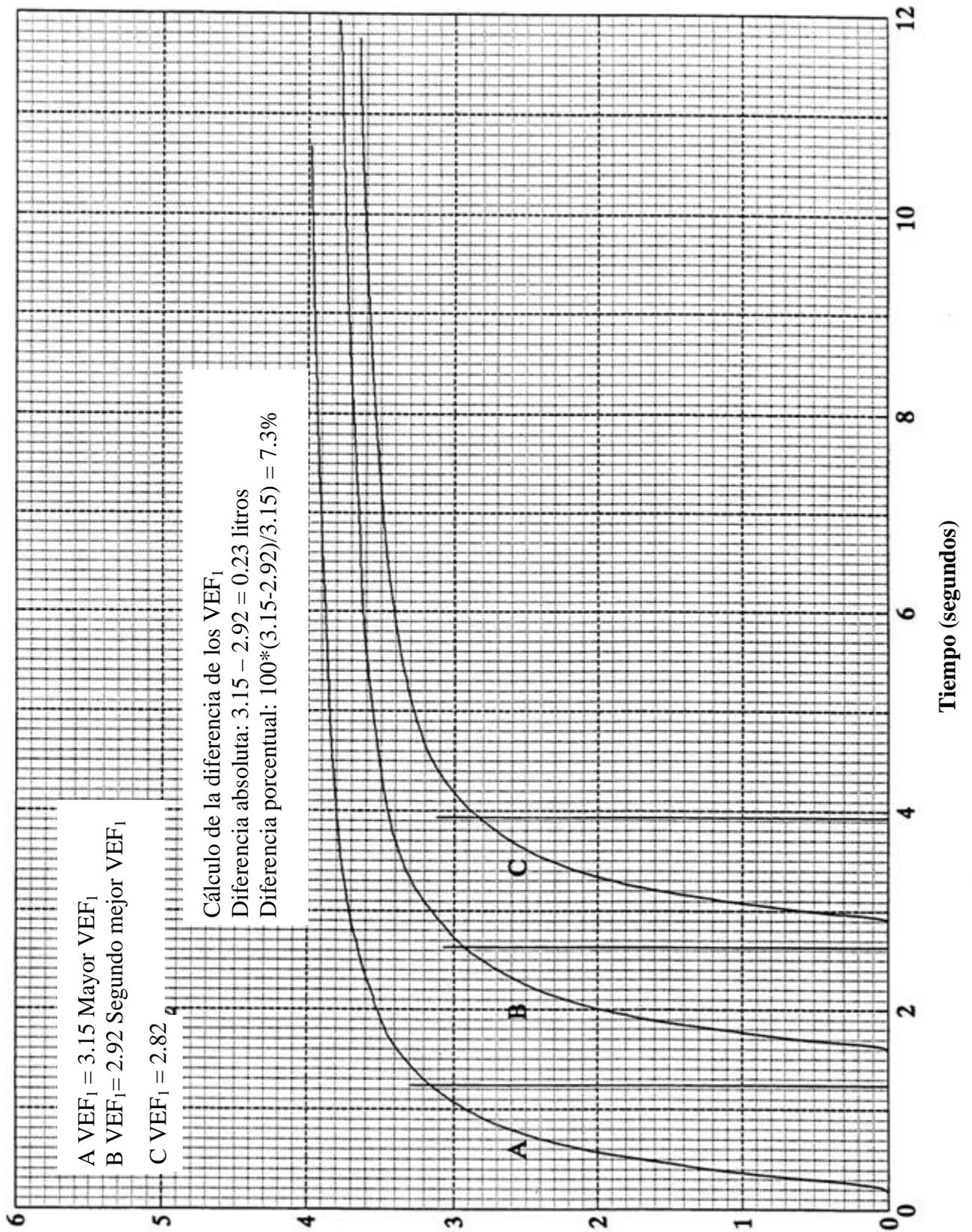
OPCIONAL: 7.3% es mayor que 5%, pero menos que 10%, así pues, estos trazos no cumplirían el criterio ATS-1987, pero sí con los de Cotton Dust.

EJERCICIO: Suponga que los dos mayores VEF₁ en la figura 5-4 provienen de las curvas B y C. ¿Habría una excesiva variabilidad?

RETROALIMENTACIÓN: No, ya que 100 ml es menor que 200 ml. **OPCIONAL:** Estos trazos cumplirían también los criterios tanto de la ATS-1987 como del Cotton Dust, debido a que 3.4% es menor a 5%.

FIGURA 5-4. CURVA VOLUMEN-TIEMPO- VARIABILIDAD DEL VEF₁

FIGURA 5-4. CURVA VOLUMEN-TIEMPO- VARIABILIDAD DEL VEF₁



EJERCICIO: Tres trazos por lo demás aceptables tienen los siguientes VEF₁: A = 1.77 L, B = 1.71 L, C = 1.98 L ¿Habría una variabilidad excesiva entre los dos mayores VEF₁?

RETROALIMENTACIÓN: Sí, debido a que 210 ml es mayor que 200 ml. **OPCIONAL:** Ya que 210 ml es mayor que 100 ml (ATS-1987 y Cotton Dust), se deberá usar el criterio de diferencia porcentual. Ya que $(0.21/1.98L = 10.6\%)$, el VEF₁ de estos trazos muestra una variabilidad excesiva, usando los criterios de reproducibilidad tanto de la ATS-1987(5%) como del Cotton Dust (10%).

DETALLES PARA RECORDAR:

1. 1 litro = 1000 ml (ml)

E. Extrapolación retrógrada

DEFINICIÓN:

El método preferido para determinar el tiempo cero en un trazo, cuando el punto exacto de inicio de la maniobra espiratoria forzada no resulta obvio. Ya que el VEF_1 se ve afectado por el punto que se seleccione en la gráfica como el inicio, se debe usar una manera uniforme para determinarlo.

CÓMO CALCULARLA Y UN EJEMPLO:

1. Utilizando trazos aceptables por lo demás (véase figura 5-5), observe la curva de la CVF obtenida, y determine un extremo recto a lo largo de la porción más empinada de la curva (Véase figura 5-6).
2. Con un lápiz de punta aguda, trace una línea a lo largo del extremo recto y a lo largo de la porción más empinada de la curva, y extienda la línea para interceptar la línea basal (Véase figura 5-7).
3. Donde la línea recta intercepte la línea basal se considera el nuevo tiempo cero que se va a usar para calcular el VEF_1 . Marque la intercepción $t = 0$ y encuentre el punto de la línea basal un segundo después, para marcarlo como $t = 1$ (Anote la distancia de un segundo en su papel gráfico para medir el $t = 1$) (Véase figura 5-7).
4. Proceda con el paso habitual para calcular el VEF_1 . (Para la figura 5-7, el VEF_1 es de 2.33L).

NOTA: Para ver el significado de la extrapolación retrógrada al punto del tiempo cero, marque el punto en el cual el trazo se separa habitualmente de la línea basal, así como el punto exacto un segundo después. Como se ve en la figura 5-8, el VEF_1 habría sido de 2.16. Esta es una diferencia considerable.

**FIGURA 5-5. CURVA VOLUMEN-TIEMPO
VEF₁ Y EL VOLUMEN EXTRAPOLADO (V_{EXT})**

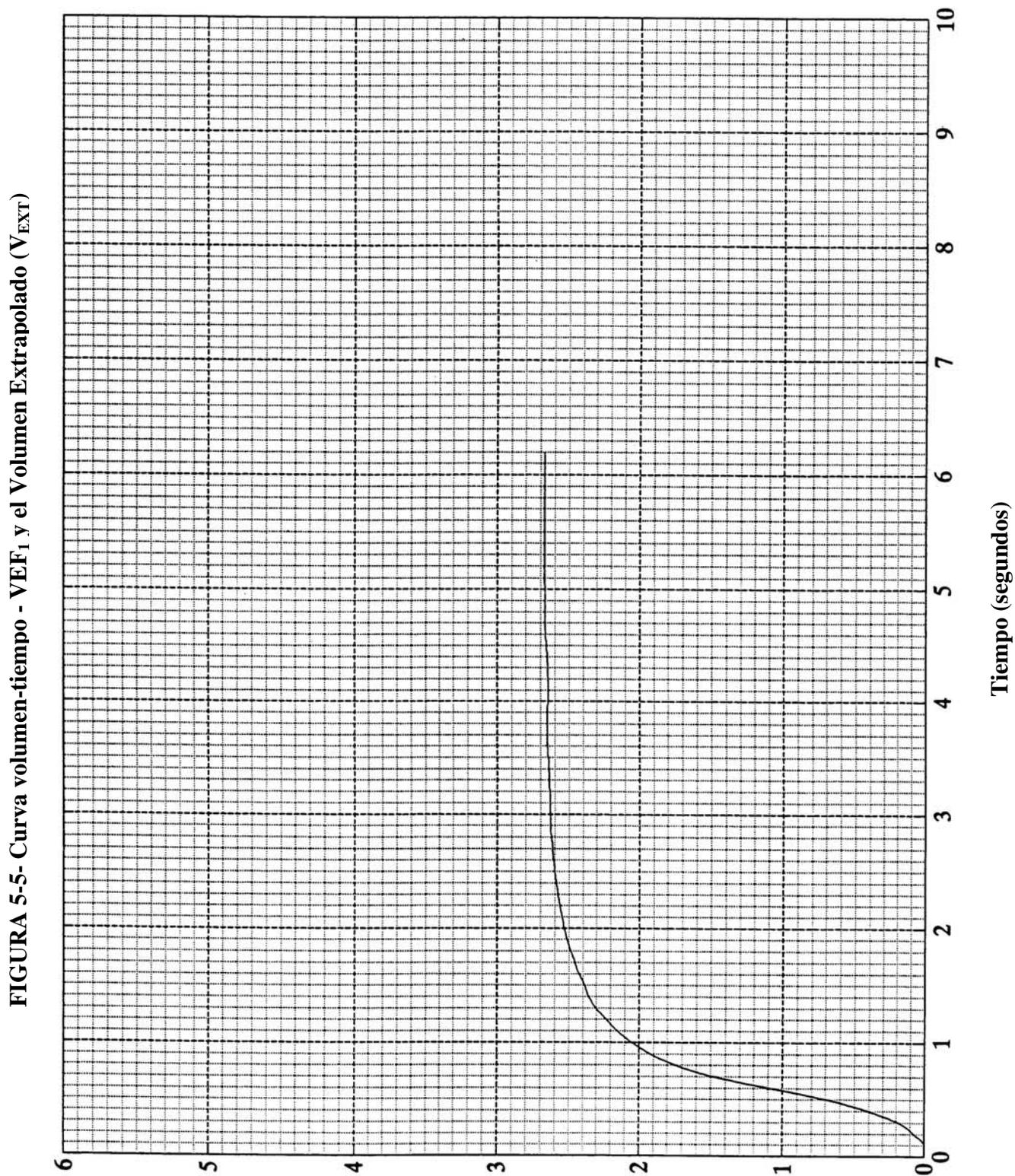


FIGURA 5-6. CURVA VOLUMEN-TIEMPO. TRAZO DE LÍNEA PARA EL V_{EXT}

FIGURA 5-6. Curva volumen-tiempo. Trazo de línea para el V_{EXT}

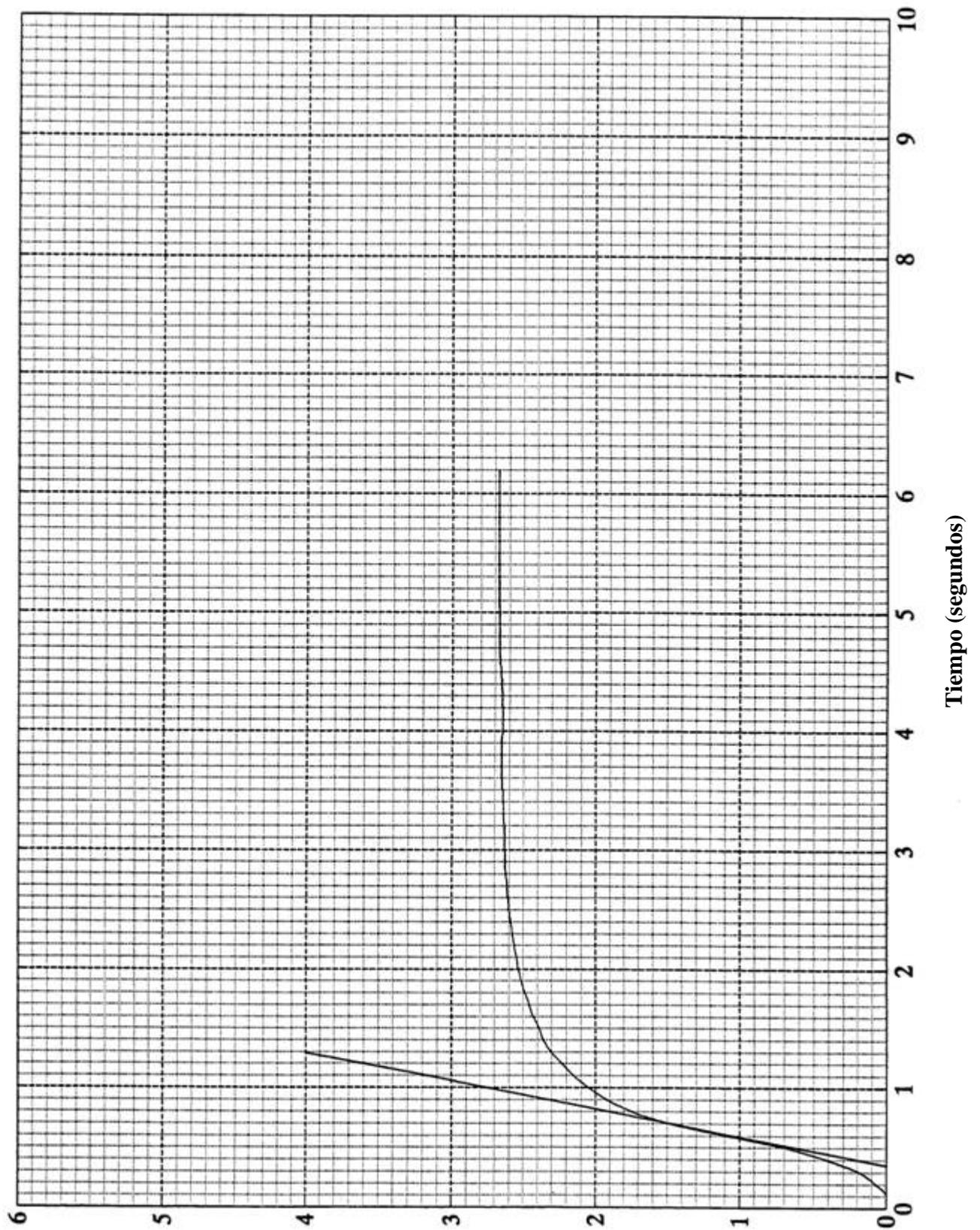


FIGURA 5-7. CURVA VOLUMEN-TIEMPO. MEDIDA DEL TIEMPO CERO Y DEL VEF₁
Error!

FIGURA 5-7. Curva volumen-tiempo. Medida del tiempo cero y del VEF₁

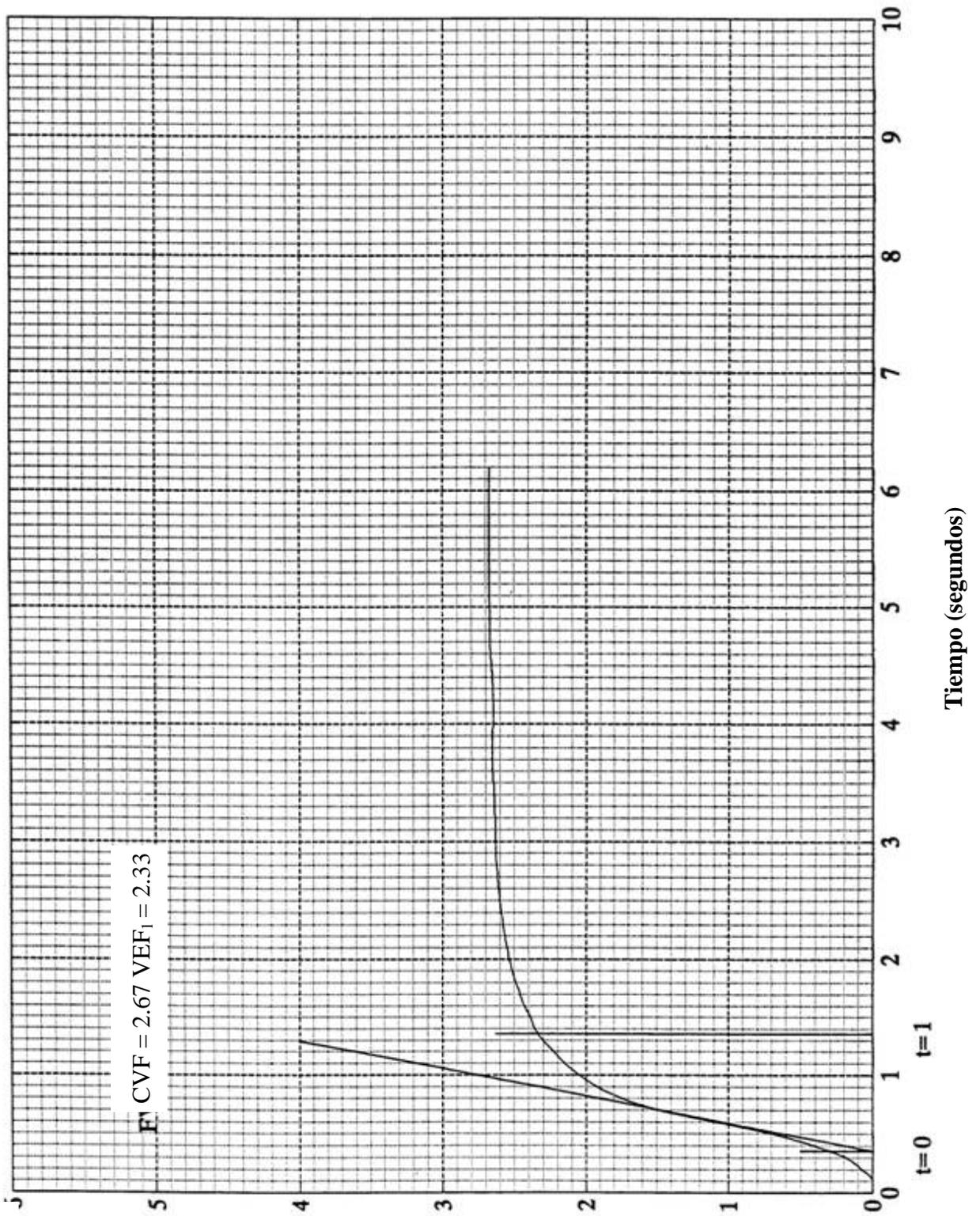
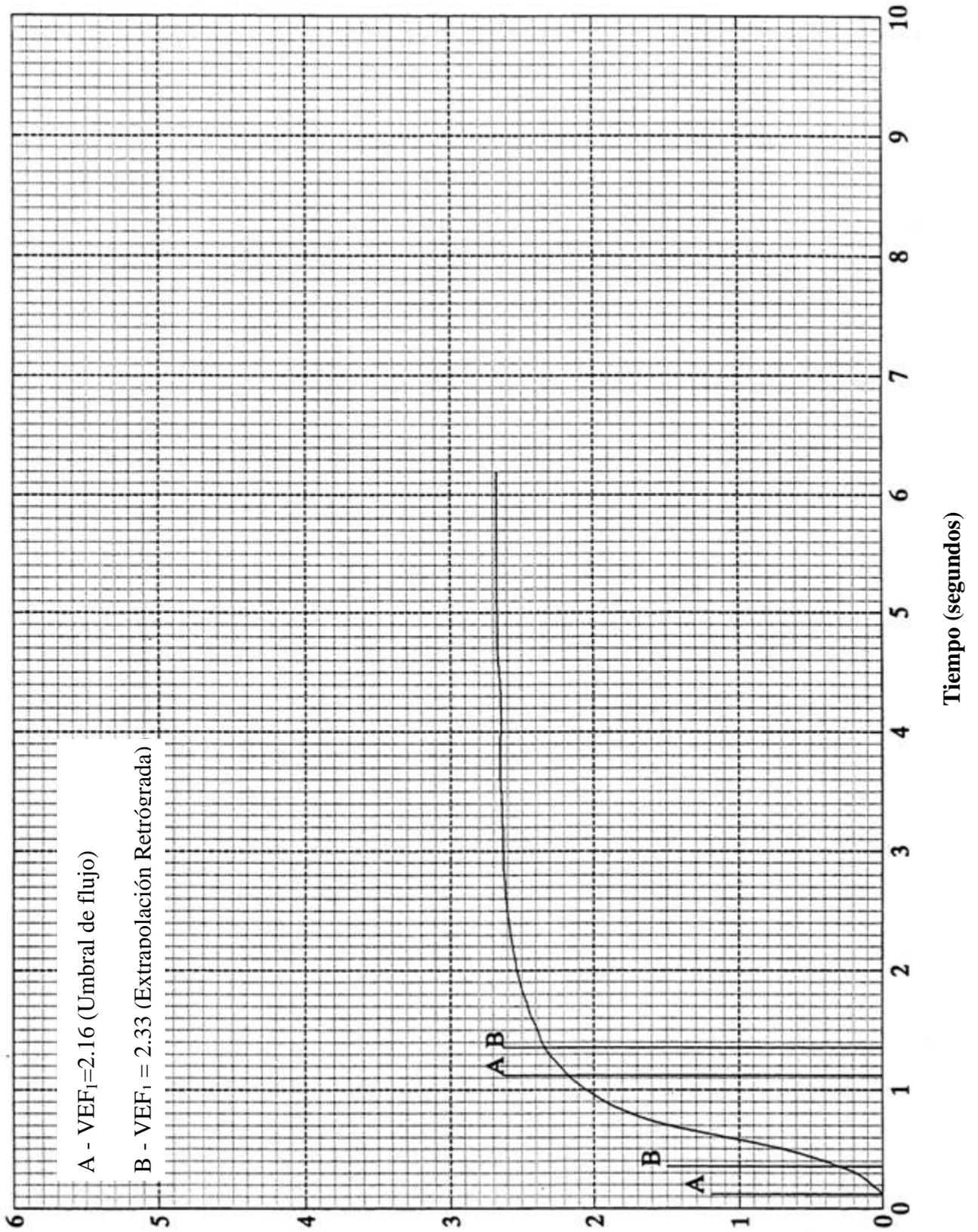


FIGURA 5-8. CURVA VOLUMEN-TIEMPO-DOS POSIBLES TIEMPOS CERO

FIGURA 5-8. Curva volumen-tiempo-Dos posibles tiempos cero

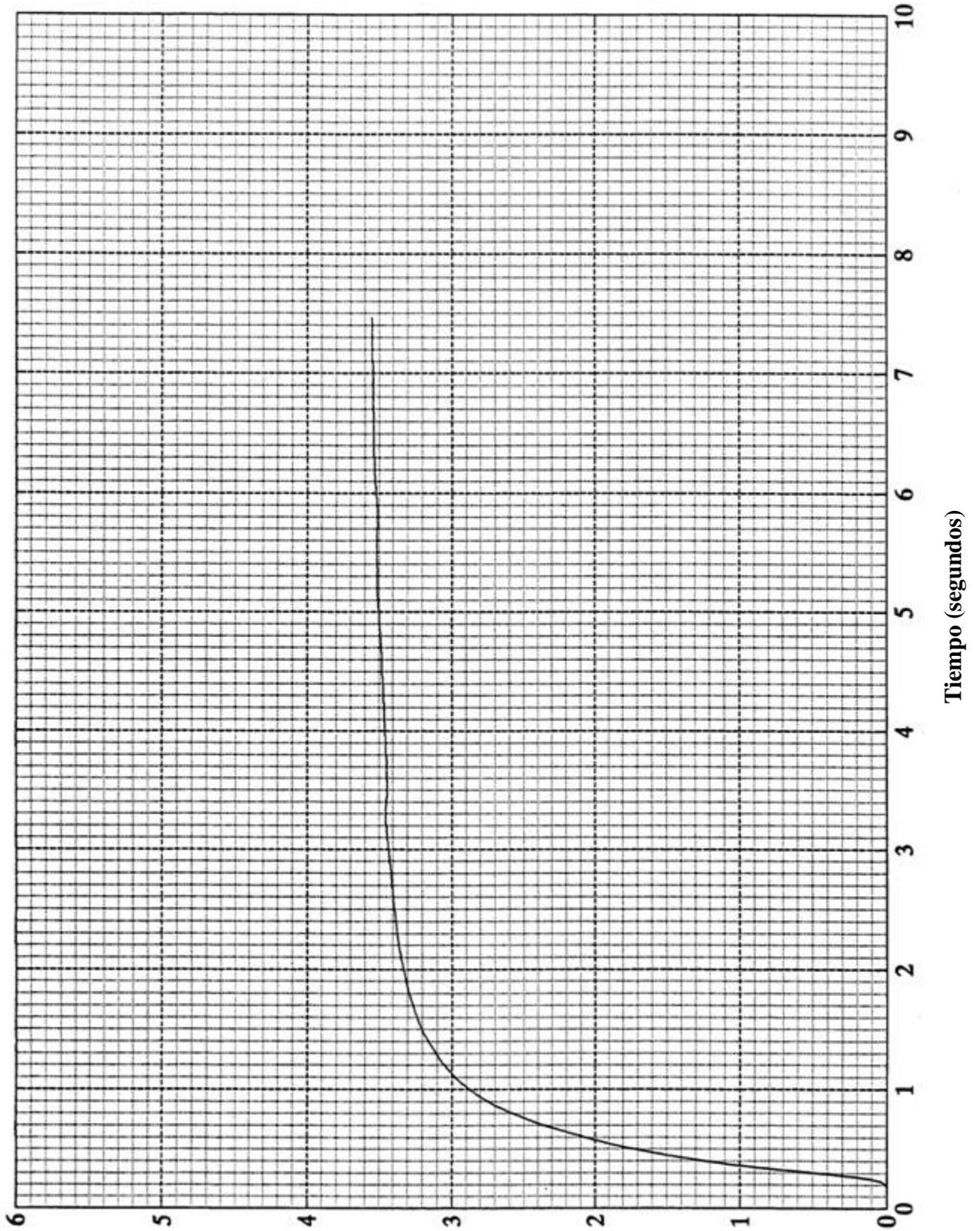


EJERCICIO: Utilizando la curva de la figura 5-9, calcule el VEF₁, utilizando la extrapolación retrógrada.

RETROALIMENTACIÓN: VEF₁= 3.08 L

FIGURA 5-9. CURVA VOLUMEN-TIEMPO-EJERCICIO

FIGURA 5-9. Curva volumen-tiempo-Ejercicio



EJERCICIO: Utilizando la curva de la figura 5-10, calcule el VEF_1 usando la extrapolación retrógrada.

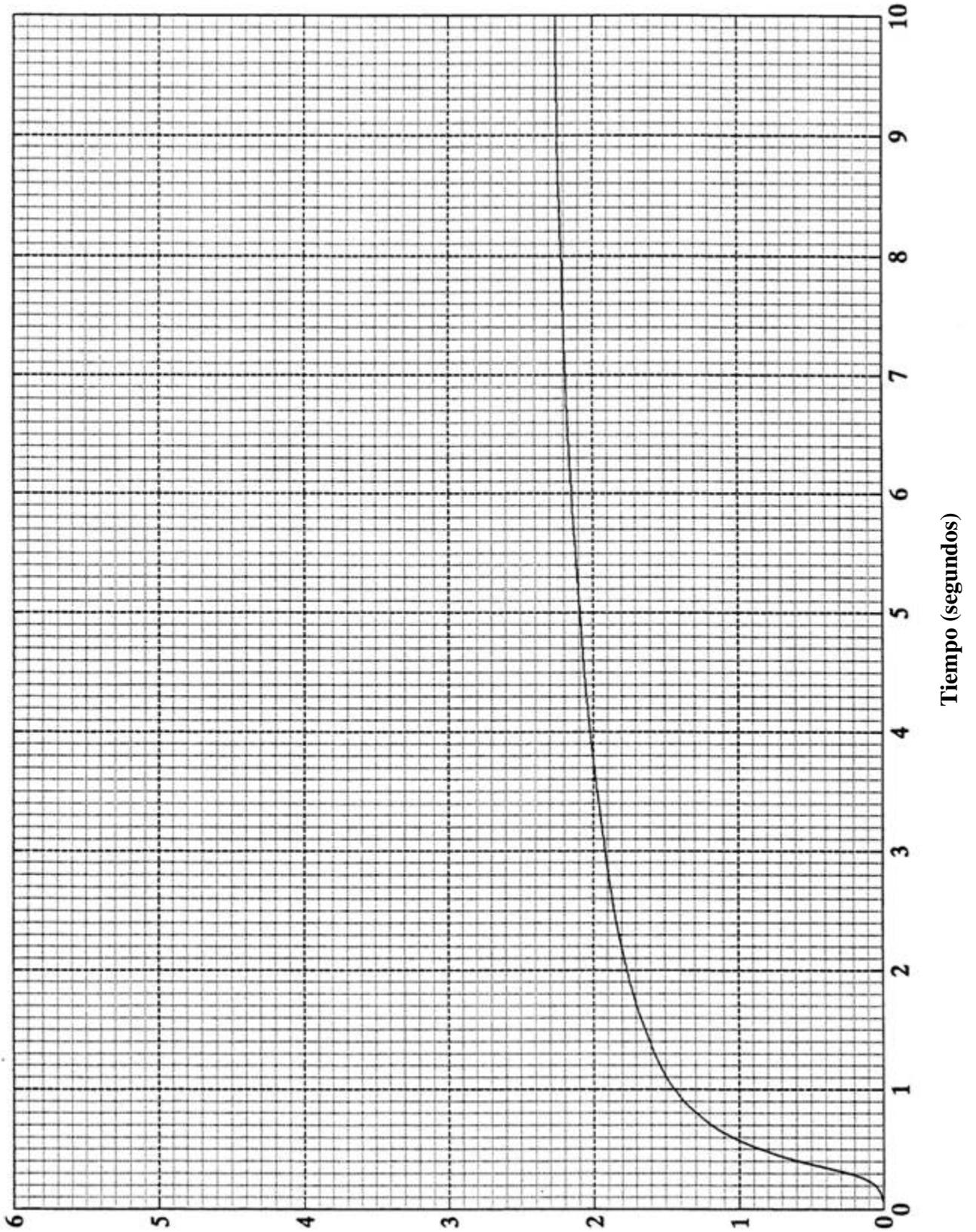
RETROALIMENTACIÓN: $VEF_1 = 1.56 \text{ L}$

DATOS PARA RECORDAR:

1. La Sociedad Americana de Tórax ha considerado que el método de la extrapolación retrógrada es la técnica más consistente y aceptada para determinar el punto cero y ha recomendado su uso para todos los cálculos del VEF_1 . (1)
2. Después de usar la extrapolación retrógrada, el volumen extrapolado deberá ser evaluado para determinar la aceptabilidad del trazo para calcular el VEF_1 . (Véase la siguiente sección para los detalles).

FIGURA 5-10. CURVA VOLUMEN-TIEMPO-EJERCICIO

FIGURA 5-10. Curva volumen-tiempo-Ejercicio



F. Cálculo del volumen extrapolado excesivo

DEFINICIÓN

Como se describió anteriormente, el volumen extrapolado es el volumen exhalado antes de que se haya comenzado a medir el tiempo de la maniobra - “tiempo cero”. El volumen extrapolado no debe ser mayor de 5% de la CVF o mayor de 150 ml, cualquiera de los dos valores que sea mayor (1). El volumen extrapolado es utilizado para determinar si es que el trazo es aceptable para calcular el VEF₁. Un volumen extrapolado excesivo representa un tipo de titubeo o un inicio falso, y es uno de los criterios que se toman en cuenta al valorar la aceptabilidad. Un titubeo excesivo puede mostrarse con diferentes formas - se dan dos ejemplos en las figuras 5-11 y 5-12.

CÓMO CALCULARLO Y UN EJEMPLO:

Para saber si el volumen extrapolado es mayor de 150 ml (se usará cuando las CVF sean de 3 litros o menores):

1. Tome el punto en el cual $t = 0$ se encontró, por medio del método de extrapolación retrógrada. (Véase figura 5-13)
2. Dibuje una línea vertical a través del $t = 0$ hasta el nivel de la curva de la CVF y lea el volumen a nivel de la intercepción. Este número es el volumen extrapolado. (En la figura 5-13, el volumen extrapolado es de 0.175 L o de 175 ml).
3. Cerciórese de ver que el volumen extrapolado no exceda de 150 ml (En la figura 5-13, el volumen extrapolado de 175 ml; excede los 150 ml. Es por eso que el trazo no deberá ser aceptado para su uso en el cálculo del VEF₁).

Para saber si el volumen extrapolado es mayor de 5% (uso para CVF mayores de 3 litros):

1. Siga los pasos 1 y 2 señalados más arriba. (En la figura 5-14, el volumen extrapolado es de 0.329 L ó de 329 ml).
2. Divida el volumen extrapolado entre la CVF. (En la figura 5-14, la CVF es de 3.34 l; $.329/3.34 = .0985$).
3. Multiplique el resultado por 100 para encontrar el porcentaje de la diferencia. (En la figura 5-14, $0.0985 \times 100 = 9.9\%$. Existe de manera evidente un volumen extrapolado excesivo y éste no sería un trazo aceptable).
4. (Opcional). Otra manera para determinar si el volumen extrapolado es mayor de 5%, consiste en multiplicar la CVF por 0.05 y verificar que el volumen extrapolado, en litros, no exceda esta cantidad. (En la figura 5-14, la CVF es de 3.34 L $0.05 \times 3.34 = 0.167$ litros. Ya que el volumen extrapolado es de 0.329 litros, se trata de un trazo no aceptable).

FIGURA 5-11. EJEMPLO DE VOLUMEN EXTRAPOLADO

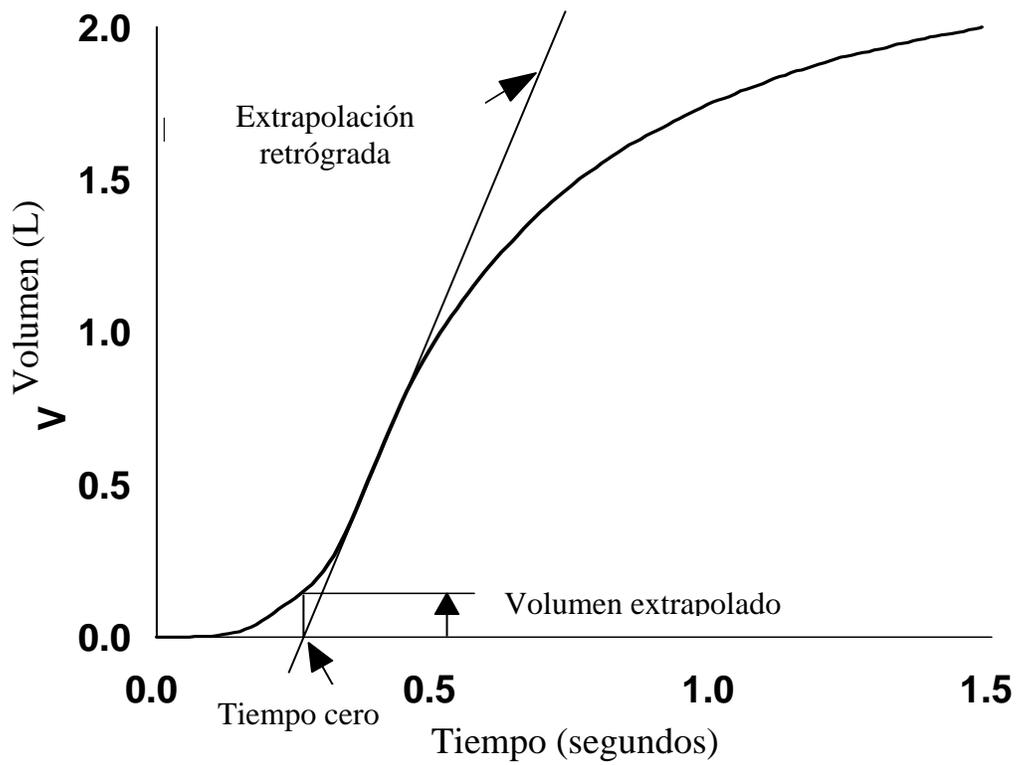
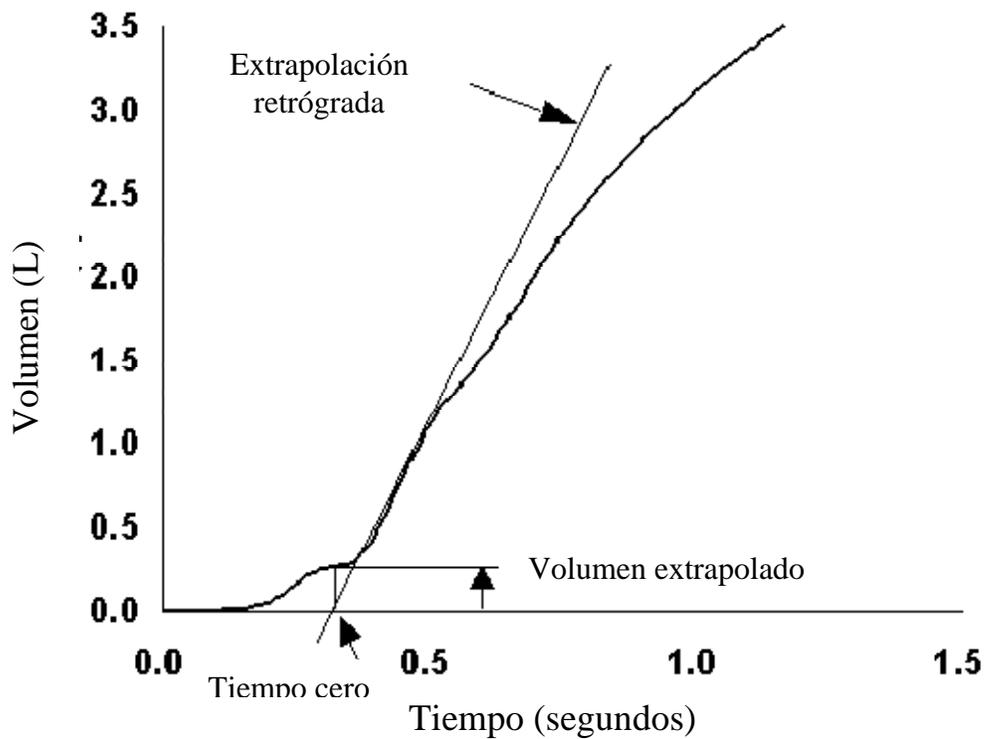


FIGURA 5-12. EJEMPLO DE VOLUMEN EXTRAPOLADO



**FIGURA 5-13 CURVA VOLUMEN-TIEMPO
MEDICIÓN DEL VOLUMEN EXTRAPOLADO (V_{EXT})**

FIGURA 5-13 Curva volumen-tiempo - Medición del volumen extrapolado (V_{EXT})

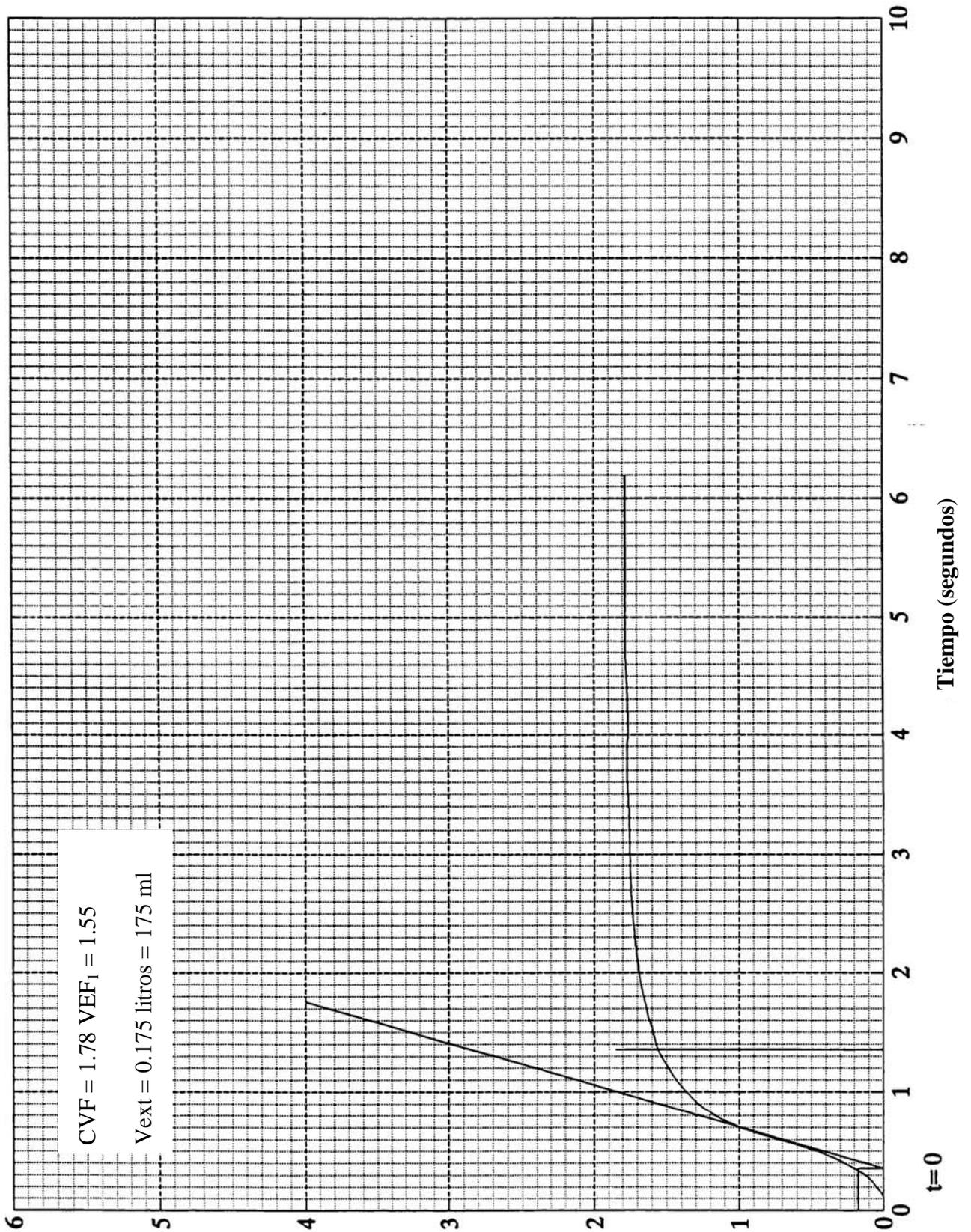
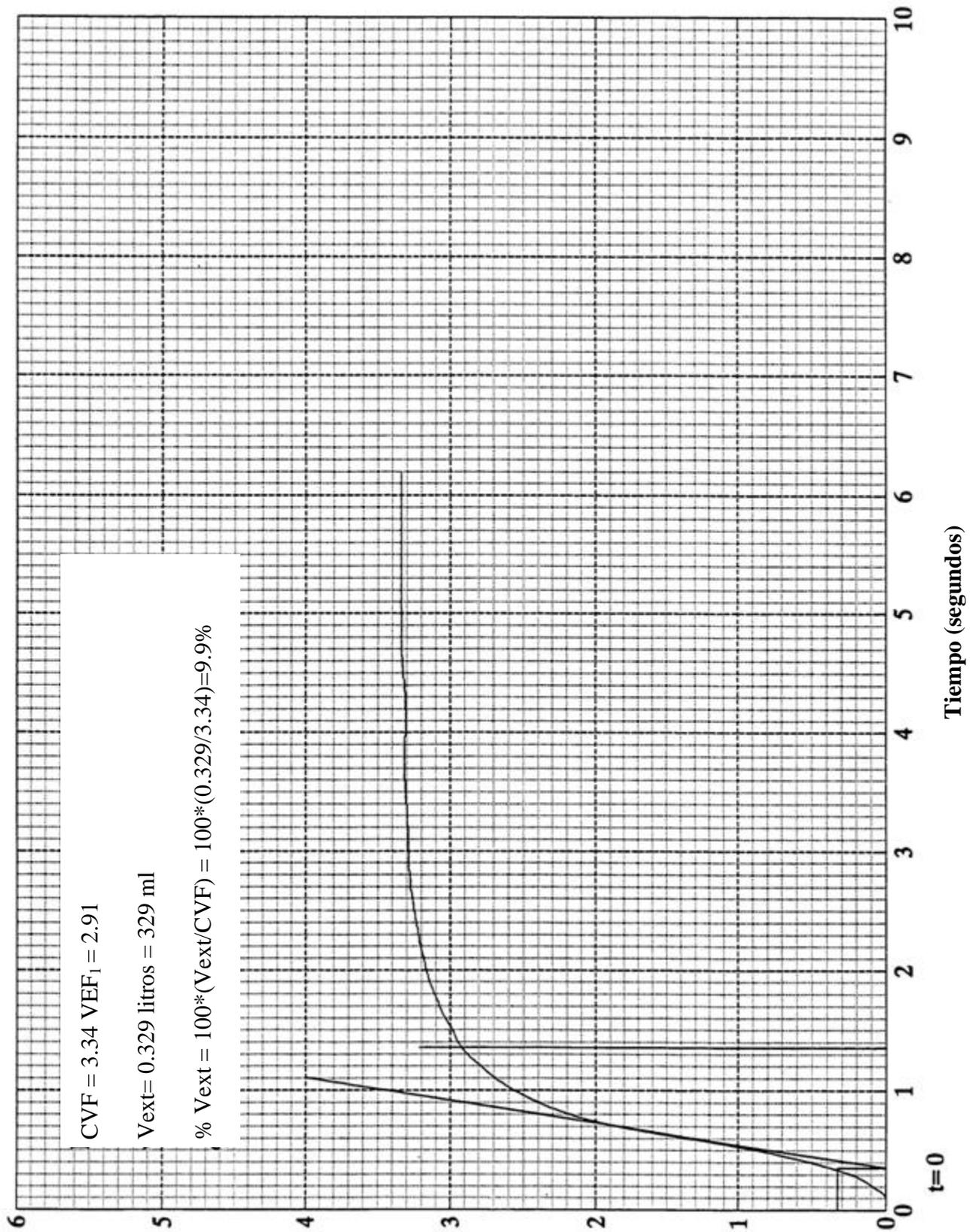


FIGURA 5-14 CURVA VOLUMEN-TIEMPO

MEDICIÓN DEL VOLUMEN EXTRAPOLADO (V_{EXT})

FIGURA 5-14. Curva volumen-tiempo -- Medición del volumen extrapolado (V_{EXT})



EJERCICIO: Utilizando la curva en la figura 5-15 (la cual es la misma que en la figura 5-9), determine si es que existe un volumen extrapolado excesivo.

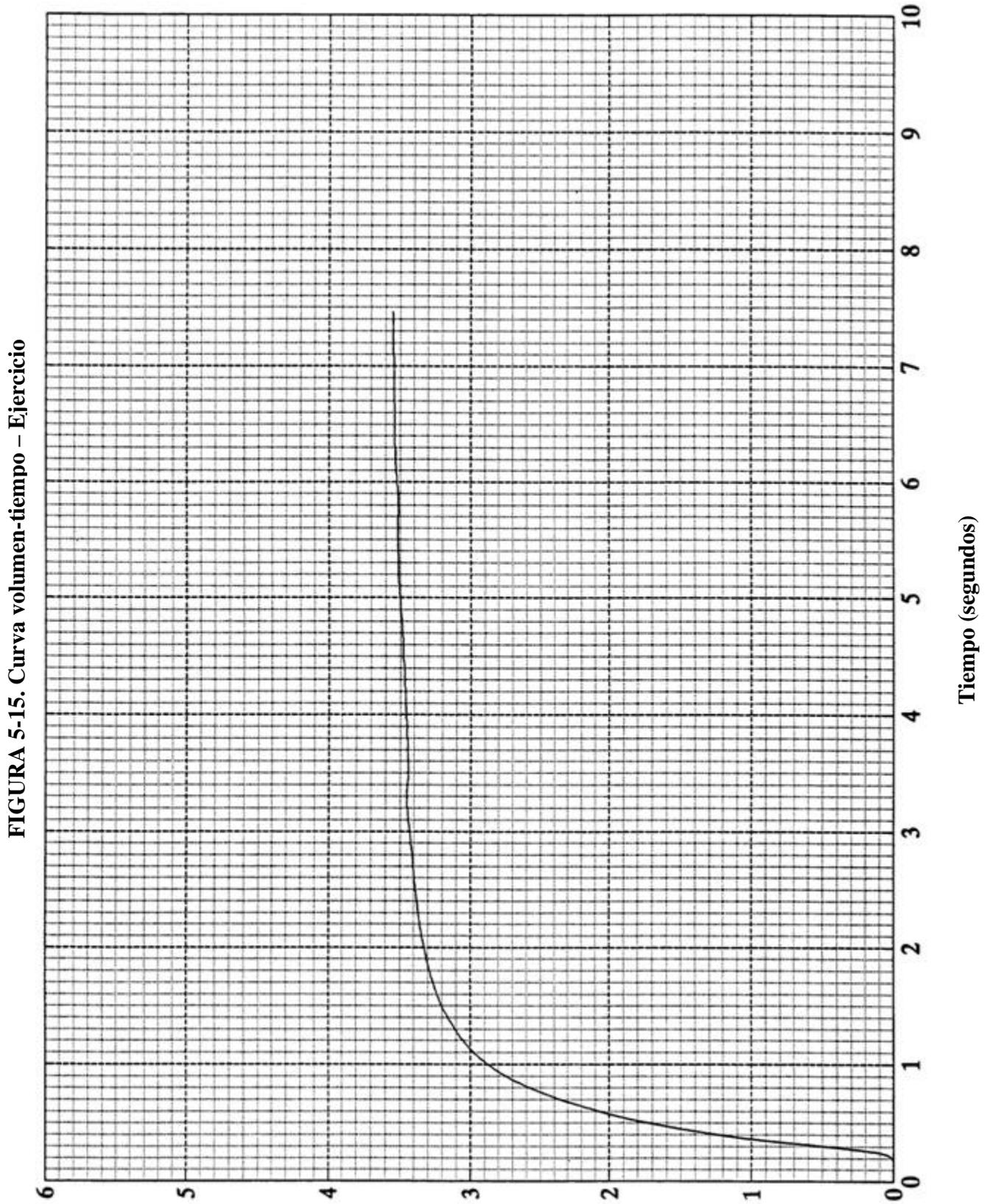
RETROALIMENTACIÓN:

No existe un volumen extrapolado excesivo. Volumen extrapolado = 0.07 L

CVF = 3.55 L

$(0.07/3.55)100 = 2\%$

FIGURA 5-15. CURVA VOLUMEN-TIEMPO – EJERCICIO



EJERCICIO: Utilizando la curva de la figura 5-16 (a cual es la misma que la de la figura 5-10), determine si existe un volumen extrapolado excesivo.

RETROALIMENTACIÓN: Volumen extrapolado excesivo. Volumen extrapolado = 0.13 L

$$\text{CVF} = 2.25 \text{ L}$$

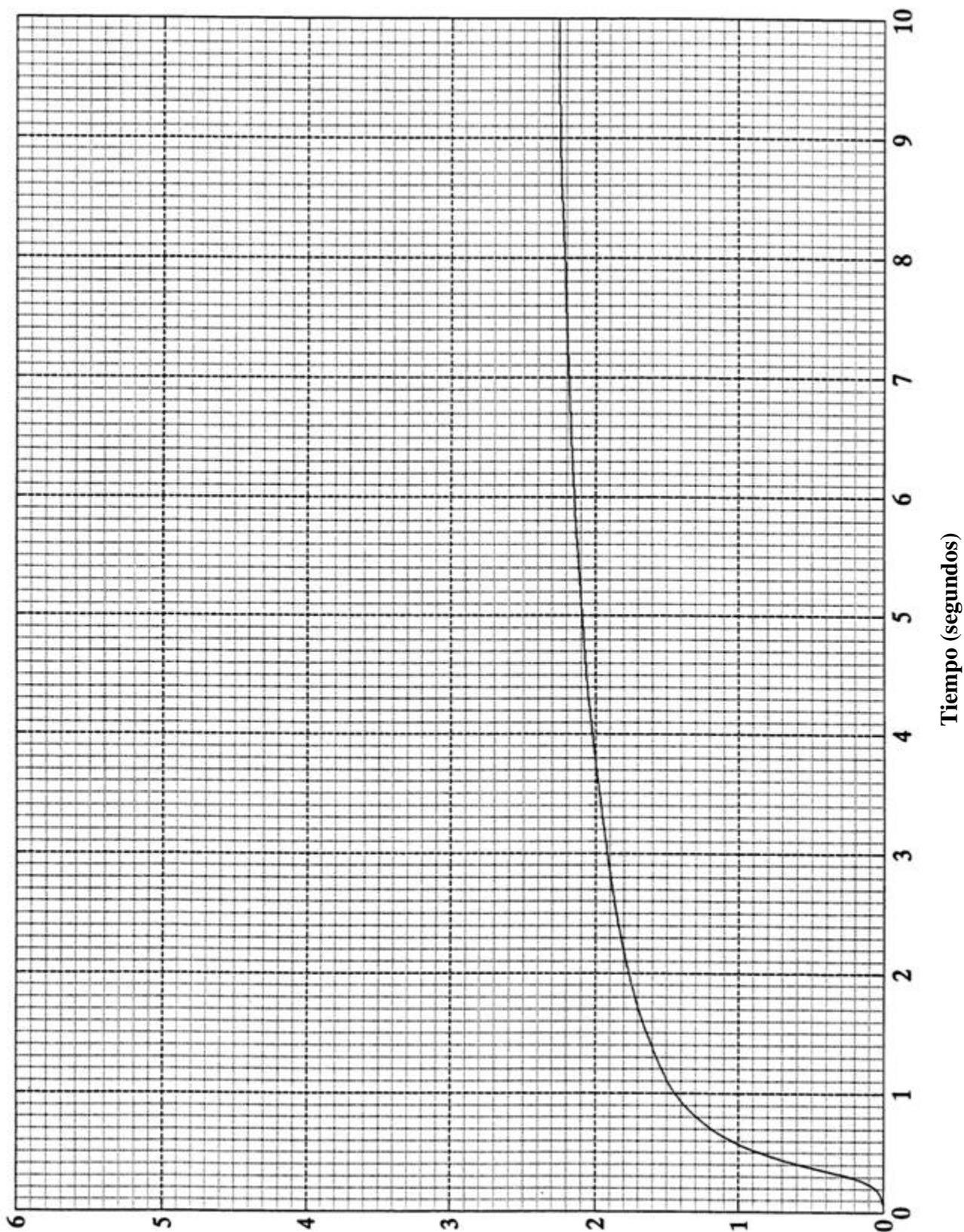
$$(0.13/2.25)100 = 5.7\%$$

DETALLES PARA RECORDAR:

1. 1 litro = 1000 mililitros (ml)
2. Use 150 ml para las CVF de 3 litros o menores. Use el valor del 5% para las CVF mayores de 3 litros.

FIGURA 5-16. CURVA VOLUMEN TIEMPO- EJERCICIO

FIGURA 5-16. Curva volumen tiempo- Ejercicio



G. VEF₁ como porcentaje de la CVF (VEF₁/CVF)

DEFINICIÓN: El porcentaje del total de la CVF observada que es exhalado en el primer segundo (VEF₁). Este cálculo es de utilidad para detectar una enfermedad obstructiva. Una persona con pulmones sanos puede exhalar 70-80% de la CVF en el primer segundo, mientras que una persona con obstrucción de las vías aéreas, sólo es capaz de exhalar, por ejemplo, un 60% ó menos, de la CVF, en el primer segundo.

CÓMO CALCULARLA:

1. Calcule la CVF mayor aceptable así como el VEF₁, inclusive si no provienen del mismo trazo.
2. Divida el VEF₁, entre la CVF.
3. Multiplique el resultado por 100 para obtener el porcentaje.

EJEMPLO: (Véase figura 5-17. Curva volumen-tiempo – Cálculo del VEF₁/CVF%):

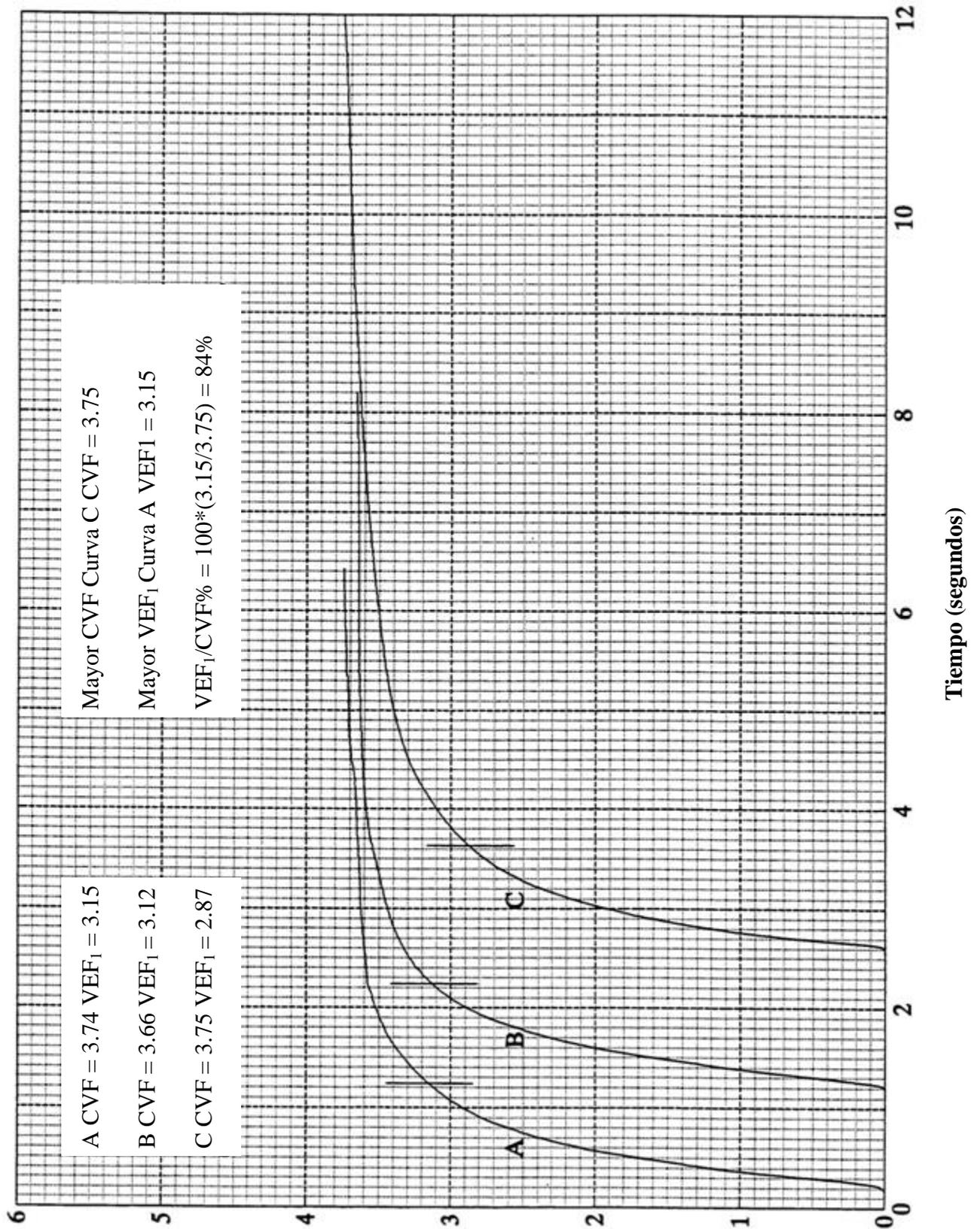
La mayor CVF aceptable es de 3.75 L (de la curva C).

El mayor VEF₁ aceptable es de 3.15 L (de la curva A).

$$(3.15/3.75) \times 100 = 84\%$$

FIGURA 5-17. CURVA VOLUMEN-TIEMPO- CÁLCULO DEL VEF₁/CVF%

FIGURA 5-17. Curva volumen-tiempo- Calculo del VEF₁/CVF%



EJERCICIO: Usando la información de la figura 5-18, calcule el $VEF_1/CVF\%$. Antes de hacerlo, cerciórese que existan criterios de reproducibilidad para la CVF y el VEF_1 .

Deberá señalarse que se hubiera necesitado un papel de mayor tamaño para poder usar una escala de tiempo que cumpliera los estándares de la ATS (Véase **unidad 8: Revisión de los estándares para el equipo espirométrico**). Sin embargo, no fue posible un papel más grande en esta guía debido a limitaciones de su reproducción. Estas curvas fueron incluidas como un recordatorio de que muchos individuos, especialmente aquéllos con patrón obstructivo, necesitan un tiempo mayor de 10 segundos para completar su maniobra espiratoria forzada.

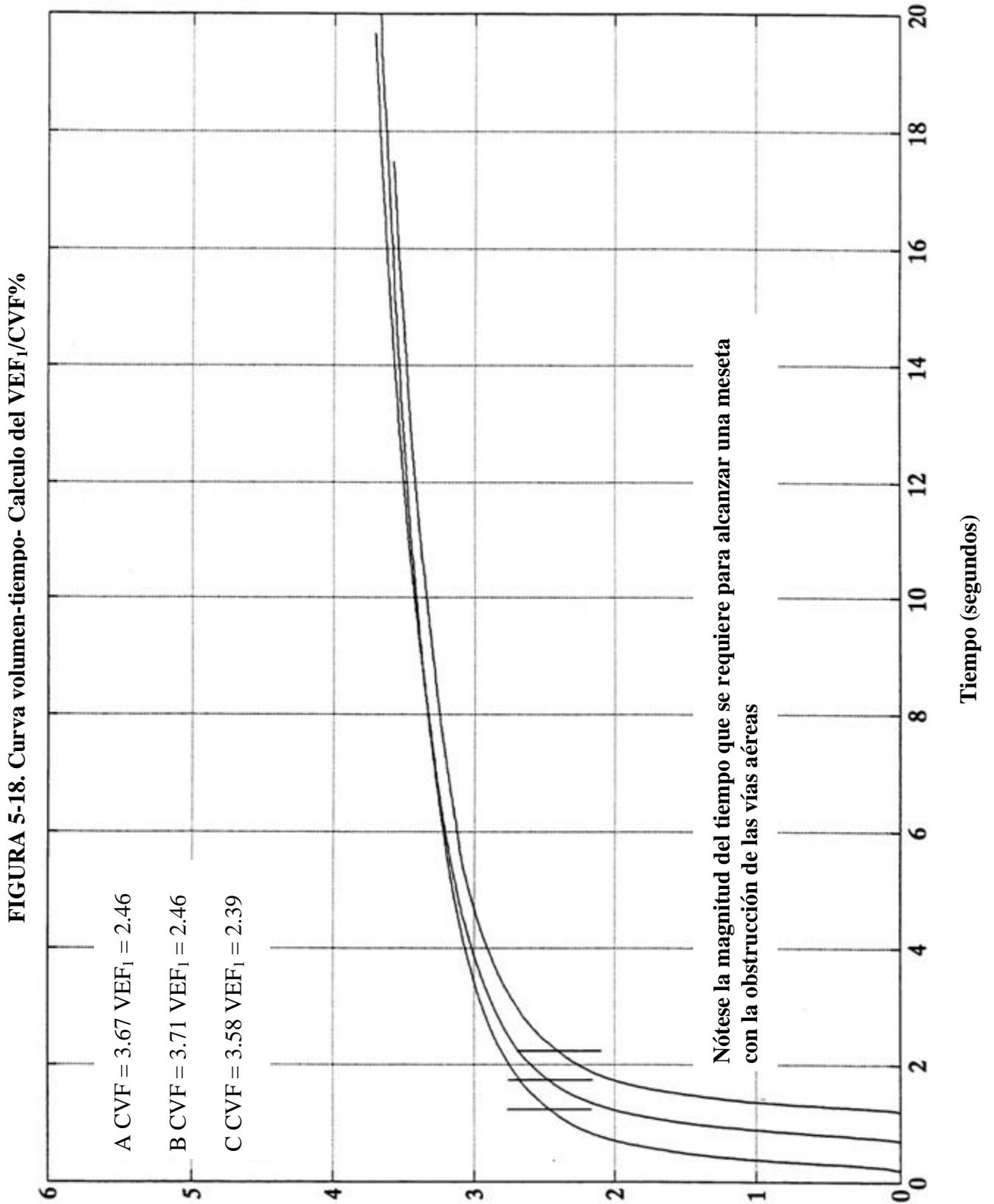
RETROALIMENTACIÓN:

Variabilidad de la CVF = 1.1%

Variabilidad del VEF_1 = 0

VEF_1/CVF % = 66.3%

FIGURA 5-18. CURVA VOLUMEN-TIEMPO- CÁLCULO DEL VEF_1/CVF %



EJERCICIO: Tres curvas aceptables y reproducibles dieron los siguientes resultados:

Curva A: CVF = 3.65 L
 VEF₁ = 3.01 L

Curva B: CVF = 3.52 L
 VEF₁ = 3.01 L

Curva C: CVF = 3.53 L
 VEF₁ = 3.07 L

Calcule el VEF₁/CVF %

RETROALIMENTACIÓN: 84.1%

¿Se acordó de utilizar los mayores VEF₁ y CVF independientemente de la curva que provenga?

DETALLES A RECORDAR:

1. El porcentaje se da redondeando la cifra en un decimal (vgr. 85.4%).
2. Para hacer este cálculo, el VEF₁ y la CVF pueden provenir de diferentes trazos.

H. Flujo meso-espíratório forzado (FEF_{25-75%}) (OPCIONAL)

DEFINICIÓN:

El flujo espiratorio forzado promedio en la mitad central de la CVF (conocido previamente como flujo espiratorio medio o MMEF). Aunque puede resultar más sensible que el VEF₁, tiene una variabilidad considerablemente mayor que la CVF y que el VEF₁. De esa manera, la ATS (1) recomienda que únicamente se considere al FEF_{25-75%} después de haber detectado la presencia de una alteración así como la severidad de la misma y no deberá ser utilizado para diagnosticar enfermedad en paciente particulares.

CÓMO CALCULARLO Y UN EJEMPLO:

1. Utilizando un trazo aceptable, identifique la “mejor curva”, aquélla con la suma mayor del VEF₁ y de la CVF. En la mayoría de los casos, la mejor curva va a tener la mayor CVF. Para hacer esto, añada en cada una de las curvas el VEF₁ y la CVF (Véase figura 5-19. En este caso, la mejor curva es la A)
2. Utilizando la mejor curva, calcule el 25% y el 75% de la curva de la CVF.
25% de la CVF = 0.25 x CVF
75% de la CVF = 0.75% x CVF
Nota: La CVF se expresa en litros, de manera que los resultados deben estar también en litros.
(Para la curva A, el 25% de la CVF es 0.94 L y el 75% es 2.81 l)
3. Marque los resultados de la curva CVF (Véase figura 5-20).
4. Habiendo encontrado los dos puntos que representan el 25% y el 75% de la CVF, trace una línea recta a través de ellos. (Véase el trazo de esta línea a través de los puntos en la figura 5-20).
5. Esta línea deberá interceptar algunas de las líneas o barras de tiempo del papel cuadrículado. Para realizar este cálculo, use cualquiera de dos líneas o barras adyacentes que estén un segundo separadas, e intercepte la línea que usted ha dibujado. Lea los volúmenes para cada una de estas barras en el punto donde interceptan la línea (Véase figura 5-20, punto A (1.70) y Punto B (5.05). Se podrían haber escogido otros puntos sobre la línea, siempre y cuando entre ellos hubiera un segundo de diferencia).
6. Encuentre la diferencia entre estos dos volúmenes. Sustraiga el volumen a nivel de la intercepción de la primera línea del volumen, de aquél del nivel de la intercepción en la segunda línea, para de ese modo obtener la diferencia. (Véase figura 5-20. $5.05 - 1.70 = 3.35$ L).
7. Convierta los resultados a BTPS. Para instrucciones, véase la siguiente sección.
8. El resultado se expresa en litros por segundo. Esto es debido a que usted ha calculado el cambio en volumen durante el intervalo de un segundo.

FIGURA 5-19. CURVA VOLUMEN-TIEMPO – MEJOR CURVA CON RELACIÓN AL FEF_{25-75%}

FFGURA 5-19. Curva volumen-tiempo – Mejor curva con relación al FEF_{25-75%}

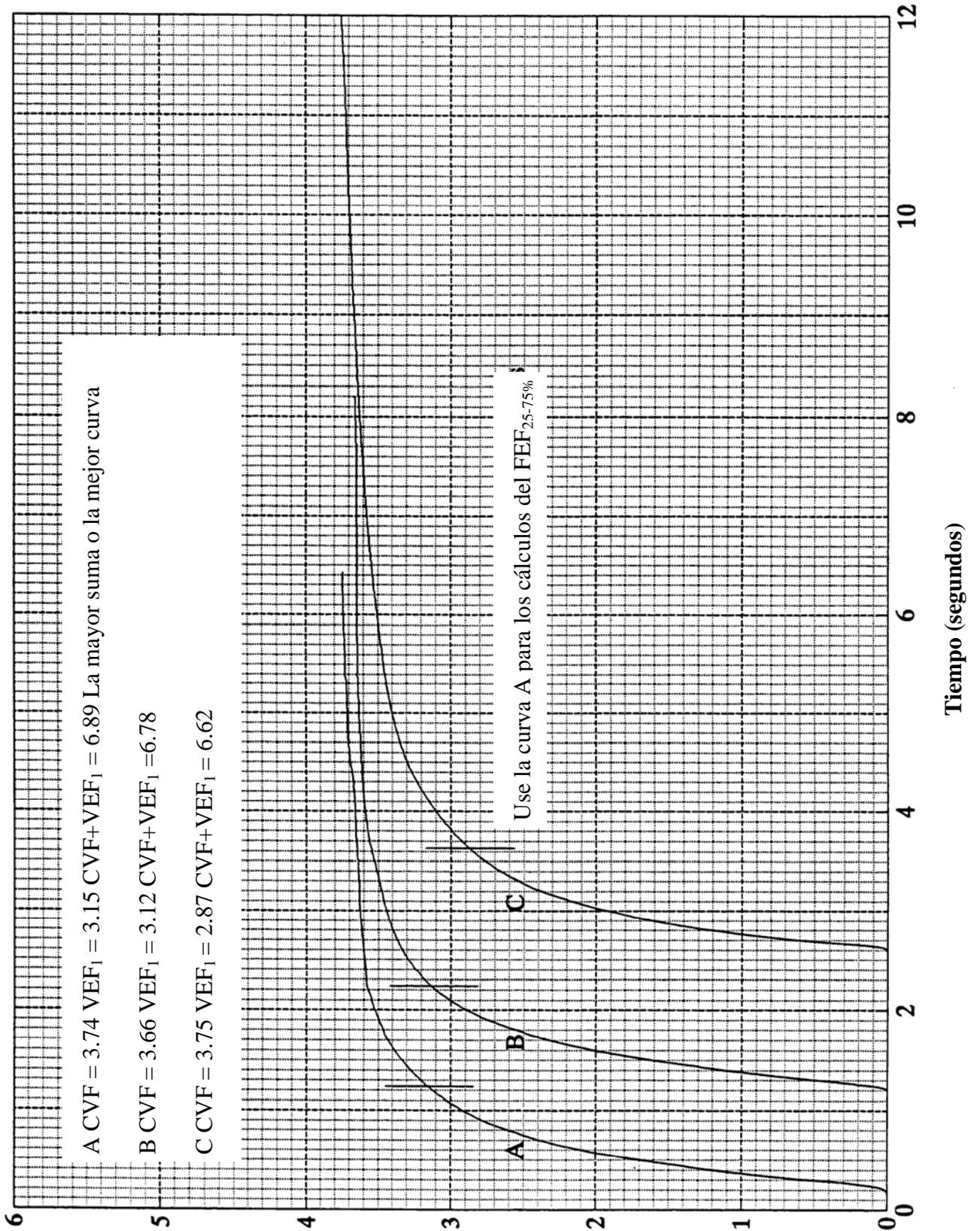
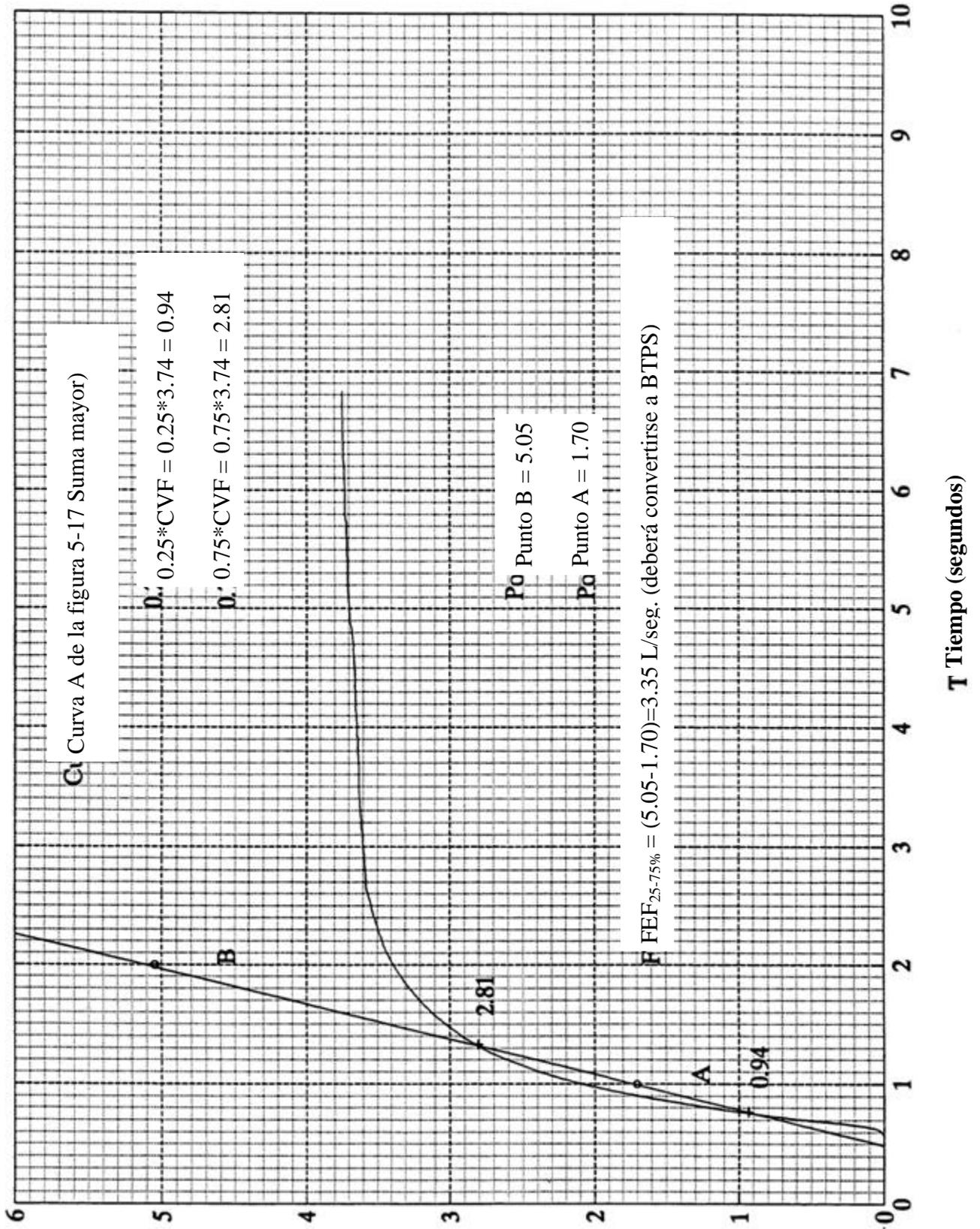


FIGURA 5-20. CURVA VOLUMEN-TIEMPO – FEF_{25-75%}

FIGURA 5-20. Curva volumen-tiempo – FEF_{25-75%}



EJERCICIO: Usando las curvas de la figura 5-21, identifique la mejor curva (la mejor curva se define como aquella con la suma mayor del VEF₁ y la CVF).

RETROALIMENTACIÓN:

La curva B es la mejor curva.

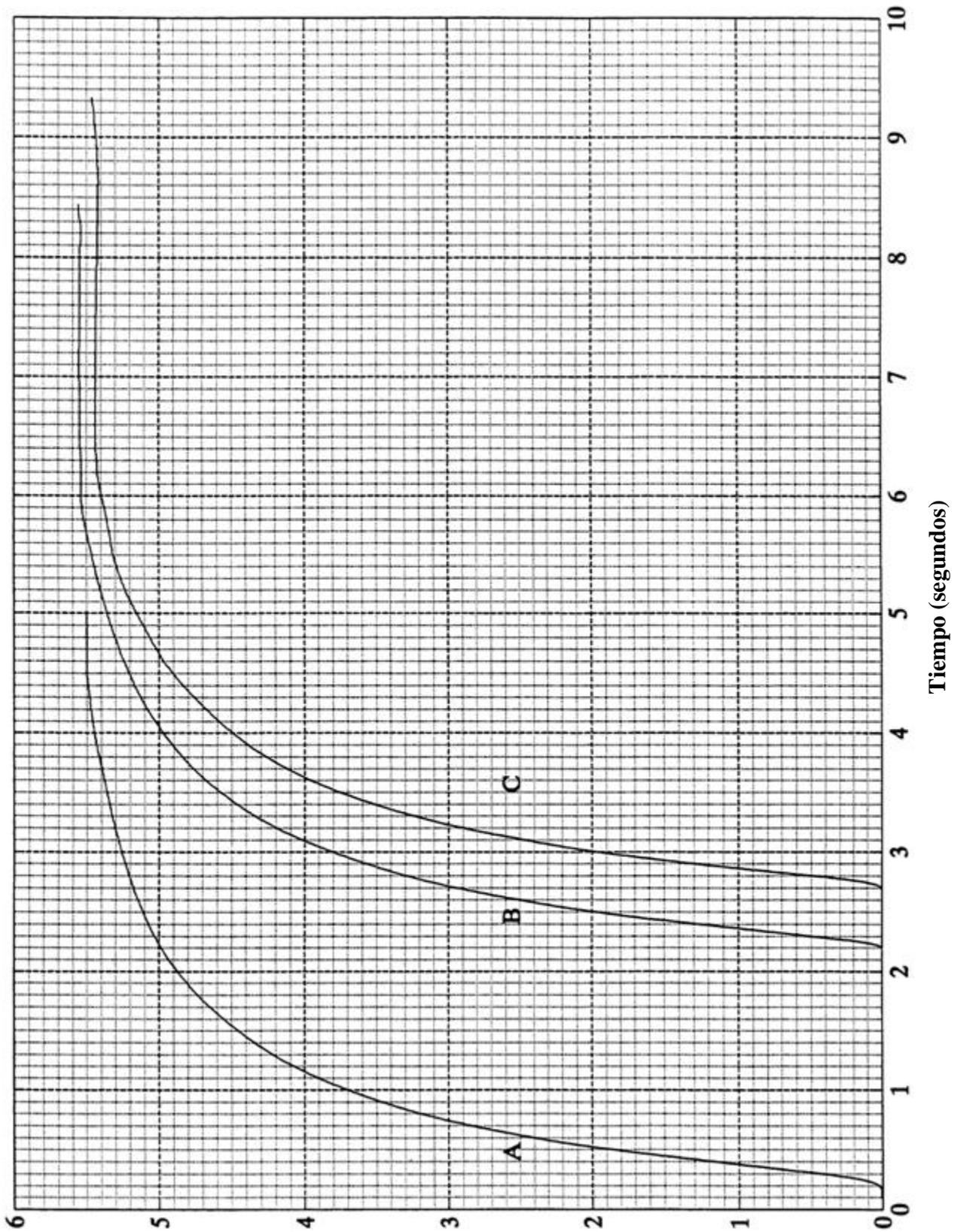
$$\text{VEF}_1 = 4.22 \text{ l} \quad \text{CVF} = 5.55 \text{ l}$$

$$\text{Total de VEF}_1 + \text{CVF} = 4.22 \text{ l} + 5.55 \text{ l} = 9.77 \text{ L}$$

FIGURA 5-21 CURVA VOLUMEN-TIEMPO – EJERCICIO FEF_{25-75%}

ETIQUETA:

F FIGURA 5-21 Curva volumen-tiempo – Ejercicio FEF_{25-75%}



EJERCICIO: Usando la curva en la figura 5-22, calcule el $FEF_{25-75\%}$

RETROALIMENTACIÓN:

$$FEF_{25-75\%} = 3.75 \text{ L/seg.}$$

$$25\% \text{ de la CVF (5.55 L)} = 1.39\text{L}$$

$$75\% \text{ de la CVF (5.55 L)} = 4.16 \text{ L}$$

Trace una línea recta sobre dos líneas adyacentes de tiempo, y lea el volumen comprendido entre la intercepción de la pendiente y las dos líneas de tiempo adyacentes (5.60 L y 1.85 L). Calcule la diferencia entre estos dos números ($5.65 - 1.85 \text{ L} = 3.75 \text{ L/seg}$).

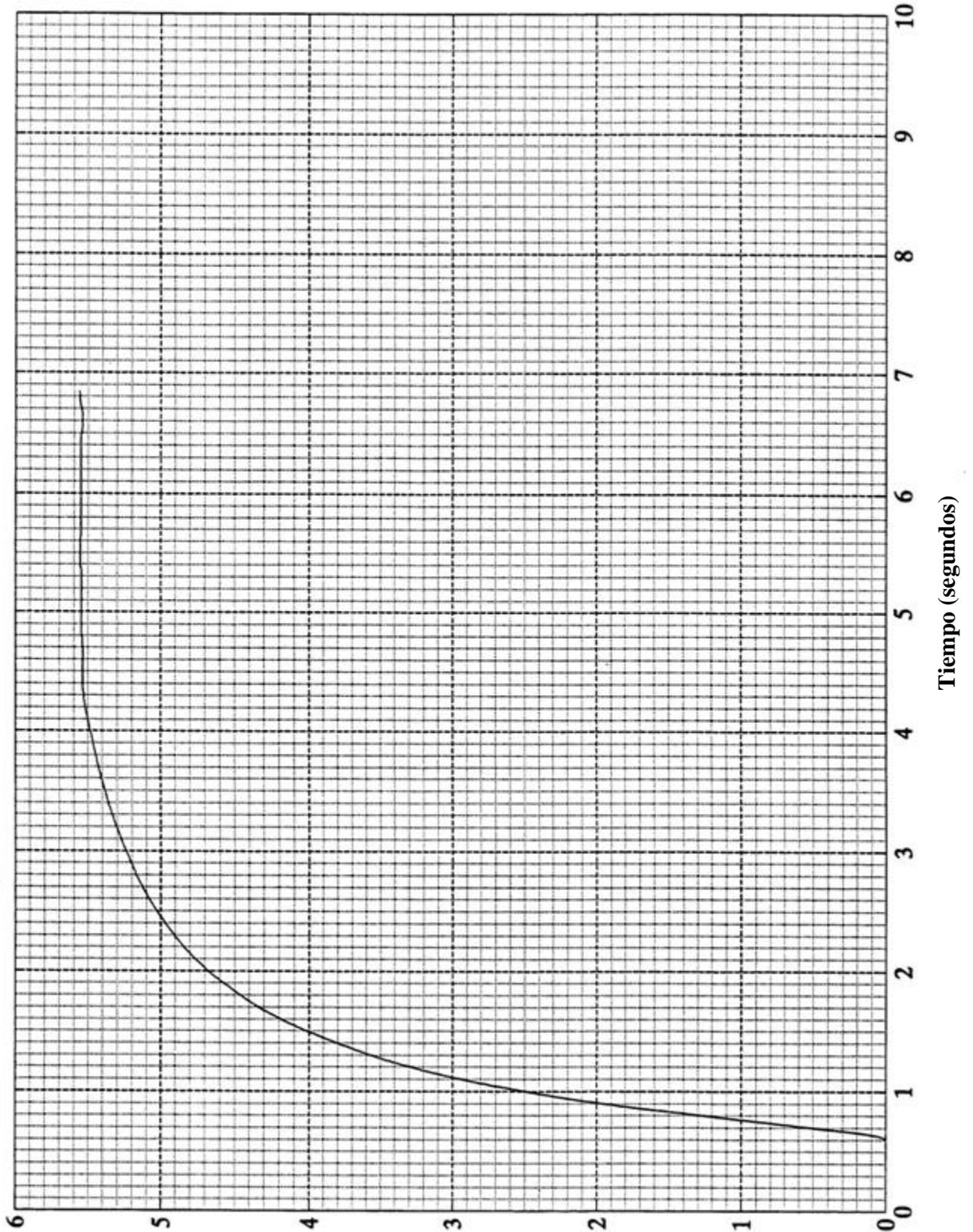
DATOS PARA RECORDAR:

Un número importante de problemas ha impedido una amplia difusión en el uso del $FEF_{25-75\%}$ a nivel de los programas de vigilancia epidemiológica industrial. Aunque esta medida es menos dependiente del esfuerzo voluntario en comparación con el VEF_1 y la CVF, el $FEF_{25-75\%}$ es también menos reproducible. La variación en una misma persona puede llegar a ser hasta de un 20%, comparada con un 3% para el VEF_1 . Las anomalías aisladas en el $FEF_{25-75\%}$ son relativamente frecuentes, particularmente en sujetos asmáticos asintomáticos y en jóvenes fumadores. De esa manera, existe el peligro de que un $FEF_{25-75\%}$ pueda volverse un motivo para rechazar a alguien para trabajar o para transferirse de empleo. Aunque definitivamente esto no es justificable, tal aplicación indebida de la información de una evaluación es sumamente frecuente en el ámbito de la medicina ocupacional (6). Para prevenir que esto ocurra, el $FEF_{25-75\%}$ deberá ser interpretado exclusivamente por un médico experto en su manejo.

FIGURA 5-22. CURVA VOLUMEN-TIEMPO - EJERCICIO FEF_{25-75%}

ETIQUETA:

F_i FIGURA 5-22. Curva volumen-tiempo – Ejercicio FEF_{25-75%}



I. Conversión a unidades BTPS

DEFINICIÓN:

Gas (aire) con las siguientes condiciones:

Temperatura corporal (37°C)

Presión ambiental (Presión del aire alrededor, presión barométrica)

Saturado con vapor de agua (humedad relativa = 100% como en el caso de los pulmones).

El aire en los pulmones se encuentra a la temperatura del cuerpo y está saturado con vapor de agua. La temperatura ambiente es habitualmente mucho más fría y seca, de manera que el aire exhalado se contrae conforme abandona los pulmones y penetra al espirómetro. El volumen de aire registrado por la mayoría de los espirómetros, es habitualmente 6-10% menor que el volumen actual del aire exhalado por el sujeto. La corrección BTPS ajusta los resultados medidos obtenidos en el espirómetro, con el volumen que originalmente estaba en los pulmones. En la mayoría de los espirómetros de volumen, los volúmenes registrados que no han sido convertidos, se señalan como **ATPS**, esto es, temperatura ambiente y presión saturada con vapor de agua (*Ambient Temperature and Pressure Saturated with Water Vapor*).

Pruebas espirométricas que requieren conversión a BTPS:

1. La CVF, el VEF₁, y el FEF_{25-75%} representan volúmenes (o volúmenes por unidad de tiempo). Es por eso que debe hacerse con ellos la conversión a BTPS.
2. VEF₁/CVF (%) Es una proporción de volúmenes. No necesita ser convertido a BTPS, ya que el mismo factor de conversión aparecería tanto en el numerador como en el denominador y por lo tanto quedaría cancelado.

CÓMO CALCULARLA:

1. Convierta la temperatura ambiente o la temperatura del espirómetro a grados centígrados, si es necesario.

$$C = \frac{5 ({}^{\circ}F - 32)}{9}$$

2. Localice la temperatura ambiente o la temperatura del espirómetro en **el nomograma de conversión BTPS**.
3. Busque en la tabla hasta encontrar el correspondiente factor de corrección.
4. Multiplique el volumen de gas registrado por el espirómetro (CVF, VEF₁ o FEF_{25-75%}), por el factor de conversión correcto, para obtener de esa manera el volumen en unidades BTPS.

NOMOGRAMA DE CONVERSIÓN A UNIDADES BTPS

FACTORES PARA CONVERTIR VOLÚMENES OBTENIDOS A TEMPERATURA AMBIENTE O TEMPERATURA DEL ESPIRÓMETRO A BTPS

Temperatura del aire °F	°C	Factor de conversión
64	18	1.114
66	19	1.111
68	20	1.102
70	21	1.096
72	22	1.091
73	23	1.085
75	24	1.080
77	25	1.075
79	26	1.068
81	27	1.063
82	28	1.057
84	29	1.051
86	30	1.045
88	31	1.039
90	32	1.032
91	33	1.026
93	34	1.020
95	35	1.014
97	36	1.007
99	37	1.000

EJEMPLO: La CVF registrada de un sujeto por el espirómetro tiene una lectura de 5 litros (volumen de gas) y una temperatura ambiente de 21°C (ATPS):

El factor de conversión que corresponde a 21° es de 1.096

$$5 \text{ litros} \times 1.096 = 5.48 \text{ litros BTPS}$$

De esa manera, la CVF que se registró en 5 litros a 21°C (ATPS), representa en realidad un volumen de 5.48 litros (BTPS) en los pulmones del sujeto y a temperatura corporal.

EJERCICIO: Convierta los siguientes datos de varios individuos de ATPS a BTPS:

$$\text{CVF} = 6.71 \text{ L (temperatura ambiente} = 75^\circ\text{F)}$$

$$\text{VEF}_1 = 5.02 \text{ L (temperatura ambiente} = 26^\circ\text{C)}$$

$$\text{FEF}_{25-75\%} = 4.01 \text{ L/seg. (temperatura ambiente} = 82^\circ\text{F)}$$

RETROALIMENTACIÓN:

$$\text{CVF} = 7.25 \text{ L BTPS}$$

$$\text{VEF}_1 = 5.36 \text{ L BTPS}$$

$$\text{FEF}_{25-75\%} = 4.24 \text{ L/seg. BTPS}$$

DATOS PARA RECORDAR:

1. Temperatura: La ATS hace las siguientes recomendaciones:
 - a. La temperatura ambiental deberá ser registrada de manera exacta con diferencias dentro de 1°C.
 - b. La evaluación espirométrica deberá hacerse exclusivamente con temperaturas ambientes entre 17°-40°C.

- c Estudios recientes han demostrado que a temperaturas ambiente menores de 23°C, el factor de conversión BTPS puede causar errores en la lectura del VEF₁, cuando se están usando espirómetros de volumen. Con el uso de los factores BTPS, se asume que el aire exhalado por el sujeto se enfría inmediatamente al penetrar al espirómetro. Sin embargo, se ha encontrado que el aire espirado toma más tiempo del previamente estimado para alcanzar un equilibrio con la temperatura ambiental. De esa manera, el factor de corrección BTPS eleva falsamente el VEF₁ y el flujo pico, y conforme la temperatura ambiental disminuye, se acrecienta el margen de error. Por ejemplo, Hankinson y Viola encontraron un rango de error de 7.7% a 3°C, y de 2.1% a 23°C, para los casos del VEF₁, y de 14.1% a 3°C, a 4.6% a 23°C, para los flujos pico (27). Es característico que las lecturas de la CVF no se vean afectadas, debido a que el aire exhalado habitualmente alcanza el equilibrio para el momento en que la maniobra espiratoria forzada se ha completado.

El error BTPS causado por una baja temperatura ambiente llega a ser un problema durante estudios longitudinales o aquéllos de comparaciones antes y después del turno laboral. Si las evaluaciones se realizan a diferentes temperaturas, se pueden causar cambios significativamente estadísticos en el VEF₁ y el flujo pico.

“Por ejemplo, durante un estudio reciente en un local industrial de procesamiento del algodón, la temperatura fue de 10° durante el primer examen, antes de alejarse de la zona. Después de 6 horas de exposición, las pruebas espirométricas se repitieron en las mismas personass. Sin embargo, la temperatura ambiente en esta nueva zona de evaluación fue aproximadamente de 25°C, es decir, 15 grados más elevada.

Al analizar los datos, se observó una disminución promedio del VEF₁ de aproximadamente 4%. Esta disminución no sólo se observó en los trabajadores sino también en los técnicos que estaban llevando a cabo las pruebas. Se pensó que esta disminución estaba causada por un aumento en la temperatura ambiental del segundo sitio de evaluación. El VEF₁ obtenido en la segunda ubicación presentaba un nivel de error menor debido a las temperaturas más altas y esa fue la razón de que se observaran caídas estadísticamente significativas entre las dos ubicaciones. Por otro lado, los estándares del Cotton Dust definen a un trabajador como posible “reactivo” si presenta una disminución del 5% o más en su VEF₁, al ponerse en contacto con el ambiente del trabajo”.(28).

Mientras no se modifique el factor de corrección BTPS y se construyan nuevos nomogramas, la solución más simple para este problema es la de mantener la temperatura ambiental constante, con un rango no mayor de 3° (23), o mantener siempre una temperatura de 23°C ± 1.5°C (28).

Ya que resulta difícil controlar la temperatura ambiental en estudios de campo, cuando estos se realicen, deberá advertirse al médico encargado de la vigilancia que debe considerar este aspecto durante la interpretación. Resulta todavía mejor si se coloca un sensor de temperatura dentro del espirómetro, y la temperatura ambiente se registra en cada una de las sesiones de evaluación.

2. Otros factores a considerar: Hay otros tres factores que deben ser considerados al momento de hacer los cálculos BTPS: presión barométrica en el ambiente, el factor de la campana o instrumento, así como el uso de papel graficado en unidades BTPS. Para mayor información, véase el **apéndice K. Otros factores a considerar al calcular las unidades BTPS.**

UNIDAD 6: LA COMPARACIÓN DE VALORES OBSERVADOS CON LOS NORMALES ESPERADOS

A. Espirometría “Normal”

La función pulmonar aumenta rápidamente con el crecimiento durante la infancia y la adolescencia, alcanza un pico entre los 18 y 35 años y comienza a declinar de manera lenta, inclusive en las personas sanas (29). Aquellas personas que alcanzan tallas relativamente altas tienen también pulmones relativamente grandes al compararlos con los de estatura menor. Las mujeres, en promedio, tienen pulmones que son alrededor de un 20% más pequeños que los de hombres de misma talla y edad (30). Para una talla determinada, los hombres afro-americanos, tienen en promedio piernas más largas que los caucásicos, y de manera correspondiente, un tronco más corto; junto con pulmones más pequeños (29, 31, 32, 33) lo que explica la mayor parte de las diferencias entre los valores esperados de los hombres caucásicos con los de los hombres afro-americanos. Esto significa, que los factores anteriormente señalados (valores esperados) como la edad, talla, género y raza del sujeto deben considerarse para obtener una interpretación óptima.

Antes de interpretar una espirometría, registre en una hoja de datos, o ingrese directamente en la computadora, la siguiente información acerca del empleado (como mínimo):

1. Fecha de nacimiento del empleado y su edad, calculada a partir de la fecha de la prueba y la fecha de nacimiento. Interrogue al empleado sobre su edad para verificar la información.
2. Se deberá medir la talla del empleado estando de pie, sin calzado, usando un estadiómetro, y registrar los valores en pies y pulgadas¹, reportando a la media pulgada más cercana. Verifique la talla preguntándole al empleado. Su talla deberá entonces convertirse a centímetros, multiplicando su talla en pulgadas por 2.54.
3. Se deberá también medir el peso del empleado, sin zapatos, reportando a la libra más cercana en el registro, y utilizando una escala con una exactitud no mayor de una libra. La computadora deberá convertir su peso a kilogramos (multiplicando las libras por 0.4536) para después calcular y anotar su índice de masa corporal o IMC (*Body Mass Index – BMI*) en kilogramos por metro cuadrado. Un IMC mayor de 30 kg/m² indica que el empleado se encuentra en sobrepeso. El peso corporal no se utiliza para calcular los valores de referencia de la espirometría, sin embargo, la obesidad puede reducir los volúmenes pulmonares medidos, y los cambios en el peso corporal pueden dar como resultado un pequeño cambio en la función pulmonar.
4. Se deberá intentar especificar la raza o etnia del empleado. Frecuentemente es suficiente con la simple observación. Si hubiera duda, pregúntele al empleado, explicándole los efectos que la raza puede tener en los valores de referencia que utiliza la prueba. Si el empleado no considera apropiado contestar, o si la raza o etnia no se puede aclarar, anótela como “desconocida” y utilice las referencias de los sujetos caucásicos (esto es, sin usar correcciones específicas para determinada raza).

¹ N del T. El manual solicita las mediciones en pies, pulgadas y libras, pero posteriormente sugiere el cambio a kg y cm. Si se hace la medición en centímetros, debería reportarse al cm más cercano, y el peso al medio kg más cercano.

B. Estudios de referencia de espirometría

Ha habido docenas de estudios publicados en la literatura médica que han determinado valores de referencia para la espirometría, a partir de un grupo de personas relativamente saludable. Los estándares de OSHA Cotton Dust, publicados en 1978 (10), incluían ecuaciones para obtener los valores de referencia, calculadas a su vez a partir de los resultados de sujetos sanos de Tucson, Arizona y fueron publicados por Knudson y colaboradores en 1976 (32, 33,34), estos deberían ser usados al hacer evaluaciones espirométricas para la detección de enfermedad pulmonar en trabajadores de la industria textil de algodón. Ya que el estudio de Knudson de 1976 no incluyó afro-americanos, si se van a usar estos estándares del Cotton Dust, se deberá utilizar un factor de corrección de 0.85 para los valores de referencia caucásicos, si el individuo examinado es afro-americano [10]. Sin embargo, en 1983, Knudson y colaboradores (35) publicaron una revisión de sus ecuaciones de 1976. Véase el **apéndice E** para más información acerca de los estándares del Cotton Dust. El uso de ecuaciones para determinar los valores normales esperados fue adoptado durante la década de los 80 por muchas otras industrias en su evaluación espirométrica, dentro del ámbito ocupacional. Sin embargo, los instrumentos y las técnicas para realizar una espirometría han mejorado y tanto en 1991(30) como en 1995(1), la Sociedad Americana de Tórax (ATS) ha publicado recomendaciones actualizadas detalladas con relación a la interpretación de espirometrías en el ámbito clínico. Cuando se realiza una espirometría y se quiere cumplir con las regulaciones en boga, se deberán utilizar las ecuaciones de referencia que se especifican en la regulación, como es el caso de las de Knudson, de 1976, en los estándares del OSHA Cotton Dust. Cuando la interpretación de la espirometría no está especificada por regulación, NIOSH recomienda seguir la actualización más reciente de la ATS para la interpretación de la espirometría, y seleccionar valores de referencia basados en la tercera Encuesta Nacional de Salud y Nutrición de la Unión Americana (NHANES III) publicada en 1999 (29).

Puede que sea necesario consultar con el fabricante de alguno de los modelos antiguos de espirómetro, con el fin de actualizar el software, con el objeto de incluir las ecuaciones de referencia para adultos de la espirometría de acuerdo al NHANES III. Al momento de evaluar a empleados con edades comprendidas entre 18-65 años, el uso de valores de referencia antiguos puede traer como resultado valores esperados ligeramente menores para el VEF₁ y la CVF, al compararlos con los valores que usan las ecuaciones del NHANES III (29).

Diferencias raciales en la espirometría

El estudio del NHANES III (29) ofrece un conjunto separado de ecuaciones de referencia para hombres y mujeres afro-americanos, para caucásicos y México-americanos. El estudio NHANES III no ofrece ecuaciones de referencia para la espirometría de grupos asiático-americanos, de indios americanos, de hindúes o de cualquier otro grupo étnico. Otros investigadores sugieren que los resultados de la espirometría no son significativamente diferentes para los indios americanos, cuando se les compara con sujetos caucásicos que viven en los Estados Unidos (36,37); de esa manera, NIOSH recomienda que cuando se vaya a evaluar a empleados de origen indígena de América, se usen las ecuaciones de referencia usadas para los caucásicos. Estudios importantes con asiáticos, fuera de Estados Unidos (39,40), sugieren que los valores de VEF₁ y de la CVF de los asiáticos, son en promedio un 15% menor que aquéllos de los caucásicos de la misma edad, género y talla. Sin embargo, estudios más pequeños con asiático-americanos que

viven en los Estados Unidos (40,41) sugieren que el VEF₁ y la CVF de los asiático-americanos son aproximadamente 6 a 7% menores que los de los caucásicos. De esa manera, hasta que se publiquen ecuaciones de referencia particulares para los asiático-americanos y los grupos étnicos de la India, se deberán usar los valores de referencia para caucásicos del NHANES III, haciendo una corrección con un factor de 0.94 para la CVF y el VEF₁. Nótese que son los **valores esperados** los que se multiplican por el factor de corrección y no los valores observados.

C. El límite menor del rango normal (*Lower Limit of Normal Range – LLN*)

El valor esperado de la espirometría calculado por las ecuaciones de referencia, es el valor promedio obtenido a partir de numerosas personas sanas de la misma edad, sexo, talla y raza que los del empleado que se evalúa. El valor esperado se encuentra en realidad en medio de la relativamente amplia curva de distribución normal de los valores normales, en forma de campana. Por ejemplo, algunas personas sanas pueden tener valores de la CVF hasta un 20% menores de los esperados.

El límite menor del rango normal (LLN) es el umbral a partir de cual un valor menor a él se considera anormal. Habitualmente el valor esperado es calculado de manera que un 95% de la población “normal” tenga valores por encima del LLN, y asimismo y de manera correspondiente, 5% de la población “normal” tendrá valores por debajo del LLN. El LLN equivale a alrededor del 80% del valor esperado tanto del VEF₁ como de la CVF, a alrededor del 90% del valor esperado para la proporción VEF₁/CVF, y a alrededor del 60% del valor esperado para el FEF₂₅₋₇₅. Sin embargo, estos valores son netamente reglas nemotécnicas y el LLN exacto deberá determinarse usando las ecuaciones de referencia. Si se va a usar un factor de corrección racial (0.85), este mismo factor de corrección para la raza deberá aplicarse al valor del LLN.

¿Qué se considera como anormal?

Las anomalías detectadas por la espirometría pueden mostrar uno de los siguientes tres patrones: obstructivo, restrictivo y mixto obstructivo-restrictivo. Aquellos empleados con enfermedad pulmonar obstructiva, como es el caso del enfisema o el asma, frecuentemente tienen una proporción VEF₁/CVF baja y un VEF₁ disminuido (por abajo del LLN). Los empleados con enfermedad pulmonar fibrótica, como es el caso de la asbestosis, frecuentemente tienen una CVF anormalmente baja, pero su VEF₁/CVF generalmente se encuentra por encima del LLN. Las personas expuestas a ciertos polvos, como el silicio o el polvo de las minas de carbón, pueden desarrollar cualquiera de los dos patrones anormales o un patrón mixto con disminución tanto de la proporción VEF₁/CVF como de la CVF, por debajo del LLN.

Ocasionalmente, los resultados de la espirometría de trabajadores que aparentemente no tienen ningún problema de salud, se encuentran ligeramente por debajo del LLN. Por el contrario, no es raro tener valores altos de la CVF y del VEF₁. De hecho, cuando comienzan a trabajar, la mayoría de los individuos dentro del área de mano de obra, tienen funciones pulmonares considerablemente por encima del promedio, un fenómeno que se denomina el “efecto del trabajador saludable”. Aquellos adultos jóvenes que fueron atletas competitivos en la escuela secundaria, la preparatoria o la carrera técnica (cuando sus pulmones estaban aún creciendo), pueden tener una CVF del 120% sobre lo esperado. Por otro lado, no es raro tener un valor por encima del 140% de lo esperado. Si esto ocurre, cerciórese que los datos de la edad y la talla se

tomaron, midieron y transcribieron correctamente. Si un valor esperado resulta inusualmente elevado y no se puede explicar por un error, deberá usted verificar la calibración del espirómetro.

D. Cómo determinar valores esperados usando tablas de referencia.

Existen varios métodos disponibles para calcular los valores de referencia, las mediciones como porcentajes esperados y el LLN de un determinado empleado: 1) usando una calculadora, 2) usando un nomograma, 3) usando una tabla de referencia, 4) usando un computadora personal o un sistema de espirometría automatizado, que previamente ha sido programado con las ecuaciones de referencia apropiadas.

Existen dos circunstancias en las que resulta útil determinar los valores esperados de la espirometría sin usar una computadora: 1) cuando se está en la etapa de aprendizaje (usando este manual); y 2) cuando se está verificando la exactitud de las ecuaciones de referencia que han sido ingresadas en el sistema del espirómetro, que usted está usando por primera vez.

En el **apéndice L** se ofrecen tablas resumidas de las ecuaciones de referencia del NHANES III, con el objeto de completar los ejemplos dados en este manual y para verificar la exactitud de un sistema espirométrico cuando se calculen los valores esperados por computadora. Sin embargo, estas pequeñas tablas no serán adecuadas para la evaluación de rutina de los empleados, ya que el rango de intervalos de las tallas es limitado. Puede también haber ligeras diferencias (± 0.02 litros) dependiendo de si se ha usado referencia obtenida a través de una calculadora, de un nomograma o de una tabla.

Los pasos para determinar los valores normales esperados y el LLN a partir de tablas, son los siguientes:

1. Seleccione la tabla apropiada de las seis tablas del **apéndice L**, basándose en los datos de género y raza del empleado. Use la edad y la talla del empleado para encontrar los valores normales esperados y el LLN, tanto para la CVF como para el VEF_1 y el $VEF_1/CVF\%$.
2. Utilice una calculadora de bolsillo para determinar el porcentaje de los valores esperados de la manera siguiente:
 - a. Divida la CVF y el VEF_1 observados por los resultados esperados.
 - b. Multiplique el resultado por 100. Redondee la cifra a un decimal.

Ejemplo:

Se trata de mujer de 30 años de edad, de profesión bombero en la ciudad de Miami. Mide 4 pies y 11 pulgadas, pesa 135 libras y refiere ser de origen méxico-americano. Para determinar sus valores esperados de la espirometría, seleccione la tabla 6 del **apéndice L**, para mujeres méxico-americanas. Note que su talla se expresa como 150 cm en la primera columna. Encuentre la edad de 30 en la segunda columna vertical, y use una escuadra para subrayar la fila de valores esperados para mujeres de 30 años de esa estatura. Diríjase hacia la tercera columna vertical etiquetada como “CVF esp” y lea el valor de 3.21 L. Este es la CVF pronosticada en litros (BTPS) para esta empleada. Registre también el límite normal más bajo para la CVF como 2.60 litros, así como los demás límites normales más bajos para los demás valores, en la misma fila.

Su CVF medida (observada) fue de 2.85 litros (BTPS) y su VEF₁ fue de 2.28 litros. Utilice una calculadora de bolsillo para determinar que su VEF₁/CVF fue de 80.0%. Para determinar el porcentaje sobre el valor esperado del VEF₁:

$$\% \text{ VEF}_1 \text{ esperado} = 100.0 \times \frac{\text{VEF}_1 \text{ observado}}{\text{VEF}_1 \text{ esperado}}$$

Note que su CVF y su VEF₁ estuvieron por encima del LLN y ambos tienen un valor por encima del 80% de lo esperado. El valor de su VEF₁/CVF estuvo también por encima del LLN. Sus resultados se interpretarían como normales, ya que los tres valores se encuentran dentro de rangos normales.

EJERCICIOS:

1. ¿Cuál es el valor esperado de la CVF para un trabajador del acero en Pittsburg de 60 años de edad, masculino y caucásico?
2. ¿Cuál es el LLN esperado para el VEF₁ en un hombre de 40 años, afro-americano, que es supervisor en una compañía petroquímica en Alabama? Tiene una talla de 170 cm y pesa 170 libras.
3. Un sujeto de 20 años de edad, japonés-americano de tercera generación, que trabaja en una planta electrónica en San José, tiene una CVF de 4.00L. Mide 5 pies 11 pulgadas y pesa 135 libras. ¿Cuál es el valor esperado de su CVF?
4. ¿Cuál es el valor esperado del VEF₁ de un hombre de 40 años, afro-americano, con talla de 170 cm, si se usan los valores de referencia recomendados por los estándares del Cotton Dust? El valor de referencia para el VEF₁ de Knudson 1976 (Cotton Dust), para sujetos caucásicos del mismo género, edad y talla, es de 3.56 litros.

RETROALIMENTACIÓN:

1. Su CVF esperado es de 4.92 litros, basados en una talla de 180 cm. Nótese que el peso no se toma en cuenta al calcular los valores de referencia de la espirometría.
2. Su VEF₁ esperado es de 3.23 litros con un límite normal inferior de 2.47 litros.
3. Ya que no hay tablas para los sujetos asiático-americanos, use la tabla 1 para caucásicos masculinos que tengan 5 pies, 11 pulgadas (180 cm). Al leer la tabla resulta que la CVF pronosticada para un caucásico masculino de 20 años de edad, de su talla, es de 5.75 litros. Multiplique entonces este valor por el factor de corrección que se sugiere para los asiático-americanos, esto es, 0.94, para de esa manera estimar el valor esperado de este empleado como 5.41 litros. Divida su CVF observada de 4.80 litros entre el valor esperado de 5.41, para obtener el porcentaje del valor esperado de la CVF, que es de 88.7%. Evidentemente tiene una capacidad vital normal, ya que su porcentaje del valor esperado es mayor del 80% y su CVF está por encima del valor de 4.51 litros ($0.94 \times 4.80 = 4.51$).
4. Los estándares del Cotton Dust recomiendan que se multiplique un factor de corrección de 0.85 por los valores de referencia del VEF₁ obtenidos por el estudio de Knudson, de 1976, en sujetos caucásicos. El VEF₁ esperado para un sujeto masculino caucásico de acuerdo a Knudson-1976 es de 3.56 litros. De esa manera, el valor esperado para un trabajador afroamericano deberá ser $0.85 \times 3.56 = 3.03$ litros.

UNIDAD 7: COMPARACIÓN DE LOS CAMBIOS DE ESPIROGRAMAS DE SEGUIMIENTO

A. Justificación para la comparación de cambios

La vigilancia médica viene a ser una aplicación importante de la espirometría en los programas de salud ocupacional. En dicho contexto, resulta fundamental comparar los resultados actuales de un empleado con aquéllos obtenidos con anterioridad. Cuando no se dispone de datos previos, resulta útil hacer una comparación con valores esperados. Sin embargo, los valores esperados no representan la línea basal; por esta razón se deberán usar siempre que sea posible, los resultados previos del sujeto. (Véase **unidad 6: Comparación de valores normales esperados con los observados**, con relación a cualquier duda sobre los valores esperados). La relación de los resultados obtenidos de un sujeto sano, con los valores esperados, se mantiene de manera remarcablemente constante en la edad adulta. Por ejemplo, una persona que logra 106% del valor esperado de la CVF, en un año, tiende a obtener resultados entre 102-110% en los años subsecuentes, siempre y cuando la prueba se realice correctamente. La evaluación repetida del mismo sujeto a lo largo del tiempo, puede resultar más sensible que comparar estos resultados con valores normales esperados. Hankinson y Wagner (42) concluyeron que aproximadamente la mitad de la población de trabajadores puede salir beneficiada de una comparación longitudinal de sus resultados de espirometría, en lugar de usar comparaciones con valores normales esperados. Estos autores sugieren que una disminución mayor del 15% del VEF₁, resulta significativa. Esto queda ilustrado con el siguiente ejemplo:

Durante su primer año en el empleo, la CVF de un joven trabajador fue de 110% del valor esperado normal. El siguiente año fue del 90%. Si esta CVF del segundo año se compara con el valor de la del primer año, la diferencia podría indicar el rápido desarrollo de una seria patología restrictiva. Esto pondría en guardia a su médico, quien podría solicitar estudios adicionales para identificar este problema. Sin embargo, si la CVF sólo se comparara con el valor esperado normal, se habría considerado un resultado normal. De acuerdo con eso, muy probablemente no se habría tomado ninguna medida de seguimiento. Como resultado final, la salud del trabajador se pondría en riesgo. Aunque se prefiere la comparación con el LLN, los resultados que son de por lo menos un 80% del valor esperado normal, se consideran frecuentemente dentro del rango normal, si no se tiene ninguna otra información para comparar. La interpretación de los espirogramas de seguimiento se verá más adelante con mayor detalle. (Véase **apéndice M. Tablas de patrones obstructivos/restrictivos**).

B. Interpretación de los cambios en espirogramas de seguimiento

La evaluación espirométrica se usa habitualmente de dos maneras en programas de vigilancia respiratoria:

- a. Comparar valores antes y después del turno laboral, para monitorizar cambios agudos (ejemplo: VEF₁ ante la exposición al polvo del algodón).
- b. Comparar de manera longitudinal los resultados de la prueba (vgr. aquéllos tomados a lo largo de un extenso período de tiempo, como cada año) en busca de datos de enfermedad crónica (ejemplo: La CVF en exposición al asbesto).

CÓMO CALCULAR:

Cuando se está comparando un valor espirométrico actual con uno previo, la diferencia puede expresarse de dos maneras:

1. Como una diferencia absoluta (+ ganancia, - pérdida) en litros o mililitros:
Valor en el tiempo₁ – Valor en el tiempo₂ = + ó – litros.
2. Como porcentaje de cambio con relación al valor previo (+ ganancia, - pérdida):

$$\frac{\text{Valor en el tiempo}_1 - \text{Valor en el tiempo}_2}{\text{Valor en el tiempo}_1} \times 100$$

- a. Calcule la diferencia absoluta.
 - b. Divida el resultado por el valor en el tiempo₁.
 - c. Multiplique por 100 para obtener el porcentaje de cambio, independientemente de si éste es de ganancia o de pérdida.
3. Un tercer método es a través de una regresión lineal por mínimos cuadrados de la CVF y el VEF₁ como función del tiempo. Sin embargo, esta manera de calcular requiere el uso de una computadora y no se describe en este manual.

EJEMPLO A: En una supervisión en marcha de trabajadores del asbesto, se encontró que una mujer de 24 años tiene una CVF de 3.59 litros. Su CVF previa era de 4.17.
¿Cuáles son los cambios absolutos y porcentuales de su CVF al compararlos con el valor anterior?

Cambio absoluto: $4.17 - 3.59 = 0.58$ litros
Muestra una pérdida de 0.58 litros.

Cambio porcentual: $[(4.17-3.59)/4.17] \times 100 = 13.9\%$
Muestra una pérdida del 13.9% en su CVF.

EJEMPLO B: Un trabajador expuesto al polvo del algodón, de 23 años de edad, presenta, antes de iniciar su turno (7 AM) un VEF₁ de 4.00 litros, y un VEF₁ al terminar el turno (3 PM) de 3.85 litros.

Cambio absoluto: $4.00 - 3.85 = 0.15$ litros
Muestra una pérdida de 0.15 litros.

Cambio porcentual: $[(4.00-3.85)/4.00] \times 100 = 3.8\%$
Muestra una pérdida de 3.8%.

EJERCICIO: Un trabajador de mantenimiento, masculino, caucásico, de 62 años, se encuentra expuesto de manera intermitente al asbesto. En una evaluación médica en marcha, se obtienen los siguientes resultados:

1989: CVF = 4.48 L ATPS(24°C)

1990: CVF=4.38 L ATPS(26°C)

Calcule el cambio absoluto en la CVF así como el cambio porcentual.

RETROALIMENTACIÓN:

1989 CVF: 4.84 L (BTPS)

1990 CVF: 4.68 L (BTPS)

Cambio absoluto de la CVF: - 0.16 litros

Cambio porcentual de la CVF: Reducción del 3.3%

DETALLES PARA RECORDAR:

1. Cambio porcentual: Porcentaje de cambio en estudios de seguimiento. Se refiere al porcentaje de cambio con relación a un valor PREVIO, de manera que el valor PREVIO siempre aparece en el denominador. Los porcentajes se redondean en una cifra decimal (vgr. 85.3%).
2. Reducción esperada en la función pulmonar en estudios longitudinales: En estudios anuales de seguimiento, la comparación de los resultados actuales se puede hacer con:
 - a. El valor del año pasado.
 - b. El mejor valor previamente registrado para cada prueba, independientemente del año en que esto haya ocurrido.

En cualquiera de los dos casos, **la reducción anual real** (simplemente debido al envejecimiento normal) de los valores de la espirometría, se deberán tomar en cuenta. Las cifras que se muestran abajo son “promedios” derivados de estudios transversales; puede ocurrir una variación considerable entre los individuos.

- a. Para hombres VEF₁: 30 ml/año
 CVF: 25 ml/año
- b. Para mujeres: VEF₁: 25 ml/año
 CVF: 25 ml/año

3. Otros cambios: Uno de los objetivos de los programas de vigilancia respiratoria, es el poder detectar cambios en la función pulmonar que estén relacionados con el trabajo. Sin embargo, puede haber otros cambios que podrían influenciar los resultados espirométricos. Algunos de los más comunes se enumeran abajo. Asegúrese de advertir al médico de cualquiera de estos cambios para ayudarlo en su interpretación.

- a. Talla: Algunos individuos tienden a disminuir de talla conforme envejecen.
- b. Peso: Una ganancia o pérdida importante de peso con el envejecimiento.
- c. Hábito de fumar. El VEF₁ va disminuyendo más rápidamente, año con año, en aquéllos fumadores que en los no fumadores.
- d. Alergias de determinada temporada: Alguna persona con fiebre del heno, puede no salir bien en una prueba realizada en la temporada precisa.
- e. Medicamentos: Muchos de ellos van a influenciar la motivación o el mismo flujo de aire.
- f. Enfermedades: Pueden reducir el desempeño durante la prueba. (Véase **unidad 4: Técnicas espirométricas** con relación a los lineamientos para posponer una prueba).

4. En los resultados del seguimiento se recomienda una investigación posterior cuando:

- a. Hay una disminución del VEF₁ o de la CVF que es mayor del 15% en una vigilancia longitudinal. Sin embargo, si el periodo de seguimiento es largo (más de 5 años), puede ser necesario ajustar para la caída esperada en la función debida al envejecimiento.
- b. La CVF, el VEF₁ o el VEF₁/CVF% resultan menores al LLN en cualquier momento.
- c. Hay una reducción del VEF₁ mayor del 10%, en evaluaciones hechas antes y después del turno laboral, cuando sólo se ha hecho una evaluación, o existe una disminución del 5% o mayor (más de 150 ml para el VEF₁ con valor menor de 3 litros), si un estudio de seguimiento confirma esta reducción (recomendaciones del Cotton Dust).

NOTA: La interpretación de cambios longitudinales en la CVF o el VEF₁ queda limitada, debido a la relativamente gran variabilidad de estos parámetros con respecto a las disminuciones anuales esperables (25 a 30 ml/año). Esto significa que para ser significativo, debe ocurrir un gran cambio en un periodo corto de tiempo o la magnitud del tiempo de seguimiento debe ser mayor de 5 años. Además, es fundamental un buen programa de calidad si es que se quieren detectar cambios relativamente menores. Por esta razón, la ATS ha recomendado que sea necesario un cambio del 15% de año a año para ser considerado significativo.

UNIDAD 8: REVISIÓN DE LOS ESTÁNDARES PARA EL EQUIPO ESPIROMÉTRICO

Cuando se compre un equipo espirométrico, cerciórese que las especificaciones del fabricante cumplan los estándares actuales de la Sociedad Americana de Tórax (ATS). Estos estándares se resumen a continuación. Mientras no se especifique lo contrario, los requerimientos de los equipos de acuerdo a los estándares Cotton Dust son los mismos (Véase **apéndice E: Estándares OSHA Cotton Dust, apéndice D y apéndice F: Estándares de la Sociedad Americana de Tórax** para encontrar copias de estos estándares.)

1. Volumen
El espirómetro debe ser capaz de medir volúmenes de hasta 8 litros (BTPS), con flujos entre 0 y 14 L/seg. Debe también ser capaz de acumular el volumen de al menos 15 segundos (**10 segundos para los estándares Cotton Dust**).
2. Inercia y resistencia
Debe haber menos de 1.5 cmH₂O/litro/segundo, a un flujo de aire de 12 litros/segundo. (Léase las especificaciones del fabricante para verificar esto).
3. Determinación del tiempo cero
En el espirómetro debe comenzar a correr el papel graficado antes de que comience la maniobra espiratoria forzada, para poder calcular el tiempo cero. Para aquéllos sistemas computarizados y para fines del tiempo, el inicio de la prueba debe determinarse por medio de una extrapolación retrógrada (**Estándar del Cotton Dust: el tiempo cero se determina por una extrapolación retrógrada o un método equivalente.**)
4. Conversión a BTPS
El instrumento y/o el operador deben tener la manera de convertir los valores a BTPS.
5. Exactitud
 - a. Debe ser posible calibrar el aparato en exteriores (zonas de trabajo).
 - b. La CVF y el VEF₁ deben ser medidos con una exactitud dentro del $\pm 3\%$ ó ± 50 ml, cualquiera que logre el valor más alto.
 - c. Al verificar la calibración del volumen, se debe lograr una exactitud dentro del $\pm 3\%$ ó ± 50 ml, cualquiera que logre el valor más alto.
 - d. Si se va a usar el FEF_{25-75%}, debe ser medido con una exactitud de al menos $\pm 5\%$ ó 200 ml/seg, cualquiera que logre el valor más alto. Deberá ser medido en equipos que cumplan los estándares de la ATS para la CVF (**Estándar Cotton Dust: El FEF_{25-75%} no se requiere.**)
 - e. Las mediciones de flujo deben lograr una exactitud entre un $\pm 5\%$ ó 200 ml/seg, cualquiera que logre el valor más alto. (**Estándar Cotton Dust: No hay información al respecto.**)
6. Impresora y pantalla de la espirometría

Se requieren impresiones en papel o pantallas gráficas.

- a. Los sistemas de registro deben tener la capacidad de registrar Volumen vs. Tiempo, o Flujo vs. Volumen, durante toda la maniobra espiratoria forzada. (**Estándar Cotton Dust: El trazo debe ser almacenado y estar disponible para revisión; asimismo, debe ser de un tamaño suficiente como para realizar cálculos manuales.**)
- b. El papel debe moverse con una velocidad de al menos 20 mm/seg.
- c. El sistema de registro debe elaborar trazos de curvas flujo/volumen con el flujo exhalado en el eje vertical y el volumen exhalado en el eje horizontal, yendo de izquierda a derecha. (**Estándar Cotton Dust: permite trazos con el tamaño que se usa para la validación y las mediciones a mano**).
- d. La escala de volumen deberá ser de al menos 10 mm/L(BTPS), la escala de flujo deberá de ser de 5 mm (**4 mm para el estándar Cotton Dust**) del papel cuadriculado, para cada litro por segundo, y la escala de tiempo, de al menos 2 cm/seg (aunque 3 cm/seg. es preferible).

(De acuerdo a la ATS, el uso de trazos en los que es posible hacer cálculos a mano, permite determinar los valores espirométricos “en ausencia de o ante la falla de la computadora (10)”. Trazos para validación. “Valide el sistema tanto del hardware como del software del espirómetro, para verificar la exactitud y confiabilidad, por medio de mediciones hechas a mano...” (10). [Sin embargo, como fue señalado en la **unidad 2: Revisión de la espirometría**, los espirogramas producidos de manera electrónica son reconstruidos en lugar de ser generados mecánicamente, y de esa manera siempre van a corresponder a la impresión. Como resultado de esto, los cálculos a mano van a ofrecer solamente una manera limitada para verificar que este tipo de sistema esté trabajando adecuadamente]).

UNIDAD 9: EJERCICIOS ADICIONALES

Esta unidad contiene espirogramas y resultados de pruebas de diversos individuos, para darle a usted una oportunidad adicional de evaluar sus habilidades de cálculo. Las respuestas se dan para la mayor parte de las preguntas.

EJERCICIO 1.

(Refiérase a la Figura 9-1. Ejercicio - Curva Volumen-Tiempo)

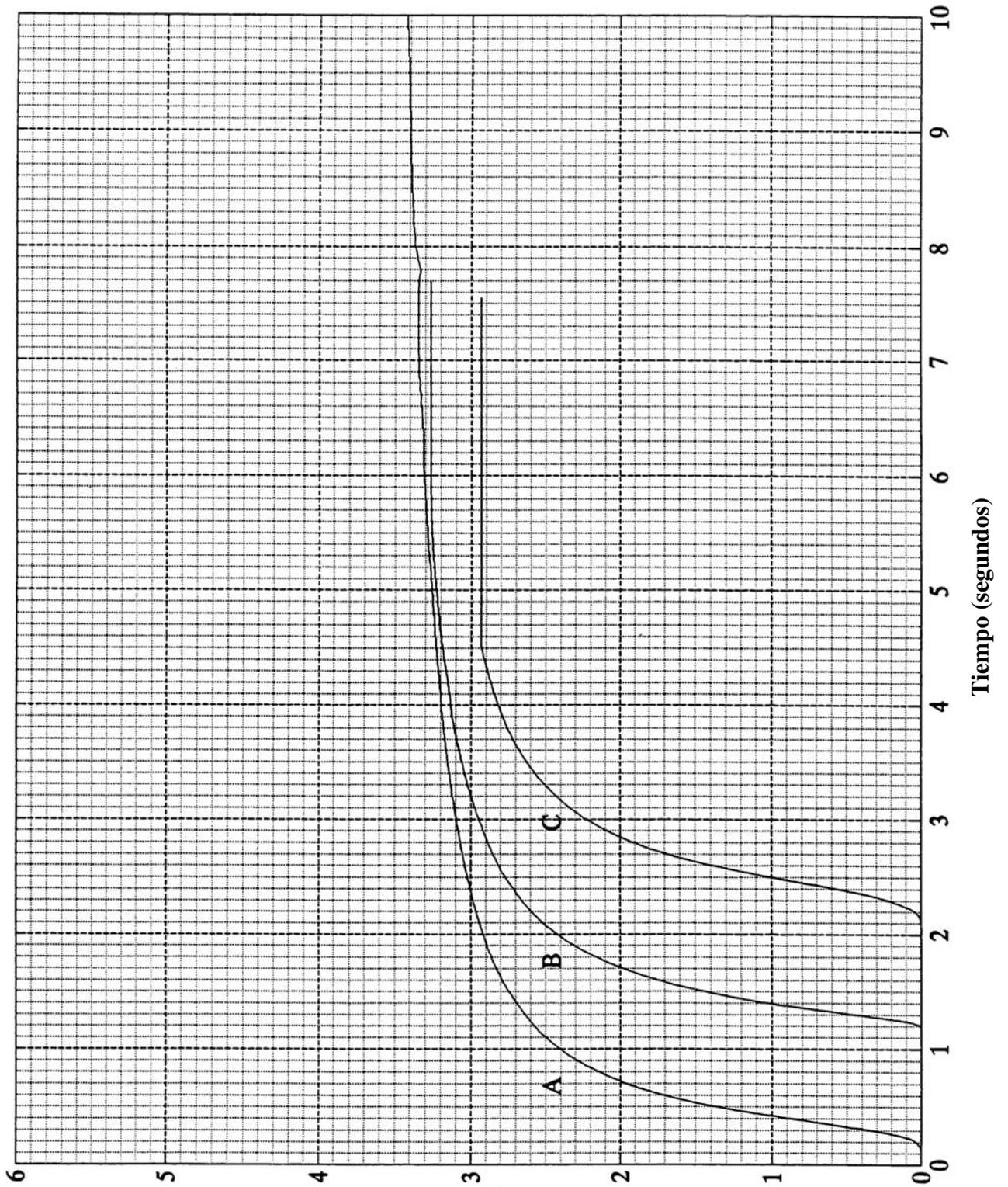
- a. ¿Cumplen estas curvas con los criterios de aceptabilidad?

RETROALIMENTACIÓN:

- a. No. La curva C muestra un cierre de la glotis. En la curva A, va a depender del criterio particular si es que se considera, o si se alcanzó o no, una meseta.

FIGURA 9-1 EJERCICIO - CURVA VOLUMEN-TIEMPO

FIGURA 9-1 EJERCICIO - CURVA VOLUMEN-TIEMPO



EJERCICIO 2.

(Refiérase a la Figura 9-2. Ejercicio - Curva Volumen-Tiempo)

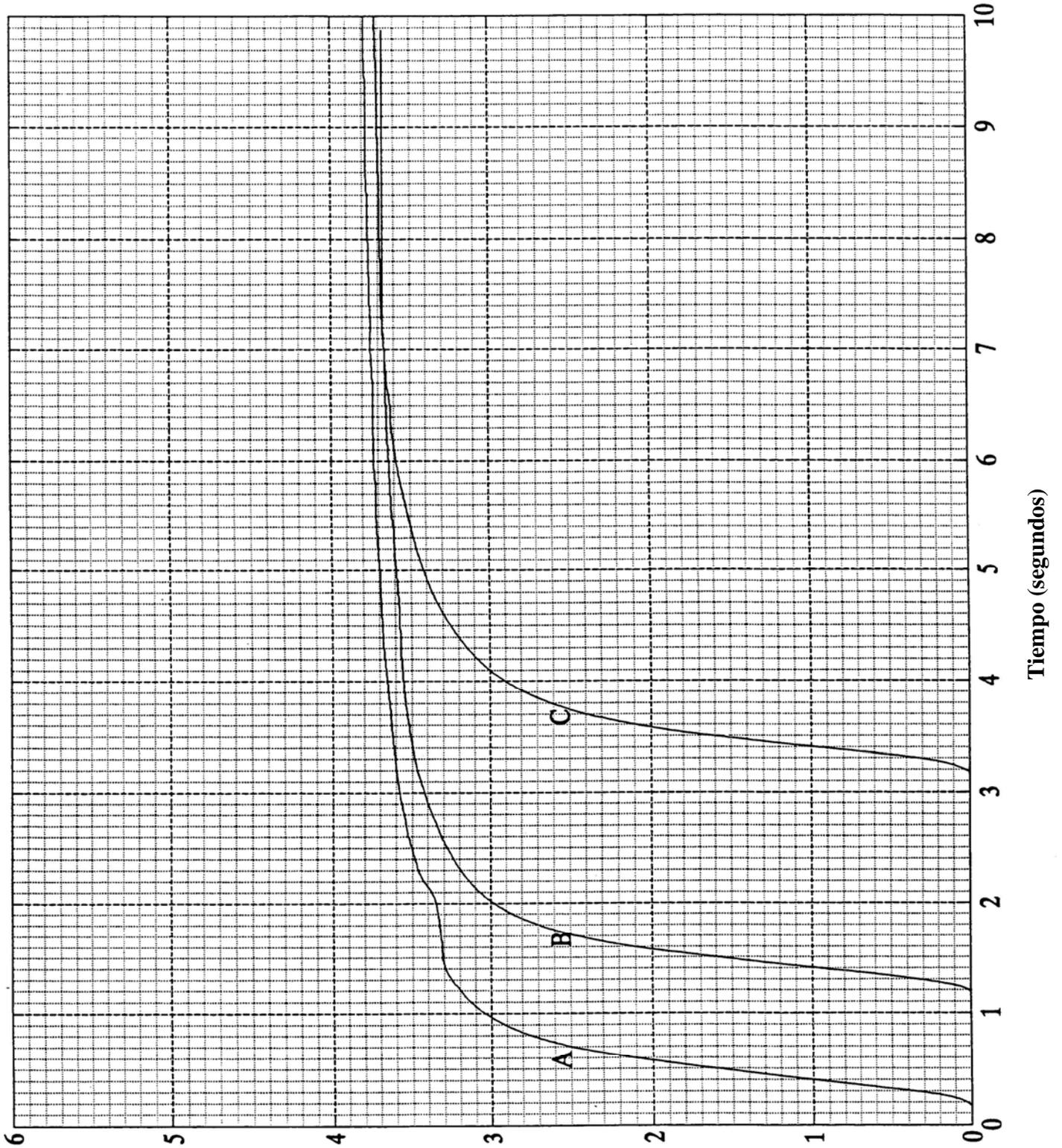
- a. ¿Cumplen estas curvas con los criterios de aceptabilidad?

RETROALIMENTACIÓN:

- a. No: La curva A muestra un acceso de tos o un esfuerzo variable durante la fase temprana de la maniobra. .

FIGURA 9-2. EJERCICIO - CURVA VOLUMEN-TIEMPO

FIGURA 9-2. EJERCICIO - CURVA VOLUMEN-TIEMPO



EJERCICIO 3.

(Refiérase a la Figura 9.3. Ejercicio - Curva Volumen-Tiempo)

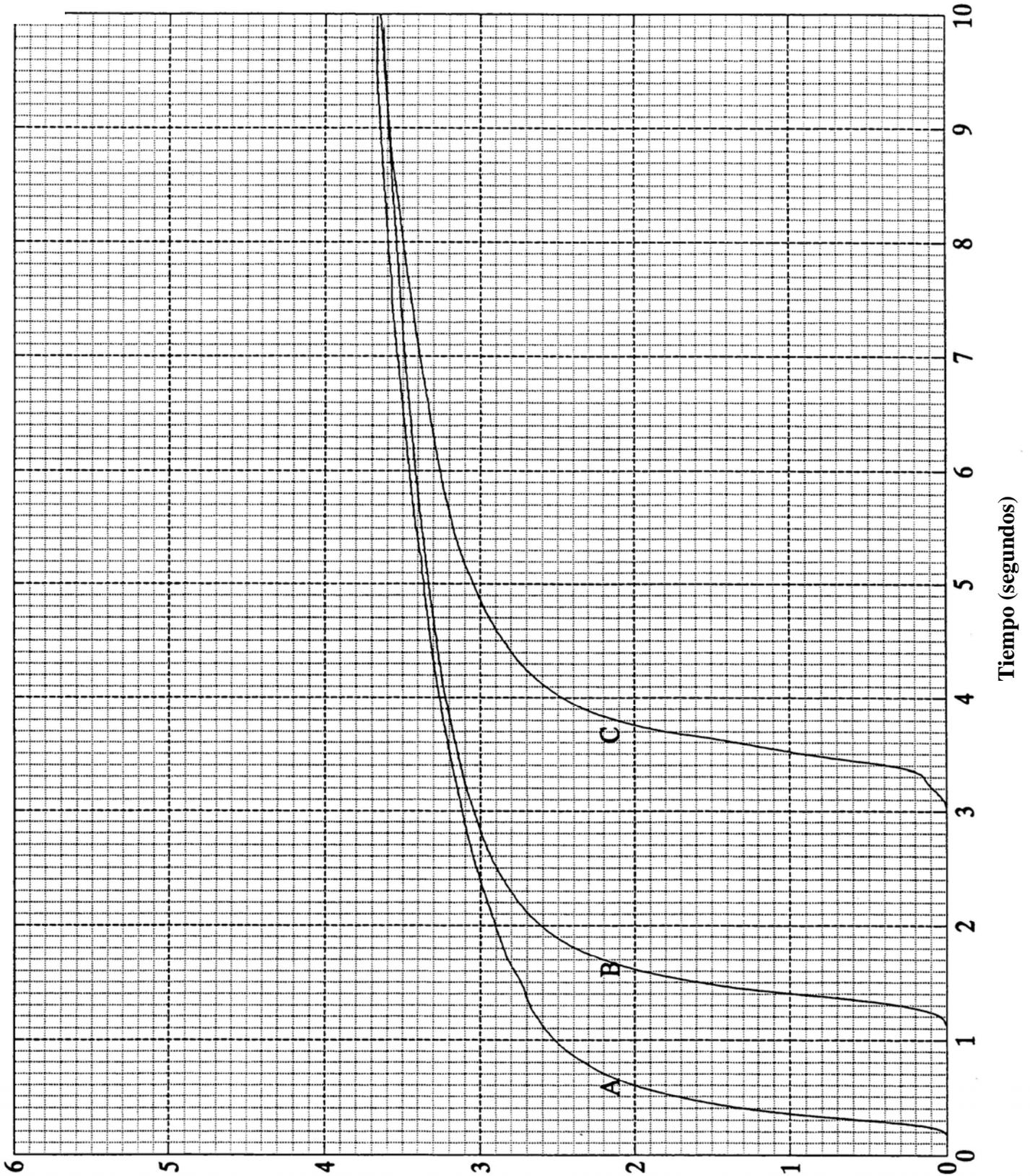
- a. ¿Cumplen estas curvas con los criterios de aceptabilidad?

RETROALIMENTACIÓN:

- a. No. Todas las curvas muestran una falla de la meseta. La curva C tiene también un volumen extrapolado, pero habría sido aceptable (4.4%) si se hubiera alcanzado la meseta.

FIGURA 9-3. EJERCICIO - CURVA VOLUMEN-TIEMPO

FIGURA 9-3. EJERCICIO - CURVA VOLUMEN-TIEMPO



EJERCICIO 4.

(Refiérase a la Figura 9-4. Ejercicio - Curva Volumen-Tiempo)

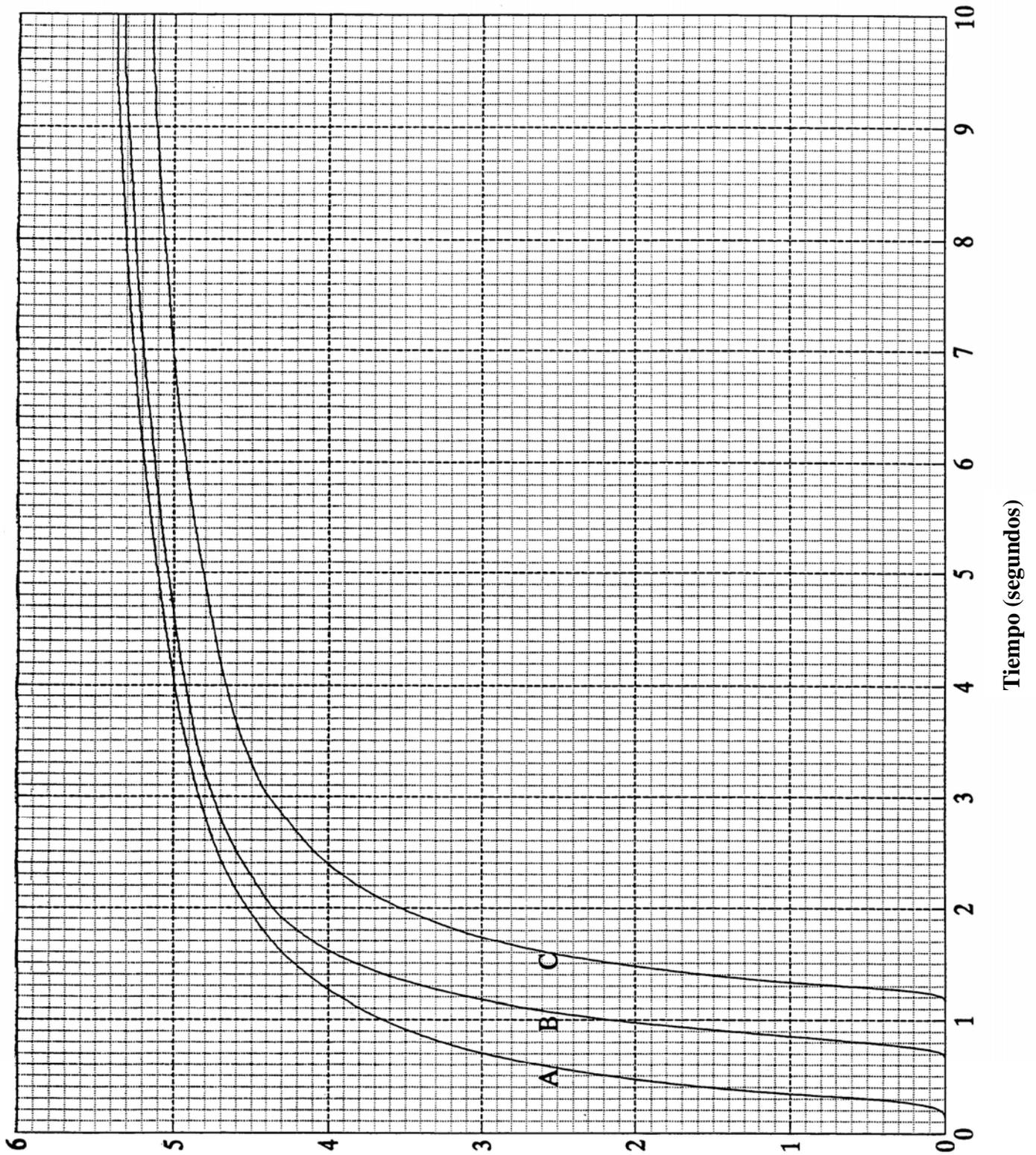
- a. ¿Cumplen estas curvas criterios de aceptabilidad?

RETROALIMENTACIÓN:

- a. Sí. Sin embargo, la meseta es corta y sería una buena idea que el individuo exhalara de una manera ligeramente más prolongada (otro medio segundo), para estar seguros de que se obtuvo una meseta.

FIGURA 9-4. EJERCICIO - CURVA VOLUMEN-TIEMPO

FIGURA 9-4. EJERCICIO - CURVA VOLUMEN-TIEMPO



EJERCICIO 5.

(Refiérase a la Figura 9-5. Ejercicio - Curva Volumen–Tiempo)

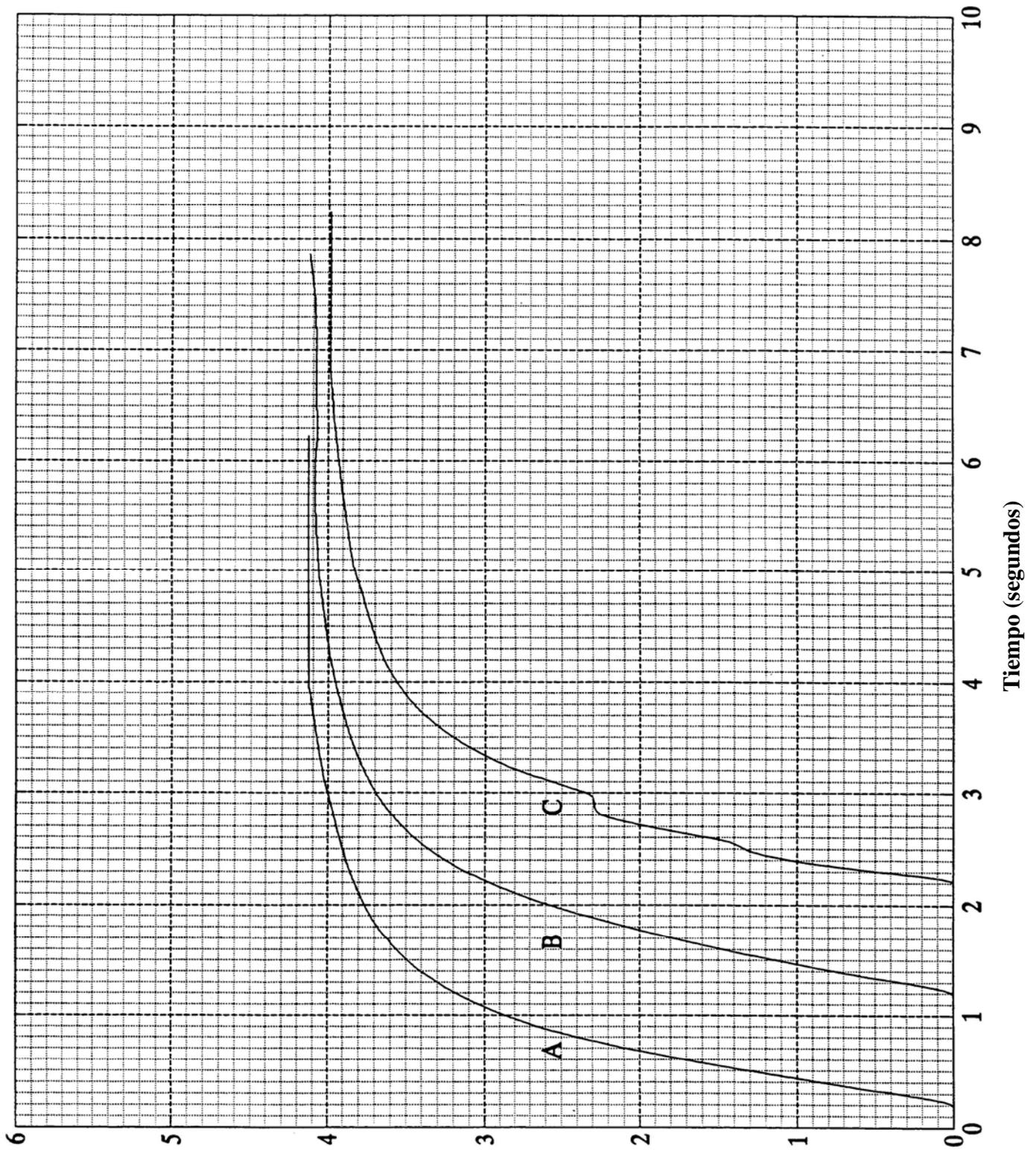
- a. ¿Cumplen estas curvas criterios de aceptabilidad?

RETROALIMENTACIÓN:

- a. No. La curva C muestra un acceso de tos o un esfuerzo variable durante la fase temprana de la maniobra.

FIGURA 9-5. EJERCICIO - CURVA VOLUMEN-TIEMPO

FIGURA 9-5. EJERCICIO - CURVA VOLUMEN-TIEMPO



EJERCICIO 6.

(Refiérase a la Figura 9-6. Ejercicio - Curva Volumen-Tiempo)

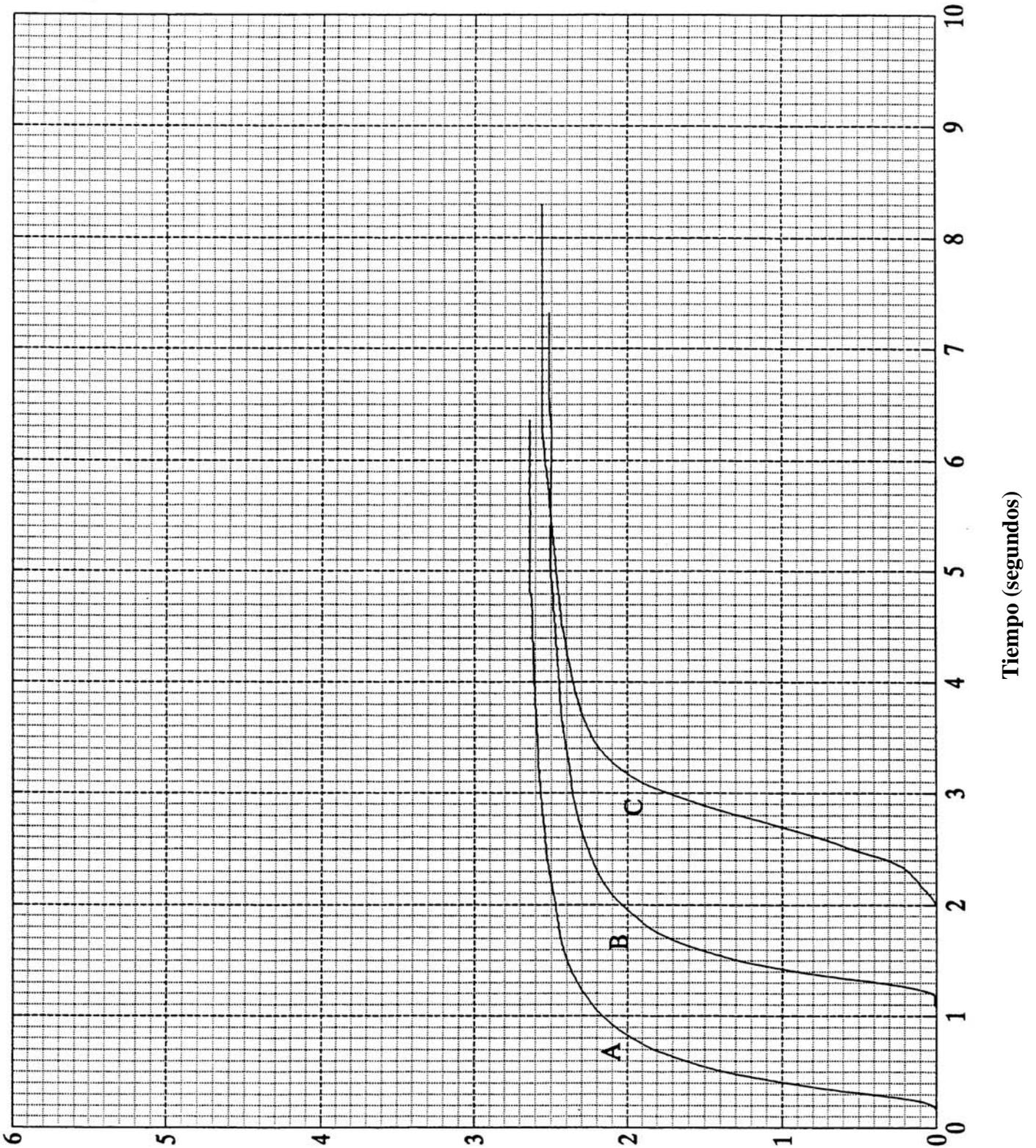
- a. ¿Cumplen estas curvas criterios de aceptabilidad?

RETROALIMENTACIÓN:

- a. No. La curva C muestra un volumen extrapolado excesivo (aproximadamente 7.03%).

FIGURA 9-6. EJERCICIO - CURVA VOLUMEN-TIEMPO

FIGURA 9-6. EJERCICIO - CURVA VOLUMEN-TIEMPO



EJERCICIO 7.

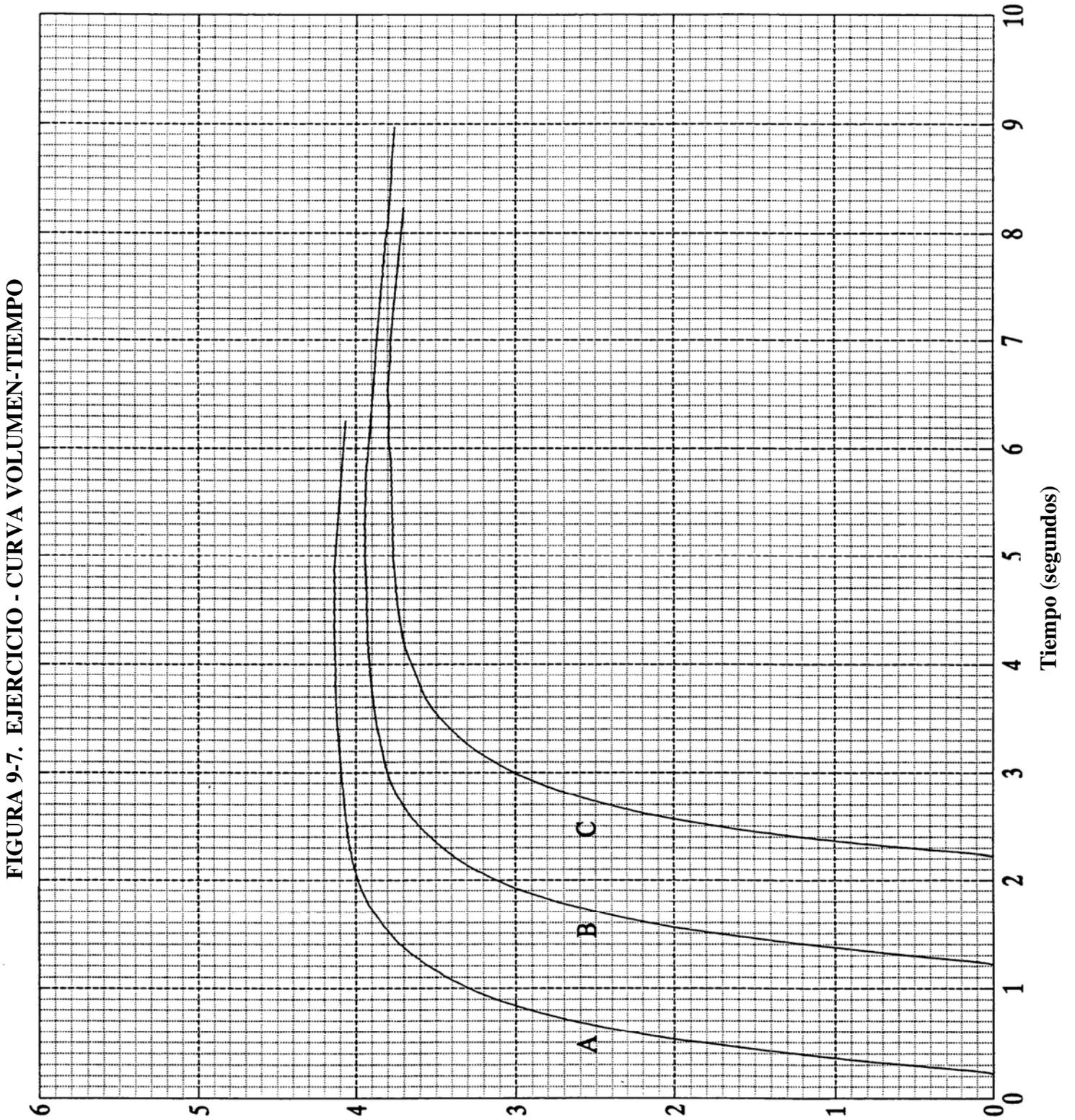
(Refiérase a la Figura 9-7. Ejercicio - Curva Volumen-Tiempo)

a. ¿Cumplen estas curvas criterios de aceptabilidad?

RETROALIMENTACIÓN:

a. No. Las tres curvas indican fugas.

FIGURA 9-7. EJERCICIO - CURVA VOLUMEN-TIEMPO



EJERCICIO 8.

(Refiérase a la Figura 9-8. Ejercicio - Curva Volumen-Tiempo)

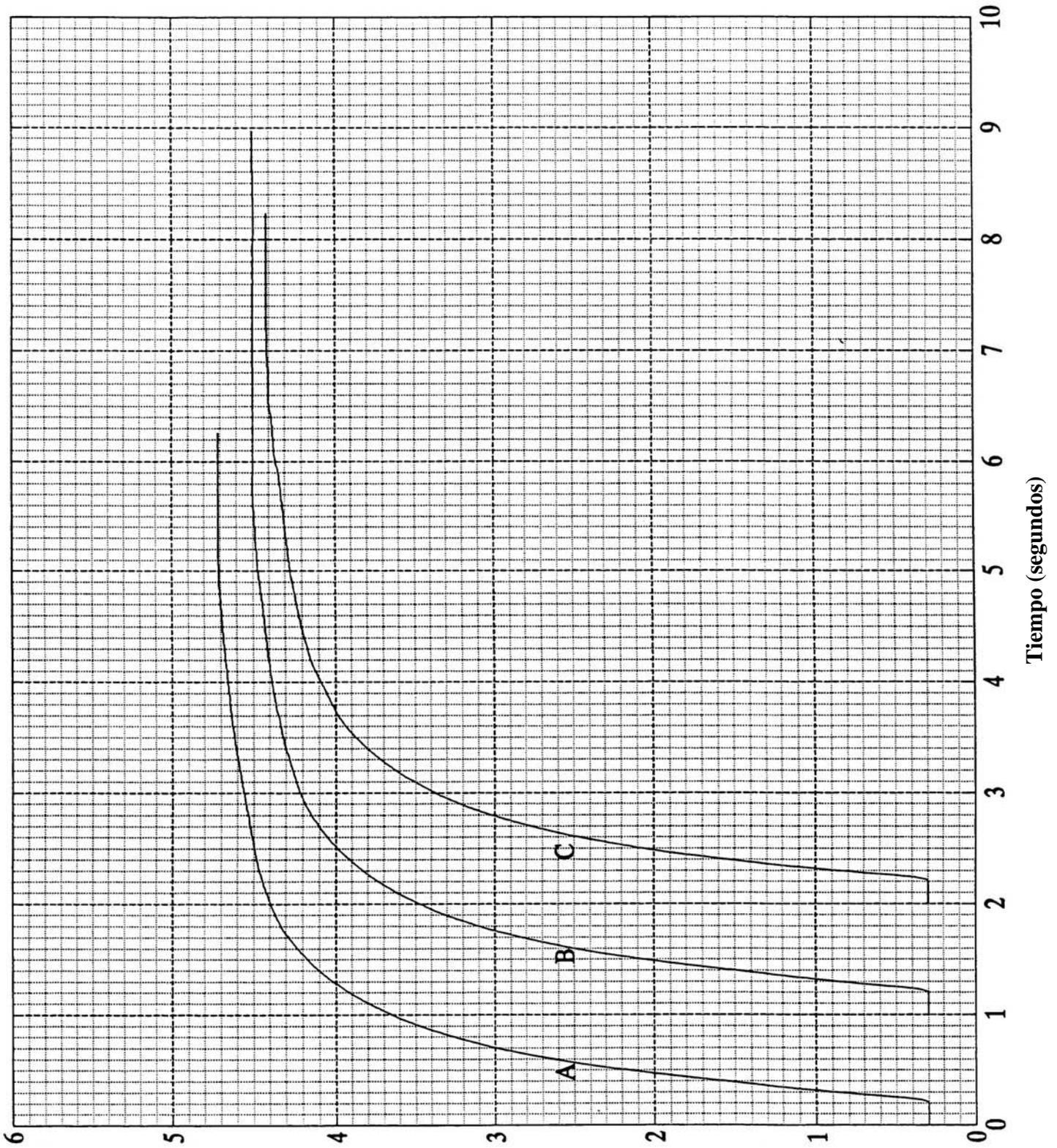
- a. ¿Cumplen estas curvas criterios de aceptabilidad?
- b. Si no, ¿qué podría hacerse para que fueran aceptables?

RETROALIMENTACIÓN:

- a. No. Las tres muestran el mismo error de la línea basal.
- b. Substraiga 0.3 litros de los resultados del VEF₁ y la CVF, para corregir el error en este ejemplo.

FIGURA 9-8. EJERCICIO - CURVA VOLUMEN-TIEMPO

FIGURA 9-8. EJERCICIO - CURVA VOLUMEN-TIEMPO



EJERCICIO 9.

(Refiérase a la Figura 9-9. Ejercicio - Curva Volumen-Tiempo)

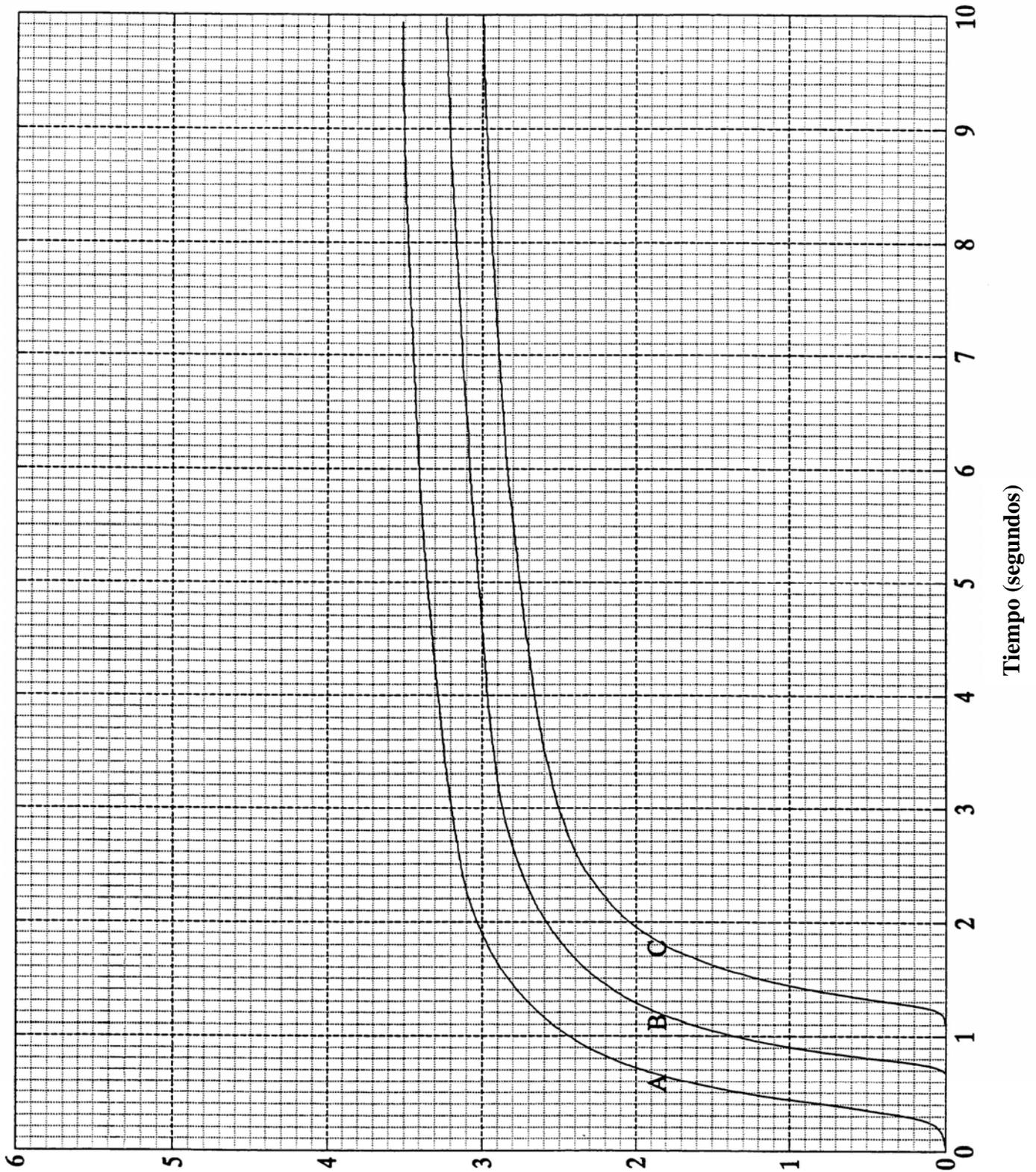
- a. ¿Cumplen estas curvas criterios de aceptabilidad?

RETROALIMENTACIÓN:

- a. No. Las curvas B y C no alcanzan la meseta. La curva A tuvo cierto grado de volumen extrapolado pero habría sido aceptable. (CVF A = 3.5 L., volumen extrapolado = 0.15 L ó 4.3% de la CVF). Anime al sujeto a soplar de manera explosiva al inicio y que su espiración sea más prolongada.

FIGURA 9-9. EJERCICIO - CURVA VOLUMEN-TIEMPO

FIGURA 9-9. EJERCICIO - CURVA VOLUMEN-TIEMPO



EJERCICIO 10.

(Refiérase a la Figura 9-10. Ejercicio - Curva Volumen-Tiempo)

El tamaño del papel no concuerda con los estándares de la ATS para realizar cálculos a mano, debido a limitaciones de la reproducción. Este ejercicio se incluyó para mostrar curvas que duran más de 10 segundos.

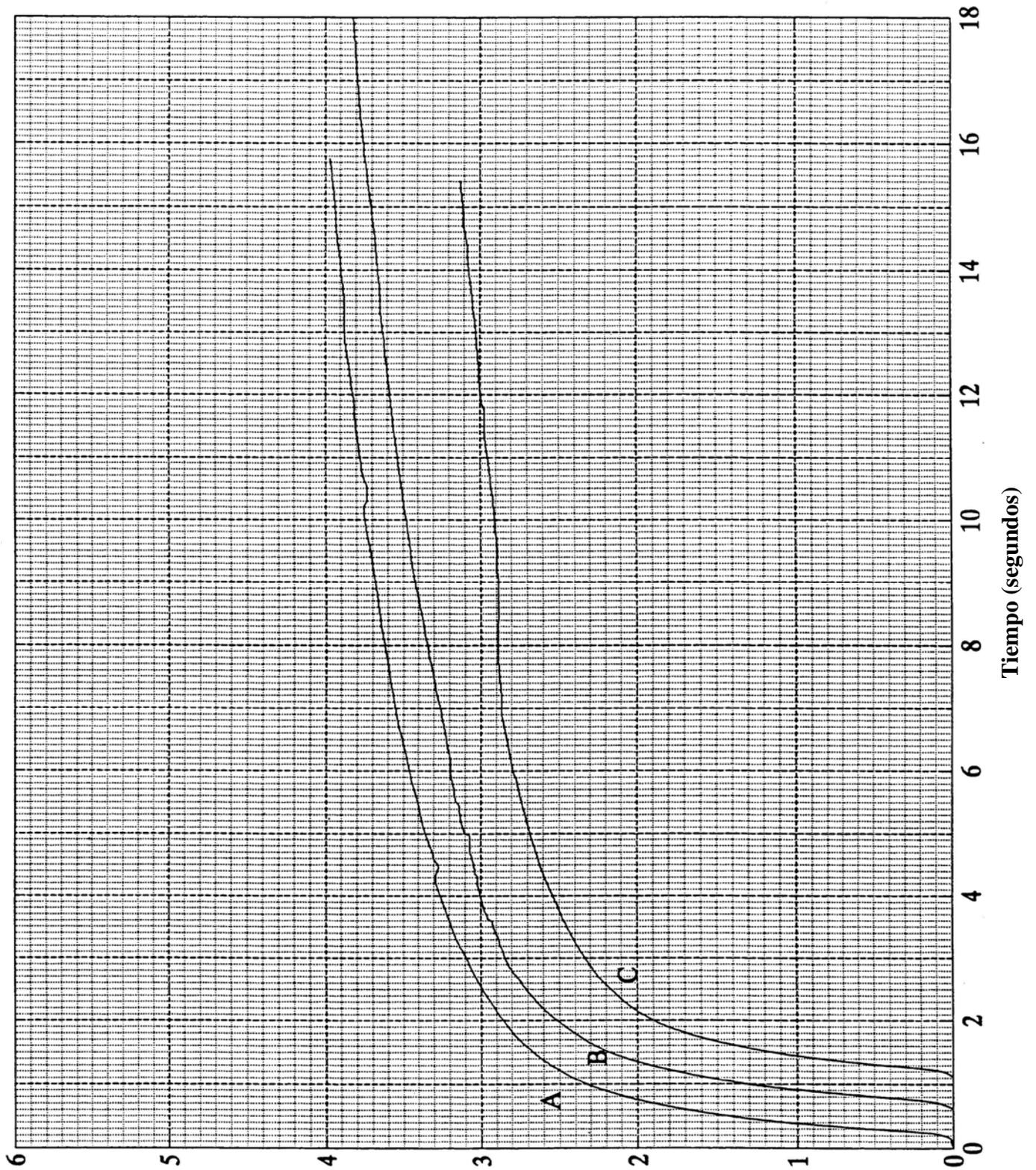
- a. ¿Cumplen estas curvas criterios de aceptabilidad?

RETROALIMENTACIÓN:

- a. No. Ninguna alcanza una meseta. Sin embargo, este individuo muestra un patrón obstructivo y pudiera no ser capaz de generar trazos reproducibles con meseta. El técnico podría querer discutir estos resultados con el médico que los interpreta, antes de decidirse a hacer o no más trazos. Aunque todas las curvas muestran tos o esfuerzo variables, éstos ocurrieron en la fase tardía de la maniobra y fue insignificante en magnitud.

FIGURA 9-10. EJERCICIO - CURVA VOLUMEN TIEMPO

FIGURA 9-10. EJERCICIO - CURVA VOLUMEN TIEMPO



EJERCICIO 11.

(Refiérase a la Figura 9-11. Ejercicio - Curva Volumen-Tiempo)

- a. ¿Cumplen estas curvas criterios de aceptabilidad?
- b. ¿Cumplen, al menos dos de estas tres curvas, criterios de reproducibilidad de la CVF y del VEF₁?

RETROALIMENTACIÓN:

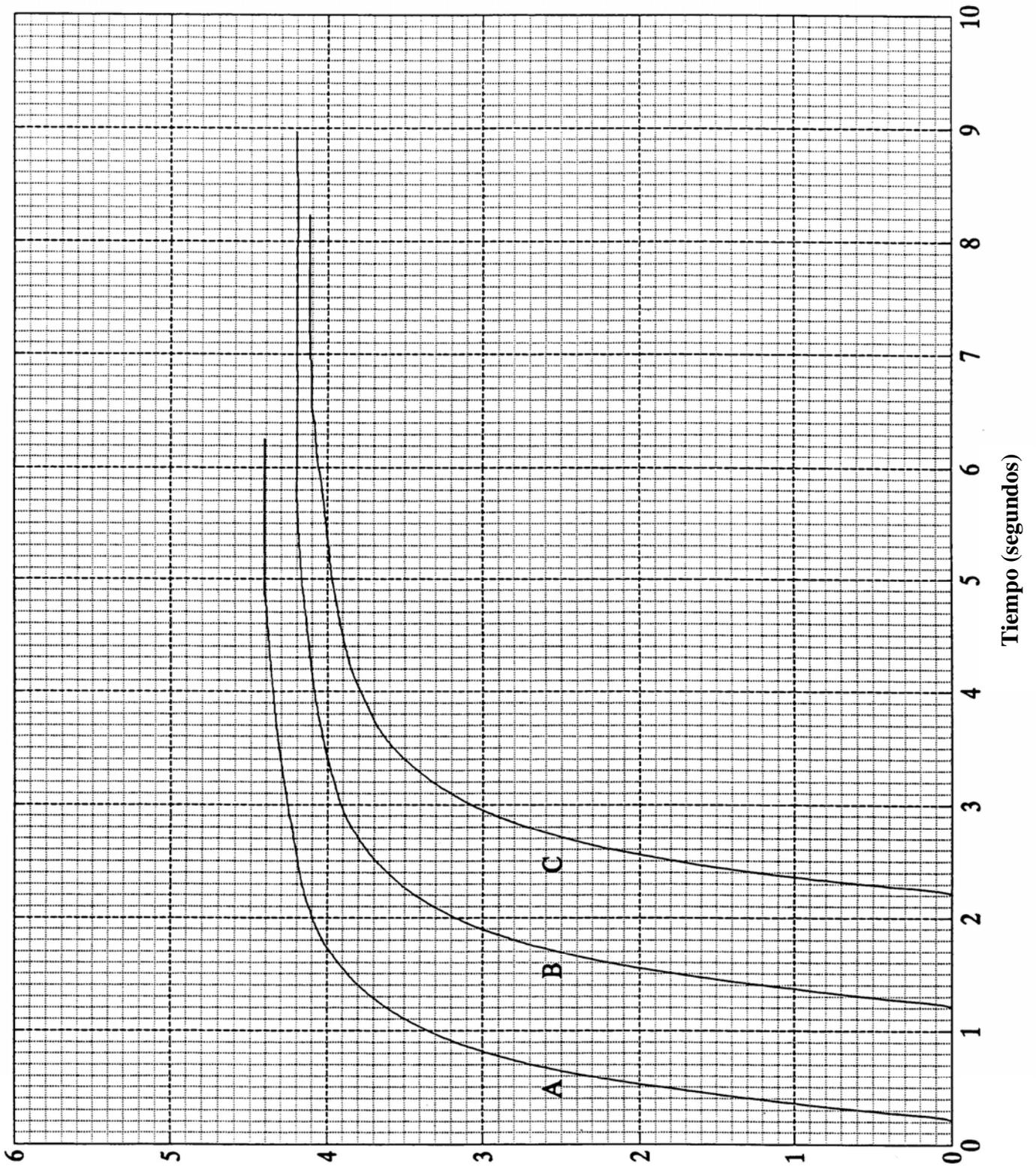
- a. Sí. Se cumplen los criterios de aceptabilidad.
- b. Se logran los criterios de reproducibilidad de la CVF (diferencia de 190 ml; opcional 4.3%).

Se logran los criterios de reproducibilidad del VEF₁ (diferencia de 190 ml; opcional 5.2%, no cumple con los criterios ATS-1987). Son volúmenes variables, así que instruya al sujeto a tomar todavía más aire o inspiración profunda.

Curva A:	CVF = 4.40 L	VEF ₁ = 3.64 L
Curva B:	CVF = 4.21 L	VEF ₁ = 3.45 L
Curva C	CVF = 4.12 L	VEF ₁ = 3.34 L

FIGURA 9-11. EJERCICIO - CURVA VOLUMEN-TIEMPO

FIGURA 9-11. EJERCICIO - CURVA VOLUMEN-



EJERCICIO 12.

(Refiérase a la Figura 9-6. Ejercicio- Curva Volumen-Tiempo)

- a. ¿Cumplen estas curvas criterios de aceptabilidad?
- b. ¿Cumplen al menos dos de las tres curvas los criterios de reproducibilidad de la CVF y del VEF₁?

RETROALIMENTACIÓN:

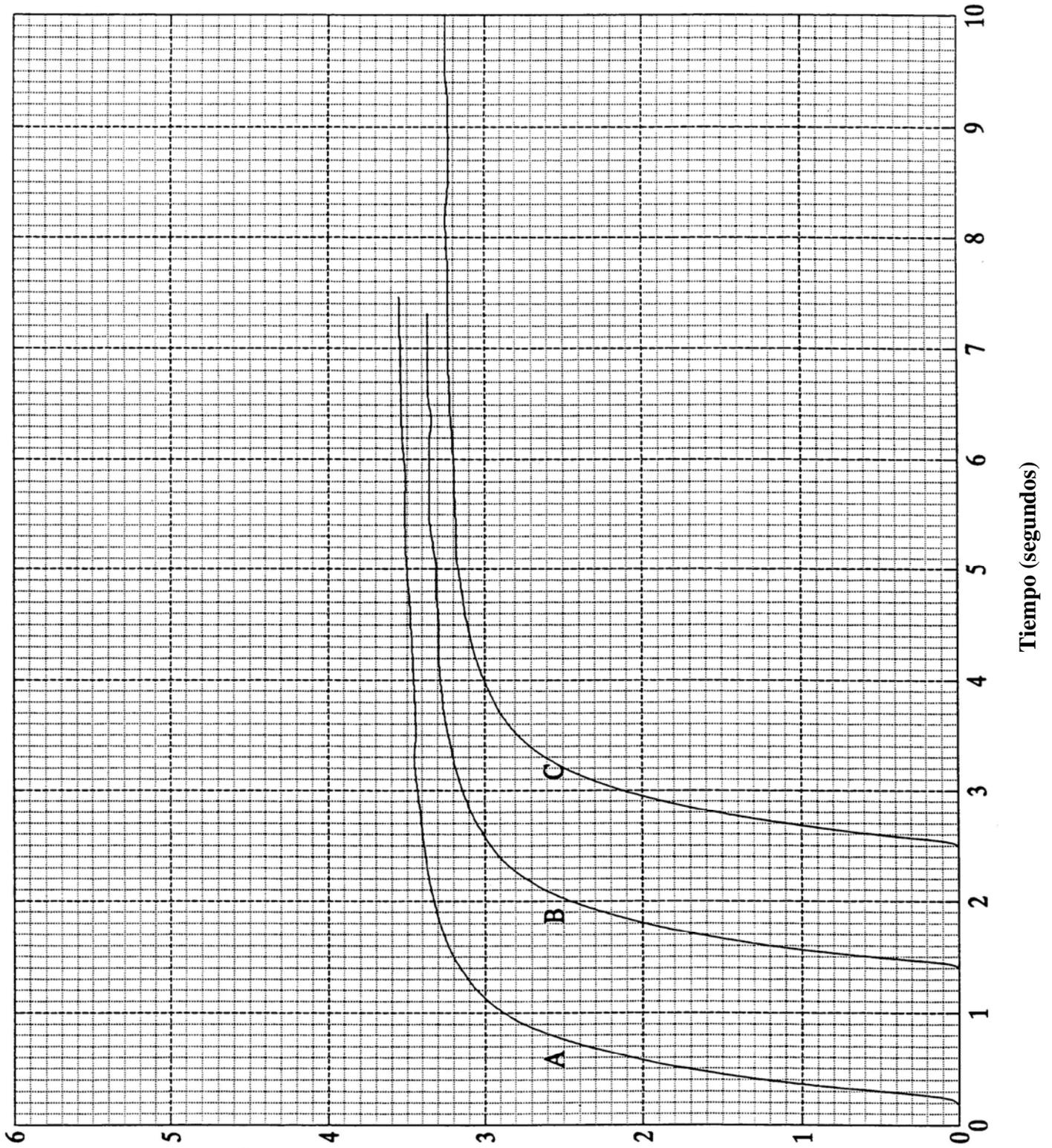
- a. Sí. Estas curvas muestran criterios de aceptabilidad.
- b. Variabilidad de la CVF = 180 ml (5.1%)
Variabilidad del VEF₁ = 150 ml (4.9%)

La CVF se encuentra ligeramente por debajo de los criterios de reproducibilidad de la ATS-1995, y se encuentra ligeramente más allá del límite de 5% de la ATS-1987. El técnico podría pedir otras pruebas, dependiendo si el sujeto se siente bien para continuar. Los volúmenes son variables, de manera que instruya al sujeto a **tomar todavía mayor cantidad de aire en la inspiración.**

Curva A:	CVF = 3.55 L	VEF ₁ = 3.07 L
Curva B:	CVF = 3.37 L	VEF ₁ = 2.92 L
Curva C:	CVF = 3.26 L	VEF ₁ = 2.80 L

FIGURA 9-12. EJERCICIO - CURVA VOLUMEN-TIEMPO

FIGURA 9-12. EJERCICIO - CURVA VOLUMEN-TIEMPO



EJERCICIO 13.

(Refiérase a la Figura 9-13. Ejercicio - Curva Volumen-Tiempo)

La Curva A es la más grande de los tres trazos aceptables.

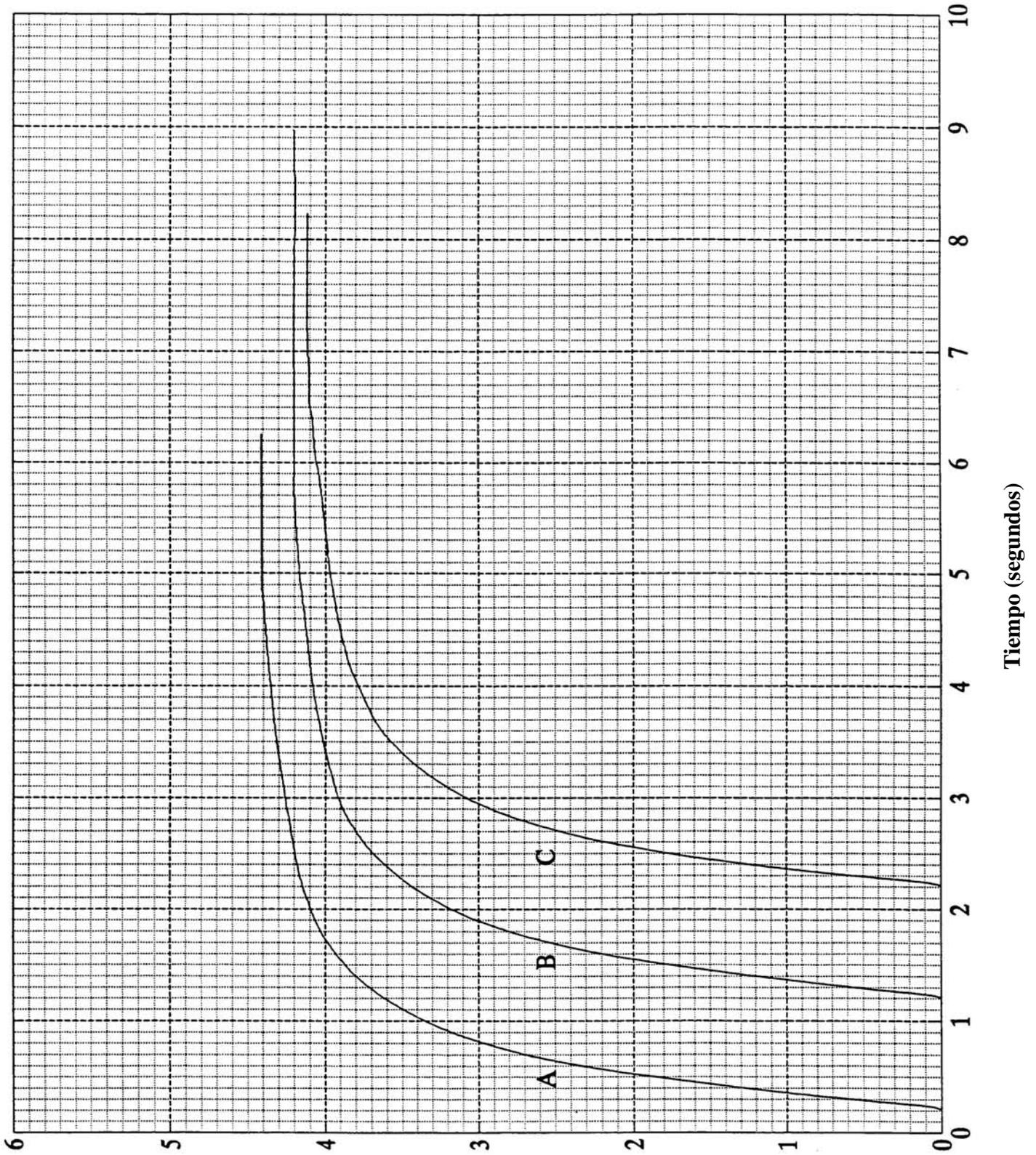
- a. Calcule la CVF.
- b. Calcule el VEF₁.

RETROALIMENTACIÓN:

- a. CVF = 4.40 L.
- b. VEF₁ = 3.65 L.

FIGURA 9-13. EJERCICIO - CURVA VOLUMEN-TIEMPO

FIGURA 9-13. EJERCICIO - CURVA VOLUMEN-TIEMPO



EJERCICIO 14.

(Refiérase a la Figura 9-14, página 9-33. Ejercicio- Curva-Volumen Tiempo)

- a. Determine la CVF para cada curva:

Curva A _____

Curva B _____

Curva C _____

- b. ¿Hay una variabilidad excesiva entre las dos CVF mayores?
- c. ¿Cuál es la mejor CVF (ATPS) ____? ¿Cuál es la mejor CVF (BTPS) (Temperatura ambiente = 24°C) ____?

RETROALIMENTACIÓN:

- a. CVF(ATPS):

Curva A = 3.06 L.

Curva B = 2.97 L.

Curva C = 2.89 L.

- b. No hay una excesiva variabilidad, 90 ml u opcionalmente 2.94%
- c. Mejor CVF (ATPS) = 3.06 L
Mejor CVF (BTPS)= 3.30 L.

EJERCICIO 14. CONTINUACIÓN:

d. Calcule el VEF₁ (ATPS) para cada curva:

Curva A _____

Curva B _____

Curva C _____

e. ¿Hay una excesiva variabilidad entre los dos VEF₁ mayores?

f. ¿Cuál es el mejor VEF₁ (ATPS)? ¿Cuál es el mejor VEF₁ (BTPS) ____ (temperatura ambiente = 24°C)?

g. ¿Reúnen todos los trazos criterios de aceptabilidad?

h. ¿Reúnen, al menos dos de los tres trazos, criterios de reproducibilidad?

RETROALIMENTACIÓN:

d. VEF₁ (ATPS): ¿Se acordó usted de usar la extrapolación retrógrada?

Curva A = 2.71 L.

Curva B = 2.79 L.

Curva C = 2.78 L.

e. No hay una variabilidad excesiva, 10 ml (0.36%).

f. VEF₁ (BTPS)= 3.01 L.

g. Los tres reúnen criterios de aceptabilidad.

h. Los dos VEF₁ y las dos CVF mayores reúnen criterios de reproducibilidad.

EJERCICIO 14. CONTINUACIÓN:

- i. Calcule el $VEF_1/CVF\%$ _____
- j. Calcule el $FEF_{25-75\%}$ (BTPS) _____

RETROALIMENTACIÓN:

- i. $VEF_1/CVF\% = 91.2\%$. ¿Se acordó de usar el mejor VEF_1 y la mejor CVF, aún si no provenían de la misma curva?
- j. $FEF_{25-75\%} = 3.10$ litros/seg. (BTPS). ¿Se acordó de hacer la conversión a BTPS?

Sumatoria de la mejor curva: 5.77 (Curva A)

25% de la CVF = 0.77 L.

75% de la CVF = 2.30 L.

EJERCICIO 14. CONTINUACIÓN:

- k. Si estas curvas fueran de una mujer caucásica de 30 años de edad, con talla de 63 pulgadas ¿cuáles serían sus valores esperados usando el Apéndice L?

CFV esp. _____ VEF esp. _____

- l. ¿Qué porcentaje de los valores esperados son los que corresponden a la persona señalada arriba?

%CVF esp. _____ %VEF₁ esp. _____

- m. Si las curvas fueran de una mujer de 30 años de edad, afro-americana, con talla de 67 pulgadas, ¿cuáles serían sus valores esperados usando el Apéndice L?

CVF esp. _____ VEF₁ esp. _____

- n. ¿Qué porcentaje de los valores esperados son los que corresponden a la persona señalada arriba?

%CVF esp. _____ % VEF₁ esp. _____

RETROALIMENTACIÓN:

- k. CVF esp. = 3.65 L. VEF₁ esp. = 2.09 L. Nota: 63 pulgadas equivale alrededor de 160 cm.

- l. %CVF esp. = 90.4% %VEF₁ esp. = 97.4%

- m. CVF esp. = 3.55 L. VEF₁ esp. = 3.01 L. Nota: 67 pulgadas equivale alrededor de 170 cm. ¿Se acordó de usar el factor de corrección para la raza?

- n. %CVF esp. = 93.0% %VEF₁ esp. = 100.0%

EJERCICIO 14. CONTINUACIÓN:

- o. Si las curvas fueran de un hombre de 30 años de edad, caucásico, con talla de 67 pulgadas, ¿cuáles serían sus valores esperados usando el Apéndice L?

CVF esp. _____ VEF₁ esp. _____

- p. ¿Qué porcentaje de los valores esperados son los que corresponden a la persona señalada arriba?

%CVF esp. _____ %VEF₁ esp. _____

- q. Si las curvas fueran de un hombre de 30 años de edad, afro-americano, con talla de 67 pulgadas, ¿cuáles serían sus valores esperados usando el Apéndice L?

CVF esp. _____ VEF₁ esp. _____

- r. ¿Qué porcentaje de los valores esperados son los que corresponden a la persona señalada arriba?

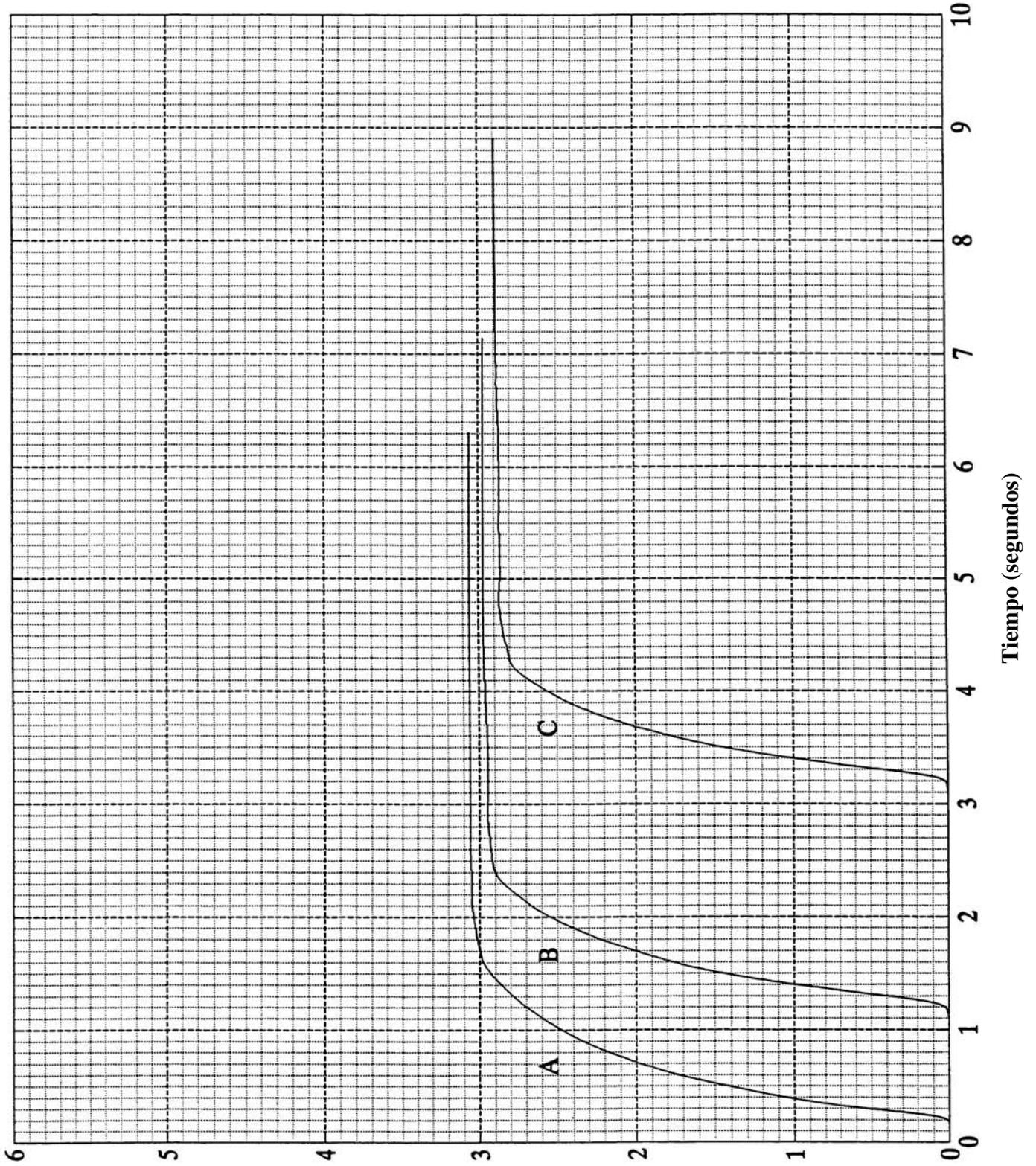
%CVF esp. _____ %VEF₁ esp. _____

RETROALIMENTACIÓN:

- o. CVF esp = 4.97 L. VEF₁ esp. = 4.08 L.
- p. %CVF esp . = 66.4% %VEF₁ esp. = 73.8%
- q. CVF esp. = 4.11 L. VEF₁ esp. . = 3.46 L.
- r. %CVF esp. red. = 80.3% %VEF₁ esp. = 87.0%

FIGURA 9-14. EJERCICIO - CURVA VOLUMEN-TIEMPO

FIGURA 9-14. EJERCICIO - CURVA VOLUMEN-TIEMPO



EJERCICIO 15.

(Refiérase a la Figura 9-15, página 9-38. Ejercicio - Curva Volumen Tiempo-)

- a. ¿Reúnen estas curvas criterios de aceptabilidad?

RETROALIMENTACIÓN:

- a. Todas estas curvas reúnen los criterios de aceptabilidad. La tos o el esfuerzo variable en la curva C ocurre de manera tardía en la maniobra, y es tan pequeña (menos de 50 ml) que no deberá afectar los resultados. Recuerde que el siguiente paso va a ser verificar los criterios de reproducibilidad.

EJERCICIO 15. CONTINUACIÓN:

- b. Calcule la CVF y el VEF₁ de cada una de estas curvas.

Curva A: CVF _____ VEF₁ _____

Curva B: CVF _____ VEF₁ _____

Curva C: CVF _____ VEF₁ _____

- c. Determine si existe una variabilidad excesiva entre las dos CVF y los dos VEF₁ mayores.

Variabilidad de la CVF ___ Variabilidad del VEF₁ _____

RETROALIMENTACIÓN:

b. Curva A: CVF = 3.53 L. VEF₁ = 3.09 L.

Curva B: CVF = 3.52 L. VEF₁ = 3.05 L.

Curva C: CVF = 3.35 L. VEF₁ = 2.90 L.

- c. Variabilidad de la CVF = 10 ml (0.3%) Variabilidad del VEF₁ = 40 ml (1.3%)

Las curvas A y B cumplen con los criterios de reproducibilidad.

EJERCICIO 15. CONTINUACIÓN:

- d. Calcule el $VEF_1/CVF\%$
- e. Calcule el $FEF_{25-75\%}$

RETROALIMENTACIÓN:

- d. $VEF_1/CVF\% = 87.5\%$
- e. $FEF_{25-75\%} = 3.5$ litros/seg. (ATPS)

Mejor curva = A

25% de la CVF = 0.88 L. 75% de la CVF = 2.65 L.

EJERCICIO 15. CONTINUACIÓN:

- f. Estas curvas pertenecen a un hombre caucásico de 55 años de edad, de profesión soldador y con talla de 69 pulgadas. La temperatura ambiente era de 75°F. El ha participado anualmente en el programa de vigilancia respiratoria de su compañía. El año pasado su CVF fue de 4.34 L. (BTPS) y su VEF₁ fue de 3.71 L. (BTPS). ¿Cuáles han sido los cambios absolutos y porcentuales desde el año anterior?

Cambio absoluto de la CVF: _____

% de cambio de la CVF: _____

Cambio absoluto del VEF₁: _____

% de cambio del VEF₁: _____

RETROALIMENTACIÓN:

Cambio absoluto de la CVF: - 0.53 litros

% de cambio de la CVF: reducción del 12.2%

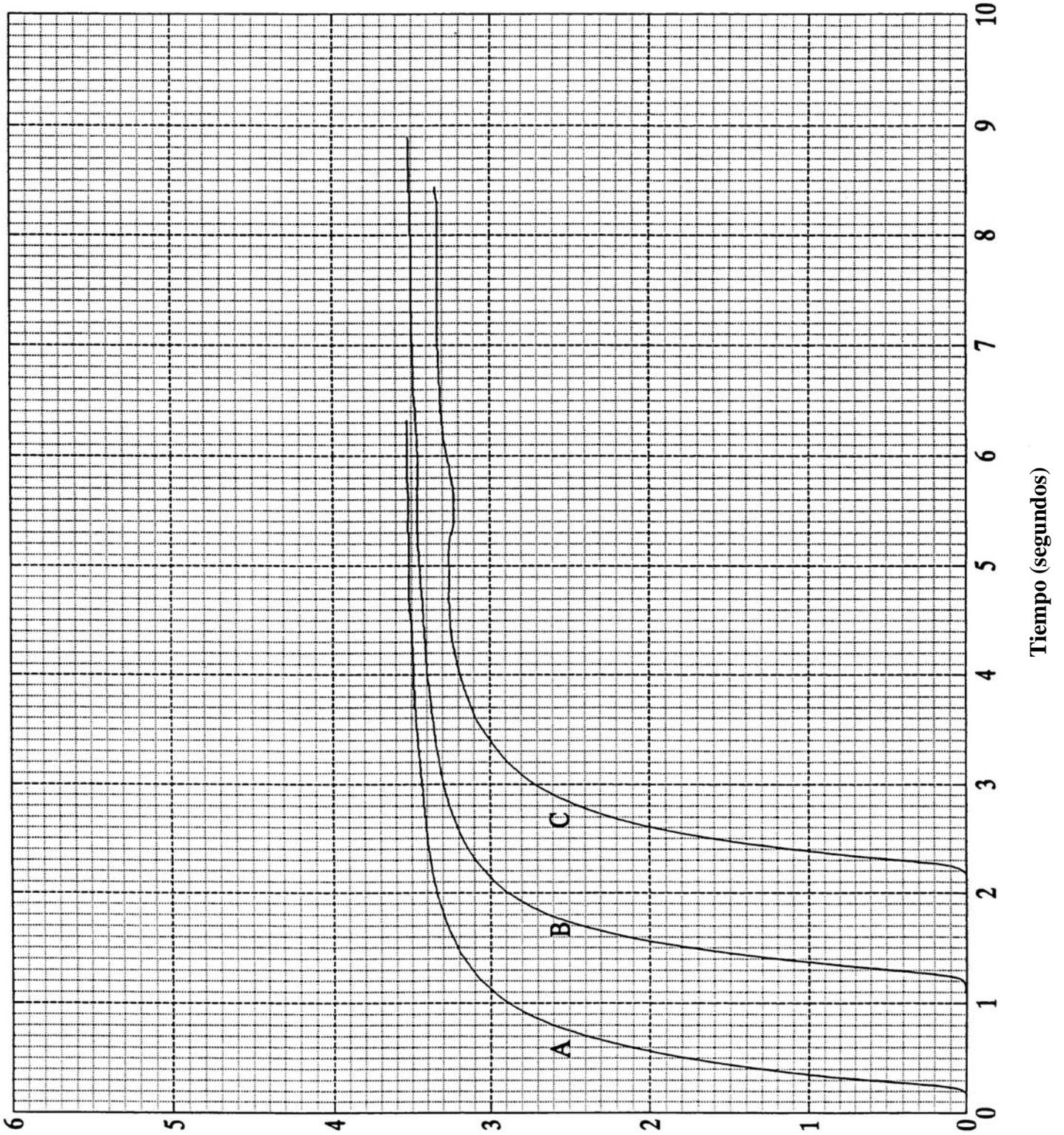
Cambio absoluto del VEF₁: - 0.39 litros

% de cambio del VEF₁: reducción del 10.5%

¿Se acordó de convertir los resultados del año en curso a BTPS?

FIGURA 9-15. EJERCICIO - CURVA VOLUMEN-TIEMPO

FIGURA 9-15. EJERCICIO - CURVA VOLUMEN-TIEMPO



EJERCICIO 16.

(Refiérase a la Figura 9-16, página 9-45. Ejercicio - Curva Volumen Tiempo)

- a. ¿Cumplen al menos tres de las curvas los criterios de aceptabilidad?

RETROALIMENTACIÓN:

- a. Sí. Las curvas A, B y C reúnen los criterios de aceptabilidad. La curva D muestra un volumen extrapolado excesivo y una finalización temprana. Para disminuir el volumen extrapolado, sugiérase soplar de manera explosiva al inicio.

EJERCICIO 16. CONTINUACIÓN:

- b. Calcule la CVF (ATPS) de las curvas aceptables:

Curva A _____ Curva B _____ Curva C _____

- c. ¿Hay una variabilidad excesiva entre las dos CVFs mayores?

- d. Calcule los VEF₁s de las curvas aceptables:

Curva A _____ Curva B _____ Curva C _____

- e. ¿Hay una variabilidad excesiva entre los dos VEF₁ mayores?

RETROALIMENTACIÓN:

- b. Curva A: CVF = 3.66 L.

Curva B: CVF = 3.60 L.

Curva C: CVF = 3.58 L.

- c. No. La cantidad de variabilidad es de solamente 60 ml (1.6%), de manera que se cumplen los criterios de reproducibilidad.

- d. Curva A: VEF₁ = 3.12 L.

Curva B: VEF₁ = 3.05 L.

Curva C: VEF₁ = 3.08 L.

- e. No. La cantidad de variabilidad fue de solamente de 40 ml (1.3%), de manera que se reúnen los criterios de reproducibilidad.

EJERCICIO 16. CONTINUACIÓN:

f. Convierta la mejor CVF y el mejor VEF₁ a BTPS (la temperatura ambiental fue de 25°C).

CVF (BTPS) _____ VEF₁ (BTPS) _____

g.. Calcule el VEF₁/CVF%

VEF₁/CVF% _____

h. Calcule el FEF_{25-75%}

FEF_{25-75%} _____

RETROALIMENTACIÓN:

f. CVF (BTPS) = 3.93L. VEF₁ (BTPS) = 3.35L.

g. VEF₁/CVF% = 85.2%

h. FEF_{25-75%} = 3.71 L/seg. (BTPS) ¿Se acordó de convertir a BTPS?

Sumatoria de la mejor curva 6.78 (Curva A)

25% de la CVF = .92 L. 75% de la CVF = 2.75 L.

EJERCICIO 16. CONTINUACIÓN:

- i. Si estas curvas fueran de un hombre caucásico de 50 años de edad, con talla de 190 cm ¿cuáles serían sus valores esperados usando el Apéndice L?
- CVF esp. _____ VEF₁ esp. _____
- j. ¿Qué porcentaje de lo esperado presentan los valores de este mismo individuo?
- % CVF esp. _____ % VEF₁ esp. _____
- k. En el estudio de vigilancia del año anterior, su CVF era de 5.01 L (BTPS) y su VEF₁ era de 4.02 L. (BTPS). Calcule los cambios absoluto y porcentual de su CVF y su VEF₁.
- Cambio absoluto de la CVF _____ Cambio porcentual de la CVF _____
- Cambio absoluto del VEF₁ _____ Cambio porcentual del VEF₁ _____
- l. ¿Por qué sería mejor comparar sus resultados actuales con los del año anterior, en lugar de compararlos con los valores esperados?

RETROALIMENTACIÓN:

- i. CVF esp. = 5.90 L. VEF₁ esp. = 4.56 L.
- j. %CVF esp. = 66.6% %VEF₁ esp. = 73.5%
- k. Cambio absoluto de la CVF: - 1.08 L.
Cambio porcentual de la CVF: reducción del 21.6%
Cambio absoluto del VEF₁: - 0.67 L.
Cambio porcentual del VEF₁: reducción del 16.7%
- l. Cuando se compara con el año anterior, este individuo muestra una disminución en el volumen del VEF₁ mayor del 15% de lo esperado. Esta reducción supera lo que se espera del proceso normal de envejecimiento.

EJERCICIO 16. CONTINUACIÓN:

- m. Si estas curvas pertenecieran a un sujeto masculino afro-americano de 50 años de edad, con talla de 190 cm ¿cuáles serían sus valores esperados utilizando el Apéndice L?

CVF esp. _____ VEF₁ esp. _____

- n. ¿Cuál es el porcentaje del valor esperado y el límite normal bajo (LLN) para el sujeto mencionado anteriormente?

%CVF esp. _____ % VEF₁ esp. _____

CVF LLN _____ VEF₁ _____ LLN

- o. En los estudios de vigilancia del año anterior su CVF fue de 4.13 L (BTPS) y su VEF₁ fue de 3.60 L (BTPS). Calcule los cambios absolutos y porcentuales de la CVF y del VEF₁.

CVF cambio absoluto _____ CVF % cambio _____

VEF₁ cambio absoluto _____ VEF₁ % cambio _____

- p. ¿Cuáles habrían sido sus cambios absolutos y porcentuales si su CVF hubiera sido 4.7 L (BTPS) y su VEF₁ hubiera sido 3.87 L(BTPS) en el año previo?

CVF cambio absoluto _____ CVF % cambio _____

VEF₁ cambio absoluto _____ VEF₁ % cambio _____

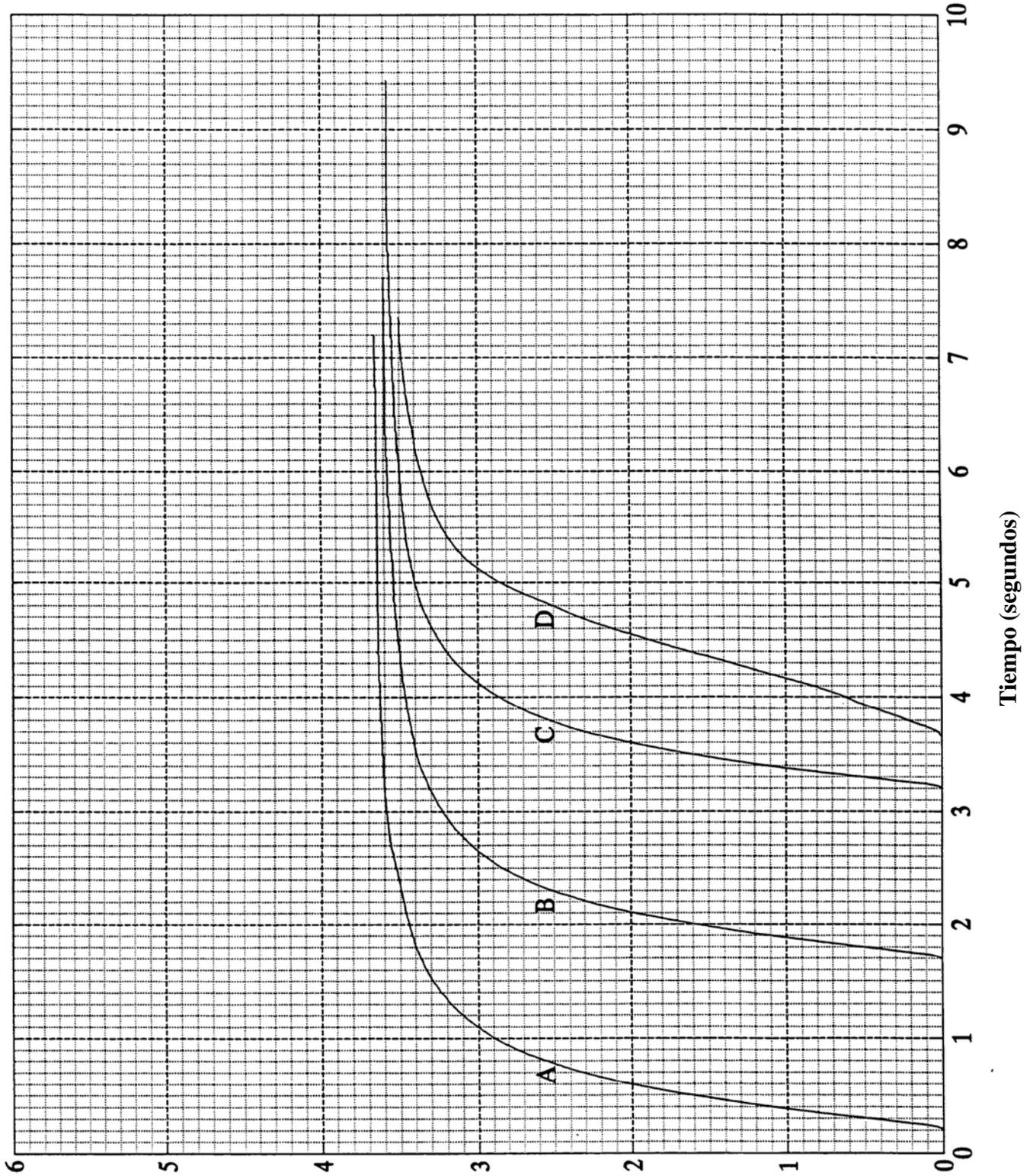
- q. ¿Por qué sería adecuado comparar los resultados de este individuo con los del año previo así como con los valores esperados?

RETROALIMENTACIÓN:

- m. CVF esp. = 4.95L. VEF₁ esp. = 3.95 L.
¿Se acordó de usar la corrección para la raza?
- n. CVF %esp. = 79.4% VEF₁ % esp. = 84.8%
CVF LLN = 3.87L. VEF₁ LLN = 3.00 L.
- o. CVF cambio absoluto = -0.20 L. ó - 200 ml.
CVF %cambio = Reducción del 4.8%
- p. CVF cambio absoluto = -0.82 L. u 820 ml
CVF %cambio = Reducción del 17.3%
VEF₁ cambio absoluto = -0.52 L. ó 520 ml
VEF₁ %cambio = Reducción del 13.4%
- q. Sus valores para la CVF y el VEF₁ serían considerados dentro del rango normal, ya que se encuentran por encima del límite normal bajo (LLN). El Uso del LLN es recomendado por la ATS, en lugar del porcentaje esperado. Su valor esperado de CVF es de 79.4% lo cual está por abajo del 80% esperado, pero su CVFC observada es de 3.93 L. lo cual está por arriba del LLN de la CVFC, que es de 3.87 L. De esta manera, la CVF se considera como normal. Sin embargo, cuando se compara con el año previo, se muestra una reducción de la CVF mayor del 15%, lo cual rebasa lo esperable por el envejecimiento normal.

FIGURA 9-16. EJERCICIO CURVA VOLUMEN-TIEMPO

FIGURA 9-16. EJERCICIO - CURVA VOLUMEN-TIEMPO



EJERCICIO 17.

(Refiérase a la Figura 9-17, página 9-47. Ejercicio - Verificación de la calibración con jeringa.)

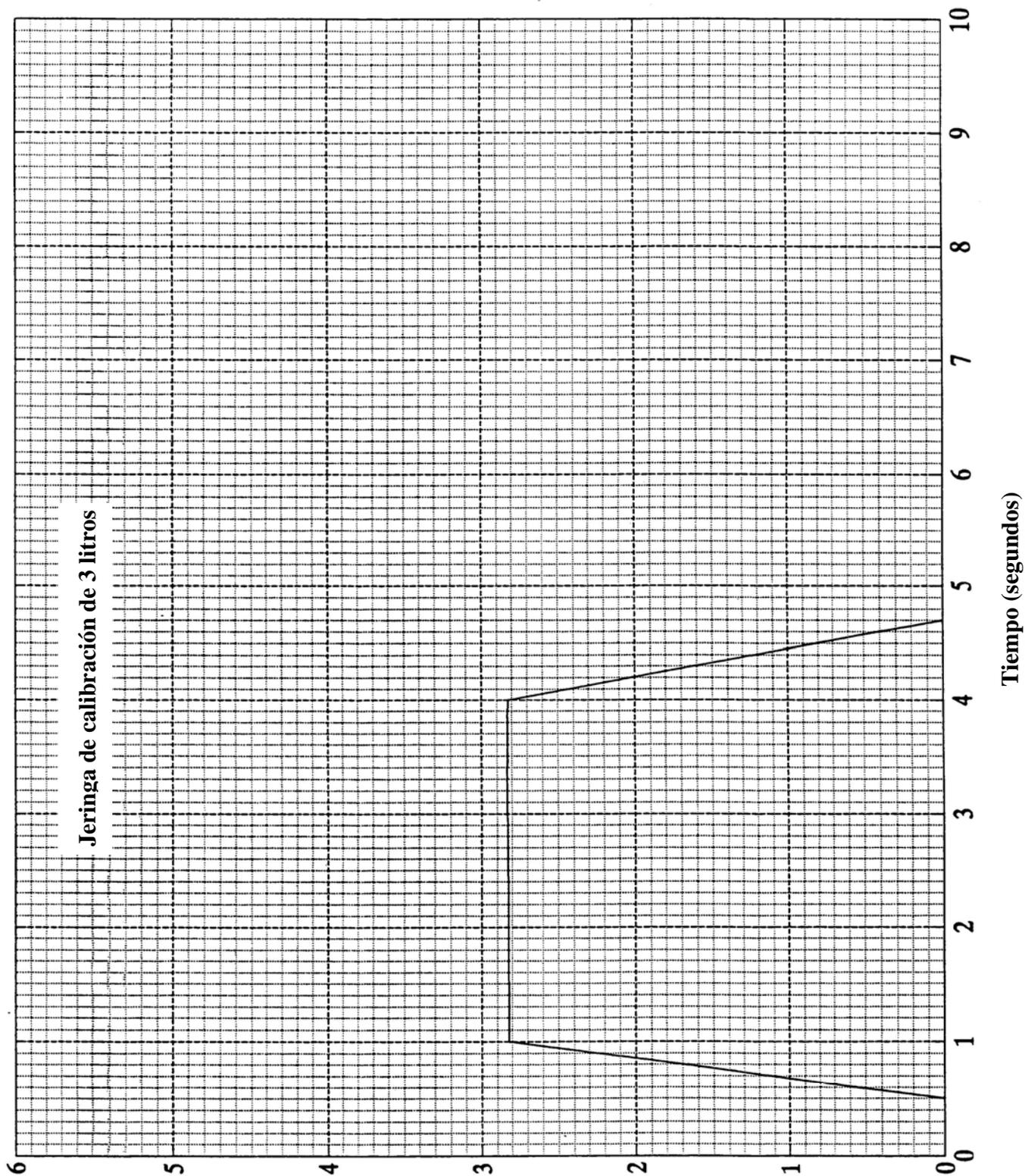
- a. El trazo de la Figura 9-17 fue grabado al inyectar 3 litros de aire al espirómetro, con una jeringa calibrada. ¿Necesita este espirómetro una reparación?

RETROALIMENTACIÓN:

- a. Sí. La lectura del trazo es de 2.83 litros, lo cual se sale del rango aceptable (entre 2.91-3.09). El valor leído equivale a 5.7% de 3 litros, lo cual también se sale del rango de $\pm 3\%$.

FIGURA 9-17. EJERCICIO - VERIFICACIÓN DE LA CALIBRACIÓN CON JERINGA

FIGURA 9-17. EJERCICIO - VERIFICACIÓN DE LA CALIBRACIÓN CON JERINGA



EJERCICIO 18.

(Refiérase a la Figura 9-18. Ejercicio - Verificación de la calibración con jeringa.)

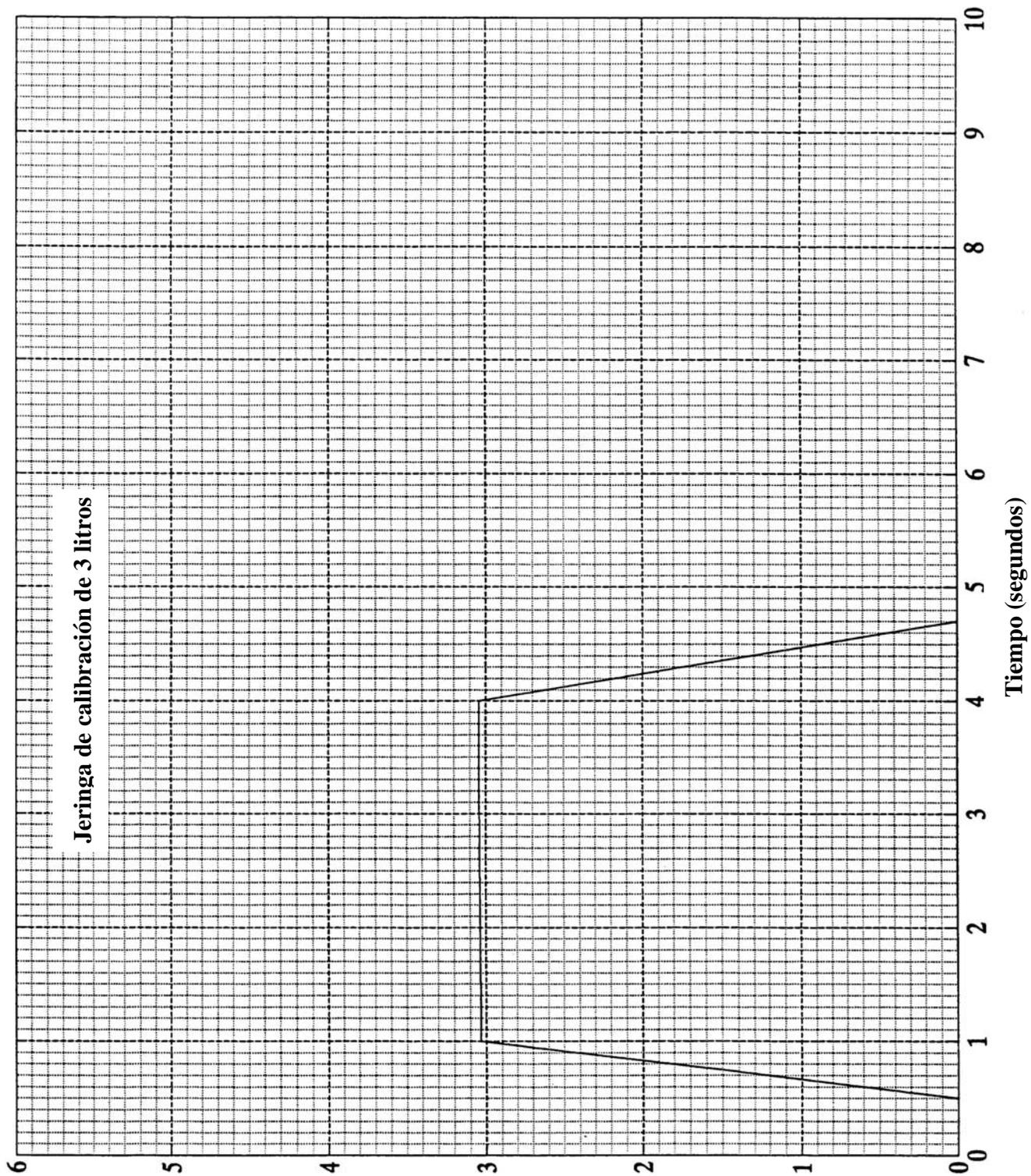
- a. Su espirómetro ha sido reparado y usted desea verificar si está detectando los volúmenes de una manera adecuada. El trazo de la Figura 9-18 se realizó cuando usted inyectó 3 litros de aire con una jeringa calibrada. ¿Son aceptables los resultados?

RETROALIMENTACIÓN:

- a. Sí. La lectura del trazo es de 3.04 litros, lo que equivale a un 1.3% más que el valor de 3 litros. Se encuentra dentro del rango aceptable de $\pm 3\%$ o entre 2.91-3.09 litros.

FIGURA 9-18. EJERCICIO - VERIFICACIÓN DE LA CALIBRACIÓN CON JERINGA

FIGURA 9-18. EJERCICIO - VERIFICACIÓN DE LA CALIBRACIÓN CON JERINGA



EJERCICIO 19.

Considere los registros de VEF₁ y de CVF a lo largo de 10 años, de un trabajador de sexo masculino de la industria del algodón. Todos los resultados se han convertido a BTPS.

- ¿Cómo se comparan los valores de VEF₁ y CVF de 1989, con los valores previos más altos (expresados como un cambio absoluto)?
- ¿Cómo se comparan estos valores con los de una disminución esperable por el envejecimiento?

AÑO	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
CVF	5.34	5.40	5.32	5.30	5.28	5.27	5.26	5.24	5.21	5.19
VEF ₁	4.37	4.38	4.35	4.34	4.31	4.30	4.28	4.22	4.21	4.16

RETROALIMENTACIÓN:

- CVF previa más alta (1981)= 5.40 L.
CVF de 1989 = 5.19 L.
Cambio absoluto: -0.21 L.

VEF₁ previo más alto (1981)=4.38 L.
VEF₁ de 1989 = 4.16 L.
Cambio absoluto = 0.22 L.
- Disminución esperable de la CVF para sujetos masculinos = 0.025 L/año, como promedio.
8 años x 0.025 L./año = pérdida de 0.20 L. esperable a lo largo de 8 años.
La pérdida observada de 0.21 L. equivale aproximadamente a lo que se esperaría por el proceso de envejecimiento.

Disminución esperable del VEF₁ para sujetos masculinos = 0.030 L./año, como promedio.
8 años x 0.030 L/año = pérdida de 0.24 L. esperable a lo largo de 8 años.
La pérdida observada de 0.22 L., en los 8 años, no es mayor a lo que se esperaría por el proceso de envejecimiento.

EJERCICIO 20.

Un sujeto masculino de 20 años de edad, México-americano, con talla de 180 cm, se encuentra expuesto al polvo de algodón en su trabajo. Su compañía realiza espirometrías de rutina antes y después del turno de trabajo, como parte de su programa de vigilancia médica. La temperatura ambiental de la mañana fue de 24°C. La temperatura ambiental del mediodía fue de 27°C.

Se ofrecen a continuación los resultados de las CVF y de los VEF₁:

Antes del turno:

CVF (ATPS) = 4.42 L.

VEF₁ (ATPS) = 3.87 L.

Después del turno:

CVF (ATPS) = 3.82 L.

VEF₁ (ATPS) = 3.33 L.

a. Calcule los siguientes valores:

Antes del turno:

VEF₁ esperado (Apéndice L) _____

VEF₁ % esperado _____

VEF₁/CVF% _____

Después del turno:

VEF₁ esperado (Apéndice L) _____

VEF₁ % esperado _____

VEF₁/CVF% _____

Cambio absoluto del VEF₁ _____

% cambio en el VEF₁ _____

b. ¿Qué le diría usted al médico de la compañía?

RETROALIMENTACIÓN:

- a. Antes del turno:
CVF (BTPS) = 4.77 L. VEF₁ (BTPS) = 4.18 L.
- Después del turno
CVF (BTPS) = 4.06 L. VEF₁ (BTPS) = 3.54 L.
- Antes del turno:
VEF₁% esperado: 84.6%
(Apéndice L; valor esperado 4.94 L.)
VEF₁/CVF% = 87.6%
- Después del turno:
VEF₁% esperado: 71.7%
VEF₁/CVF% = 87.1%
Cambio absoluto en el VEF₁: -640 ml ó 0.64 litros.
Cambio porcentual del VEF₁: Reducción del 15.3%
- b. Siga el protocolo de reportes de su compañía a cargo, asegurándose que la disminución del VEF₁ sea notificada al personal de salud a cargo del programa de vigilancia respiratoria.

EJERCICIO 21:

Su departamento ha contratado a un nuevo director de medicina ocupacional quien quiere saber en qué consiste el programa de garantía de calidad de la espirometría. ¿Qué le responde?

RETROALIMENTACIÓN:

Refiérase a la **Unidad Tres: El Programa de Garantía de la Calidad; Unidad Cuatro: Técnica Espirométrica; Unidad Cinco: Cálculos Básicos en la Espirometría; y Unidad Seis: La Comparación de los Valores Observados con los Valores Esperados.** Usted probablemente quiera discutir:

- a. Cómo asegurar precisión y exactitud en su equipo.
- b. Las medidas a tomar para obtener espirogramas aceptables y reproducibles.
- c. Los valores esperados usados.

EJERCICIO 22:

Mientras se encontraba usted de vacaciones, su suplente se olvidó calibrar el equipo de acuerdo a los protocolos de la compañía. Cuando usted regresa, descubre que la jeringa de calibración de 3 litros es 10% mayor de lo que debería ser. ¿Qué le diría al médico de la compañía quien quiere revisar los resultados de las pruebas tomados en su ausencia? ¿Qué haría usted para prevenir que esto volviera a ocurrir?

RETROALIMENTACIÓN:

Respuestas posibles:

- a. Refiérase a la **Unidad Tres: El Programa de Garantía de la Calidad** para explicarle al médico de la compañía el porqué los resultados no se pueden utilizar.
- b. Revise los procedimientos de Garantía de la calidad con su suplente antes de salir de vacaciones, y explíquele las consecuencias de no llevar a cabo dichos procedimientos.

EJERCICIO 23:

Mientras usted estaba en una conferencia, su suplente realizó espirometrías en varios sujetos dentro de un programa de vigilancia anual ya en marcha. Usted le echa un vistazo a los resultados antes de pasárselos al médico. Un sujeto muestra una disminución significativa en la CVF y el VEF₁, en comparación a los resultados del año pasado. Usted decide llamar al individuo para hacerle algunas preguntas debido a que su suplente no indicó ningún problema en la hoja de registro. Se encuentra usted con que el sujeto ha sido recientemente dado de alta médica de una operación abdominal. ¿Qué haría usted?

RETROALIMENTACIÓN:

Posibles respuestas:

- a. Informe al médico de la compañía de la cirugía.
- b. Revise otros resultados tomados por el suplente para ver si aparecen otras señales de alerta, ya que dicho suplente pudo haber olvidado verificar en qué sujetos deberían posponerse las espirometrías.
- c. Revise los criterios de selección con su suplente.

EJERCICIO 24:

Usted está entrenando a un nuevo asistente en espirometría. Él sugiere que, ya que la habitación en la cual se realizan las pruebas tiene habitualmente una temperatura de 23°C, usted podría usar siempre dicho valor para calcular el BTPS. ¿Cómo le respondería?

RETROALIMENTACIÓN:

Una posible respuesta sería que se mida a diario la temperatura de la habitación a lo largo de una semana para verificar el grado de fluctuación. Después, podría mostrarle a su asistente cómo, aún con una diferencia de pocos grados, se pueden modificar los resultados.

EJERCICIO 25:

La nueva enfermera de la unidad donde usted labora quiere probarse en el espirómetro. Después de que ella ha realizado tres maniobras aceptables y reproducibles, la computadora imprime los siguientes mejores resultados: CVF = 3.83 L. (ATPS); VEF₁ = 2.91 L (ATPS).

Ella tiene 50 años de edad, es caucásica y mide 67 pulgadas. La temperatura de la habitación era de 75°F.

- Usted decide trazar una curva para explicarle el significado de los resultados. Delinee la CVF y el VEF₁ en el papel gráfico, utilizando el eje vertical para el volumen (litros) y el eje horizontal para el tiempo (segundos).
- ¿Cuáles serían los valores esperados de la enfermera, utilizando el Apéndice L? Añada la curva pronosticada a la curva que usted ya tiene, y señale cada una de manera específica.
- Calcule el porcentaje de sus valores esperados para:

%CVF esp. _____ % VEF₁ esp. _____

RETROALIMENTACIÓN:

- CVF esp. = 3.91L. VEF₁ esp. = 3.09L.
Note que 67 pulgadas son alrededor de 170 cm, y 75°C son alrededor de 24°C.

- %CVF esp. =105.9% % VEF₁ esp. =101.6%
¿Se acordó de convertir a BTPS?

CVF (BTPS) = 4.14L. VEF₁ (BTPS) = 3.14L.

EJERCICIO 26:

La nueva enfermera lee en una revista que la espirometría por sí sola no es adecuada para un programa de vigilancia pulmonar y le pregunta si usted le puede aclarar esto. ¿Qué le diría?

RETROALIMENTACIÓN:

Refiérase a la **Unidad Dos: Revisión de la Espirometría.**

UNIDAD 10: EJERCICIOS ADICIONALES MIDIENDO EL VOLUMEN EXTRAPOLADO

De la figura 10.1 a la figura 10.9 encontramos ejercicios adicionales midiendo los volúmenes extrapolados. Determine si son volúmenes extrapolados excesivos.

RETROALIMENTACIÓN: Los volúmenes extrapolados son:

Figura 10-1 0.160 L (10.7%), excesivo

Figura 10-2 0.125 L (9.4%), menos de 0.15 L, adecuado

Figura 10-3 0.120 L (5.8%), menos de 0.15 L, adecuado

Figura 10-4 0.130 L (5.7%), menos de 0.15 L, adecuado

Figura 10-5 0.270 L (5.1%), excesivo

Figura 10-6 0.570 L (11%), excesivo

Figura 10-7 0.370 L (11.3%), excesivo

Figura 10-8 0.270 L (9.8%), excesivo

Figura 10-9 0.660 L (13.0%), excesivo

FIGURA 10-1. EJERCICIO - VOLUMEN EXTRAPOLADO

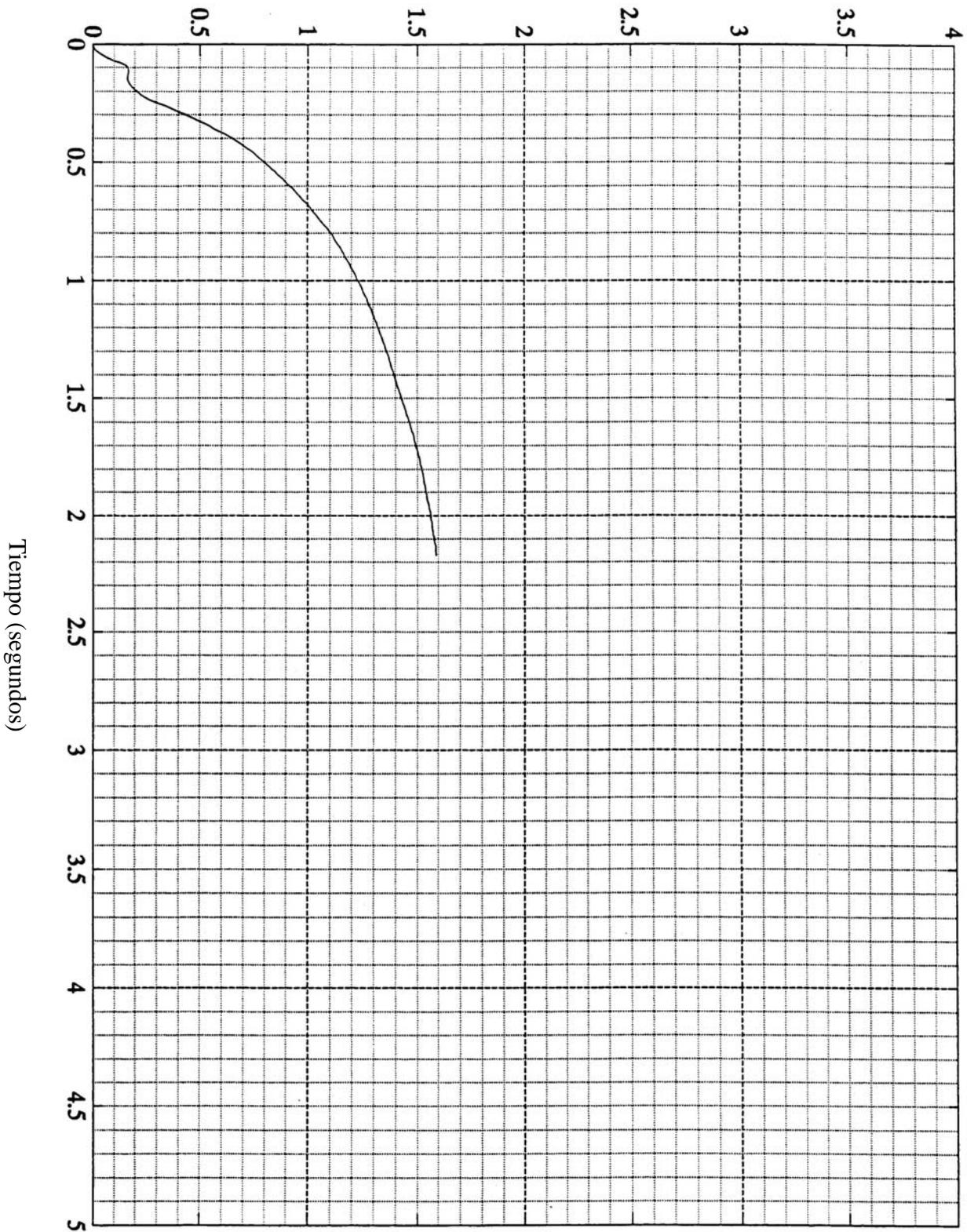


FIGURA 10-1. EJERCICIO - VOLUMEN EXTRAPOLADO

FIGURA 10-2. EJERCICIO - VOLUMEN EXTRAPOLADO FIGURA

10-2. EJERCICIO - VOLUMEN EXTRAPOLADO

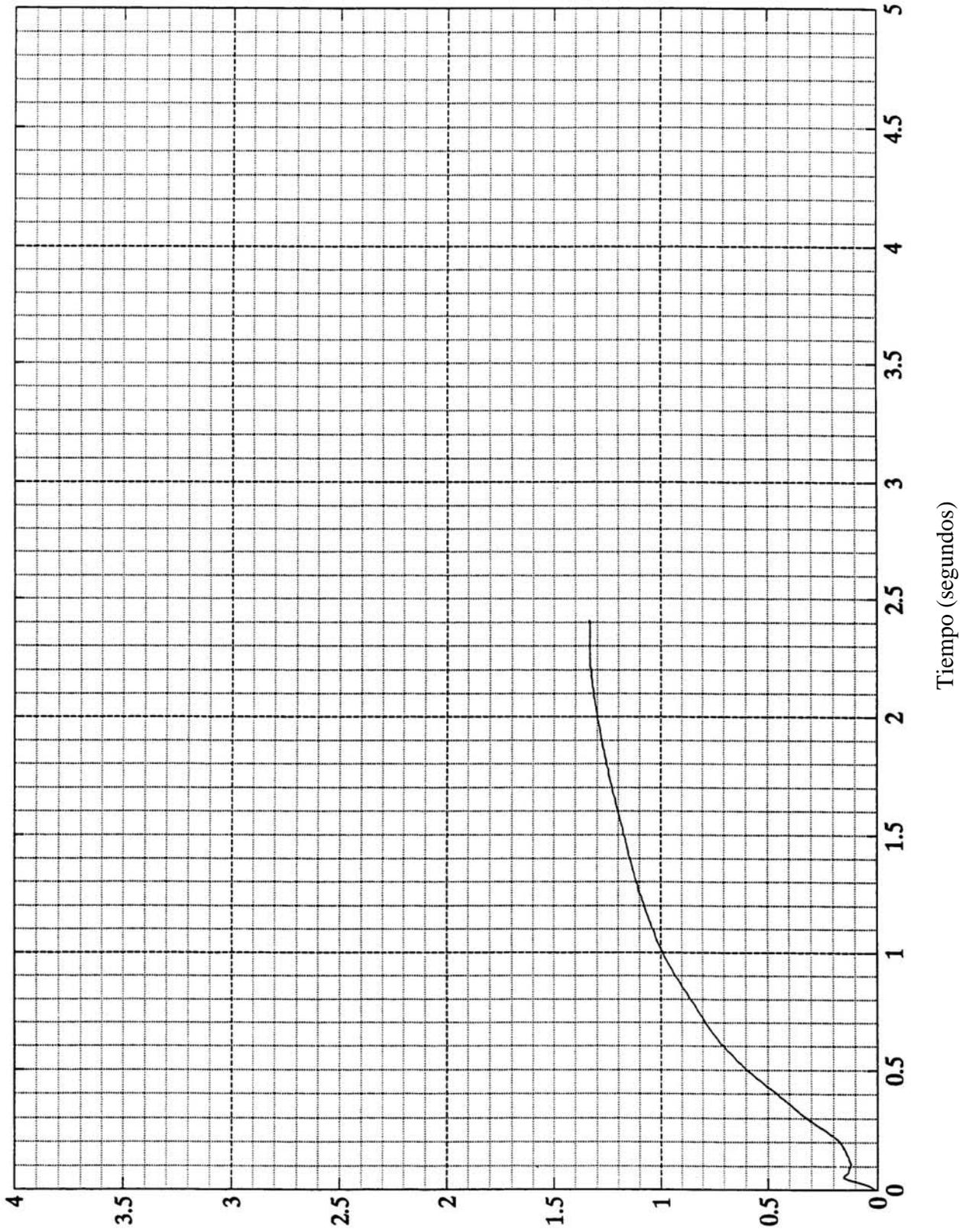


FIGURE 10-3. EJERCICIO - VOLUMEN EXTRAPOLADO

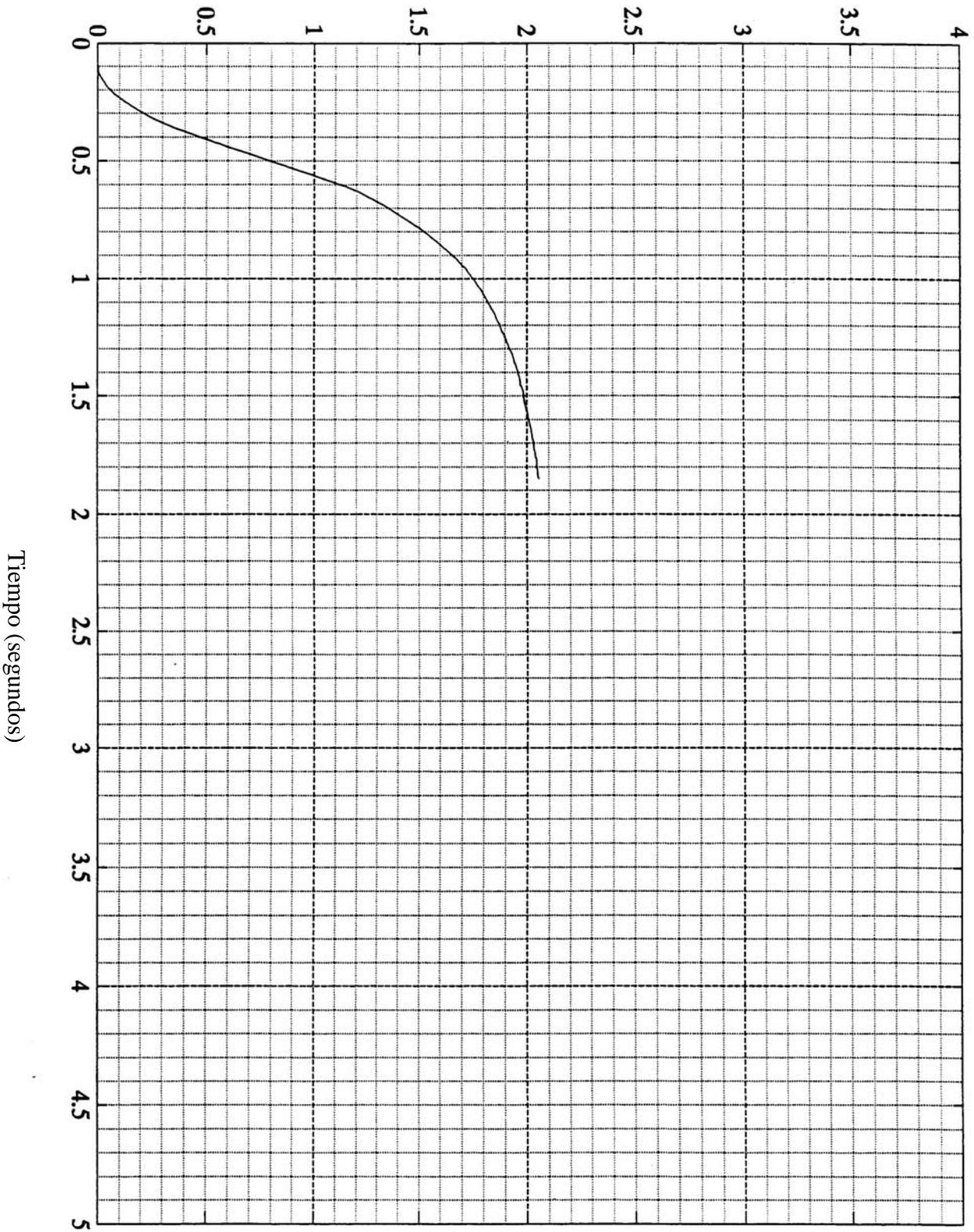


FIGURE 10-3. EJERCICIO - VOLUMEN EXTRAPOLADO

FIGURA 10-4. EJERCICIO - VOLUMEN EXTRAPOLADO

FIGURA 10-4. EJERCICIO - VOLUMEN EXTRAPOLADO)

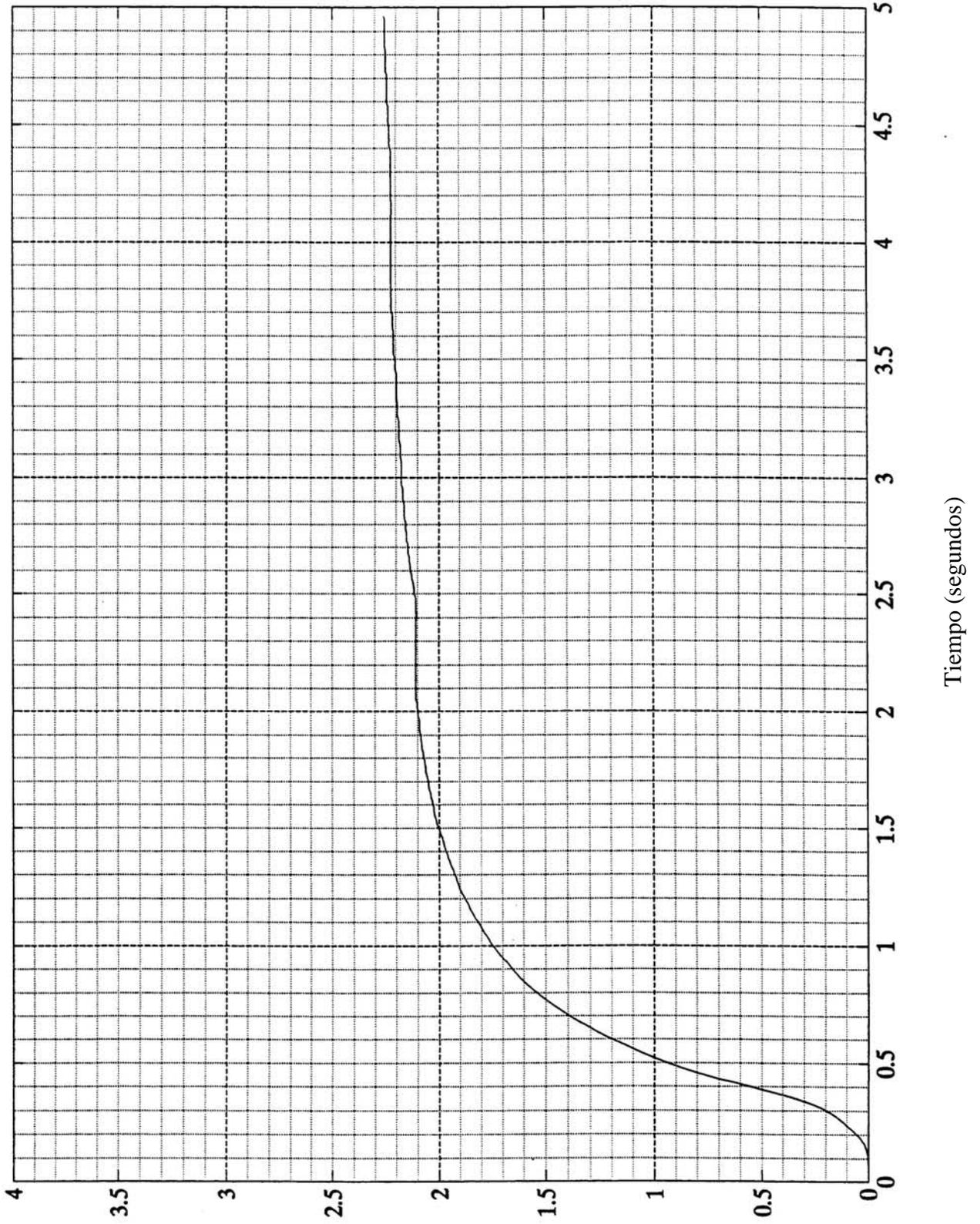


FIGURA 10-5. EJERCICIO - VOLUMEN EXTRAPOLADO

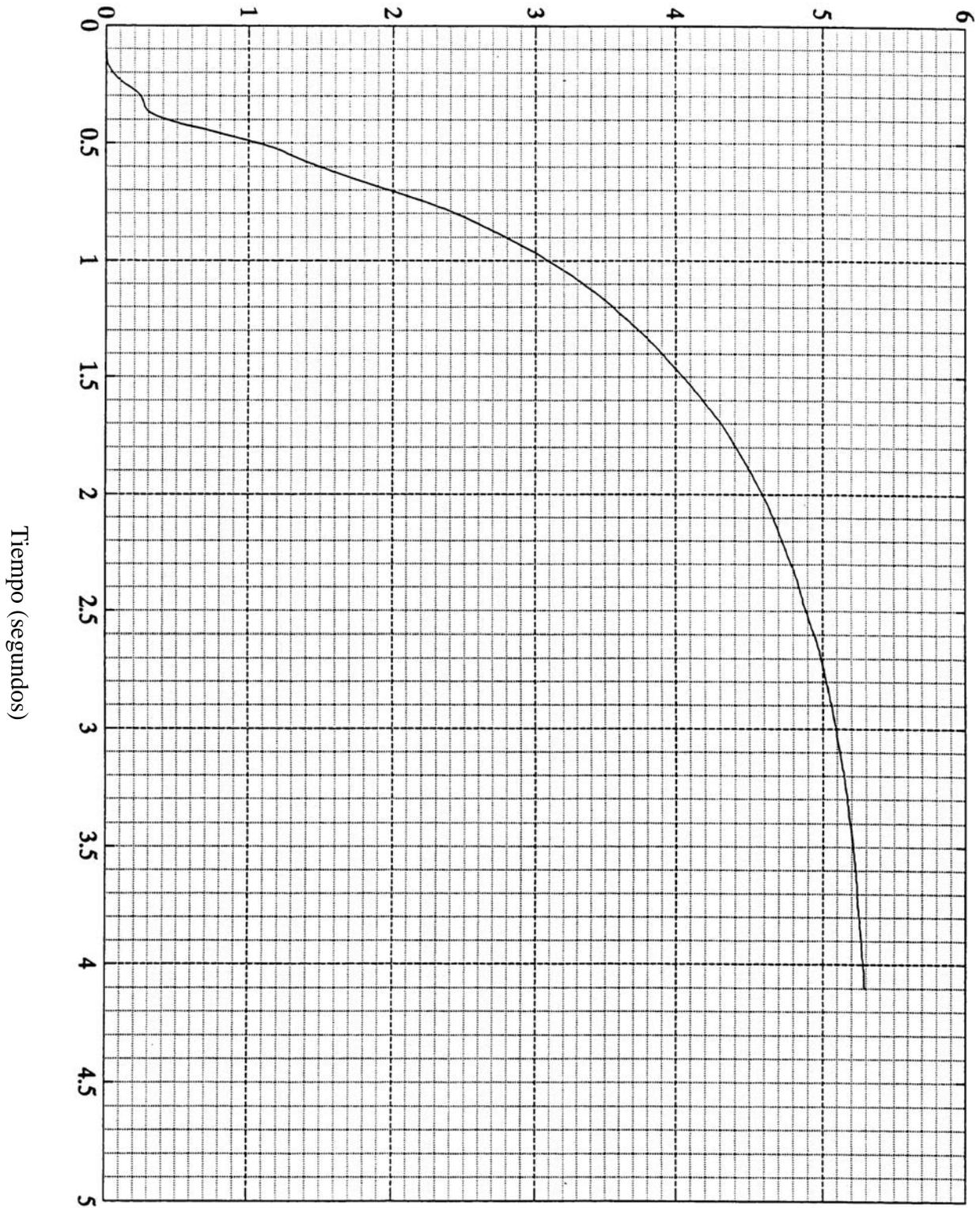


FIGURA 10-5. EJERCICIO - VOLUMEN EXTRAPOLADO

FIGURA 10-6. EJERCICIO - VOLUMEN EXTRAPOLADO

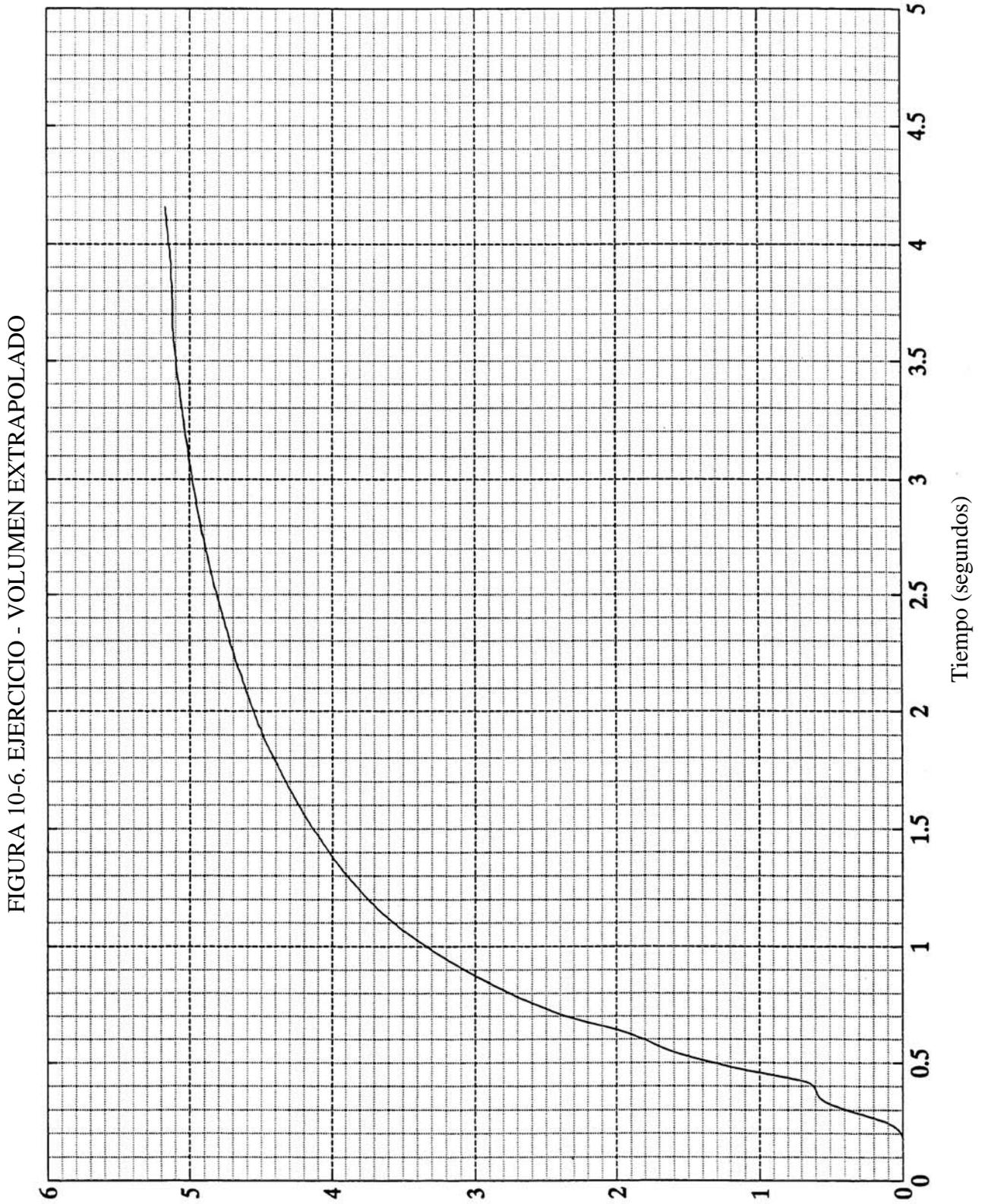


FIGURA 10-6. EJERCICIO - VOLUMEN EXTRAPOLADO

FIGURA 10-7. EJERCICIO - VOLUMEN EXTRAPOLADO

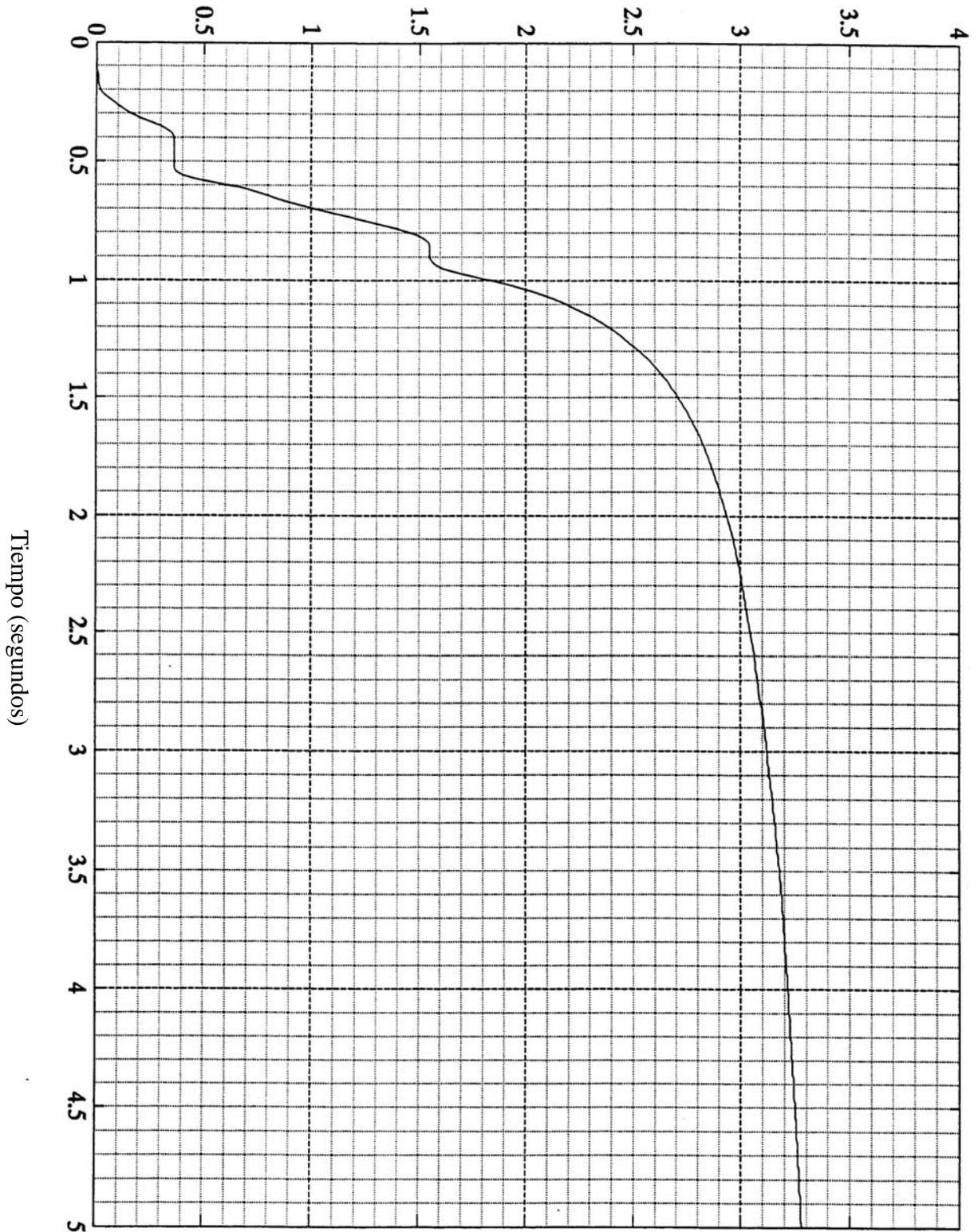


FIGURA 10-7. EJERCICIO - VOLUMEN EXTRAPOLADO

FIGURA 10-8. EJERCICIO - VOLUMEN EXTRAPOLADO

FIGURA 10-8. EJERCICIO - VOLUMEN EXTRAPOLADO

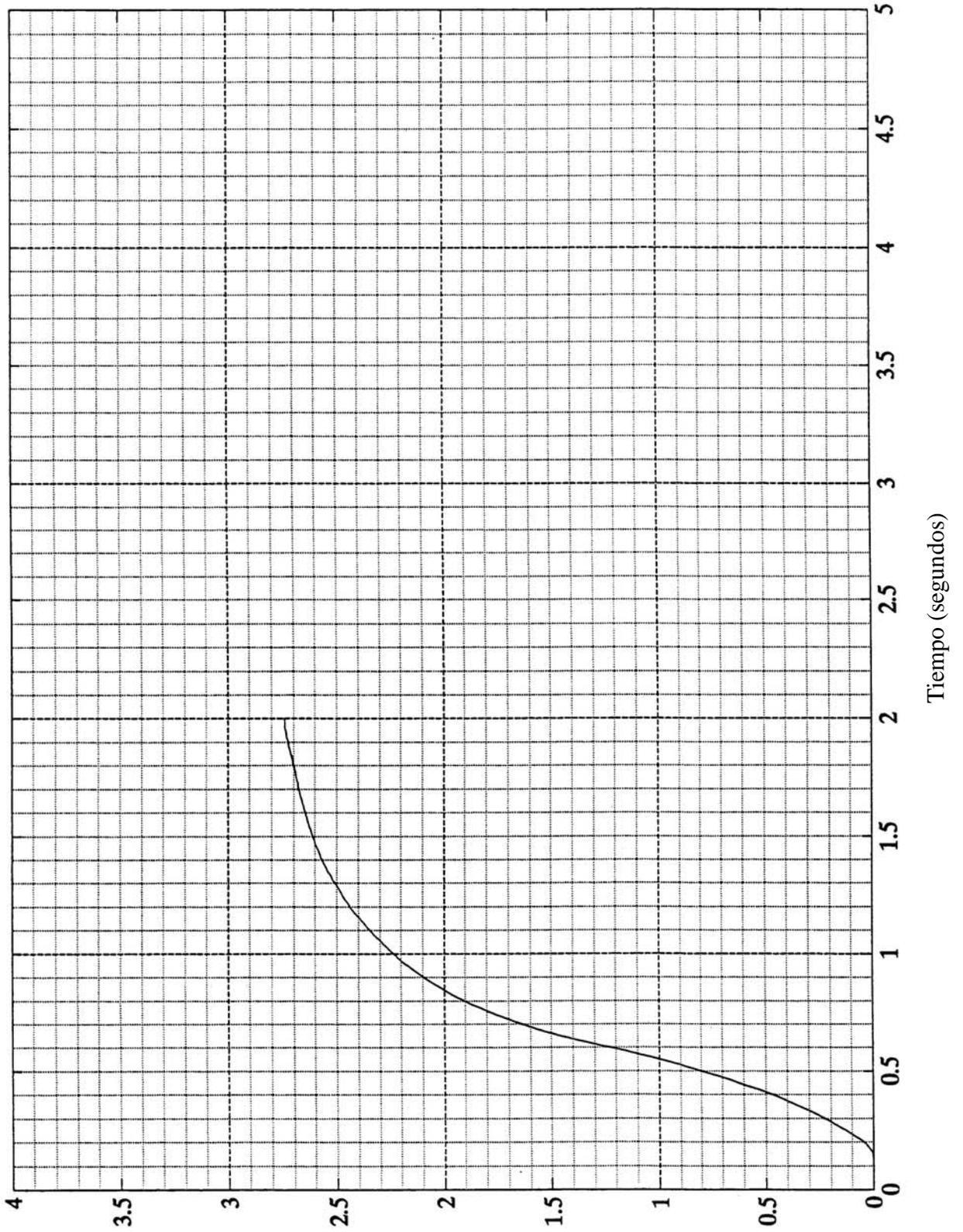


FIGURA 10-9. EJERCICIO - VOLUMEN EXTRAPOLADO

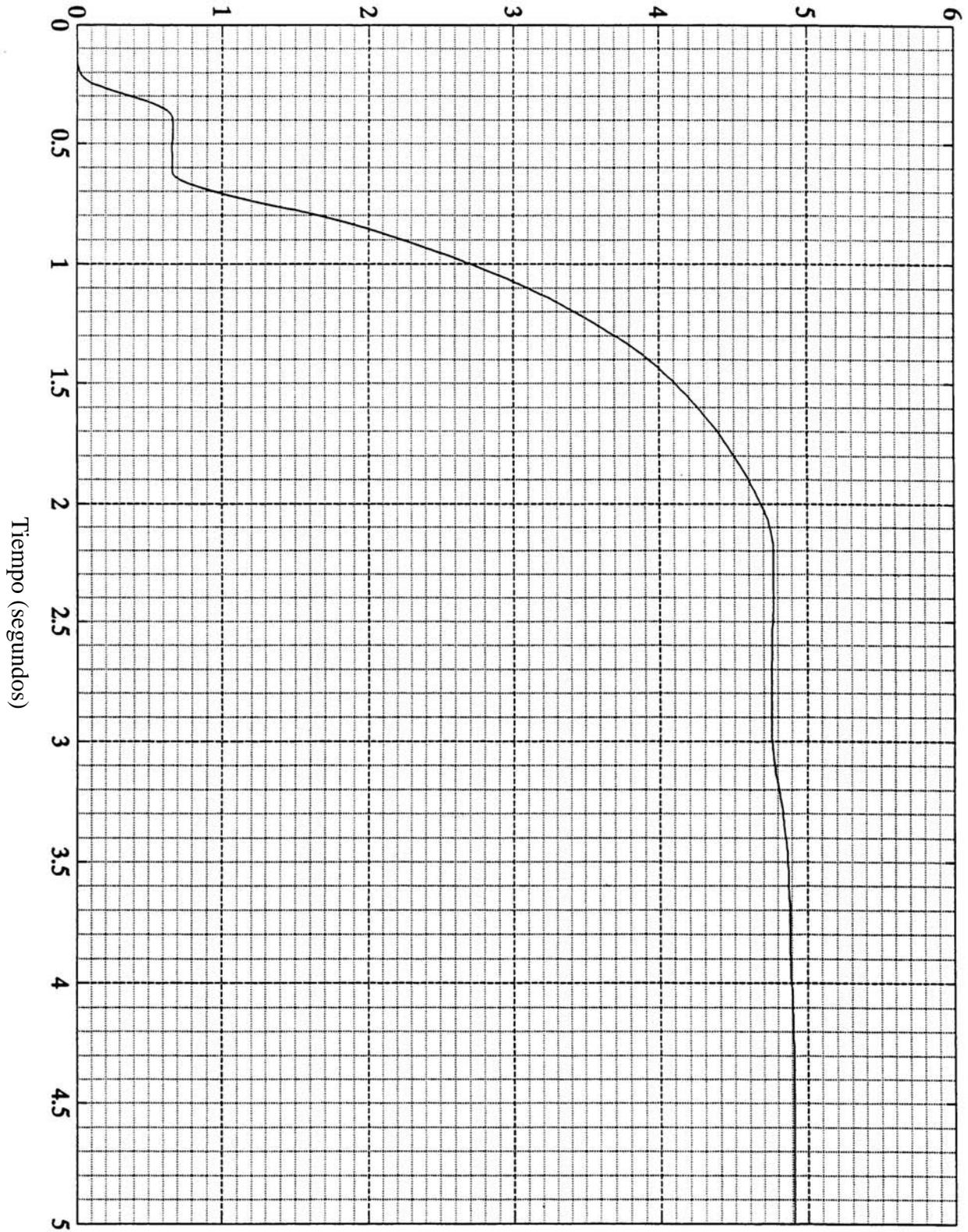


FIGURA 10-9. EJERCICIO VOLUMEN EXTRAPOLADO

APÉNDICE A: GLOSARIO DE TÉRMINOS USADOS FRECUENTEMENTE EN ESPIROMETRÍA

ATPS: Las letras son las iniciales en el idioma inglés de “temperatura ambiente y presión saturada con vapor de agua” (*Ambient Temperature and Pressure Saturated with water vapor*). Los volúmenes medidos directamente por el espirómetro basado en volumen (y sin conversión a BTPS) están en condiciones ATPS.

ATS: La Sociedad Americana de Tórax (*The American Thoracic Society*) promueve la mejoría de la espirometría mediante el uso de sus recomendaciones.

BTPS: Las letras son las iniciales en el idioma inglés de “temperatura corporal y presión saturada con vapor de agua (Body Temperature and Pressure Saturated with water vapor). Un volumen de gas se va a comprimir al enfriarlo. El volumen de gas exhalado de los pulmones a un espirómetro, se va a contraer debido a que los pulmones se encuentran más calientes que el espirómetro. De esa manera, es necesario ajustar los valores registrados con un factor de conversión BTPS, para determinar el volumen real de aire exhalado antes de sufrir una contracción. Este factor corrige el volumen de aire saturado con vapor de agua a la temperatura del cuerpo para varias temperaturas de los espirómetros.

CAPACIDAD PULMONAR TOTAL (CPT): La suma de la capacidad vital y del volumen residual.

CAPACIDAD VITAL (CV): La máxima cantidad de aire que puede ser exhalada después de de una inspiración profunda máxima. Es la suma del volumen corriente, del volumen de reserva espiratorio y del volumen de reserva inspiratorio. Puede ser medida durante la inhalación o durante la exhalación.

CAPACIDAD VITAL FORZADA (CVF): El máximo volumen de aire que puede ser exhalado de manera forzada, después de una inspiración máxima. NOTA: La capacidad vital (VC) es la cantidad de aire que puede ser exhalada por un individuo después de tomar la mayor cantidad de aire, independientemente si ese aire es exhalado de manera forzada (CVF) o lentamente (CV).

COMPLACENCIA O DISTENSIBILIDAD (COMPLIANCE): Representa la cantidad de presión necesaria para incrementar o disminuir el volumen de los pulmones. Los pulmones con enfisema tienen una distensibilidad elevada, mientras que los pulmones con enfermedad pulmonar intersticial tienen una distensibilidad baja.

CURVA FLUJO/VOLUMEN (FLOW/VOLUME LOOP): Un trazado de la velocidad del flujo (sobre las “y”, o eje vertical) contra volumen (sobre las “x”, o eje horizontal), obtenido de una maniobra espiratoria forzada después de una inhalación máxima.

ELASTICIDAD (ELASTIC RECOIL): La propiedad de los pulmones de regresar a su situación de reposo. La elasticidad natural del pulmón durante la espiración.¹

ENFERMEDADES PULMONARES OBSTRUCTIVAS: Enfermedades que reducen el flujo de los pulmones. Entre estas enfermedades se incluyen asma, bronquitis crónica y enfisema.

ENFERMEDADES PULMONARES RESTRICTIVAS: Enfermedades que reducen la capacidad de los pulmones para expandirse plenamente, pero que no necesariamente afectan el flujo de aire. La asbestosis y la silicosis, dos de las enfermedades restrictivas más frecuentes

¹ N del T la tendencia del pulmón a desinflarse.

dentro de las enfermedades ocupacionales, son causadas por el depósito de tejido fibroso en el pulmón.

ESPIROGRAMA: Un solo trazo o gráfica que registra las maniobras respiratorias. Se expresan estas gráficas como trazos volumen/tiempo o flujo/volumen, dependiendo del espirómetro usado.

ESPIROGRAMA ACEPTABLE: Una maniobra espiratoria forzada, después de una inhalación máxima, que está libre de titubeos o falsos inicios, de tos, de un final prematuro, de un esfuerzo variable o de errores de línea de base. Se deberán obtener tres maniobras aceptables antes de evaluar la variabilidad excesiva.

ESPIRÓMETRO: Un instrumento para medir los volúmenes pulmonares y las velocidades de flujo. Las dos principales clases de espirómetros comprenden los que detectan volúmenes y los que detectan flujos.

ESPIRÓMETRO DE FLUJO: Un tipo de espirómetro que mide qué tan rápido el aire se mueve hacia adentro o hacia fuera de los pulmones. Los espirómetros de flujo son habitualmente más pequeños que los espirómetros de volumen. Los ejemplos incluyen el neumotacógrafo, el anemómetro de alambre caliente y el de turbina.

ESPIRÓMETRO DE VOLUMEN: Un tipo de espirómetro que registra la cantidad de aire inhalado o exhalado dentro de cierto tiempo. Ejemplos de este tipo son los espirómetros de sello de agua, de sello seco y los instrumentos de fuelle.

ESTUDIOS LONGITUDINALES: Información obtenida del mismo individuo o grupo de individuos, a intervalos regulares, sobre un período extenso de tiempo. Los valores de las últimas pruebas son comparados con los resultados de las previas pruebas del grupo.

EXACTA: Una medición que se encuentra muy cercana al valor verdadero o que se encuentra libre de errores. En términos prácticos, una medición que se encuentra dentro de un rango predeterminado del verdadero valor de la medición.

EXTRAPOLACIÓN RETRÓGRADA (*BACK EXTRAPOLATION*): El método para determinar el tiempo cero de un espirograma, y que es particularmente importante cuando el punto exacto de inicio de la maniobra espiratoria forzada no resulta obvio. Ya que el VEF₁ se ve afectado por el punto en la gráfica que se selecciona como el inicio, se debe usar un método uniforme para determinarlo.

FACTOR DEL INSTRUMENTO: En ciertos espirómetros de sello de agua, se refiere a la constante que indica el volumen de desplazamiento por milímetro del movimiento vertical de la campana.

FEF_{25-75%}: Flujo meso-espiratorio forzado (*mid forced expiratory flow*) medido desde el punto en el cual se logra el 25% de la CVF, hasta el punto donde se alcanza el 75% de la CVF (durante el segmento medio de la CVF). Se abrevia como MMEF, MMFR o MMF.

FIN DE LA PRUEBA: El punto durante la maniobra espiratoria forzada cuando se alcanza la meseta.

LLN: El límite inferior (*lower limit of normal*) de lo normal es el valor por abajo del cual solamente 5% de la población “normal” de referencia deberá tener valores observables. El valor específico del LLN es dependiente de la población de estudio y de los métodos usados para derivar los valores de referencia. El LLN deberá estar disponible en la fuente de valores de referencia.

MANIOBRA ESPIRATORIA FORZADA: La maniobra básica y fundamental de la espirometría, y en la cual el sujeto toma aire de la manera más intensa posible, y lo expulsa a través de una boquilla tan fuerte y rápido como pueda. Se le denomina también como maniobra de capacidad vital forzada.

MEJOR CURVA: Un espirograma aceptable que tiene la suma más grande del VEF₁ y la CVF.

PRECISO: Capaz de dar resultados consistentes y reproducibles en sucesivas ocasiones. Un espirómetro que no está adecuadamente calibrado puede producir resultados precisos pero que no son exactos.

PUNTO DEL TIEMPO CERO: En la medición del VEF₁, es el punto que señala el inicio de la prueba y se obtiene usando una extrapolación retrógrada.

REPRODUCIBILIDAD: La capacidad de una prueba, de obtener el mismo resultado de un individuo cuando la prueba se repite en varias ocasiones. La reproducibilidad se determina verificando los excesos de variabilidad entre los dos valores mayores para la CVF y el VEF₁, obtenidos de tres espirogramas calificados como aceptables.

RESISTENCIA AL FLUJO DE AIRE: La facilidad con la cual el aire puede pasar a través de las vías aéreas. El número, la longitud y el diámetro de las vías aéreas, determinan la magnitud de la resistencia que existe.

SINERGISMO: Ocurre cuando el efecto combinado de dos o más sustancias es mayor que la suma de los efectos de cada sustancia.

TIEMPO ESPIRATORIO: El tiempo requerido por un sujeto para expulsar su mayor volumen (CVF). Por motivos de control de calidad, el tiempo espiratorio total es el tiempo desde el comienzo de la exhalación, hasta el final de la maniobra espiratoria del sujeto. Como regla nemotécnica, el tiempo espiratorio total deberá ser mayor de 6 segundos.

TRAZO DE TIEMPO REAL (*REAL TIME TRACING*): Un espirograma que se genera conforme se lleva a cabo la maniobra espiratoria forzada.

VALORES NORMALES ESPERADOS: Valores esperados de varios volúmenes pulmonares y velocidades de flujo, obtenidos de sujetos sanos no fumadores. Los valores están ajustados para el sexo, la edad, la talla y la raza.

VEF₁/CVF (expresado como proporción o porcentaje): Es el volumen espiratorio forzado en un segundo, expresado como porcentaje de la capacidad vital forzada. Se trata de la fracción del total que se exhala en el primer segundo. Es el índice de la velocidad del flujo aéreo espiratorio. Se calcula utilizando el VEF₁ mayor obtenido y la CVF mayor obtenida, aún cuando ambas mediciones no sean de la misma curva. Un VEF₁/CVF% disminuido se asocia con una obstrucción de la vía aérea.

VERIFICACIÓN DE LA CALIBRACIÓN: (*CALIBRATION CHECK*). Determinación periódica de la capacidad del espirómetro para realizar mediciones exactas de volumen y tiempo (y de flujo, si resulta apropiado).

VOLUMEN CORRIENTE, VOLUMEN TIDAL (*TIDAL VOLUMEN, TV*): El volumen de aire inhalado o exhalado durante una respiración tranquila y normal.

VOLUMEN DE RESERVA ESPIRATORIA (VRE). La máxima cantidad de aire exhalado de una manera forzada, después de una inspiración y una espiración normal.

VOLUMEN DE RESERVA INSPIRATORIO (VRI): La máxima cantidad de aire inhalado de manera forzada, después de una inhalación normal.

VOLUMEN ESPIRATORIO FORZADO EN UN SEGUNDO (VEF₁): El volumen de aire exhalado durante el primer segundo de la maniobra espiratoria forzada. Se le puede también considerar como el flujo promedio durante el primer segundo de la maniobra de la CVF.

VOLUMEN EXTRAPOLADO: El volumen que fue determinado por una línea perpendicular, desde el punto de tiempo cero, hasta el punto donde intercepta la curva de la CVF. El volumen extrapolado debe ser menor de 150 ml (para una CVF menor de 3 L), o menor ² de 5% (para aquellas CVF mayores de 3 L), para que el trazo se considere apropiado. Un volumen extrapolado elevado se debe a un comienzo lento o un titubeo al inicio de la maniobra.

VOLUMEN RESIDUAL (VR): La cantidad de aire que permanece en los pulmones después de una exhalación completa. Este volumen no se puede medir en una espirometría.

² N del T, el volumen espirado en el tiempo cero.

APÉNDICE B. UNA REVISIÓN SOBRE RIESGOS PULMONARES OCUPACIONALES

Tipos de riesgos pulmonares

Los contaminantes pulmonares ocupacionales se presentan de muchas formas. Algunos pueden verse, olerse o sentirse como irritantes en la nariz o la garganta. Sin embargo, otros solamente pueden detectarse con equipo especializado. La exposición a corto plazo de muchos tóxicos puede causar un daño agudo inmediato. Sin embargo, la mayoría de los contaminantes requieren de exposiciones repetidas a lo largo de meses o años para causar un daño permanente o una enfermedad. El impacto de los riesgos pulmonares se ve influenciado por la contaminación ambiental en general, por la edad, el hábito de fumar, el estado nutricional, así como otros factores menos comprendidos como los factores genéticos y el estrés.

Muchos procesos de trabajo generan varios contaminantes al mismo tiempo. Las consecuencias sobre la salud de estos riesgos pueden ser simplemente aditivas, o peor, pueden ser sinérgicas. De esa manera, es esencial conocer los materiales y procesos utilizados en un lugar de trabajo, para poder evaluar, monitorear y controlar los riesgos pulmonares potenciales. Está más allá de los objetivos de esta guía el cubrir las medidas de control para dichos riesgos. Sin embargo, hay que resaltar que la mayoría de las exposiciones ocupacionales a riesgos generados en el aire del ambiente, pueden eliminarse o reducirse en una gran medida por medio de controles de ingeniería, como es el caso del mejoramiento de la ventilación, las prácticas adecuadas de trabajo y el uso de equipos personales de protección como los respiradores adecuadamente seleccionados. Refiérase a Fundamentos de Higiene Industrial para una revisión de las medidas de control (41).

Generalmente se utilizan dos enfoques para categorizar los riesgos pulmonares ocupacionales. El primer enfoque, utiliza un punto de vista médico para clasificar los riesgos de acuerdo a su impacto en el tracto respiratorio. En esta instancia, todos los riesgos que causan efectos similares se agrupan juntos, independientemente si estos riesgos comparten o no similitudes. El segundo enfoque, utiliza un punto de vista de la higiene ocupacional, para agrupar a los riesgos de acuerdo a sus propiedades comunes y los métodos por los cuales son generados. Ambos enfoques se describen a continuación:

Riesgos clasificados de acuerdo a su impacto en el tracto respiratorio

ASFIXIANTES: Gases que disminuyen el oxígeno de los tejidos del organismo.

Asfixiantes simples: Gases inertes que fisiológicamente desplazan al oxígeno en la sangre y a altas concentraciones causan sofocación.

Ejemplos: Nitrógeno, metano, argón, neón, helio

Asfixiantes químicos: Gases que interfieren con la capacidad del organismo de utilizar oxígeno (Ej. al fijarse con la hemoglobina o al prevenir las reacciones químicas necesarias para utilizar el oxígeno en las células).

Ejemplos: Monóxido de carbono, compuestos de cianuro, arsénico

IRRITANTES: Sustancias que irritan las vías respiratorias condicionando una constricción de las vías aéreas. Pueden provocarse síntomas asmáticos, disnea, edema pulmonar o infecciones.

Ejemplos: Cloro, ácido clorhídrico, ácido fluorhídrico, amoníaco, flúor, dióxido de sulfuro, fosgeno, óxidos de nitrógeno, ozono.

PRODUCTORES DE FIBROSIS: Sustancias que causan cambios fibróticos (cicatrices) en los tejidos asociándose con enfermedades restrictivas.

Ejemplos: Asbesto, berilio, sílice, polvo de carbón, así como otros polvos orgánicos e inorgánicos.

ALERGENOS: Sustancias que inducen una respuesta alérgica caracterizada por broncoconstricción. Esto puede ocurrir, inclusive, si en exposiciones previas no se han producido efectos adversos.

Ejemplos: Isocianatos, esporas de hongos, formaldehído, caspa animal.

CARCINÓGENOS: Sustancias que pueden causar cáncer.

Ejemplos: Asbesto, humo de cigarrillo, cromo, uranio, arsénico, emisiones de hornos de coque.

Riesgos clasificados de acuerdo a sus propiedades

Aunque algunos contaminantes pueden no afectar de manera adversa al pulmón, es a través de él que se puede entrar al torrente sanguíneo y dañar otros órganos, o alterar la capacidad de transporte del oxígeno. Estos tipos de efectos sobre la salud no son detectables a través de una espirometría. Sin embargo, los riesgos que producen estos efectos se incluyen, para mostrar la manera en la cual los contaminantes respirables pueden producir daño al organismo.

La información presentada abajo se adaptó de una Introducción a las Enfermedades Pulmonares Ocupacionales (44).

POLVOS

Polvos minerales: Polvos y fibras minerales formados a partir de piedras, rocas y pozos. Como ejemplos se incluyen el asbesto, los cristales de sílice y el polvo del carbón.

Fuentes: Labores de minería, construcción de túneles, explosiones, fundiciones, molindas y trabajos en molinos, etc.

Efectos en la salud: La mayoría son inertes y no se descomponen o se disuelven fácilmente. Se acumulan en el pulmón una vez que han saturado los mecanismos de depuración propios del pulmón. Pueden conducir a neumoconiosis, bronquitis crónica, enfisema, complicaciones cardíacas y, asimismo, pueden iniciar otros procesos como fibrosis o cáncer. Se asocian con la clase de enfermedades pulmonares ocupacionales fibróticas llamadas neumoconiosis.

Polvos orgánicos: Son polvos que se forman a partir de material vivo u orgánico (vgr. microorganismos, plantas y animales) o productos naturales como la lana o el cuero.

Fuentes: Productos de las plantas (vgr. algodón, madera, granos de cereal, especias, granos de café, etc.): labores de sembradío, de cosecha, almacenamiento, transporte o procesamiento (molindas, corte de fibras, hilado etc). Manejo de animales: excretas, pelambres, plumas, etc.

Efectos en la salud: Habitualmente no se acumulan, pero sí se disuelven o se fragmentan. Pueden causar reacciones de hipersensibilidad como el asma ocupacional, la bisinosis (por algodón) o neumonitis por hipersensibilidad. Pueden conducir a una enfermedad pulmonar obstructiva permanente, o a una fibrosis pulmonar difusa. Ciertos polvos de madera se han asociado también con cáncer.

Polvos químicos: Agentes químicos sintéticos que vienen en forma de polvo (vgr. pesticidas, agentes farmacéuticos, colorantes, agentes blanqueadores, detergentes, pinturas, etc).

Fuentes: Durante su proceso de manufactura, secado o empaquetamiento; durante su preparación para usarlos, aplicarlos, secarlos, o como resultado de su contacto con el ambiente, como es el caso de pinturas en las paredes exteriores, etc.

Efectos en la salud: Va a depender de las propiedades tóxicas de los químicos específicos. Algunos de ellos son irritantes o alérgicos, otros tienen un efecto cáustico y pueden causar quemaduras químicas. Algunos son tóxicos para las células y los tejidos. Algunos penetran al cuerpo a través del pulmón y pueden causar cáncer del pulmón o de otros sitios del cuerpo.

HUMOS: Partículas sólidas muy pequeñas que se forman cuando vapores calientes (habitualmente a partir de metales o polímeros) se enfrían rápidamente y se condensan. Al mismo tiempo se pueden desprender gases tóxicos. En los pulmones, los humos actúan como los polvos de material muy fino.

Fuentes: Procesos de calentamiento a temperaturas muy elevadas (Ej. Soldaduras, fundiciones, trabajos en calderas).

Efectos en la salud: Es difícil evaluar el impacto de los materiales en forma individual ya que generalmente se presentan varios riesgos al mismo tiempo. Pueden generar fiebre por humo de metales o polímeros, enfisema y cáncer pulmonar.

NOTA: el humo no se suele clasificar aparte ya que es una mezcla de gases y partículas sólidas.

NIEBLAS Y AEROSOLES: Gotas líquidas suspendidas en el aire o en otro gas disipador o propelente.

Fuentes: Utilizados ampliamente en la industria, específicamente para aplicar sustancias en superficies difíciles de alcanzar o sustancias que pueden dañar la piel si se aplican con la mano (Ej. productos de limpieza, pesticidas, pinturas, productos cosméticos, removedores de material oxidado, etc. También productos generados por otros procesos como los aceites lubricantes en las maquinarias).

Efectos en la salud: Mientras más fino es el aerosol, más profunda es la penetración en los pulmones. Los efectos dependen del material que se está dispersando, la concentración y la temperatura. Los efectos pueden ir desde quemaduras químicas en los pulmones, hasta varias formas de cáncer.

GASES: Fluídos que se expanden llenando el espacio que los contiene. Pueden

desplazarse rápidamente desde el punto donde se originan. Muchos de ellos son altamente inflamables o explosivos al mezclarlos con aire, y también pueden ser química y fisiológicamente reactivos. Algunos de ellos son transparentes y sin olor.

Fuentes: Reacciones químicas naturales (Ej. metano de zonas carboníferas, óxidos de nitrógeno de silos de fermentación, sulfuro de hidrógeno y de metano a partir de trabajos en el tratamiento de aguas negras).
Reacciones químicas artificiales (Ej. a partir de procesos industriales, ozono de la contaminación, así como interacción de productos de limpieza como el amoníaco y los blanqueadores a base de cloro). En el medio industrial, se pueden emitir gases durante los procesos de manufactura, manipulación o transporte de los mismos si no se toman medidas de protección. También se pueden producir gases durante procesos de calentamiento a altas temperaturas (Ej. soldaduras, fundiciones, calderas, secado de hornos, quemaduras, o la combustión accidental de ciertos materiales sintéticos).

Efectos en la salud: Los gases fisiológicamente inertes (Ej. metano y nitrógeno) pueden causar sofocación al desplazar al oxígeno (asfixiantes simples). Otros interfieren con la utilización del oxígeno (Ej. monóxido de carbono y cianuro) (asfixiantes fisiológicos).

Gases que son inmediatamente irritantes (Ej. amoníaco, bromo, dióxido de sulfuro, cloro). Una exposición intensa, de manera súbita, a este tipo de gases, puede causar una severa irritación que queme los pulmones o cierre la traquea. La exposición a bajos niveles puede causar constricción de las vías aéreas y agravar enfermedades pulmonares preexistentes.

Gases que no son inmediatamente irritantes (Ej. fosgeno y óxidos de nitrógeno): Estos gases penetran de una manera profunda en los pulmones causando edema pulmonar y otras complicaciones serias, sin producir sintomatología del tracto respiratorio superior.

Gases carcinogénicos (Ej. gases radioactivos, carbonilo de níquel, cloruro de vinilo). Los cánceres generados por estos gases toman habitualmente varios años para desarrollarse y puede ser difícil rastrear la causa exacta. El cáncer puede estar ubicado fuera del pulmón.

VAPORES: El término técnico para denominar a la forma gaseosa de un líquido que siempre se encuentra sobre la forma líquida. Va a ocurrir un mayor grado de vaporización conforme la temperatura del líquido alcance su punto de ebullición. Los vapores afectan el pulmón de manera similar a los gases. La principal diferencia entre los vapores y los gases es que los vapores se encuentran siempre sobre los líquidos de donde se forman,

mientras que los gases no se encuentran siempre asociados con formas líquidas.

Fuentes: Sustancias inorgánicas: La mayoría de ellas tienen puntos de ebullición muy altos y no se evaporan a temperatura ambiente. Habitualmente no se asocian con enfermedad pulmonar. Vapores orgánicos: Muchos de ellos se evaporan a temperatura ambiente. Habitualmente se les utiliza como solventes (cetonas, hidrocarburos aromáticos, alcoholes, acetatos).

Efectos en la salud: Muchos vapores orgánicos penetran al organismo a través de los pulmones. Aunque los pulmones no se dañan, puede ocurrir daño excesivo en otros órganos como es el caso de lesión cerebral y del sistema nervioso central, edema pulmonar, y traqueobronquitis (mercurio y compuestos relacionados). Reacciones de hipersensibilidad (cloruro de polivinilo), cáncer (benceno y compuestos relacionados).

RADIACIÓN: Las radiaciones no ionizantes incluyen las ondas electromagnéticas (Ej. infrarrojas, ultravioleta, microondas, láser, radar y de radiofrecuencia). La radiación ionizante incluye a los rayos alfa, beta y gamma, partículas de neutrones y rayos-X.

Fuentes: Minería en pozos radioactivos. Se usan también en medicina, material de guerra, plantas de energía, en la industria (Ej. equipos eléctricos de alta energía, láser, microondas y radares).

Efectos en la salud: Las ondas electromagnéticas no parecen lesionar al pulmón a menos de que la energía sea suficiente como para causar quemaduras térmicas. Sin embargo, pueden causar daños en los ojos. Las radiaciones ionizantes dañan los tejidos humanos y pueden conducir a varias formas de cáncer, incluyendo cáncer de pulmón.

RIESGOS BIOLÓGICOS: Bacterias, virus, hongos, rickettsias, clamidias y parásitos.

Fuentes: Instituciones de salud, asilos y guarderías, sistemas de ventilación con un mal mantenimiento, laboratorios de investigación biomédica, sitios de crianza de animales y procesamiento de sus productos.

Efectos en la salud: Dependen del tipo de riesgo. Pueden ir desde alergias menores e infecciones respiratorias, hasta enfermedades fatales del sistema nervioso central y cánceres. En algunos casos se disponen de vacunas.

APÉNDICE C. REVISIÓN DE LA ENFERMEDAD PULMONAR OCUPACIONAL

A. Algunas de las enfermedades pulmonares que muestran un patrón obstructivo

Asma ocupacional

El asma ocupacional está causada por la exposición repetida a ciertos contaminantes del aire ambiental, los cuales traen como resultado una sensibilización, conduciendo a una respuesta alérgica crónica. En las exposiciones subsecuentes, el músculo liso de los conductos respiratorios va a generar un espasmo y oclusión de las vías aéreas. También se produce un moco excesivo, que viene a agravar más el problema al producir taponamientos en las vías aéreas. Los síntomas más frecuentes son la tos, las sibilancias y la disnea. Una gran variedad de agentes sensibilizantes puede inducir los ataques. Estos pueden ocurrir en personas que son esencialmente normales y que quedan sensibilizadas, o en individuos con historia previa de alergias o de asma durante la infancia. (Ciertos agentes como los disocianatos son irritantes y sensibilizadores de tal potencia, que causan reacciones respiratorias en la mayoría de los individuos.) Los trabajadores pueden, en ocasiones, relacionar sus síntomas asmáticos a una exposición específica, o al menos a una zona específica de su sitio de trabajo. En muchos casos, sin embargo, los síntomas comienzan después del turno laboral y ceden para la mañana siguiente.

Síndrome de disfunción de vías aéreas reactivas –SDVAR (*Reactive Airways Dysfunction Syndrome - RADS*)

El Síndrome de disfunción de vías aéreas reactivas se parece al asma, pero se debe a más de un irritante que a un estímulo alérgico. Los individuos con SDVAR van a sentir una obstrucción al flujo del aire a niveles de exposición mucho más bajos de los que producirían una respuesta en un individuo no afectado.

Un caso particular de SDVAR lo constituye una respuesta exagerada al aire frío. Se sabe que en los asmáticos pueden iniciarse sus ataques por este aire frío. Otros sujetos sin historia conocida de asma, pueden desarrollar broncoconstricción y dificultad respiratoria al exponerse al aire frío, ya sea en el trabajo o durante el ejercicio. Al retirarse de la exposición, los síntomas ceden, generalmente en el transcurso de 1 a 2 horas.

Enfisema

La exposición crónica a sustancias irritantes, fundamentalmente al cigarrillo, puede causar enfisema. Estas exposiciones llevan a la destrucción de la elasticidad de los bronquios más pequeños. Cuando la presión en el tórax comienza a incrementarse con el inicio de la exhalación, estos bronquios se pueden colapsar, atrapando el aire adentro. Como resultado, los sacos de aire permanecen parcialmente expandidos. La disnea es un problema permanente y el intento de respirar más rápido o más profundamente, provoca solamente que mayor cantidad de aire quede atrapado adentro. Frecuentemente los pulmones quedan distendidos, generando la configuración del cuerpo de un “tórax en tonel”. La enfermedad es progresiva y el daño al corazón es una complicación frecuente.

Bronquitis crónica

La bronquitis crónica es causada por infecciones a repetición o por la exposición a irritantes como los humos y los polvos (incluyendo polvo de madera y fibras minerales), aerosoles de aceite, gases como el ozono y el dióxido de nitrógeno, el humo de cigarrillo y la exposición al fuego (como en la profesión de bombero). Hay inflamación, edema y un aumento en la producción de moco, predisponiendo a la infección crónica bacteriana en las vías aéreas pequeñas taponadas con moco. Los síntomas incluyen la disnea y una tos persistente y productiva.

B. Algunas de las enfermedades pulmonares que muestran un patrón restrictivo

Neumoconiosis

Las tres principales clases de neumoconiosis en los Estados Unidos son la asbestosis, la silicosis y la neumoconiosis de los trabajadores del carbón (Enfermedad de los pulmones negros). Las neumoconiosis son unas de las enfermedades ocupacionales pulmonares mejor conocidas, sin embargo, durante mucho tiempo, en las cortes judiciales, se dudó de su existencia y se rehusaban a considerarlas como enfermedades sujetas a indemnización. Las principales causas de neumoconiosis son polvos inorgánicos y fibras, con partículas menores de 5 micras. A las partículas de ese tamaño se les denomina “partículas respirables”. Ya que estas partículas son invisibles, es posible estar expuesto sin saberlo. Sin embargo, muchas de las exposiciones más intensas se acompañaban de partículas de tamaño mayor, lo que daba una imagen de “polvo” en aire del ambiente de estas industrias.

La patología del pulmón es la de una fibrosis, esto es, un depósito de tejido fibroso entre los alvéolos, lo cual interfiere con la expansión normal del pulmón. La fibrosis puede tomar dos formas: nodular y localizada alrededor de los bronquios (peribronquial) (caso típico de la silicosis), o intersticial (entre los alvéolos) y difusa (caso típico de la asbestosis). Con una exposición continua, la fibrosis aumenta, conduciendo a disnea, tos persistente, y, en estadíos avanzados, a insuficiencia cardíaca. Las neumoconiosis son prácticamente siempre enfermedades de origen ocupacional y son objeto de indemnización.

Neumonitis por hipersensibilidad

La neumonitis por hipersensibilidad se denomina también como alveolitis alérgica extrínseca. La enfermedad ocurre principalmente en los alvéolos y en los bronquiolos terminales, en respuesta a polvos orgánicos asociados con profesiones específicas. En algunos casos el agente detonante es un hongo, como en el caso del pulmón del granjero (Farmer lung disease) y la bagasosis. En otros casos se trata de proteínas de origen animal (como en el caso de los criadores de pájaros o la enfermedad de los peleteros) o proteínas vegetales (como la neumopatía de los cafetaleros). Estos trabajadores desarrollan una enfermedad aguda con tos, disnea, habitualmente sin sibilancias, pero sí acompañada de fiebre y escalofríos. En su primera aparición se pueden confundir con un cuadro de influenza o un cuadro gripal. Una vez que los trabajadores han quedado sensibilizados, pueden responder a dosis muy pequeñas de alérgenos. El líquido se acumula en los alvéolos interfiriendo con la capacidad de difusión del oxígeno. La finalización de la exposición va a permitir que se resuelva la fase aguda a lo largo de un período de 1-2 semanas. Sin embargo, las exposiciones recurrentes pueden producir una enfermedad crónica con fibrosis intersticial y disnea severa.

Enfermedad granulomatosa

Los granulomas son respuestas inflamatorias que ocurren como reacción a las infecciones (Ej. tuberculosis) o a las toxinas. Hay un desplazamiento de grandes células inflamatorias que comienzan a acumularse alrededor del punto de exposición. Más tarde, hay migración de tejido fibroso que va a rodear el sitio, produciendo una masa globular que se puede observar bajo el microscopio. La beriliosis es el mejor ejemplo de enfermedad pulmonar ocupacional de esta clase.

Otras condiciones de salud

Varias condiciones preexistentes pueden causar patrones restrictivos. Estos incluyen el embarazo, la obesidad, ciertas anomalías anatómicas, así como la cirugía torácica y abdominal. Aunque estas condiciones no son inducidas de una manera ocupacional, se les menciona debido a que su impacto se debe tomar en cuenta al revisar los resultados de las espirometrías.

C. Algunas de las enfermedades pulmonares que muestran patrones obstructivos o restrictivos

Neumonías

Las neumonías pueden tener un efecto restrictivo debido a la acumulación de líquido y células inflamatorias en los alvéolos (semejante a una alveolitis), o un efecto obstructivo debido a la acumulación de células alrededor de los bronquios (neumonía bronquial). Las neumonías pueden aparecer como parte de un proceso tóxico, o más frecuentemente, debido a una infección. La enfermedad ocupacional de origen infeccioso ocurre fundamentalmente en trabajadores de la salud, empleados de asilos y guarderías, y en personas que trabajan con animales. Los agentes causantes pueden ser bacterias, virus, hongos y otros microorganismos. En muchos casos estas enfermedades se acompañan de fiebre y escalofríos.

Neumoconiosis

Aunque las neumoconiosis son primariamente enfermedades restrictivas, en los casos avanzados el tejido fibroso puede extenderse hasta el árbol traqueobronquial causando también síntomas obstructivos.

Cáncer pulmonar ocupacional

El cáncer pulmonar se caracteriza por una masa creciente de células que prolifera de manera no controlada. El hábito de fumar es la causa más importante y tiene un efecto sinergista con algunos otros carcinógenos ocupacionales. Algunos estudios epidemiológicos han mostrado tasas más frecuentes de cáncer pulmonar en individuos expuestos de manera repetida a: bis-clorometil éter, alquitrán de hulla, volátiles de alquitrán, gas mostaza, arsénico, asbesto, radio, petróleo, cromatos, y uranio. El cáncer pulmonar es particularmente insidioso, ya que es frecuente que los síntomas no aparezcan hasta en una etapa muy tardía para cualquier intervención médica. Dependiendo de dónde es que vaya a crecer el tumor(es), en las etapas tardías puede causar patrones obstructivo o restrictivo.

APÉNDICE D. PROGRAMAS DE VIGILANCIA RESPIRATORIA

Los ambientes laborales donde los trabajadores están expuestos de manera potencial a riesgos pulmonares, deberán tener un programa de vigilancia respiratoria. Aunque las enfermedades pulmonares no son las enfermedades ocupacionales más frecuentes, frecuentemente resultan significativas debido a su severidad. El gasto humano y económico debido al asma ocupacional, las neumoconiosis (asbestosis, enfermedad de los pulmones negros, silicosis, etc.) y el cáncer pulmonar ocupacional son muy grandes. Estas enfermedades son causas significativas de morbilidad, incapacidad, retiro prematuro y muerte. Aún más, estas enfermedades son del todo prevenibles una vez que se reconocen sus causas. De esa manera, el reconocimiento de los riesgos asociados con la enfermedad pulmonar ocupacional debe tener una alta prioridad.

De manera idónea un programa de vigilancia respiratoria tiene cuatro objetivos primarios:

1. Reducir el sufrimiento humano y el impacto económico de la enfermedad ocupacional. La prevención como la detección temprana y el tratamiento son menos costosos tanto para la compañía como para la sociedad, que la productividad reducida, las indemnizaciones al trabajador, los litigios, las primas de seguro más caras y los gastos médicos.
2. Detectar las enfermedades pulmonares ocupacionales y no ocupacionales en sus etapas más tempranas es decir cuando hay mayor probabilidad de disminución a la exposición. Por ejemplo, la detección temprana y la remoción de alérgenos presentes, reduce la posibilidad de un daño permanente para los individuos con asma ocupacional.
3. Identificar condiciones de trabajo riesgosas para que de esa manera se lleven a cabo las modificaciones de higiene industrial. De manera ideal esto no debería ser necesario. Sin embargo, la salud ocupacional no es una ciencia exacta. Conforme se aprende cada día más acerca de la relación entre las exposiciones y la enfermedad, se puede encontrar que los estándares de protección resulten ya anticuados. Además, algunos individuos desarrollan enfermedad pulmonar ocupacional con niveles de exposición por debajo de aquéllos considerados seguros.
4. Establecer como parámetro de referencia la situación actual del funcionamiento respiratorio de los nuevos empleados e identificar daños pulmonares preexistentes en los candidatos para el trabajo, de manera que se les pueda ubicar en puestos donde no se ponga en riesgo su salud. Por ejemplo, un puesto de trabajo que requiere el uso de un respirador, puede no ser lo más apropiado para alguien con enfisema (45).

La espirometría juega un papel importante en el programa de vigilancia respiratoria. La espirometría es portátil, segura tanto para el sujeto como para el técnico, no invasiva, barata y reproducible. Con un personal capacitado y con experiencia, resulta también relativamente fácil de realizar. Sin embargo, como se discutió ya anteriormente, los resultados de las pruebas espirométricas deben ser evaluados dentro del contexto de otra información médica para superar sus limitaciones. Los programas de vigilancia respiratoria deberán contener al menos los siguientes elementos programados de manera regular:

1. Una historia clínica detallada, haciendo énfasis en el hábito de fumar, enfermedades pulmonares previas así como síntomas respiratorios actuales.
2. Una detallada revisión de los antecedentes laborales, haciendo énfasis en potenciales exposiciones ocupacionales a riesgos pulmonares y en el uso de respiradores. Se deberán también investigar las potenciales exposiciones relacionadas con los pasatiempos y los empleos de medio tiempo.
3. Una exploración física completa, haciendo énfasis en la exploración torácica.
4. Radiografías de tórax (Rayos-X) cuando estén justificadas. Es importante interconsultar con radiólogos que tengan un adiestramiento especializado en los datos radiológicos de las enfermedades ocupacionales, como es el caso de los intérpretes tipo B (B-readers). Se trata de médicos adiestrados y certificados por NIOSH para interpretar radiografías de tórax, con la finalidad de detectar evidencias de neumoconiosis.
5. Espirometría.

Un programa de vigilancia respiratoria debe interactuar con un programa de higiene industrial que sea capaz de identificar y controlar riesgos pulmonares potenciales, que pueda supervisar el entrenamiento con respiradores y realizar actividades de evaluación.

La frecuencia con la cual se debe usar la espirometría para monitorizar a los trabajadores va a depender de los niveles de exposición y de la severidad del daño potencial. Sin embargo, al igual que con cualquier otro estudio médico, uno debe tener una razón justificable para realizar la espirometría, así como lineamientos para interpretar las pruebas y decidir sobre los resultados.

La vigilancia médica, por sí misma, debe usarse de manera conjunta con un monitoreo ambiental y un control de ingeniería para limitar, en la medida de lo posible, la magnitud de la exposición. En este contexto, la vigilancia médica es en realidad un procedimiento de control de calidad, diseñado para detectar si la exposición excesiva está ocurriendo a pesar de las medidas de control establecidas en el puesto.

Una vez que se han descartado factores técnicos para explicar un descenso en los valores de la función pulmonar, si se detectan anomalías o si se detecta una reducción de la función pulmonar, comparada con estudios previos, se deberá hacer un esfuerzo para identificar la causa. Si la causa es una exposición en el sitio de trabajo, se deberán tomar las medidas necesarias para reducir la exposición y prevenir mayor daño a los pulmones de la persona. No resulta ético utilizar la espirometría para detectar a trabajadores con lesión pulmonar ocupacional, sin complementar esto con medidas para reducir la exposición, o si la información es utilizada como motivo de despido.

APÉNDICE E. EL ESTÁNDAR DEL “COTTON DUST” DE LA OSHA

Apéndice D de 29CFR1910.43 Estándares del funcionamiento pulmonar para los estándares del Cotton Dust

Las mediciones espirométricas de la función pulmonar deberán cumplir con los mínimos estándares descritos a continuación. Estos requisitos no impiden que se lleven a cabo estudios adicionales o métodos alternativos que puedan considerarse superiores.

I. Aparato.

- a. El instrumento deberá tener una exactitud entre ± 50 ml o dentro del $\pm 3\%$ de la lectura, cualquiera que resulte mayor de estos dos valores.
- b. El instrumento deberá ser capaz de medir la capacidad vital de 0 a 7 litros BTPS.
- c. El instrumento deberá tener una baja inercia y ofrecer poca resistencia al flujo de aire, de una manera en que dicha resistencia al flujo de aire de 12 litros por segundo, sea menor que 1.5 cm H₂O/ (litros/segundo).
- d. Para los propósitos de medir el tiempo del VEF₁, el punto cero deberá ser determinado al extrapolar, de manera retrógrada, la mayor pendiente de la curva volumen-tiempo, hasta el máximo volumen inspiratorio (1, 2, 3, 4), o por un método equivalente.
- e. Los instrumentos que incorporen mediciones del flujo aéreo para determinar el volumen, deberán ajustarse al mismo grado de exactitud de volumen que se señala en el inciso (a) de esta sección, cuando el rango de flujo sea de 0 a 12 litros por segundo.
- f. El instrumento, o el operador del instrumento, deberán tener los medios para corregir los valores de los volúmenes a la temperatura del cuerpo saturada con vapor de agua (BTPS), bajo aquellas condiciones donde las temperaturas ambientes del espirómetro y las presiones barométricas sean variables.
- g. El instrumento utilizado deberá generar un trazo impreso, o en pantalla, de las relaciones flujo versus volumen, o del volumen versus tiempo durante toda la maniobra espiratoria forzada. Este trazo, o su imagen, son necesarios para determinar si el paciente ha ejecutado la prueba de manera adecuada. El trazo debe poder ser almacenado y estar disponible para revisiones; asimismo, deberá tener el suficiente tamaño para que se puedan hacer mediciones manuales con los requerimientos señalados en el inciso (a) de esta sección. Si se hace una impresión en papel, éste deberá tener una velocidad de al menos 2cm/seg y una sensibilidad al volumen de al menos 10.0 mm de la trama, por litro de volumen.
- h. El instrumento deberá ser capaz de acumular el volumen por un mínimo de 10 segundos, y no deberá terminar de acumular este volumen antes de (1) que el cambio de volumen en un intervalo de 0.5 segundos sea menor de 25 mililitros, o (2) el flujo sea menor de 50

mililitros por segundo, en cada intervalo de 0.5 segundos.

- i. Las mediciones de la capacidad vital forzada (CVF) y el volumen espiratorio forzado en 1 segundo (VEF_1), deberán cumplir con los requisitos de exactitud señalados en el inciso “a” de esta sección. Esto quiere decir que deberán ser medidos con una exactitud dentro de ± 50 ml o dentro de un $\pm 3\%$ del valor, cualquiera que sea el mayor valor.
- j. El instrumento debe tener la capacidad de poder ser calibrado en las zonas de trabajo, en relación a la CVF y al VEF_1 . Esta calibración del VEF_1 y de la CVF puede ser realizada directamente, o indirectamente a través de mediciones de volumen y tiempo. La fuente de calibración del volumen deberá poder ofrecer un desplazamiento de volumen de al menos 2 litros y deberá tener una exactitud dentro de ± 30 mililitros.

II. Técnica para la medición de la maniobra de la capacidad vital forzada

- a. Se recomienda, pero no es indispensable, el uso de un clip nasal. Se deberá explicar el procedimiento al paciente en un lenguaje simple. Asimismo, se le indicará que se afloje cualquier prenda de vestir que esté ajustada y que se ponga de pie frente al aparato. El sujeto puede sentarse pero se deberá ser cuidadoso para que en ese caso, las pruebas repetidas se hagan en la misma posición, y de ser posible, con el mismo espirómetro. Se deberá poner particular atención para asegurarse de que el mentón esté ligeramente elevado y el cuello ligeramente extendido. Se deberá instruir al paciente para realizar una inspiración profunda a partir de un patrón respiratorio basal y después de eso, que lo expulse tan fuerte, rápido y completo como le sea posible. Se deberán realizar por lo menos tres maniobras espiratorias forzadas. Durante éstas, se deberá vigilar que el paciente siga las instrucciones. Se deberán verificar de manera visual los trazos de volumen-tiempo o flujo-volumen para verificar la reproducibilidad. Se considerarán inaceptables las maniobras cuando el paciente:
 1. No haya logrado una inspiración completa antes de la espiración forzada.
 2. No haya ejecutado un esfuerzo máximo durante toda la espiración forzada.
 3. No haya continuado la espiración por al menos 5 segundos, o hasta que haya ocurrido una meseta evidente en la curva de volumen-tiempo.
 4. Haya tosido o cerrado la glotis.
 5. Tenga una boquilla que lo obstruya o una fuga alrededor de ella (obstrucción debido a que se haya colocado la lengua frente a la boquilla, o por el movimiento de dientes postizos frente a la misma boquilla, etc.)
 6. Haya tenido un inicio de espiración no satisfactorio, uno que se haya caracterizado por titubeos (o falsos comienzos), y que por lo tanto impida la extrapolación retrógrada del tiempo 0 (el volumen extrapolado del trazo de volumen-tiempo debe ser menor del 10% de la CVF).

7. Haya tenido una excesiva variabilidad entre las tres curvas aceptables. La variación entre las dos mayores CVF y los dos mayores VEF₁, a partir de tres trazos satisfactorios, no deberá exceder el 10 por ciento o ± 100 mililitros, cualquiera que resulte mayor.
8. Se deberá llevar a cabo una calibración periódica de rutina del instrumento o del método usado para registrar la CVF y el VEF₁. Se deberá hacer ésta, utilizando una jeringa u otra fuente de volumen de por lo menos dos litros.

III. Interpretación del espirograma

- a. El primer paso al evaluar un espirograma va a ser determinar si el paciente ha ejecutado o no la prueba de manera adecuada como se describe en la sección II, más arriba. Se deberán medir y registrar la capacidad vital forzada (CVF) y el volumen espiratorio forzado en 1 segundo (VEF₁) a partir de los tres trazos satisfactorios. Se deberán usar tanto la CVF como el VEF₁ mayores, independientemente de la curva de la cual provenga cada uno.
- b. Se recomiendan los siguientes lineamientos por parte de NIOSH para la evaluación y manejo de los trabajadores expuestos al polvo de algodón. Es importante señalar que los empleados que muestren una reducción de la proporción VEF₁/CVF, por debajo de 0.75, o reducciones en el VEF₁ del día lunes, del 5% o mayores con relación al examen inicial, deberán volver a ser examinados con un mes de diferencia. Aquéllos que muestren una disminución consistente en la función pulmonar, como se muestra en la siguiente tabla, deberán ser manejados de acuerdo a las recomendaciones.

IV. Calificación del personal que realiza la prueba

Los técnicos que realizan la prueba a los trabajadores deberán tener el conocimiento básico que se requiere para obtener resultados significativos. El curso de adiestramiento de aproximadamente 16 horas deberá cubrir las siguientes áreas. Las personas que completen y pasen el curso van a ser certificadas por OSHA u otra institución incorporada.

- a. Fisiología básica de la maniobra de la capacidad vital forzada y los determinantes de las limitaciones del flujo aéreo, haciendo énfasis sobre la reproducibilidad de los resultados.
- b. Requerimientos del instrumental incluyendo los procedimientos de calibración, fuentes de error, así como su corrección.
- c. Realización de la prueba incluyendo el asesoramiento que se le dé al sujeto evaluado, la capacidad para reconocer aquellas maniobras llevadas a cabo de manera inapropiada, y las sugerencias para corregirlas.
- d. Resultados de calidad con énfasis en la reproducibilidad.
- e. Uso práctico del equipo bajo condiciones supervisadas.

f. Mediciones de los trazos y cálculos de los resultados.

2. La parte 1928 del Título 29 del Código Federal de Regulaciones (Unión Americana) es corregido añadiéndole un nuevo párrafo(a) (5) a la sección 1928.21, que se lee como sigue:

Sección 1928.21. Estándares aplicables en CFR 29, parte 10.

(a) * * *

(5) Exposición al polvo del algodón en limpiadoras de algodón - Sección 1910.1046.

(Secciones 6,8, 84 OBSERVACIONES 1593, 1599(29 u.s.c. 655,657): Orden de la Secretaría del Trabajo (Unión Americana) 8-76 (41 FR 25059); CFR 29 parte 1911)

[Documento FR. 78-17233, archivado el 6-19-78; 11.53 am]

American Thoracic Society

MEDICAL SECTION OF THE AMERICAN LUNG ASSOCIATION

Standardization of Spirometry

1994 Update

THIS OFFICIAL STATEMENT OF THE AMERICAN THORACIC SOCIETY WAS ADOPTED BY THE ATS BOARD OF DIRECTORS, NOVEMBER 11, 1994

CONTENTS

Definitions

Equipment Recommendations

- Recommendation: Vital Capacity (VC)
- Recommendation: Forced Vital Capacity (FVC)
- Recommendation: Timed Forced Expiratory Volume (FEV₁)
- Recommendation: PEF
- Recommendation (Monitoring): PEF
- Recommendation: FEF_{25-75%}
- Recommendation: Flow (V)
- Recommendation: Forced Expiratory Time (FET%)
- Recommendation: Forced Inspiratory Vital Capacity Maneuvers
- Recommendation: Maximal Voluntary Ventilation (MVV)
- General Background: Spirometry Recorders/Displays
- Recommendation: Display of VC Maneuver
- Recommendation: Display of FVC Maneuver
- Recommendation: VC and FVC Maneuver Volume and Time Scales
- Recommendation: Flow-Volume Curves
- Recommendation: Correction to STPS
- Recommendation (Monitoring): Correction to STPS

Equipment Validation

- Recommendation: FVC Validation
- Recommendation: PEF Validation
- Recommendation: MVV Validation

Quality Control

- Recommendation: Technician's Role in Quality Control
- Recommendation: Hygiene and Infection Control
- Recommendation: Equipment Quality Control

Maneuver Performance Recommendations

Personnel Qualifications

- Recommendation: VC - Subject Instruction and Maneuver Performance
- Recommendation: FVC - Subject Instruction and Maneuver Performance
- Recommendation (Monitoring): PEF - Subject Instruction and Test Performance

Recommendation: FVC - Satisfactory Start-of-Test Criteria

Recommendation: FVC - Minimum Exhalation Time

Recommendation: FVC - End-of-Test Criteria

Recommendation: VC and FVC - Maximum Number of Maneuvers

Recommendation (Monitoring): PEF - Number of Trials

Recommendation: VC and FVC - Environmental Conditions

Recommendation: VC and FVC - Use of Nose Clips

Recommendation: VC and FVC - Sitting Versus Standing

Recommendation (Monitoring): PEF - Nose Clips and Subject Position

Measurement Procedures

Measurement

Recommendation: VC and FVC - Test Result Selection/Reporting of Results

Recommendation (Monitoring): PEF - Test Result/Reporting of Readings

Acceptability and Reproducibility

Recommendation: VC and FVC - Maneuver Acceptability

Recommendation: VC and FVC - Test Result Reproducibility

Recommendation: PEF - Maneuver Acceptability and Reproducibility

Reference Values, Interpretation Standardization, and Clinical Assessment

Clinical/Epidemiologic Considerations

Appendix A: Sample Spirograms

Appendix B: Spirometer Testing Guidelines

Appendix C: Standard 24 Waveforms for Spirometer Validation

Appendix D: Standard Flow-Time Waveforms for Validating PEF

Appendix E: Signal Processing Tutorial

The first American Thoracic Society (ATS) Statement on the Standardization of Spirometry was published 15 yr ago and was based on the Snowbird Workshop held in 1979 (1). This initial statement was updated in March 1987 (2) after 8 yr of practical experience with the initial recommendations. The state of the art of spirometry has continued to advance as a result of scientific studies that have provided additional data relating to performance of spirometry. The use of computers for spirometry measurement has become even more commonplace. New statements by the ATS (3) and the European Respiratory Society (4) also underscore the need to update the ATS statement on spirometry. This revision of the standards for spirometry reflects the changes in clinical emphasis and in available technology since the 1987 ATS spirometry update (2) was published. The changes in clinical emphasis and equipment include:

- The strong emphasis on the use of portable peak flow meters to monitor lung function in asthmatics by the National Heart, Lung, and Blood Institute's Asthma Education Program (5), the International Asthma Management Project (6), the British Thoracic Society (7), and others.
- The corresponding development of many new model peak flow monitoring devices, some purely mechanical and some electronic.
- A better understanding of the complexities of correcting spirometric values to STPS conditions.

This statement was prepared by the Committee on Proficiency Standards for Clinical Pulmonary Function Laboratories. Members of the committee: Robert O. Crapo, M.D., Chairman, John L. Hankinson, Ph.D., Charles Irvin, Ph.D., Neil R. MacIntyre, M.D., Karen Z. Votter, M.D., and Robert A. Wise, M.D. Spirometry Subcommittee: John L. Hankinson, Ph.D., Subcommittee Chairman, Charles Irvin, Ph.D., Robert A. Wise, M.D. Invited Spirometry and DeCo Workshop participants: Brian Graham, Ph.D., Carl O'Donnell, Sc.D., Paolo Paoletti, M.D., Josep Roca, M.D., and Giovanni Viegi, M.D. Corresponding members: Margaret R. Becklake, M.D., A. Sonia Bust, M.D., Gary duMoulin, Ph.D., Robert L. Jensen, Ph.D., Albert Miller, M.D., and Andrea Rossi, M.D.

Am J Respir Crit Care Med Vol 152, pp 1107-1136, 1995

- A greater appreciation of the importance of the technicians and procedures in achieving good spirometric results.
- An increased concern about the risk of transmission of infectious diseases during pulmonary function testing.

We have responded to these changes by:

- Separating the standards for laboratory or diagnostic spirometers from those of devices designed to be used primarily as monitors.
- Adding BTPS testing to the testing of spirometers.
- Adding a section on performance of slow vital capacity.
- Strengthening and updating the procedural aspects of quality control, including an appendix with sample spirograms.
- Adding a section on hygiene and infection control.

A central goal of any guideline or standardization document is to improve performance and thus decrease the variability of laboratory testing. In 1979 (1), and again in 1987 (2), the perception was that the major source of variability was instrumentation. More recently, instrumentation has improved to a point where other sources of variability can be identified, in particular, procedural problems. In 1991, the ATS Statement on Lung Function Testing: Selection of Reference Values and Interpretation Strategies (3) stated: "The largest single source of within-subject variability is improper performance of the test." More recently, Enright and coworkers (8) have shown a positive impact of an extensive quality control program on spirometric results. As a consequence, there is an effort in the present statement to address issues of test performance and quality control.

The ATS statements on standardization of spirometry have had far-reaching effects on manufacturers and users of spirometers. In some cases, manufacturers have used the document as a minimum performance requirement document. We continue to be concerned with this approach and encourage manufacturers to seek excellence in design so that the state of the art for spirometers will exceed ATS recommendations. Some research protocols will necessitate even more stringent requirements than stated here.

Spirometry is a medical test that measures the volume of air an individual inhales or exhales as a function of time. Flow, or the rate at which the volume is changing as a function of time, may also be measured with spirometry. Spirometry, like the measurement of blood pressure, is a useful screen of general health. Like the simple measurement of blood pressure, it does not suffice in certain situations where more extensive testing is warranted. Spirometric results correlate well with morbidity and life expectancy. Spirometry is used to affect decisions about individual patients, including the nature of the defect, its severity, and the response to therapy. Table 1 lists some of the potential indications for spirometry.

Results from tests based on spirometric maneuvers can have an important effect on a person's lifestyle, standard of living, and future treatment (10). Similarly, accurate and precise spirometers are required for epidemiologic studies. Rates of improvement or deterioration of pulmonary function measured in relation to environmental exposures and/or personal characteristics may be erroneous if inaccurate spirometers are used or less sensitive if imprecise spirometers are used (11).

Maximizing the clinical usefulness of spirometry depends on a number of steps, ranging from equipment selection to interpretation, and ultimately involves clinical assessment. Figure 1 is a flow diagram of these steps.

The first step is establishing equipment performance criteria. The Snowbird Workshop (1), 1987 Update (2), and this update give recommendations for equipment used for spirometry.

The second step in the process involves validation that the spirometer design meets the minimum recommendations through the testing of a representative device. Detailed methods for per-

TABLE 1
INDICATIONS FOR SPIROMETRY*

Diagnostic	
To evaluate symptoms, signs, or abnormal laboratory tests	
-Symptoms: dyspnea, wheezing, orthopnea, cough, phlegm production, chest pain	
-Signs: diminished breath sounds, overinflation, expiratory slowing, cyanosis, chest deformity, unexplained crackles	
-Abnormal laboratory tests: hypoxemia, hypercapnia, polycythemia, abnormal chest radiographs	
To measure the effect of disease on pulmonary function	
To screen individuals at risk of having pulmonary diseases	
-Smokers	
-Individuals in occupations with exposures to injurious substances	
-Some routine physical examinations	
To assess preoperative risk	
To assess prognosis (lung transplant, etc.)	
To assess health status before enrollment in strenuous physical activity programs	
Monitoring	
To assess therapeutic interventions	
-Bronchodilator therapy	
-Steroid treatment for asthma, interstitial lung disease, etc.	
-Management of congestive heart failure	
-Other (antibiotics in cystic fibrosis, etc.)	
To describe the course of diseases affecting lung function	
-Pulmonary diseases	
Obstructive airways diseases	
Interstitial lung diseases	
-Cardiac diseases	
Congestive heart failure	
-Neuromuscular diseases	
Guillain-Barré Syndrome	
To monitor persons in occupations with exposure to injurious agents	
To monitor for adverse reactions to drugs with known pulmonary toxicity	
Disability/Impairment Evaluations	
To assess patients as part of a rehabilitation program	
-Medical	
-Industrial	
-Vocational	
To assess risks as part of an insurance evaluation	
To assess individuals for legal reasons	
-Social Security or other government compensation programs	
-Personal injury lawsuits	
-Others	
Public Health	
Epidemiologic surveys	
-Comparison of health status of populations living in different environments	
-Validation of subjective complaints in occupational/environmental settings	
Derivation of reference equations	

* Adapted from reference 9.

forming the validation testing are outlined later in this statement. The ATS makes equipment recommendations but does not act as a certifying agency to verify compliance with these standards. Spirometer users should carefully select equipment that meets the ATS recommendations to assure that spirometry testing can be done accurately. Before purchasing a spirometer, it is wise to: (1) ask the manufacturer to provide summary data that demonstrates that the device being considered meets or exceeds ATS recommendations, or (2) review results of spirometry testing from independent testing laboratories. This statement does not mandate testing by an independent laboratory. There are many calibrated computer-driven syringes available. When an independent laboratory is not used, manufacturers should make the testing protocol, the raw data, and the summary data available to potential customers for their review.

Even after spirometers have been found to meet ATS recommendations, they (like other mechanical, electrical, or computer equipment) must be routinely checked for performance quality.

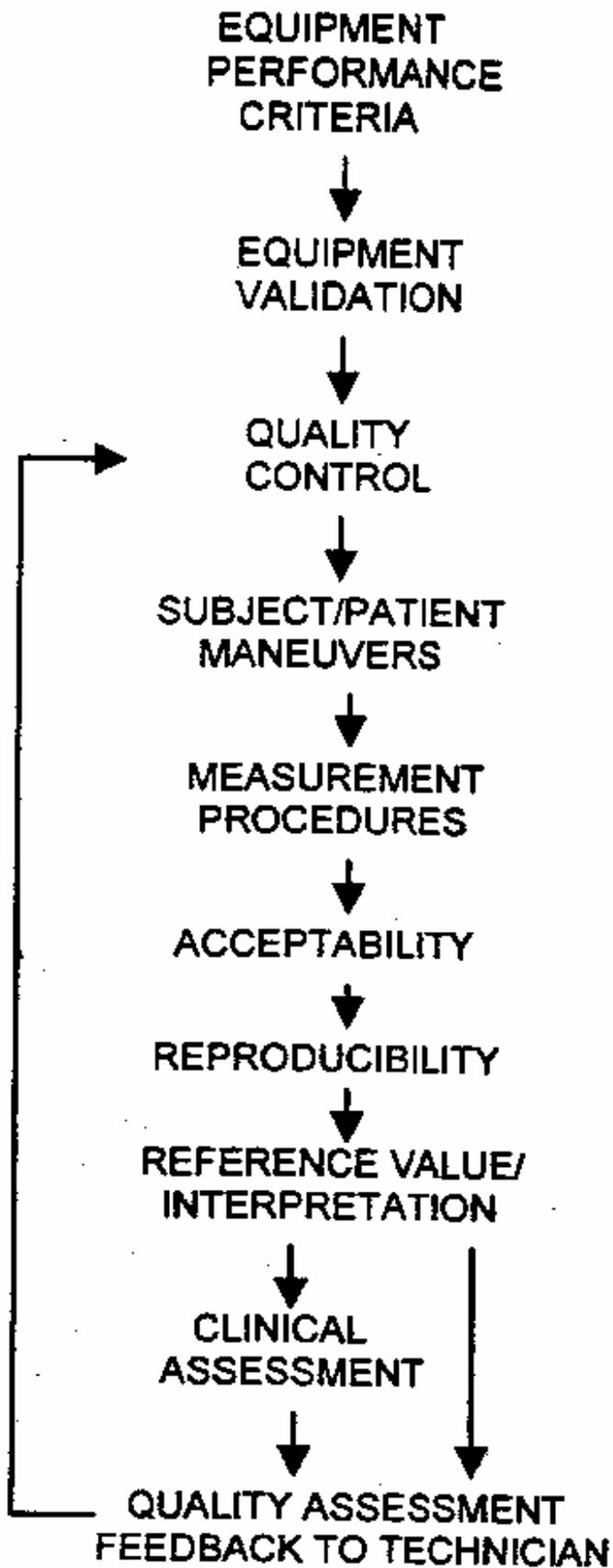


Figure 1. Spirometry standardization steps.

Recommendations for spirometer quality control have been developed by the ATS and are summarized in this statement.

Spirometry is an effort-dependent maneuver that requires understanding, coordination, and cooperation by the patient-subject, who must be carefully instructed. Thus, procedural recommendations are important components of testing. Part of the recommendation is to obtain a sufficient number of maneuvers of adequate quality and then determine if these acceptable maneuvers are reproducible, implying that maximal effort has been achieved. Once spirometry maneuvers have been performed, data are either measured by hand or computer. Measurement procedures are included in this article to help assure that uniform methods are used and comparable results are obtained. These recommendations include considerations such as using "back extrapolation" for determining the "start-of-test" time (zero point) for measures such as FEV₁, and the criteria to determine the end of the expiratory maneuver. Instruments that provide feedback to the technician in the form of checks on the adequacy of the data are clearly desirable.

The interactions between technicians and subjects are crucial to obtaining adequate spirometry, since it is such an effort-dependent maneuver. Technicians must be trained and must maintain a high level of proficiency to assure optimal results.

The spirogram tracing must be carefully scrutinized for quality. Recommendations about quality, acceptability, and reproducibility of test results are presented, as well as examples of unacceptable maneuvers (see APPENDIX A). After adequate results are obtained, they are usually compared with reference values to make an assessment (interpretation) of the results. The ATS 1991 Statement on Lung Function Testing: Selection of Reference Values and Interpretative Strategies provides guidelines for selecting reference values and interpreting the results. Clinical assessment should be an integral part of spirometry. Results obtained from spirometry are only one part of the much more complex patient-care relationship or research study analysis. It is the responsibility of the laboratory director to provide adequate quality control procedures to assure that an attempt to meet these recommendations and criteria has been made.

In both the original ATS statement on spirometry and the 1987 update, a rationale was provided for each recommendation. Since many of these recommendations and their rationales have not changed since the original statements, the reader is referred to the 1987 update (2) for the rationales concerning less controversial recommendations.

DEFINITIONS

All terms and abbreviations used here are based on a report of the American College of Chest Physicians (ACCP)-ATS Joint Committee on Pulmonary Nomenclature (12).

Accuracy and precision are important terms in equipment recommendations and warrant some definition. Accuracy error is the systematic difference between the "true" and the measured value. The accuracy of a spirometer system depends on a number of factors, including linearity and frequency response of the system or processor, sensitivity to environmental conditions, calibration, and adequacy of correction factors. Its precision depends on the signal/noise ratio and on the resolution (i.e., the minimal detectable volume or flow). Precision error, usually denoted reproducibility, is the numerical difference between successive measurements (4). For example, if a volume spirometer's pen is not on zero but at 1 L, all volumes read directly from the graph would be overread by 1 L. The accuracy error would be 1 L, since the measured volume would read 3 L when the true volume is 2 L. However, the precision of the spirometer would remain unchanged, as the spirometer would consistently read 3

L each time 2 L is injected into the spirometer. For some applications, e.g., peak expiratory flow (PEF) monitoring, precision is more important than accuracy.

In several sections of this document, the terms "open circuit" and "closed circuit" technique are used. The term "open circuit" spirometry refers to the method of conducting spirometry where the subject takes a full inspiration before inserting the mouthpiece to perform the test. In this approach, the subject does not inhale from the spirometer or potentially contaminated flow sensor. The term "closed circuit" spirometry refers to the method of conducting spirometry where the subject is attached to the mouthpiece before the inspiration is begun, and often several tidal breaths are obtained. In this approach, the subject does inhale from the spirometer. There are advantages and disadvantages to both of these approaches and both are recommended procedures. For example, an advantage of the closed circuit technique is that it allows measurement of expiratory reserve volume (ERV), tidal volume (TV), and inspiratory flows.

Previous recommendations (1, 2) treated all spirometers alike whether used for clinical, diagnostic, or epidemiologic purposes. However, a new class of device has been added for monitoring purposes. Monitoring devices (portable peak flow meters, etc.) have separate recommendations from diagnostic spirometers for the recorder/display requirements as well as the accuracy requirements. In addition, precision requirements have been added for monitoring devices. Recommendations concerning monitoring devices are identified in this statement by the notation, "Monitoring." We do *not* recommend the use of monitoring devices for diagnostic purposes in the traditional diagnostic setting where one is comparing a measured value with a reference value. In this setting, monitoring instruments are likely to be inadequate because: (1) they may be less accurate than diagnostic instruments; (2) they usually cannot be calibrated or checked to assure their performance; (3) their graphical displays may be missing or inadequate to allow proper evaluation of the subject's effort and overall test quality; and (4) current PEF standards of $\pm 10\%$ allow models of instruments to vary by up to 20%, adding variability to reference values derived when a monitoring instrument is used. However, monitoring instruments may be useful in diagnosing excessive variability in spirometric parameters because they tend to have excellent precision.

EQUIPMENT RECOMMENDATIONS

Accurate results require accurate equipment. Spirometer equipment recommendations apply to all diagnostic spirometers whether used for clinical or epidemiologic purposes. Instrumentation recommendations should be followed to provide accurate spirometric data and information that are comparable from laboratory to laboratory and from one time period to another (1). The accuracy of a spirometry system depends on the resolution (i.e., the minimal detectable volume or flow) and linearity of the entire system, from volume or flow transducer to recorder, display, or processor. Errors at any step in the process can affect the accuracy of the results. For example, if the STPS correction factor is in error, an accurate, uncorrected FVC will be corrupted when the factor is applied.

Recommendations are first provided for diagnostic spirometers, followed by recommendations for monitoring devices under the subheading, "Monitoring." For example, the equipment recommendations for diagnostic spirometry are summarized in Table 2 and for monitoring devices in Table 3. Spirometers are not required to measure all the following parameters but must meet the recommendations for those parameters that are measured. Accuracy and precision recommendations apply over the entire volume range of the instrument.

TABLE 2
MINIMAL RECOMMENDATIONS FOR DIAGNOSTIC SPIROMETRY*

Test	Range/Accuracy (STPS)	Flow Range (L/s)	Time (s)	Resistance and Back Pressure	Test Signal
VC	0.5 to 8 L \pm 3% of reading or \pm 0.050 L, whichever is greater	zero to 14	30		3-L Cal Syringe
FVC	0.5 to 8 L \pm 3% of reading or \pm 0.050 L, whichever is greater	zero to 14	15	Less than 1.5 cm H ₂ O/L/s	24 standard waveforms 3-L Cal Syringe
FEV ₁	0.5 to 8 L \pm 3% of reading or \pm 0.050 L, whichever is greater	zero to 14	1	Less than 1.5 cm H ₂ O/L/s	24 standard waveforms
Time zero	The time point from which all FEV ₁ measurements are taken			Back extrapolation	
PEF	Accuracy: \pm 10% of reading or \pm 0.400 L/s, whichever is greater Precision: \pm 5% of reading or \pm 0.200 L/s, whichever is greater	zero to 14		Same as FEV ₁	26 flow standard waveforms
FEF _{25-75%}	7.0 L/s \pm 5% of reading or \pm 0.200 L/s, whichever is greater	\pm 14	15	Same as FEV ₁	24 standard waveforms
\dot{V}	\pm 14 L/s \pm 5% of reading or \pm 0.200 L/s, whichever is greater	zero to 14	15	Same as FEV ₁	Proof from manufacturer
MVV	250 L/min at TV of 2 L within \pm 10% of reading or \pm 15 L/min, whichever is greater	\pm 14 \pm 3%	12 to 15	Pressure less than \pm 10 cm H ₂ O at 2-L TV at 2.0 Hz	Sine wave pump

* Unless specifically stated, precision requirements are the same as the accuracy requirements.

Recommendation: Vital Capacity (VC)

VC = The maximal volume of air exhaled from the point of maximal inhalation or the maximal volume of air inhaled from a point of maximal exhalation can be measured with a slow exhalation or inhalation, respectively. This was previously called the "relaxed vital capacity" (13). The VC is expressed in liters (STPS). STPS is body conditions: normal body temperature (37° C), ambient pressure, saturated with water vapor. When the rebreathing technique is used, an oxygen supply may be provided and carbon dioxide absorbed to account for oxygen consumption and the production of carbon dioxide. In this case, the oxygen sup-

ply must account for the total oxygen consumed, maintaining the volume constant at functional residual capacity. If this is not done properly, an incorrect VC could be obtained. Because of this potential error, the rebreathing technique with the absorption of carbon dioxide is discouraged as a technique when only VC is to be measured.

Rationale. In some subjects, a slow or relaxed vital capacity provides a more accurate determination of the vital capacity than those obtained with a forced exhalation. Forced expiratory volumes are usually lower than those obtained with a slow exhalation in subjects with airways obstruction and in older subjects. With severe airways obstruction, VC values may be larger than FVC values by as much as 1 L.

TABLE 3
MINIMAL RECOMMENDATIONS FOR MONITORING DEVICES

Requirement	FVC & FEV ₁ (STPS)	PEF (STPS)
Range	High: 0.50 to 8 L Low: 0.5 to 6 L	High: 100 L/min to \geq 700 L/min but \leq 850 L/min Low: 60 L/min to \geq 275 L/min but \leq 400 L/min
Accuracy	\pm 5% of reading or \pm 0.100 L, whichever is greater	\pm 10% of reading or \pm 20 L/min, whichever is greater
Precision	\pm 3% of reading or \pm 0.050 L, whichever is greater	Intradvice: \leq 5% of reading or \leq 10 L/min, whichever is greater Interdevice: \leq 10% of reading or \leq 20 L/min, whichever is greater
Linearity	Within 3% over range	Within 5% over range
Graduations	Constant over entire range High: 0.100 L Low: 0.050 L	Constant over entire range High: 20 L/min Low: 10 L/min
Resolution	High: 0.050 L Low: 0.025 L	High: 10 L/min Low: 5 L/min
Resistance	Less than 2.5 cm H ₂ O/L/s, from zero to 14 L/s	Less than 2.5 cm H ₂ O/L/s, from zero to 14 L/s
Minimal detectable volume	0.030 L	—
Test Signal	24 standard volume-time waveforms	26 standard flow-time waveforms

High = high range and low = low range devices.

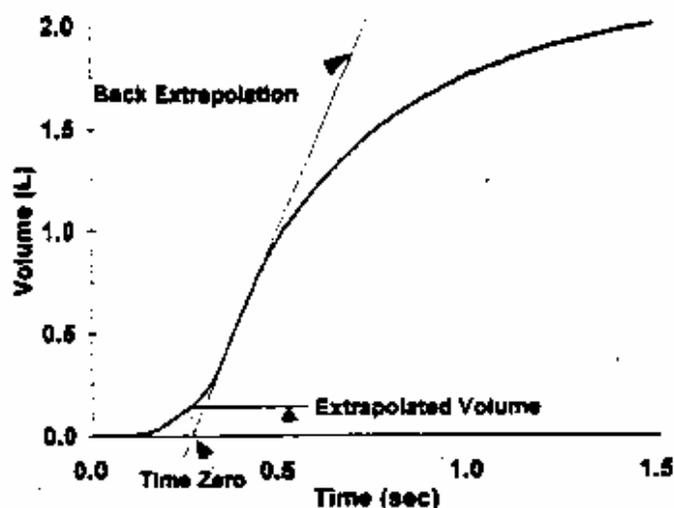


Figure 2. Typical subject waveform of a volume-time spirogram illustrating back extrapolation to determine "time zero." Extrapolated volume = V_{ext} .

For measurements of VC, the spirometer must be capable of accumulating volume for at least 30 s. Spirometers must be capable of measuring volumes of at least 8 L (STPs) with flows between zero and 14 L/s with a volume accuracy of at least $\pm 3\%$ of reading or ± 0.050 L, whichever is greater.

Recommendation: Forced Vital Capacity (FVC)

FVC = Maximal volume of air exhaled with maximally forced effort from a position of maximal inspiration, i.e., vital capacity performed with a maximally forced expiratory effort, expressed in liters (STPs).

The diagnostic spirometer must be capable of measuring volumes up to at least 8 L (STPs) with an accuracy of at least $\pm 3\%$ of reading or ± 0.050 L, whichever is greater, with flows between zero and 14 L/s. The 8-L range requirement applies to newly manufactured instruments; existing spirometers with a 7-L range may continue to be used. The spirometer must be capable of accumulating volume for at least 15 s, although longer times are recommended.

Monitoring. Monitoring devices must be capable of measuring volumes up to at least 8 L (STPs) with an accuracy of at least $\pm 5\%$ of reading or ± 0.100 L, whichever is greater, with flows between zero and 14 L/s. The precision of the monitoring devices must be at least $\pm 3\%$ of reading or ± 0.050 L, whichever is greater. The device must be capable of accumulating volume for at least 15 s.

Recommendation: Timed Forced Expiratory Volume (FEV_t)

FEV_t = The volume of air exhaled in the specified time during the performance of the FVC, e.g., FEV₁ for the volume of air exhaled during the first second of FVC, expressed in liters (STPs).

Measuring FEV_t requires a spirometer capable of measuring volumes of at least 8 L. The spirometer must measure FEV_t within an accuracy of at least $\pm 3\%$ of reading or ± 0.050 L, whichever is greater, with flows between zero and 14 L/s. The start-of-test for purposes of timing must be determined by the back extrapolation method (1, 14, 15) or a method shown to be equivalent (Figure 2). For manual measurements, the back extrapolation method traces back from the steepest slope on the volume-time curve (Figure 2) (15, 16). For computer methods of back extrapolation, we recommend using the largest slope aver-

aged over an 80-ms period (17). The total resistance to airflow at 14.0 L/s must be less than 1.5 cm H₂O/L/s. The total resistance must be measured including any tubing, valves, pre-filter, etc., that may be inserted between the subject and the spirometer. Since some devices may exhibit changes in resistance due to water vapor condensation, resistance requirements must be met under STPs conditions when up to eight successive FVC maneuvers are performed in a 10-min period.

Monitoring. The monitoring device must be capable of measuring FEV_t up to at least 8 L (STPs) with an accuracy of at least $\pm 5\%$ of reading or ± 0.100 L, whichever is greater, with flows between zero and 14 L/s. The precision of the monitoring devices for FEV_t must be at least $\pm 3\%$ of reading or ± 0.050 L, whichever is greater. Resistance should be less than 2.5 cm H₂O/L/s and the start-of-test requirement is the same as for diagnostic spirometry.

Recommendation: PEF

PEF = Largest expiratory flow achieved with a maximally forced effort from a position of maximal inspiration, expressed in liters/second (STPs).

Measuring PEF requires an instrument that has a frequency response that is flat ($\pm 5\%$) up to 12 Hz. The instrument must measure PEF within an accuracy of $\pm 10\%$ of reading or ± 0.300 L/s, whichever is greater. Intra-instrument precision must be less than 5% of reading or 0.150 L/s, whichever is greater. Interdevice precision must be less than 10% or 0.300 L/s, whichever is greater.

The following or an equivalent method can be used in the determination of FEF_{max} or PEF for volume-time curves. However, the method used to derive PEF may depend on the measuring instrument (15), and the final determination of compliance should be determined through testing using the standard waveforms (26 flow-time waveforms, APPENDIX D), with PEF derived from the flow-time waveform (Table D1, column 2).

Determination of PEF can be performed from the volume-time data by using a parabolic curve-fitting algorithm, which smooths the data using a least squares parabolic fit to a 40- or 80-ms segment ($np = 2$ or 4) of the volume-time curve, or:

$$\text{flow}(n) = \frac{\sum_{j=1}^{np} j \cdot \text{vol}(n+j)}{2 \cdot h \cdot \sum_{j=1}^{np} j} \quad \text{PEF} = \text{Max}(\text{flow})$$

where flow = an array of flow values from start to end of test; n = index of current flow data point ($n = [np + 1]$ to index value of end of test); vol = an array of volume values; j = an index value as indicated in the equation; h = the time between samples (0.01 s in this example); np = the number of data points (for a 40-ms segment, $np = 2$ and for an 80-ms segment, $np = 4$); and PEF is the maximum value observed in the array flow.

Rationale. Using the 26 flow-time waveforms to define PEF is a change from the ATS 1987 Update. The PEFs for the 24 standard volume-time waveforms and the FEF_{max} described in the 1987 ATS Spirometry Update used the above algorithm with an 80-ms interval. Manufacturers, through the use of mechanical simulators and the 24 standard volume-time waveforms, have been implementing this or equivalent methods through their attempts to derive PEFs similar to those defined by the 24 standard volume-time waveforms.

In addition, the National Asthma Education Program (NAEP) (5) has adopted ATS standard volume-time waveform number 24 as their standard for portable PEF meters. Hankinson and Crapo (18) have shown that reducing the time interval in the above equation from 80 to 40 ms results in as much as an 8% higher PEF for two of the 24 standard volume-time waveforms and a

5% higher PEF value for waveform number 24. Regardless of this apparent change, PEF is a flow parameter and therefore should be defined based on a flow-time waveform rather than a volume-time waveform (i.e., waveform number 24). The final determination of compliance should be determined through testing using the standard 26 flow-time waveforms (APPENDIX D) and the PEF derived from the flow-time curve (Table D1, column 2). This approach allows all of an instrument's characteristics to be considered, rather than only the PEF computational algorithm. Because PEF is more variable than FVC and FEV₁, and because of the confusion surrounding PEF definition, a relatively large $\pm 10\%$ accuracy requirement was allowed.

Recommendation (Monitoring): PEF

PEF = Largest expiratory flow achieved with a maximally forced effort from a position of maximal inspiration, expressed in liters/minute (LTPS).

Monitoring PEF also requires an instrument that has a frequency response that is flat ($\pm 5\%$) up to 12 Hz and a resistance less than 2.5 cm H₂O/L/s with flows up to 14 L/s. The instrument must measure PEF within an accuracy of $\pm 10\%$ of reading or ± 20 L/min, whichever is greater, with PEFs between 60 to 400 L/min for children and from 100 to 850 L/min for adults. The lower limit range of the instrument must be less than or equal to 60 L/min for children and 100 L/min for adults. The upper limit range must be greater than or equal to 275 L/min but less than 400 L/min for children and greater than or equal to 700 L/min but less than 850 L/min for adults. If manual reading of the instrument is used, the reader must be able to resolve at least 5 L/min for low range (children) and 10 L/min for high range (adults) (marked PEF intervals [graduations] no greater than 10 L/min for low range and 20 L/min for high range). Intra-instrument precision must be less than or equal to 5% of reading or 10 L/min, whichever is greater. Interdevice precision must be less than 10% or 20 L/min, whichever is greater. Data on the instrument's life span and durability must be provided by the manufacturer, specified as the typical life span over which the instrument will satisfy the requirements of this section.

In addition to the above requirements, PEF measuring devices must also provide a method of reporting values at STPS. For portable PEF meters, STPS correction may be accomplished by limiting the environmental operational range for the instrument in terms of barometric pressure (altitude) and ambient temperature. Portable PEF meters must meet the accuracy and precision requirements above, given the range of environmental conditions encountered with typical use. A 10% accuracy requirement, higher than the 5% for other flows, is recommended to allow for potential STPS correction complications associated with PEF measurements. Besides providing a method of correcting PEF values to STPS, the instrument's manufacturer must also provide a correction for the effects of altitude or other environmental conditions as appropriate.

A package insert must be provided with each portable PEF meter containing at least: (1) clear instructions (with illustrations) for use of the instrument in simple terms that are understood by the general public; (2) instructions concerning maintenance of the instrument and methods to recognize when it is malfunctioning; and (3) appropriate actions to be taken when PEF readings change appreciably (i.e., whom to contact).

Rationale. Concerning the requirement of a flat frequency response up to 12 Hz, Lemen and coworkers (19) have shown that the mean highest frequency (HF) with significant amplitude content was 5.06 Hz in healthy individuals and 6.4 Hz in patients and smokers. They concluded that flow measuring devices should have a frequency response that is flat up to 12 Hz. Peslin and coworkers (20) found a slightly higher HF of about 10 Hz in

healthy males and 7.5 Hz in female subjects. In addition, current mechanical waveform-generating equipment generally cannot accurately produce waveforms with frequency content above 12 Hz. The accuracy recommendation is less stringent for PEF than for the FVC and FEV₁ (10% versus 5%) because of the higher within- and between-subject variabilities associated with PEF measurements and because of testing instrument limitations. The PEF instrument precision and intra-instrument variability recommendations are lower (5%) than the accuracy and inter-instrument variability requirements (10%) because of the need for low instrument variability in the routine use of PEF meters for serial measurements. In addition, several studies have shown PEF meters to be much more precise than accurate (21-23). These recommendations are also similar to those of the NAEP (5). The range recommendations are made with the understanding that PEF measurements are often made using portable PEF meters. With these meters, reading resolution (number of graduations) must be balanced against the range of the meter (upper and lower meter limits). Therefore, different instrument ranges for children and adults are appropriate. The range recommendations for children are not intended to preclude the use of an instrument with adult ranges if the instrument meets the resolution requirements (ease of reading) for children.

An instrument's life span and durability are difficult to determine and will be specific to an instrument. However, portable peak flowmeters are often used for extended periods of time. Therefore, the instrument manufacturer must provide information on the typical life span of their instrument as well as cleaning and other maintenance instructions. The package insert requirements recommended by the NAEP (5) are similar to those recommended in this statement.

Recommendation: FEF_{25-75%}

FEF_{25-75%} = Mean forced expiratory flow during the middle half of the FVC. Formerly called the maximal mid-expiratory flow (MMEF), expressed in liters/second (LTPS).

The FEF_{25-75%} must be measured with an accuracy of at least $\pm 5\%$ of reading or ± 0.200 L/s, whichever is greater, over a range of up to 7 L/s. The FEF_{25-75%} must be measured on a system that meets diagnostic FVC recommendations.

Recommendation: Flow (\dot{V})

\dot{V} = Instantaneous forced expiratory flow (except for PEF), expressed in liters/second (LTPS).

Flow may be measured electronically or manually from a flow-volume display with adequate size for hand measuring. Where flow-volume loops or other uses of flow are made, with flow in the range of -14 to 14 L/s, the flow must be measurable to within $\pm 5\%$ of reading or ± 0.200 L/s, whichever is greater.

Recommendation: Forced Expiratory Time (FET%)

FET% = Time from the back-extrapolated "time zero" until a specified percentage of a maneuver's FVC is exhaled, expressed in seconds. For example, FET95% would be the time required to reach 95% of a maneuver's FVC. See APPENDIX A for FET% examples. FET100% would be defined as the time required to reach the FVC or the time at which the volume was observed to be at its highest level. For maneuver quality assessment purposes, the reporting of the FET99% (24) or FET100% is encouraged but not mandated. Also, the FET25-75% (mid-expiratory time) may be a useful indicator of diminished flow when VC is decreased and may be less dependent on body or lung size than other flow parameters (25).

Recommendation: Forced Inspiratory Vital Capacity Maneuvers
These maneuvers are inspiratory vital capacity maneuvers per-

formed with maximally forced effort from a position of maximal expiration to a position of maximal inspiration. Both volume and flow parameters are measured, which roughly correspond (except for direction) to those from the FVC maneuver. Volume measurements are expressed in liters (l), flow measurements in liters/second (l/s).

Rationale. Forced inspiratory maneuvers are useful in diagnosing and monitoring upper airway obstruction. They are usually performed either preceding or following the FVC maneuver but may be performed separately. Elderly or ill patients often have difficulty performing forced inspiratory and expiratory maneuvers as part of the same effort. Forced inspiratory maneuvers require the use of one of the closed circuit techniques.

For measurements of forced inspiratory spirometric parameters diagnostic spirometers must meet the corresponding range, accuracy, and precision recommendations specified for diagnostic spirometry systems (Table 2).

Recommendation: Maximal Voluntary Ventilation (MVV)

MVV = The volume of air exhaled in a specified period during repetitive maximal respiratory efforts, expressed in liters/minute (l/min).

When a spirometer is used for measuring MVV, it must have an amplitude-frequency response that is flat within $\pm 10\%$ from zero to 4 Hz at flow rates of up to 12 L/s over the volume range. The time for exhaled volume integration or recording must be no less than 12 s nor more than 15 s (26). The indicated time must be accurate to within $\pm 3\%$. The MVV must be measured with an accuracy of $\pm 10\%$ of reading or ± 15 L/min, whichever is greater.

General Background: Spirometry Recorders/Displays

Paper records or graphic displays of spirometry signals are required and are used for:

1. Diagnostic function—when waveforms are to be used for quality control or review of the forced expiratory maneuver to determine if the maneuver was performed properly, so that unacceptable maneuvers can be eliminated.
2. Validation function—when waveforms are to be used to validate the spirometer system hardware and software for accuracy and reliability through the use of manual measurements (for example, measurement of FEV₁ using back extrapolation by comparing computer- and manually determined FEV₁).
3. Manual measurement function—when waveforms are to be manually measured for spirometric parameters (FVC, FEV₁, etc.) in the absence or failure of a computer.

With the continued advances in computer technology, there are many different ways to display and record spirometric waveforms. The committee continues to encourage use of computer technology.

Paper recorder requirements are the same regardless of the purpose, diagnostic, validation, or manual measurement. If no paper recorder or printer is available, then proof of validation of the accuracy and stability of the spirometer by an independent laboratory must be provided by the manufacturer. For these computer methods, any new software releases must also be validated.

Recommendation: Display of VC Maneuver

Either "open" or "closed" circuit technique may be used to measure the VC maneuver. Although the open circuit technique may be preferred because of hygiene concerns, this technique does not allow the monitoring (display) of the inhalation to TLC and therefore is less than optimum. Regardless of whether the open

or closed circuit technique is used, a display of the entire VC maneuver must be provided. The maximal expiratory volume must be assessed to determine whether the subject has obtained a plateau in the expiratory effort. Subjects with airways obstruction usually exhibit different shaped curves at the end of their expiratory maneuver—a slope showing the nonhomogeneous emptying of lung units. Some patients with severe airways obstruction are not able to return to the level of FRC due to gas trapping (see APPENDIX A, VC maneuvers). In addition, important differences between inspiratory (IVC) and expiratory (EVC) maneuvers may be observed in patients with airways obstruction (27). For systems using a closed circuit with carbon dioxide absorption, a volume-time display is needed to verify baseline end-expiratory level (functional residual capacity or FRC). The graph should indicate the starting volume to evaluate the correct positioning of FRC.

Recommendation: Display of FVC Maneuver

Displays using flow versus volume instead of volume versus time expand the initial portions (first 1-2 s) of the forced vital capacity maneuver. Since this portion of the maneuver, particularly the peak expiratory flow, is correlated with the pleural pressure during the maneuver, the flow-volume display is useful to assess the magnitude of effort during the initial portions of the maneuver. Overlaying a series of flow-volume curves registered at apparent TLC (maximal inhalation, which may not be true TLC) is helpful in detecting a submaximal effort that may result in a large though nonreproducible FEV₁, as a consequence of negative effort dependence (28).

Unlike the flow-volume curve display, display of the EVC maneuver as a volume-time graph expands the terminal portions of the maneuver. Therefore, the volume-time display is useful in assessing the duration of effort and whether a plateau is achieved. Where spirometry may need to be reviewed by independent agencies, a volume-time tracing of sufficient size allows independent measurement and calculation of parameters from the FVC maneuvers. Overlaying a series of volume-time curves aligned at back-extrapolated time zero or flow-volume curves aligned at TLC is useful in evaluating reproducibility and submaximal efforts. For optimal quality control, both flow-volume and volume-time displays are useful and strongly encouraged. See APPENDIX A for illustrations of volume-time and flow-volume displays.

Recommendation: VC and FVC Maneuver Volume and Time Scales

Volume scale: When a volume-time curve is plotted or displayed, the volume scale must be at least 10 mm/L (l/s).

Time scale: at least 2 cm/s; larger time scales are preferred (at least 3 cm/s) when manual measurements are to be made (1, 29, 30). When the volume-time plot is used in conjunction with a flow-volume curve (both display methods are provided for interpretations and no hand-measurements are performed), the time scale requirement is reduced to 1 cm/s from the usually required minimum of 2 cm/s. This exception is allowed because, in these circumstances, the flow-volume curve can provide the means for quality assessment during the initial portion of the FVC maneuver. The volume-time curve can be used to evaluate the terminal portion of the FVC maneuver, and the time scale is less critical. For display of the slow VC, the volume scale may also be reduced to 1 cm/L and the time scale to 0.5 cm/s.

Recommendation: Flow-Volume Curves

When a flow-volume curve is plotted or displayed, exhaled flow must be plotted upwards and exhaled volume towards the right.

TABLE 4
MINIMUM REQUIRED SCALE FACTORS FOR TIME,
VOLUME AND FLOW GRAPHICS

Parameter	Resolution Required	Scale factor
Volume	0.025 L	10 mm/L
Flow	0.100 L/s	5 mm/L/s
Time	0.20 s	2 cm/s

A 2:1 ratio must be maintained between the flow and volume scales, e.g., 2 L/s of flow and 1 L of exhaled volume must be the same distance on their respective axes. The flow and volume scales must be at least as shown in Table 4.

Rationale. It was the committee's unanimous opinion that the previous diagnostic recorder requirements of 5 mm/L and 1 cm/s have proven inadequate for judging the quality of an expiratory effort, e.g., terminal events are not detectable (APPENDIX A). For certain applications (for example, for disability determination and legal cases), diagnostic size displays are clearly not adequate (26, 30). The U.S. Cotton Dust standard requires "... tracings must be stored and available for recall and must be of sufficient size that manual measurements may be made..." (31). Also, users will customarily not be able to verify accuracy and stability of spirometers by themselves in the absence of an adequate paper recording.

Recommendation: Correction to STPS

This statement recommends that diagnostic spirometric studies not be conducted with ambient temperatures less than 17° C or more than 40° C. In part, the rationale for this recommendation is based on problems with finite cooling times of gases in volume-type spirometers (32-34) and the problems of estimating STPS correction factors for flow devices (35-37). When a subject performs an FVC maneuver, the air leaving the lungs and entering the spirometer is at approximately 33 to 35° C (38, 39) and is saturated with water vapor. Most volume-type spirometers assume instantaneous cooling of the air as it enters the spirometer. However, this is not always the case, and an error in FEV₁ can occur due to the incorrect assumption of instantaneous cooling of the air. For capillary and screen pneumotachometers, the gain is dependent on gas viscosity and increases with increasing temperature. Therefore, a different correction factor is needed between patients and a calibrating syringe and between inspiratory and expiratory maneuvers. In addition, the assumption is usually made that no cooling of the air occurs as the air passes through the flow sensor. This may not be the case, particularly with unheated flow sensors (35). If the expired gas is assumed to be STPS, an error of about 1% will result. The error will increase if the flow sensor is located further from the mouth and more cooling occurs. In addition, water condensation within or on the surface of a flow sensor may alter its calibration. Depending on environmental temperature, the STPS correction factor may be as large as 10%. Therefore, the method used to calculate or estimate the STPS factor can potentially introduce significant errors by the application of an erroneous STPS correction factor.

Changes in spirometer temperature can be a source of variability; therefore, spirometer temperature should be measured and not assumed to be constant, even over the course of one testing session. Johnson and colleagues (40) found that if ambient temperature was used in STPS correction and applied to all maneuvers, FEV₁ and FVC measurement errors of up to 6% may occur. When using volume spirometers, they recommend that the temperature of air inside the spirometer should be measured accurately during each breathing maneuver.

Recommendation (Monitoring): Correction to STPS

For operating simplicity, monitoring devices may use one STPS correction factor for a range of barometric pressures (altitude) and environmental temperatures. However, the use of a single STPS correction factor or direct readings at STPS does not eliminate the requirement to meet the accuracy specifications under STPS conditions. Therefore, manufacturers must provide appropriate labeling concerning the environmental conditions (ambient temperature and pressure) under which their device will meet the accuracy requirements. If necessary or appropriate, the manufacturer may provide several STPS correction factors to meet the accuracy requirements over a range of environmental conditions (altitude and temperature).

EQUIPMENT VALIDATION

Recommendation: FVC Validation

The diversity of FVC maneuvers encountered in clinical practice are currently best simulated by the use of the 24 standard waveforms developed by Hankinson and Gardner (17, 41). These waveforms can be used to drive a computer-controlled mechanical syringe or its equivalent for testing actual hardware and software (42, 43) or they can be put into a system in digital form to evaluate only the software. It is strongly recommended that spirometry systems be evaluated using a computer-driven mechanical syringe or its equivalent and that the digital forms only be used for evaluating changes in software. APPENDIX C shows the measured values for each of the 24 standard waveforms. The American Thoracic Society also provides these waveforms on floppy disks for an IBM-PC.* Appropriate corrections for using gas at ambient temperature and humidity instead of STPS may need to be made for some mechanical syringe-spirometer combinations. In addition, precision criteria have been added, and testing of spirometry systems using heated and humidified test gas is recommended.

The accuracy validation limits (tolerance for simulator systems is included in these limits) for volume are: volume (FVC, FEV₁) ± 3.5% of reading or ± 0.070 L, whichever is greater; and average flow (FEF_{25-75%}) ± 5.5% of reading or ± 0.250 L/s, whichever is greater. The error range is expanded from the earlier ATS spirometry recommendation to allow for errors associated with mechanical syringes (42). The precision validation limits are: volume (FVC and FEV₁) 3.5% (range percent) or 0.100 L, whichever is greater; and flow (FEF_{25-75%}) 5.5% or 0.250 L/s, whichever is greater. Mechanical syringes used for validation must be accurate within ± 0.025 L for FVC and FEV₁ and ± 0.100 L/s for FEF_{25-75%}.

Rationale. Testing of spirometry systems using heated and humidified test gas has been added to the validation criteria because of potential problems associated with STPS correction (32-37). See APPENDIX B for further details.

Recommendation: PEF Validation

PEF instrument designs must be validated using a mechanically driven syringe or its equivalent, using the flow-time waveforms described in APPENDIX D. These waveforms are available on digital media from the ATS. In addition, the mechanically driven syringe must be validated (APPENDIX B) to ensure that it accurately produces these waveforms and corresponding PEFs within ± 2% of reading. The flow-time waveforms in APPENDIX D were chosen to represent a range of peak flows and flow-time signals with various times-to-PEF (time required to go from 0.200 L/s to PEF). The accuracy validation limit for PEF is ± 12% of reading or ± 25 L/min, whichever is greater.

* Available from the American Thoracic Society.

The precision (range deviation) validation limit for PEF is 6% or 15 L/min, whichever is greater.

Rationale. The NAEP (5) recommended the use of a mechanically driven syringe to test and validate the accuracy of peak flow measuring instruments and to assess intra- and inter-device precision. Their recommendations included the use of ATS waveform 24 with various multipliers to achieve different PEFs. One problem with using only waveform 24 is a lack of variability in the shape or rise-time in the waveforms used to test PEF meters. Therefore, the use of several waveforms in the testing and validation of PEF meters to provide a range of PEFs and times-to-PEF (rise-times) is recommended. The waveforms in APPENDIX D are flow-time waveforms and, therefore, the definition of peak flow obtained from these waveforms is simple to derive. In addition, a volume-time curve for use by the mechanically driven syringe can be obtained from a flow-time curve by simply summing the flow-time values (integrating the flow signal).

The accuracy of the mechanically driven syringe for PEF, $\pm 2\%$ of reading, was chosen based on current technical feasibility. Current technology of mechanically driven syringes is not sufficient to provide greater accuracies. This is due to the dynamic aspect of peak flow—high frequency content and PEF occurs at a point in the flow-time signal where the acceleration is changing, resulting in potential "overshoot" by a mechanical syringe. In addition, insufficient data are available concerning the accuracy of PEF meters using waveforms with higher frequency content (shorter times-to-PEF). Additional detailed information concerning spirometer testing procedures is contained in APPENDICES B, C, and D.

Recommendation: MVV Validation

When tested with a pump producing a sinusoidal waveform, the accuracy validation limits of the spirometer used for MVV for flows up to 250 L/min, produced with stroke volumes up to 2 L, are $\pm 10.5\%$ of reading or ± 20 L/min, whichever is greater. During the testing, the pressure at the mouthpiece must not exceed ± 10 cm H₂O. For volume spirometers, these requirements apply throughout their volume range.

QUALITY CONTROL

Routine equipment preventive maintenance—cleaning, calibration checks, verification, and quality control—is essential to assure accurate spirometry results (44). A spirometry procedure manual is an important base for a quality assurance program. The manual should contain a quality control plan, guidelines for ordering spirometry, guidelines for performing spirometry, and guidelines for reporting spirometry results. See the document, "ATS Quality Assurance for Pulmonary Laboratories," for more details (44).

Recommendation: Technician's Role in Quality Control

Quality control is important to ensure that the laboratory is consistently meeting appropriate standards. In any quality control program, an important element is a procedures manual containing: calibration procedures, test performance procedures, calculations, criteria, reference values source, and action to be taken when "panic" values are observed. A notebook should be maintained that documents daily instrument calibration as well as problems encountered with the system, corrective action required, and system hardware and software upgrades. Records of anomalous events involving either patients/subjects or the technician should be documented, with the results of subsequent evaluation and responses to the event. The technician should also maintain records of continuing education and the results of evaluation and feedback provided by the medical director. Perhaps the

most important component in successful spirometry is a well-motivated, enthusiastic technician. A recent study has clearly demonstrated the importance of a quality control program with feedback to technicians in obtaining adequate spirometry results (8). A quality control program that continuously monitors technician performance is critical to the collection of high-quality spirometry data. Feedback to the technicians concerning their performance should be provided on a routine basis. This feedback should include, at a minimum: (1) information concerning the nature and extent of unacceptable FVC maneuvers and non-reproducible tests; (2) corrective action the technician can take to improve the quality and number of acceptable maneuvers; and (3) recognition for superior performance by the technician in obtaining good maneuvers from challenging patients/subjects.

Manufacturers are encouraged to include quality control aids in their software packages for spirometers. For example, a calibration logging program may be provided that stores the time and results of routine daily calibration checks. Additionally, the program could issue a warning if an acceptable daily calibration check has not been performed.

Recommendation: Hygiene and Infection Control

This section has been reviewed by the Microbiology Assembly.

The major goal of infection control is to prevent infection transmission to patients/subjects and staff during pulmonary function testing. Two major types of infection transmission are:

1. **Direct contact:** There is potential for transmission of upper respiratory disease, enteric infections, and blood-borne infections through direct contact. Although hepatitis and HIV contagion are unlikely via saliva, this is a possibility when there are open sores on the oral mucosa, bleeding gums, or hemoptysis. The most likely surfaces for contact are mouthpieces and the immediate proximal surfaces of valves or tubing.
2. **Indirect contact:** There is potential for transmission of tuberculosis, various viral infections, and, possibly, opportunistic infections and nosocomial pneumonia through aerosol droplets. The most likely surfaces for possible contamination by this route are mouthpieces and proximal valves and tubing.

Prevention:

1. Prevention of infection transmission to technicians exposed to contaminated spirometer surfaces can be accomplished through proper hand washing or use of barrier devices (latex gloves). To avoid technician exposure and cross-contamination, hands should be washed immediately after direct handling of mouthpieces, tubing, breathing valves, or interior spirometer surfaces. Gloves should be worn when handling potentially contaminated equipment if there are any open cuts or sores on technicians' hands. Hand washing should always be performed between patients. Indications and techniques for hand washing during pulmonary function testing have been reviewed by Tablan and coworkers (45).
2. To avoid cross-contamination, reusable mouthpieces, breathing tubes, valves, and manifolds should be disinfected or sterilized regularly. Mouthpieces, nose clips, and any other equipment coming into direct contact with mucosal surfaces should be disinfected, sterilized, or discarded (i.e., disposable mouthpieces, nose clips, etc.) after each use. The optimal frequency for disinfection or sterilization of tubing, valves, or manifolds has not been established. However, any equipment surface with visible condensation from expired air should be disinfected or sterilized before reuse. Since the use of cold sterilizing agents is not without risk, laboratory staff should take care to follow all manufacturer's recommendations regarding proper handling of these products.
3. Between subjects, spirometers using the closed circuit tech-

nique should be flushed at least five times over the entire volume range to facilitate clearance of droplet nuclei. Also, the breathing tube and mouthpiece should be decontaminated between patients. When the open circuit technique is used, only that portion of the circuit through which rebreathing occurs needs to be decontaminated between patients. For example, when a pneumotachometer system is used, either inspiration from the device should be avoided or the resistive element and tubing should be decontaminated between subjects. A disposable sensor is another alternative. When an open circuit technique is used for measurement of only the forced exhalation, without inspiration from the measuring system (either volume- or flow-type spirometers), only the mouthpiece needs to be changed or decontaminated between subjects.

It should be noted that disassembling, cleaning, and/or sensor replacement requires recalibration. If patients do not inspire through the device, there is the disadvantage that test acceptability may be more difficult to assess in the absence of an inspiratory tracing. On the other hand, disassembly, cleaning, or sensor replacement has the disadvantage that recalibration is required. Alternatively, in-line filters may be effective in preventing equipment contamination (46). However, if an in-line filter is used, the measuring system should meet the minimal recommendations for range, accuracy, flow resistance, and back pressure with the filter installed. The influence of commercially available in-line filters on forced expiratory measures, such as the FVC and FEV₁, has not been well characterized.

4. In settings where tuberculosis or other diseases spread by droplet nuclei are likely to be encountered, proper attention to environmental engineering controls, such as ventilation, air filtration, or ultraviolet decontamination of air, should be used to prevent disease transmission.
5. Special precautions should be taken when testing patients with hemoptysis, open sores on the oral mucosa, or bleeding gums. Tubing and breathing valves should be decontaminated before reuse and internal spirometer surfaces should be decontaminated with accepted disinfectants for blood-transmissible agents.
6. Extra precautions may be undertaken for patients with known transmissible infectious diseases. Possible precautions include: (a) Reserving equipment for the sole purpose of testing infected patients; (b) testing patients at the end of the day to allow time for spirometer disassembly and disinfection; and (c) testing patients in their own room or in rooms with adequate ventilation and easily cleaned surfaces.
7. In the absence of evidence for infection transmission during pulmonary function testing, the regular use of in-line filters is not mandated when the precautions described above are followed. However, some spirometric equipment, particularly those incorporated in multi-purpose testing systems, employ valve manifolds that are situated proximal to breathing tubes. These valving arrangements provide internal surfaces on which deposition of expired aerosol nuclei is likely. Given their complexity, they may be difficult to disassemble and disinfect between subjects. To the extent that in-line filters have been shown to remove microorganisms from the expiratory air stream and thus prevent their deposition, presumably as aerosol nuclei on spirometer surfaces (46), their use may be indicated in this setting. The economy of using in-line filters compared with tubing and valve changes depends on the PFT equipment in use. The extent to which measures such as maximum expiratory flow or other instantaneous flows are influenced by the use of in-line filters is undocumented. One study has shown that a low impedance barrier device did not have a significant impact on spirometric indices, such as the forced vital capacity and the FEV₁ (47). If an in-line filter is used during spirometry, interpretation of spirometric indi-

ces other than FVC and FEV₁ (e.g., PEF) should allow for the possibility that the filter might affect spirometer performance. The mechanical characteristics of the combined measuring device and filter should meet the minimal recommendations outlined in Table 2. Furthermore, if in-line filters are used, it is recommended that equipment be calibrated with the filter installed. The use of in-line filters does not eliminate the need for regular cleaning and decontamination of spirometric equipment.

8. Manufacturers of spirometric equipment are encouraged to design instrumentation that can be easily disassembled for disinfection.

Rationale. Spirometric equipment has not been directly implicated in the transmission of infections, although there is indirect evidence of infection transmission during pulmonary function testing (PFT). Organisms from the respiratory tract of test subjects can be recovered from PFT mouthpieces and from the proximal surfaces of tubing through which the subjects breathe (48, 49). There is one case report of a tuberculosis skin-test conversion after exposure to a spirometer used to test a patient with documented tuberculosis (50). Likewise, there is circumstantial evidence that contaminated PFT equipment may be implicated in the increasing prevalence of *Pseudomonas* infections among cystic fibrosis patients at one center (51). There is some evidence that pneumotachometer-based systems are less susceptible to bacterial contamination than water-sealed spirometers (52). Finally, it is well documented that community hospital water supplies can be contaminated with *Mycobacteria* and *Pseudomonas aeruginosa* organisms (53-55). Thus, the potential exists for both patients/subjects and health care workers to deposit microorganisms onto spirometer surfaces (including mouthpieces, nose clips, tubing, and any internal or external machine surface), which could subsequently come into direct or indirect contact with other patients. This does not seem to pose an appreciable threat to patients/subjects with competent immune systems.

It has been argued that immunocompromised patients may require only a relatively small infective dose of either opportunistic organisms or common pathogens. Concerns for the protection of immunocompromised hosts, along with increased public and provider awareness of hospital infection control issues over the past decade, has led many laboratory directors to use in-line filters routinely as a means of reassuring patients and laboratory personnel that adequate consideration has been given to protection. There is no direct evidence that routine spirometry testing poses an increased risk of infection to immunocompromised patients.

Recommendation: Equipment Quality Control

- The recommendations that follow are primarily aimed at diagnostic devices.

Attention to good equipment quality control and calibration is an important part of good laboratory practice. Log books of calibration results must be maintained. Documentation of repairs or other alterations that return the equipment to acceptable operation need to be maintained. Dates of computer software and hardware updates or changes must also be maintained.

Volume. The spirometer's ability to accurately measure volume must be checked at least daily with a calibrated syringe with a volume of at least 3 L. During industrial surveys or other studies in which a large number of subject maneuvers are done, the equipment's calibration must be checked daily, before testing, and every 4 h during use (44). In circumstances where the temperature is changing (e.g., field studies), more frequent temperature corrections may be needed. Although there is minimal day-to-day variation in volume calibration, daily calibration checking is highly recommended so that the onset of a problem can be de-

terminated within 1 day, eliminating needless reporting of false values for several weeks or months and also to help define day-to-day laboratory variability. It is recommended that the calibration syringe be stored and used in such a way as to maintain the exact temperature and humidity of the testing site. This is best accomplished by keeping the syringe in close proximity to the spirometer. In the case of flow-type spirometers where a volume syringe is used to check the instrument, volume calibration checks using different flow rates are recommended. At least three trials where the flow rates are varied between 2 and 12 L/s must be performed (3-L injection times of approximately 1 s, 6 s, and somewhere in between 2 and 6 s).

Syringe Accuracy. The syringe used to check the volume calibration of spirometers must have an accuracy of at least 15 ml or at least 0.5% of full scale (15 ml for a 3-L syringe), and the manufacturer must provide recommendations concerning appropriate syringe calibration intervals. If the syringe has an adjustable variable stop, the syringe may be out of calibration if the stop is reset. Calibration syringes should be leak-tested periodically by trying to empty them with the outlet corked.

Leak Test. Volumetric spirometer systems must be evaluated for leaks on a daily basis (15, 56). The Intermountain Thoracic Society Manual (15) suggests that leaks can be detected by applying a constant positive pressure of 3 cm H₂O or more with the spirometer outlet occluded. Any observed volume change of greater than 10 ml after 1 min is indicative of a leak (15) and needs to be corrected.

Linearity. At least quarterly, volume spirometers must have their calibration checked over their entire volume range (in 1-L increments) using a calibrated syringe (42) or an equivalent volume standard. Flow spirometers must have their linearity determined at least weekly and given the current software capabilities, daily linearity checks are reasonable. Flow spirometer linearity can be checked by injecting the volume from a 3-L syringe with several different flows. The linearity check is considered acceptable if the spirometer meets the volume accuracy requirements for all flows and/or volumes tested.

Time. Assessing mechanical recorder time scale accuracy with a stopwatch must be performed at least quarterly. An accuracy of within 1% must be achieved. If equipment is changed or relocated (e.g., industrial surveys), calibration checks and quality control procedures must be repeated before initiating further testing.

PEF Meters. Since it is difficult to perform a calibration check of portable peak flow monitoring meters, it is particularly important that the instructions from the manufacturer include information concerning typical instrument lifetimes and methods of recognizing when an instrument is malfunctioning.

Other Quality Assurance Procedures. In addition to calibration with physical standards, the practice of using laboratory personnel as "known subjects" and performing intralaboratory and interlaboratory testing is recommended (44). The ATS has published guidelines for quality assurance in pulmonary function laboratories (44), which can be consulted for specific details.

The use of computers to analyze spirometry has accelerated in the past 10 yr, and this trend is advantageous to obtain accurate spirometry (10, 30). However, testing of commercially available spirometers consistently shows that a major source of errors is in computer software (42). Because of the increased use of computers in pulmonary laboratories and the problems associated with them (42, 57), the ATS has published computer guidelines for pulmonary laboratories (58), which should be followed. Computer software must adhere to ATS recommendations, especially procedural recommendations, contained in this statement. Because of the tremendous improvement in the power and speed of computers and their extensive use in hospitals and clinics, manufacturers should attempt to integrate computers into

TABLE 5
EQUIPMENT QUALITY CONTROL SUMMARY

Test	Minimum Interval	Action
Volume	Daily	3-L syringe check
Leak	Daily	3 cm H ₂ O constant pressure for 1 min
Linearity	Quarterly Weekly (flow spirometers)	1-L increments with a calibrating syringe measured over entire volume range (flow spirometers simulate several different flow ranges)
Time	Quarterly	Mechanical recorder check with stopwatch
Software	New versions	Log installation date and perform test using "known" subject

their spirometry systems. Primary data should be available, allowing independent manipulation of uncorrected values by the user. Listings or descriptions of ATS algorithms should be available (end of test, back-extrapolation, etc.). In addition, some program flexibility should be available to the user, for example, allowing user selection of appropriate reference equations, including the use of user-derived reference equations.

MANEUVER PERFORMANCE RECOMMENDATIONS

Personnel Qualifications

The ATS has made recommendations for laboratory personnel conducting pulmonary function tests (59). High school training was recommended. In addition, the ATS encouraged but did not mandate one or more years of college or equivalent training and a strong background in mathematics. For pulmonary function laboratories, 6 mo of supervised training time is recommended for conducting spirometry. If troubleshooting is to be a part of the laboratory technician's responsibility, a training period of 1 yr is recommended. The ATS recommends that the medical directors must have appropriate training and be responsible for all pulmonary function testing (60).

For industrial/occupational testing, there are training requirements mandated by the National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), industry, and the ACCP (16, 31, 61). Several excellent training manuals have been prepared for performance of spirometry (15, 16, 31, 62, 63). NIOSH approves the content of spirometry training courses under the U.S. Cotton Dust Standard (16).

Recommendation: VC—Subject Instruction and Maneuver Performance

The VC maneuver may be considered either as an inspiratory vital capacity (IVC), where the subject inhales completely from a position of full expiration, or as an expiratory vital capacity (EVC), where the subject exhales completely from a position of full inspiration. In addition, several spirometer setups are possible using either open or closed circuit techniques with or without rebreathing.

1. A closed circuit technique *without* CO₂ absorption (i.e., using a rolling-sealed or water-sealed spirometer) may be used. Subjects may also rebreathe from the spirometer circuit. Rebreathing is preferable because it allows technicians to better monitor the entire vital capacity maneuver. In the absence of CO₂ absorption and the addition of supplemental oxygen, the maneuver should be brief—fewer tidal volumes before and after the VC maneuver.
2. A closed circuit technique *with* CO₂ absorption and the addition of supplemental oxygen may be used. This system allows

the subject to rebreathe for a longer period of time and establish a better FRC baseline. However, it requires precise replacement of oxygen to avoid shifting the baseline.

3. A modified closed circuit technique (i.e., flow-sensor-based systems where the subject can breathe in and out through the sensor without the need for CO₂ absorption) may be used.
4. An open circuit technique where the subjects may inhale completely before inserting the mouthpiece and exhaling into the spirometer may be used. This may be preferable when hygiene concerns are present.

For all systems, it is important to instruct the subject in the VC maneuver and demonstrate the appropriate technique. It is important that subjects understand they must *completely* fill and empty their lungs.

Standard Procedure Open Circuit Technique. The subject inhales maximally, inserts the mouthpiece just past his/her front teeth, seals his/her lips around the mouthpiece, and blows slowly and evenly until a clear plateau is seen at maximal exhalation or until end-of-test criteria (see sections on FVC and end-of-test criteria) are met. The technician must observe the subject's inhalation to ensure that it is complete and that air is not exhaled while the mouthpiece is being inserted. During the exhalation, the technician should monitor the spirometer volume-time display to ensure that a relatively constant expiratory flow and an adequate end-expiratory plateau is achieved (see APPENDIX A for examples of the VC maneuver).

Closed Circuit Techniques. The following procedure should be used when testing is conducted *without* CO₂ absorption (limited oxygen reserve available for test performance). A two-way valve may be useful, allowing the initial tidal volumes to be performed with room air before the subject is connected to the spirometer. The test is begun with quiet breathing, preferably with the subject breathing room air. No more than five tidal volumes should be recorded with the subject rebreathing from the spirometer. The subject should then perform the VC maneuver described below. When CO₂ absorption is not used, returning to FRC after the VC maneuver followed by three tidal volumes may be helpful but is not required.

The following procedure should be used when testing is conducted with CO₂ absorption and oxygen supplementation. The test is begun with quiet breathing. Several tidal volumes should be recorded (minimum of five or until a stable end-expiratory level is observed). The subject should then perform the VC maneuver described below. The end of test is reached when the subject returns to the level of FRC and performs at least three more tidal volumes.

For both procedures, the maneuver is not forced; it is performed in a relaxed manner with the subject using a mouthpiece and a nose clip. The VC maneuver is composed of the subject exhaling completely to residual volume (RV), and completely inhaling to total lung capacity (TLC), and then exhaling to residual volume again. The technician should encourage the subject to reach maximal inhaled and exhaled volumes with a relatively constant flow. Technicians should observe the subject to be certain his/her lips are sealed, that nothing obstructs the mouthpiece, that no leaks occur, and that TLC and RV are reached. The technician should check the volume display to ensure relatively linear inspiratory and expiratory volume curves and adequate maximal inspiratory and expiratory level plateaus. Oxygen should be added to the circuit to precisely counterbalance the absorption of CO₂.

For all techniques, a minimum of two acceptable VC maneuvers should be obtained, with a maximum of four attempts. The largest VC should be reported. Some investigators have reported that the VC is slightly higher than the FVC in normal subjects (64).

TABLE 6
PERFORMANCE OF FVC MANEUVER

Check spirometer calibration
Explain test
Prepare subject
Ask about smoking, recent illness, medication use, etc.
Instruct and demonstrate test to subject
Correct posture with head elevated
Inhale completely
Position mouthpiece (open circuit)
Exhale with maximal force
Perform maneuver
Have subject assume correct posture
Attach nose clip
Inhale completely; the inhalation should be rapid but not forced
Place mouthpiece in mouth and close lips around mouthpiece
Exhale maximally as soon as lips are sealed around mouthpiece*
Repeat instructions as necessary, coaching vigorously
Repeat for a minimum of three maneuvers; no more than eight are usually required
Check test reproducibility and perform more maneuvers as necessary

* D'Angelo and co-workers (65) have reported that PEF and FEV₁ for 13 normal subjects measured in a body plethysmograph are reduced (4% and 3%, respectively) when, during the inspiratory maneuver, there is a 4-6 s pause at TLC before beginning exhalation. Therefore, an excessive pause at TLC should be avoided.

Recommendation: FVC—Subject Instruction and Maneuver Performance

Instruct the subject in the FVC maneuver. The technician should demonstrate the appropriate technique (Table 6). Have the subject inhale from FRC and then, if using the open circuit method, insert the breathing tube into his/her mouth, making sure his/her lips are sealed around the mouthpiece, and begin the FVC maneuver with minimal hesitation (65). It is *imperative* that the subject have a complete inhalation before beginning the forced exhalation. Prompt the subject to "blast," not just "blow," the air from their lungs, then continue to encourage him/her to fully exhale. Throughout the maneuver, enthusiastically coach the subject by word and body language. It is particularly helpful to observe the subject and the chart recorder or computer display during the test to better ensure maximal effort. Perform a *minimum* of three acceptable FVC maneuvers. If a subject shows large variability (FVC and/or FEV₁) between expiratory maneuvers (> 0.2 L), reproducibility criteria may require that up to but usually no more than eight maneuvers be performed. Volume-time or flow-volume curves from the best three FVC maneuvers must be retained. See Figure 3 and the section on acceptability and reproducibility for further clarification.

Recommendation (Monitoring): PEF—Subject Instruction and Test Performance

Since PEF is both effort- and volume-dependent, maximum subject cooperation is essential. Since an optimal peak flow is usually reached in about one-tenth of a second, patients must be encouraged to perform the expiratory maneuver as vigorously as possible. The subject should not cough and a prolonged exhalation is unnecessary (1 to 2 s is adequate).

When implementing unobserved self-administered PEF measurements, it is essential that:

1. The subject should be taught how to use the peak flow meter properly by someone skilled with the procedure. Trained personnel should observe the subject's performance both initially and on repeat visits.
2. The subject should be taught how and when to record PEF measurements, along with other pertinent information, such as symptoms.
3. The subject should be instructed about what action to take if PEF falls.

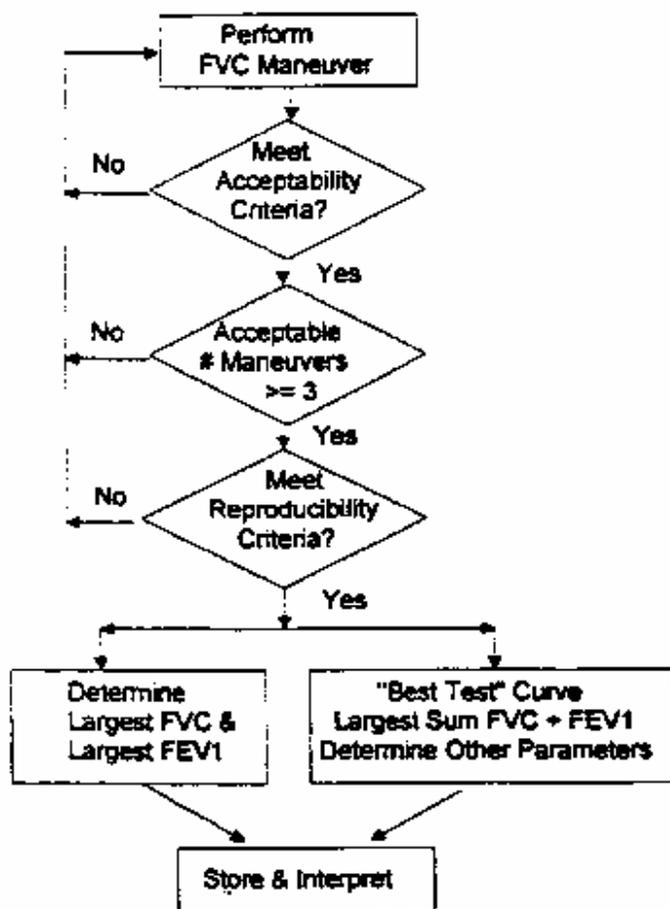


Figure 3. Flow-chart diagram of FVC spirometry testing.

Recommendation: FVC—Satisfactory Start-of-Test Criteria

To achieve accurate "time zero" and ensure that the FEV₁ comes from a maximal effort curve, the extrapolated volume must be less than 5% of the FVC or 0.15 L, whichever is greater. See Figure 2 for an example and explanation of back extrapolation. In the example shown, the extrapolated volume is 0.16 L or 8%. In general, back-extrapolated volume should be measured on any curve with a perceptible extrapolated volume. Provisions for rapid computerized feedback to the technician when these criteria are not met are encouraged.

The committee discussed the possible use of time-to-PEF as a measure of the subject's performance early in the FVC maneuver. However, the committee felt there were insufficient data on which to base a clear recommendation, and additional research is needed. When conducting research on assessment of the subjects' correct performance of FVC maneuvers, investigators are encouraged to measure the time-to-PEF or rise-time of peak flow in addition to other quality assessment parameters. The rise-time of peak flow is defined as the time required for expiratory flow to rise from 10% to 90% of the maneuver's peak flow. Although use of other measures of acceptable efforts have been described and may be useful (8, 66), they are not recommended at this time.

Rationale. A very slow start with a low peak flow will result in a greater than allowable extrapolated volume (Figure 2) (1, 67-69). In addition, the FEV₁ from a submaximal effort can be either smaller than those obtained when a maximal effort is performed because the subject fails to reach a maximal TLC, or larger

TABLE 7
PERFORMANCE OF PEAK FLOW MANEUVER

<p>Explain and demonstrate the test*</p> <p>Zero the PEF monitor, if necessary</p> <p>Stand up straight</p> <p>Inhale completely; the inhalation should be rapid but not forced</p> <p>Place PEF monitor in mouth and close lips around mouthpiece†</p> <p>Exhale with maximal force‡ as soon as lips are sealed around mouthpiece‡</p> <p>Write down results</p> <p>Repeat two more times (three total)</p> <p>Record all three values</p>

* Not necessary if at home.
 † Nose clips are not necessary.
 ‡ Make sure subject understands to make full use of respiratory muscles, not just use the diaphragm as a "toot" or "mouth" maneuver.
 ‡ D'Angelo and coworkers (65) have reported that PEF is reduced when, during the inspiratory maneuver, there is a 4-6-s pause at TLC before beginning exhalation. It is not known if similar changes will be observed with portable peak flow meters.

due to less dynamic compression of airways in subjects where airways are relatively more collapsible. Recent experience in large epidemiologic studies (3) suggests that use of time-to-PEF and PEF reproducibility may minimize most of these problems in the majority of subjects. However, at this time, it is not recommended that maneuvers be eliminated because of a low PEF or PEF rise-time, but only because of an excessively large extrapolated volume.

Recommendation: FVC—Minimum Exhalation Time

A minimum exhalation time of 6 s (length of maximum expiratory effort), unless there is an obvious plateau in the volume-time curve display, is required to obtain maximal FVC results. There are instances (e.g., the testing of children, young adults, and some restricted patients) where shorter exhalation times are acceptable.

Recommendation: FVC—End-of-Test Criteria

To obtain an optimal effort, it is important that subjects be verbally exhorted to continue to exhale air at the end of the maneuver. End-of-test criteria are used to identify a reasonable FVC effort. Recommended end-of-test criteria are:

1. The subject cannot or should not continue further exhalation. Although subjects should be encouraged to achieve their maximal effort, they should be allowed to terminate the maneuver on their own at any time, especially if they are experiencing discomfort. The technician should also be alert to any indication the patient is experiencing discomfort and should terminate the test if a patient is becoming uncomfortable.

OR

2. The volume-time curve shows an obvious plateau. This criterion is based on no change in volume for at least 1 s after an exhalation time of at least 6 s (10 s is optimal). "No change in volume" is defined as the minimal detectable volume of the spirometer. To meet ATS criteria, the minimal detectable volume for spirometers must be 0.030 L or less.

OR

3. The forced exhalation is of reasonable duration. For patients with airways obstruction or older subjects, exhalation times longer than 6 s are frequently needed to reach a plateau. Many would not reach a plateau even with a 20-s exhalation. However, exhalation times greater than 15 s will rarely change clinical decisions. Multiple prolonged exhalations (longer than 6 s) are seldom justified and may cause lightheadedness, syncope, undue fatigue, and unnecessary discomfort. In such patients, a slow or unforced VC maneuver (previously described) may provide a more appropriate denominator for calculation

of the FEV₁/VC%. Manufacturers should note that several of the 24 test waveforms have durations longer than 20 s.

Achieving an end-of-test criterion is one measure of maneuver acceptability. Maneuvers that do not meet an end-of-test criterion should not be used to satisfy the requirement of three acceptable maneuvers. However, early termination is not by itself a reason to eliminate a maneuver from further consideration. Information such as FEV₁ and FEV_{2.5} may be valid (depending on the length of exhalation) and should be reported from these early terminated maneuvers. When the subject does not exhale completely, the volume accumulated over a shorter period of time (e.g., 4 s) may be used as an approximate surrogate for FVC. In such cases, the volume label should reflect the shorter exhalation time (e.g., FEV₄ for a 4-s exhalation).

Recommendation: VC and FVC—Maximum Number of Maneuvers

Although there may be some circumstances in which more than eight consecutive FVC maneuvers may be needed, eight maneuvers is considered a practical upper limit for most subjects. After several forced expiratory maneuvers, fatigue begins to take its toll on subjects, and thus on their spirometric parameters, so additional maneuvers would be of little added value. In addition, some subjects with asthma may exhibit spirometry-induced bronchospasm. Ferris and associates (70) and Kanner and colleagues (71) have reported that for adults and children, eight maneuvers is a practical upper limit. For VC, four is considered a practical upper limit. Because of the potential for muscular fatigue and volume history effects, it is preferable that VC maneuvers be performed before FVC maneuvers.

Recommendation (Monitoring): PEF—Number of Trials

The subject must perform and record a minimum of three trials.

Recommendation: VC and FVC—Environmental Conditions

Spirometric testing with ambient temperatures less than 17° C or more than 40° C may pose problems. Ambient temperature must *always* be recorded and reported to an accuracy of $\pm 1^\circ$ C. In situations where the ambient air temperature is changing rapidly ($> 5^\circ$ C in less than 30 min), continuous temperature corrections should be made. Spirometer users should be aware of the problems with testing done at lower temperatures, which in some subjects can cause airflow limitation. Due to other technical reasons, 17° C is judged to be an acceptable and reasonable lower limit (32–38, 72) for ambient temperature. Ranges of barometric pressures that are acceptable for the spirometer must be published by the manufacturer.

Rationale. There is evidence that some subjects may develop airflow limitation with the inhalation of very cold air. Therefore, spirometry should not be conducted when the ambient temperature is cold enough to induce airflow limitation.

Studies also point out the problem of finite cooling times of gases in volume-type spirometers and their associated tubing (32–35) when STPS correction techniques usually assume instantaneous cooling. In one of these studies, it was found that a 7.7 to 14% error in FEV₁ results if the volume-type spirometer is at an ambient temperature of 3° C and the standard STPS correction is used. This error is less if the spirometer is warmer (nearer body temperature) (32). As a result, 17° C was judged to be an acceptable and reasonable lower limit.

Complexities related to temperature are also encountered with flow-measuring devices (34–38). Air exhaled from the mouth is estimated to be 33 to 35° C (36, 38, 39). If any connecting tubing is used between the mouthpiece and the flow sensor, the exhaled gas will experience a variable amount of cooling if the room temperature is not at approximately 33° C. Details of the cooling pattern for many types of flow spirometers have not been stud-

ied, but they may result in errors similar to those for volume devices (34–38).

Because not all spirometers are used at sea level (blood pressure = 760 mm Hg), the range of barometric pressures allowed by the spirometer and its associated computational equipment must be specified by the manufacturer.

Recommendation: VC and FVC—Use of Nose Clips

In most people, not wearing nose clips does not appreciably influence the FVC when using the open circuit technique. However, some people breathe through the nose and the use of nose clips is encouraged, especially when performing a slow VC maneuver. Nose clips must be used if a closed circuit technique with carbon dioxide absorption is used.

Recommendation: VC and FVC—Sitting Versus Standing

Testing may be done either in the sitting or standing position. Indication of position is necessary on the report (1, 73). The standing position may not be appropriate in some circumstances, such as in hospitals where many patients may not be able to tolerate the standing position, especially when making forced maneuvers. The selection of the position for testing is, therefore, an individual one. If the standing position is used, an appropriately shaped chair should be placed behind the patient/subject so he/she can be quickly and easily eased into a sitting position if he/she becomes light-headed during the maneuver.

Rationale. Studies by Townsend show that for adults there are significantly larger FEV₁s in the standing position than in the sitting position (73). The earlier ATS recommendation indicates that in children, VC is greater when standing (1).

Recommendation (Monitoring): PEF—Nose Clips and Subject Position

Nose clips are not necessary when using PEF meters. Although the test can be conducted while sitting, the standing position is preferred.

Rationale. Because the PEF is dependent on a complete inhalation and an exhalation with maximal force, the standing position is preferred.

Bronchodilator Testing. Spirometry is often performed before and after inhalation of bronchodilators (or bronchoconstrictors) from a metered dose inhaler (MDI) or nebulizers. Although specific recommendations are beyond the scope of this document, it should be remembered that this is a complex procedure. Factors that can significantly affect a patient's response include: (1) activity, dose, and airway deposition of the medication; (2) recent prior medication; (3) timing of the postmedication maneuver; (4) choice and variability of the measurement used to detect a response; and (5) the method of calculating the magnitude of change after administering the bronchodilator.

MEASUREMENT PROCEDURES

Measurement

Spirometric variables should be measured from a series of *at least* three acceptable forced expiratory curves.

Recommendation: VC and FVC—Test Result Selection/Reporting of Results

The largest VC should be reported from all acceptable curves, including the forced maneuvers (FVC). The largest FVC and the largest FEV₁ (STPS) should be recorded after examining the data from all of the acceptable curves, even if they do not come from the same curve. Other measures, such as the FEF_{25–75%} and the instantaneous expiratory flows, should be obtained from the single curve (1, 2, 15) that meets the acceptability criteria and gives the largest sum of FVC plus FEV₁ (best test).

Recommendation (Monitoring): PEF—Test Result/Reporting of Readings

Although all readings are recorded, the highest reading at any testing session (minimum of three trials) should be used in trend analysis. All readings are recorded to allow the comparison of the trials to evaluate reproducibility and to detect possible maneuver-induced bronchospasm.

Rationale. Since the PEF is effort-dependent, the highest reading should be used. This is consistent with the current recommended selection method for FVC and FEV₁.

ACCEPTABILITY AND REPRODUCIBILITY

Recommendation: VC and FVC—Maneuver Acceptability

For FVC measurements, acceptability must be determined by ascertaining that the recommendations outlined previously in the section on performing the FVC test are met. APPENDIX A contains examples of unacceptable volume-time and corresponding flow-volume curves. In review, these acceptability criteria are (1) satisfactory start-of-test; (2) minimum FVC exhalation time of 6 s; and (3) end-of-test criteria. In addition, the technician should observe that the subject understood the instructions and performed the maneuver with a maximum inspiration, with a good start, with a smooth continuous exhalation, with maximal effort, and without:

1. An unsatisfactory start of expiration, characterized by excessive hesitation, false start, or extrapolated volume of greater than 5% of FVC or 0.15 L, whichever is greater (Figure 2).
2. Coughing during the first second of the maneuver, thereby affecting the measured FEV₁ value, or any other cough that, in the technician's judgment, interferes with measurement of accurate results (APPENDIX A, Figures 2A and 2B).
3. Early termination of expiration. A plateau in the volume-time curve should be observed, as defined by no change in volume for at least 1 s or a reasonable expiratory time. In a normal young subject this would be before completion of the breath—usually less than a 6-s maneuver. In an obstructed or older healthy subject, a longer expiratory time is required to reach a plateau (2, 74, 75) (APPENDIX A, Figures 3A and 3B). However, multiple prolonged exhalations (longer than 6 s) are seldom justified.
4. Valsalva maneuver (glottis closure) or hesitation during the maneuver that causes a cessation of airflow (APPENDIX A, Figures 4A and 4B).
5. A leak (APPENDIX A, Figures 5A and 5B).
6. An obstructed mouthpiece (e.g., obstruction due to the tongue being placed in front of the mouthpiece or false teeth falling in front of the mouthpiece).

For VC measurements, all of the above requirements should be met with the exception of those related to the forced nature of the effort. In addition, plateaus in the volume-time display should be reached at both the maximal inspiratory and expiratory volumes.

Computer-based systems that provide feedback to the technician when the above conditions are not met are desirable. The reporting format should include qualifiers indicating the acceptability of each maneuver. However, it cannot be overemphasized that failure to meet these criteria does not necessarily invalidate the maneuver, since for some subjects this is their best performance. Further, such maneuvers should be retained, since these maneuvers may contain useful information.

A flow chart outlining how acceptability and reproducibility criteria are to be applied is shown in Figure 3.

Recommendation: VC and FVC—Test Result Reproducibility

As a goal during test result performance, the largest FVC (or VC) and second largest FVC (or VC) from acceptable maneuvers must not vary by more than 0.2 L. In addition for forced exhalations, the largest FEV₁ and the second largest FEV₁ must not vary by more than 0.2 L. The 0.2 L reproducibility criteria are a change from the ATS 1987 Spirometry Statement and are intended to provide an equal assessment of test reproducibility independent of lung size. However, these criteria are only goals during data collection; therefore, an immediate change in spirometry data collection software is not warranted.

The reproducibility criteria are used as a guide to whether more than three acceptable FVC maneuvers are needed; these criteria are *not* to be used for excluding results from reports or for excluding subjects from a study. Labeling results as being derived from data that do not conform to the reproducibility criteria stated above is encouraged (especially when the data suggest that bronchospasm was triggered by the FVC maneuver). In addition, the reproducibility criteria are minimum requirements and many subjects should be able to provide FVC and FEV₁ reproducibility well below 0.2 L. The acceptability criteria must be applied before the reproducibility criteria (Figure 3). Unacceptable maneuvers must be discarded before applying the reproducibility criteria.

The only criterion for unacceptable subject performance is fewer than two acceptable curves. No spirogram should be rejected solely on the basis of its poor reproducibility. Reproducibility of results should be considered at the time of interpretation. Use of data from maneuvers with poor reproducibility is left to the discretion of the interpreter. In addition, use of data from unacceptable maneuvers due to failure to meet the end-of-test requirements is left to the discretion of the interpreter.

Rationale. Several epidemiologic studies (67–69) have shown that the elimination of data from subjects who fail to meet the ATS reproducibility criteria may result in a population bias by excluding data from subjects who have abnormal lung function. Pennock and colleagues (76) have reported that subjects with obstruction have greater coefficients of variation than do normal subjects. Therefore, these subjects are more likely to be unable to meet the ATS minimum reproducibility criteria. The reproducibility criteria have been simplified to eliminate confusion. If acceptability criteria are not applied before the reproducibility criteria, a passive exhalation maneuver will often be labeled as the best test maneuver because it may give the largest sum of FVC and FEV₁.

The calculation of the FVC and FEV₁ reproducibility presents no problem for a computer; however, the need for rapid determination of FEV₁ during the testing session presents a recognized logistics problem if results are hand-measured and calculated. Changing to 0.2-L criterion does simplify this calculation.

Changing the reproducibility criteria to a minimum value of 0.2-L is based on evidence that within subject variability of FVC and FEV₁ is not dependent on body size. The use of a 5% or 100-ml criterion has been shown to result in more individuals of short stature being classified as nonreproducible. In contrast, a 0.2-L fixed volume criterion provides a commensurable level of difficulty for all subjects, regardless of age or height (lung volume) (77). Regardless of the reproducibility criterion for FVC or FEV₁, it should be used as a goal during data collection. Therefore, continued use of the previous criteria (5% or 0.1 L, whichever is greater) during an interim period should have little practical impact on spirometry results.

Recommendation: PEF—Maneuver Acceptability and Reproducibility

PEF values for each maneuver must be recorded in the order in which they occur. This information will be useful in detecting possible test (maneuver)-induced bronchospasms.

TABLE 8
ACCEPTABILITY AND REPRODUCIBILITY CRITERIA: SUMMARY

Acceptability criteria	
Individual spiromgrams are "acceptable" if:	
They are free from artifacts (see APPENDIX A for examples):	
Cough or glottis closure during the first second of exhalation	
Early termination or cutoff	
Variable effort	
Leak	
Obstructed mouthpiece	
Have good starts	
Extrapolated volume less than 5% of FVC or 0.15 L, whichever is greater; OR	
Time-to-PEF of less than 120 ms (optional until further information is available)	
Have a satisfactory exhalation	
6 s of exhalation and/or a plateau in the volume-time curve; OR	
Reasonable duration of a plateau in the volume-time curve; OR	
If the subject cannot or should not continue to exhale	
Reproducibility criteria	
After three acceptable spiromgrams have been obtained, apply the following tests:	
Are the two largest FVC within 0.2 L of each other?	
Are the two largest FEV ₁ within 0.2 L of each other?	
If both of these criteria are met, the test session may be concluded.	
If both of these criteria are not met, continue testing until:	
Both of the criteria are met with analysis of additional acceptable spiromgrams; OR	
A total of eight tests have been performed; OR	
The patient/subject cannot or should not continue	
Save at a minimum the three best maneuvers	

Rationale. Unlike the FEV₁ obtained from routine spirometry, PEF measurements are more variable, and the measurement is often conducted in patients with high variability in their PEF. Although there may be some benefit from using PEF reproducibility to improve a subject effort, no specific reproducibility criterion is recommended at this time.

REFERENCE VALUES, INTERPRETATION STANDARDIZATION, AND CLINICAL ASSESSMENT

Clinical/Epidemiologic Considerations

Whether the spirogram results are to be used for clinical or epidemiologic purposes, the following recommendations apply.

Since the last standards were issued in 1987, a detailed statement on selection of reference values and interpretation of lung function tests has been published (3). The interpretation of spirometry involves two tasks: (1) The classification of the derived values with respect to a reference population and assessment of the reliability of the data; and (2) The integration of the spirometric values into the diagnosis, therapy, and prognosis for an individual patient. The first task is ordinarily the responsibility of the laboratory director or a designee and serves not only to communicate information to referring health care providers but also is an important aspect of laboratory quality control. The second task is ordinarily the responsibility of the physician requesting the studies and is performed within the context of patient care.

It is the responsibility of the medical director to develop explicit procedures for interpretation of spirometry and to select appropriate reference values. The procedures for interpretation and reference values may legitimately vary from laboratory to laboratory depending upon geographic location and the characteristics of the population being tested. In a setting where large numbers of healthy individuals are being screened for abnormality and the prevalence of disease is low, it is appropriate to set the threshold for abnormality at a higher level than in a setting where most individuals are referred because of symptoms or dis-

ease. In the latter case, where the prevalence of disease is high, an appropriate standard would be set to a more sensitive threshold for abnormality. The interpretative strategy should also take into consideration the consequences of false-positive and false-negative errors. Accordingly, no specific guidelines for interpretative procedures are recommended that would be applicable to all laboratories. More important, however, is that there be a consistent approach to the interpretation of lung function tests within a single laboratory. Therefore, referring physicians will not infer a change in the condition of the patient from a change in interpretation when it is the result of a change in the approach of the interpreting physician.

In providing the referring physician with an interpretation of spirometry results, it is also important to comment on deviations of the data from the guidelines for acceptability and reproducibility set forth herein. Although a spirometry session may not meet all of the guidelines, it may provide important clinical information and should be reported with appropriate qualification. Although some individuals display negative effort dependence, submaximal efforts usually lead to underestimation of the maximal effort values (28). Suboptimal efforts may be adequate to assist clinical decisions, where it can be judged that the recorded values underestimate true lung function.

Acknowledgment: The Committee thanks those who have provided input to this update of the Standardization of Spirometry. Special thanks go to the original participants of the Update Workshop, whose valued input was sought and used.

External reviewers: Scott T. Weiss, M.D., M.S., Cary R. Epler, M.D., and James R. Hansen, M.D.

APPENDIX A

Sample Spiromgrams

The sample spiromgrams shown in this appendix are from actual individuals and represent a few illustrations of acceptable and unacceptable maneuvers. It is imperative that the technician administering the test be capable of recognizing these anomalies and take appropriate corrective action—proper coaching. During the interpretation process, the reviewer may decide to include a maneuver that may have been considered unacceptable during test performance. As with the reproducibility criteria, some judgment must be made concerning what is an unacceptable maneuver. This decision will be based on the number of curves available, the disease pattern observed or expected for the individual, etc. However, the technician's action taken during the data collection stage of the process should almost always be to obtain additional maneuvers combined with effective coaching of the individual.

Figures A1a and A1b are volume-time and corresponding flow-volume samples that are acceptable spiromgrams from the draft NIOSH spirometry manual (78). In these spiromgrams, the individual exhibited a maximal effort for the entire maneuver, exhaling for at least 6 s with a greater than 1 s plateau in the volume-time curve. Figure A1a illustrates the relative expansion of the last portion of the FVC maneuver associated with a volume-time curve display. In contrast, Figure A1b illustrates the relative expansion of the initial portion of the FVC maneuver associated with a flow-volume curve display. Notice in the flow-volume curve (Figure A1b) it is more difficult to determine that the individual produced an acceptable plateau than in the volume-time curve display.

Figures A2a and A2b illustrate an unacceptable spiromgram due to a cough during the first second of exhalation. Notice that the cough, which occurs at approximately 3.0 to 3.5 L, is very apparent in the flow-volume curve but is more difficult to detect in the volume-time curve. The anomalies seen in the volume-time curve at approximately 3.0 and 5.5 L could be slight coughs or variable effort, but occurred after the first second of exhalation.

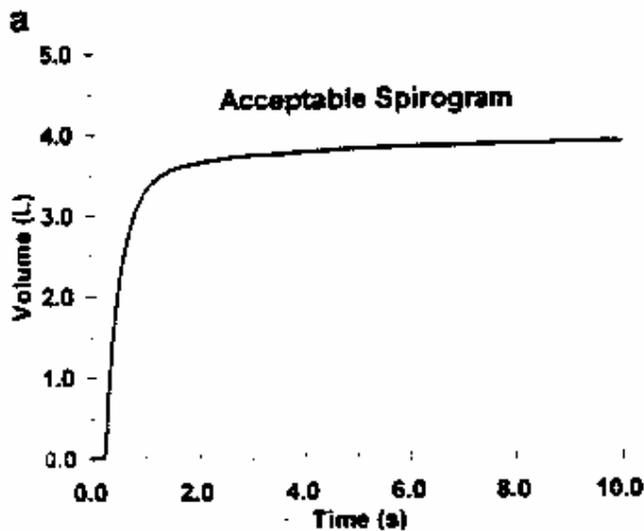


Figure A1a. Acceptable volume-time spirogram.

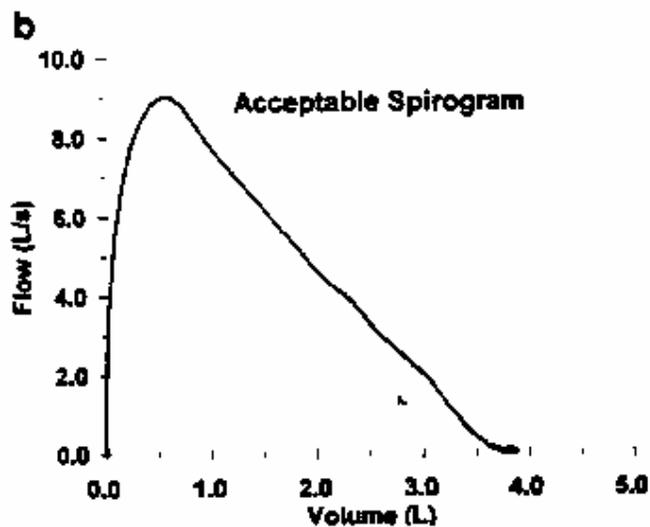


Figure A1b. Acceptable flow-volume spirogram.

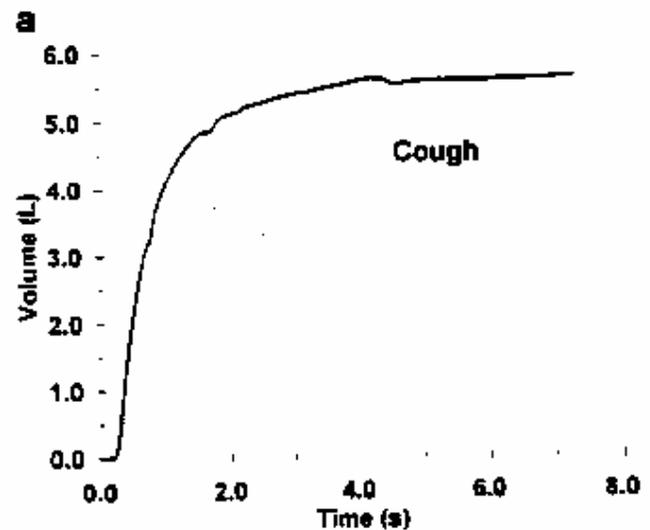


Figure A2a. Volume-time spirogram with a cough during the first second of exhalation.

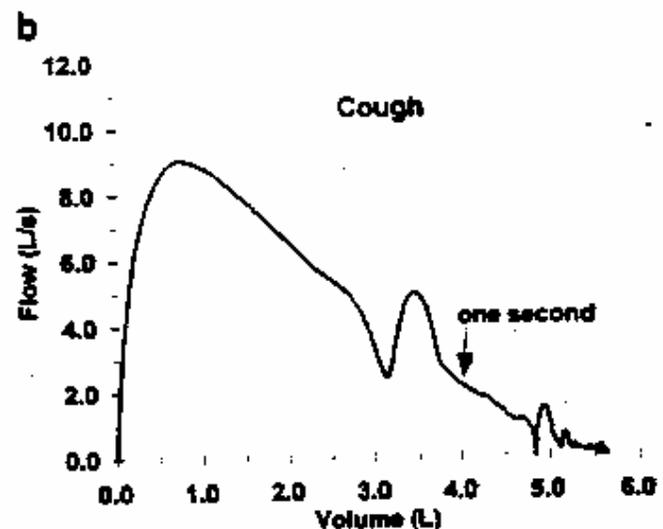


Figure A2b. Flow-volume spirogram with a cough during the first second of exhalation.

Although the fluctuations in flow observed in the flow-volume curve in Figure A2b are reasonably large, they may not result in a significantly different FEV₁. Therefore, the FEV₁ from this curve may be valid, particularly if all other curves are unacceptable. Regardless, when the technician observes the spiograms in Figures A2a and A2b, additional maneuvers should be obtained from the individual.

Figures A3a and A3b illustrate an unacceptable spirogram due to a variable effort or cough during the first second of exhalation and early termination of the maneuver. The anomaly observed at 1 L of exhalation is apparent on both the volume-time and flow-volume curves.

The duration of the anomaly and the fact that the flow immediately following the anomaly does not exceed the expected flow-volume envelope suggest that the anomaly is a variation in effort instead of a cough. The early termination is less apparent on the flow-volume curve. However, on the volume-time

curve, it is apparent that the individual failed to exhale for 6 s and there is no 1-s plateau of the volume-time curve.

Figures A4a and A4b illustrate unacceptable sample spiograms due to an abrupt termination of flow at the end of the maneuver, possibly the result of the individual closing his/her glottis. Notice in Figure A4a that the volume-time curve plateaus abruptly at approximately 2.2 s where the volume remains constant for the remainder of the maneuver. In Figure A4b, the flow-volume curve exhibits an abrupt decrease in flow at the end of the maneuver.

Figures A5a and A5b illustrate unacceptable sample spiograms due to a leak in the volume-type spirometer or spirometer hose. This leak is approximately 50 ml/s and produces an approximate 300-ml loss in volume over the 6-s exhalation produced by this individual. Notice that the leak is very apparent on the volume-time curve and perhaps less apparent on the flow-volume curve. At the end of the maneuver when the leak is most

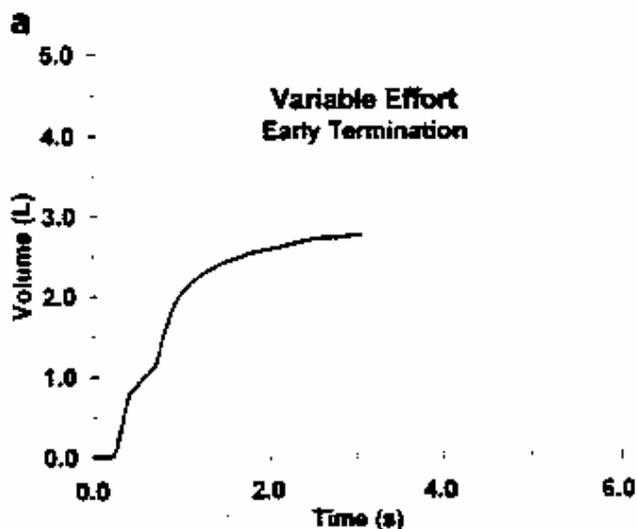


Figure A3a. Unacceptable volume-time spirogram due to variable effort and early termination.

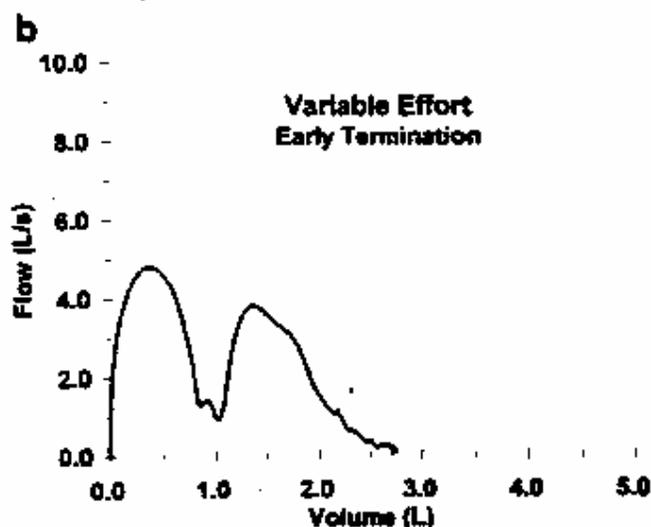


Figure A3b. Unacceptable flow-volume spirogram due to variable effort and early termination.

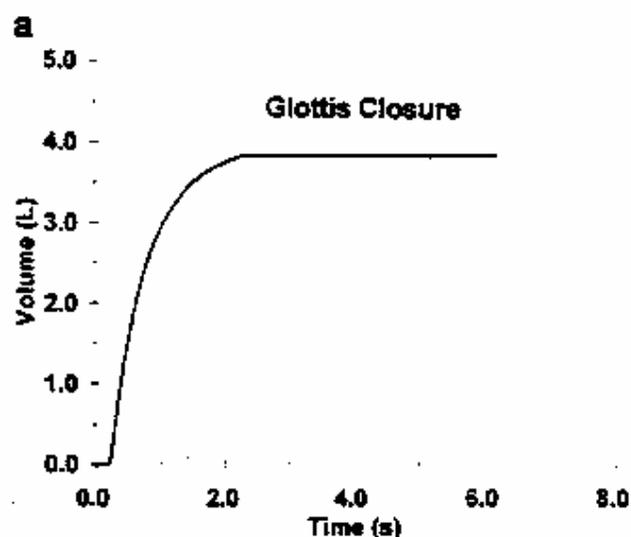


Figure A4a. Unacceptable volume-time spirogram due to possible glottis closure.

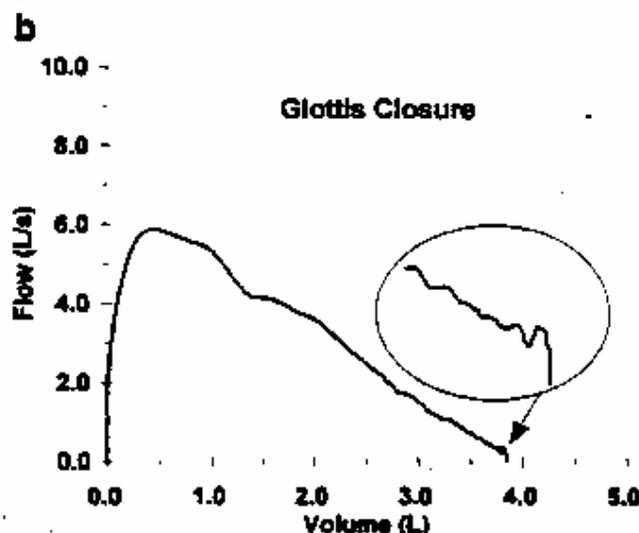


Figure A4b. Unacceptable flow-volume spirogram due to possible glottis closure.

apparent, the flow is slightly negative and volume is decreasing (see insert in Figure A5b, short line moving to the left below the zero flow line). If a spirometry system display does not display negative flows, then the leak would be even less apparent on the flow-volume curve.

Figures A6a and A6b illustrate acceptable sample spirometry for an individual with mild airways obstruction ($FEV_1/FVC\% = 67\%$). Notice the relatively small change in volume after 10 s of exhalation (Figure A6a) and the corresponding relative low flow (Figure A6b) at the end of the maneuver.

In addition to requiring three acceptable maneuvers, the reproducibility criteria for FVC and FEV₁ should be met as a goal during test performance. Figure A7a illustrates the volume-time curve and Figure A7b the corresponding flow-volume curve for a 22-yr-old, healthy female. In these figures, the subject did not meet the minimum reproducibility criteria for both the FVC and FEV₁, despite performing three acceptable maneu-

vers. The second largest FVC was 0.43 L (10%) lower than the largest, and the second largest FEV₁ was 0.37 L (12.1%) lower than the largest FEV₁. Therefore, at least one additional maneuver should be performed by this subject in an attempt to meet the FVC and FEV₁ reproducibility criteria. The most likely cause of this pattern (nonreproducible tracings but good initial effort) is a failure to achieve a maximal inhalation before performing the FVC maneuver.

Figures A8a and A8b illustrate a reproducible test with three acceptable maneuvers. Figure A8a displays the three acceptable volume-time curves, and Figure A8b displays the corresponding flow-volume curves. These maneuvers were obtained from an 80-yr-old male with an $FEV_1/FVC\% = 61.7\%$. Notice that the curves are very reproducible even though the subject required approximately 20 s to reach his final volume or FVC.

Figure A9 shows a sample VC maneuver for a normal subject. This subject starts the test with several tidal volumes through

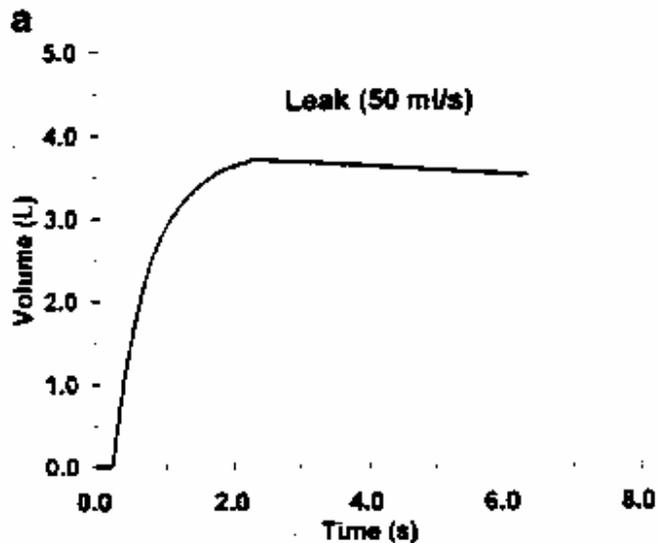


Figure A5a. Unacceptable volume-time spirogram due to a leak.

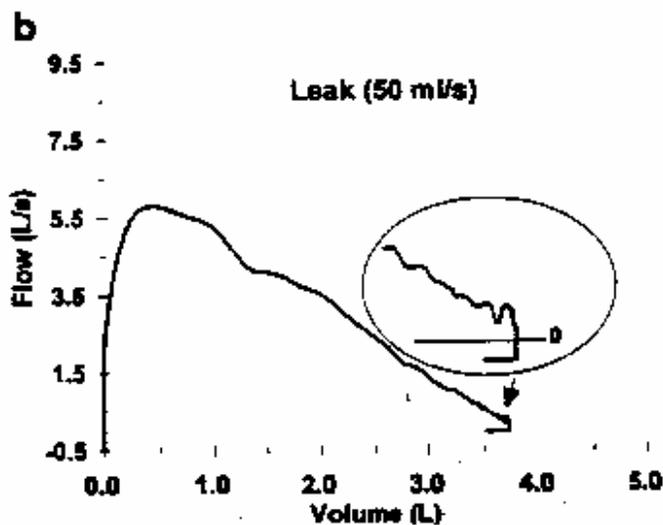


Figure A5b. Unacceptable flow-volume spirogram due to a leak.

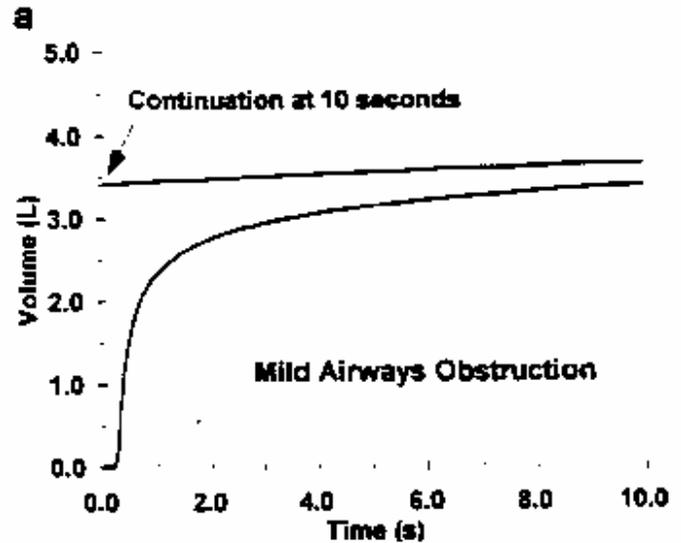


Figure A6a. Acceptable volume-time spirogram for an individual with mild airways obstruction.

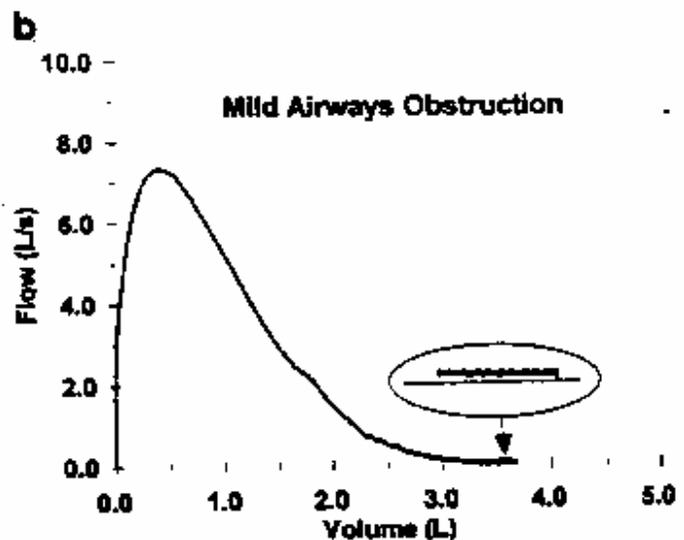


Figure A6b. Acceptable flow-volume spirogram for an individual with mild airways obstruction.

a valve opened to room air to become accustomed to breathing on the mouthpiece. The subject is then connected to the spirometer, where several additional tidal volumes are recorded. The subject then completely inhales to total lung capacity (TLC) and slowly exhales to residual volume (RV), making sure to completely inhale to TLC and exhale to RV. After reaching RV, the subject returns to FRC, where several tidal volumes are again obtained before the subject comes off the mouthpiece. Notice the plateaus at TLC and RV, indicating that the subject has completely inhaled and exhaled.

Figure A10 shows a sample VC maneuver for a subject with severe airways obstruction. The identical maneuver for the normal subject shown in Figure A9 is repeated for this subject with severe airways obstruction. However, the tidal volumes of the subject with severe airways obstruction are much more rapid and the subject requires a longer exhalation time to reach RV, as long

as 25 s. Notice that as with the normal subject, a plateau in the volume-time curve is obtained at both TLC and RV. This indicates that the subject has completely inhaled and exhaled. Also notice that the subject has some difficulty in obtaining a stable FRC after the VC maneuver, probably due to gas trapping.

APPENDIX B

Spirometer Testing Guidelines

The following testing guidelines should be used when evaluating new spirometer designs and when changes have been made to spirometer hardware or software. For production testing, the use of a smaller set of test waveforms may be appropriate. The spirometer selected for testing should be a "production" model and not one that was specifically selected because of any extraordinary calibration efforts. Once testing has begun, the device be-

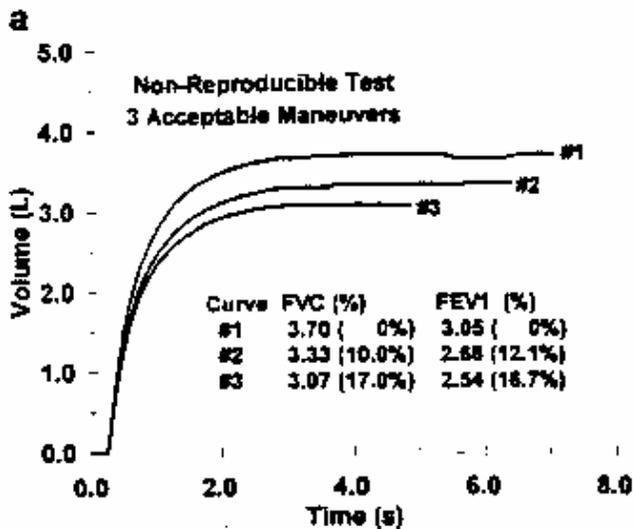


Figure A7a. Nonreproducible test with three acceptable volume-time curves. Percents are difference from largest value.

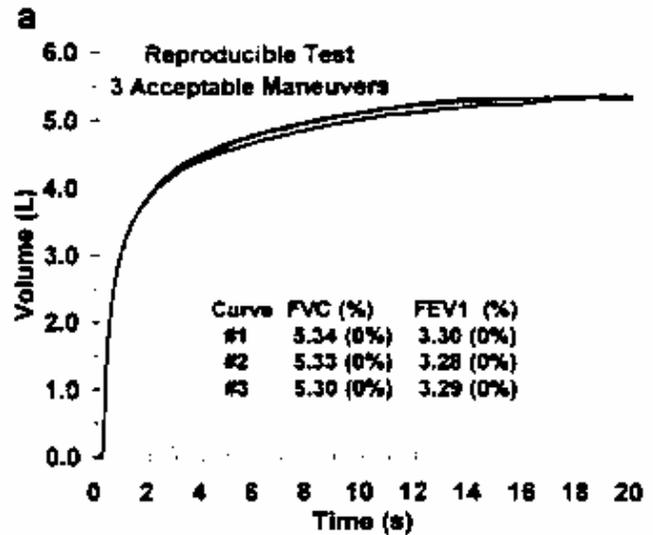


Figure A8a. Reproducible test with three acceptable volume-time curves. Percents are difference from largest value.

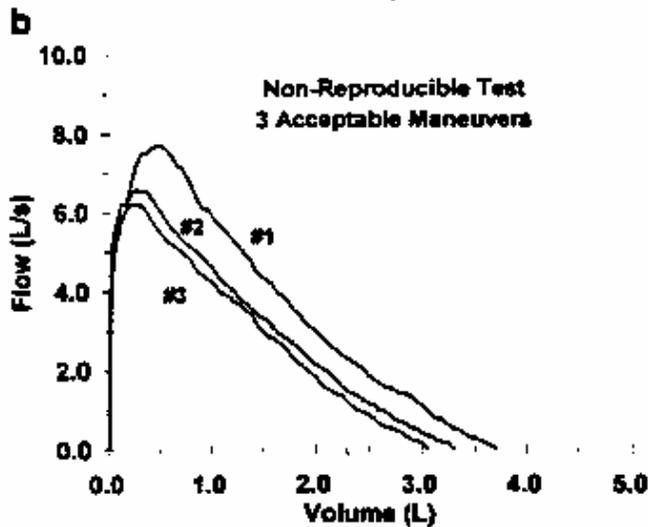


Figure A7b. Nonreproducible test with three acceptable flow-volume curves.

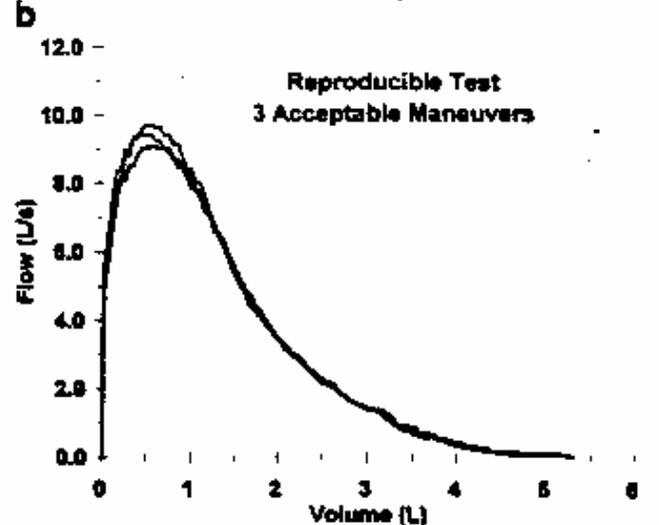


Figure A8b. Reproducible test with three acceptable flow-volume curves.

ing tested should not receive any adjustments or special calibration procedures that are not part of its routine operational procedures.

Volume parameters should be validated using the 24 volume-time standard waveforms described in APPENDIX C. For PEF and other flow parameters *not* based on a percentage of the FVC, the 26 flow-time standard waveforms should be used (APPENDIX D). The validation limits are provided for each parameter in the main sections of this statement. All tests should be conducted using the appropriate waveforms and a computer-controlled mechanical syringe or its equivalent (waveform generator). The accuracy of the waveform generator should be checked at least daily when in use, either using a spirometer for volume waveforms or a pneumotachometer for flow waveforms, or an equivalent method. The desired accuracy of the waveform generator for volume parameters is $\pm 0.5\%$ (or ± 0.05 L, whichever is greater);

$\pm 2\%$ (or ± 5 L/min, whichever is greater) for flow parameters (e.g., PEF). In comparing results obtained from a particular spirometer, the tolerance limits of the waveform generator are to be considered by adding them to the accuracy requirement for the parameter under test, for example 0.5% (± 0.05 L) for volume parameters and 2% (± 5 L/min) for flow parameters. Therefore, the FVC accuracy requirement for comparisons with observed values would be $\pm 3.5\%$ (performance accuracy requirement $\pm 3\%$ plus waveform generator accuracy of $\pm 0.5\%$).

The accuracy and precision validation limits contained in this section assume a waveform generator accuracy of 0.5% for volume and 2% for flow parameters. The accuracy of available waveform generators has not been established; therefore, the desired 2% waveform generator accuracy for flow parameters may not be achieved. In this circumstance, the *actual* accuracy limit of the waveform generator should be added to the accuracy require-

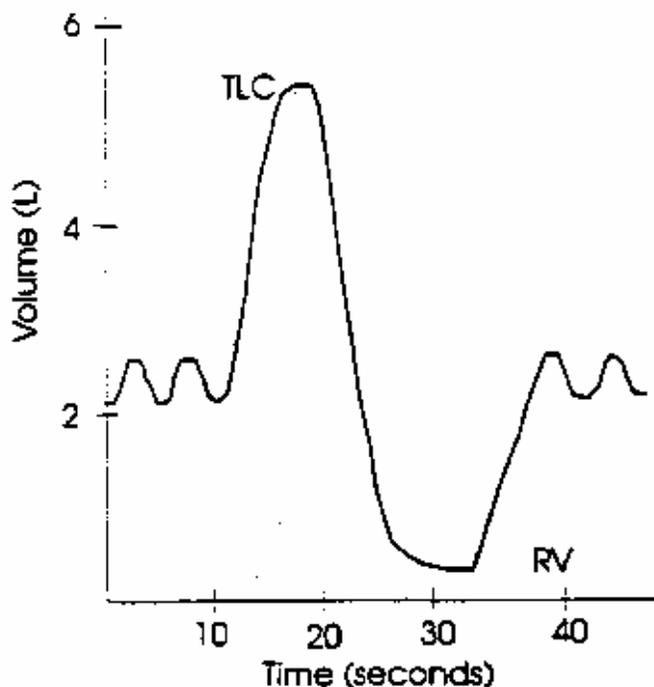


Figure A9. Sample relaxed VC maneuver in a normal subject.

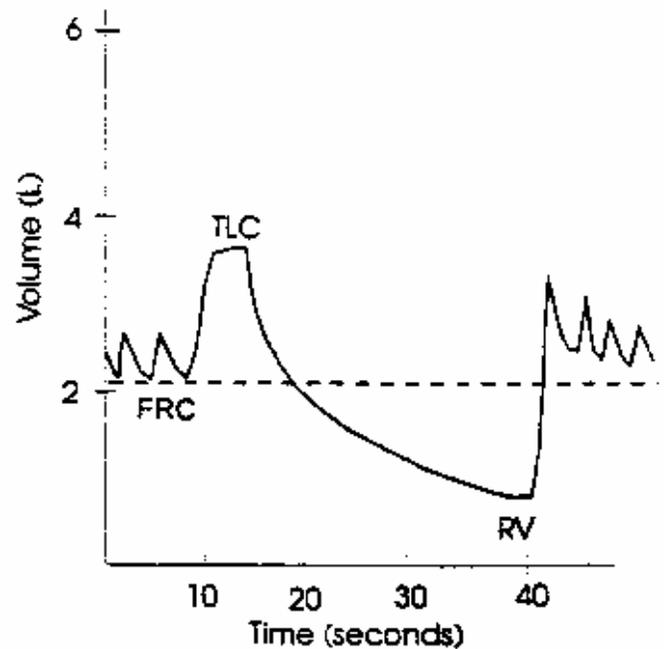


Figure A10. Sample VC maneuver from a subject with severe airways obstruction.

ment of the parameter under test. Every attempt should be made to improve the accuracy of waveform simulators, but in no case should the simulator accuracy limit be considered less than 0.5% for volume and 2% for flow parameters.

Spirometers or peak flow meters should be connected to the waveform generator in the same orientation used in the testing of subjects. Tubing or other connecting material may be used, but the volume associated with the connecting tubing should be less than 300 ml. For handheld devices, full testing should be conducted with the sensor in a horizontal position (the typical position with the patient at TLC about to initiate the maneuver). In addition, handheld devices should be tested with two waveforms (standard volume-time waveforms 1 and 6) at a typical FRC position (instrument at a 30° angle down from horizontal). These devices must meet diagnostic spirometer accuracy criteria for these two waveforms in the 30° down-angle position.

The instruments (diagnostic or monitoring devices) should be tested using the waveform generator under conditions similar to those present when testing human subjects. No special procedures should be followed in testing the instrument. Specifically, each waveform will be injected into the instrument within not less than 5 s or more than 1 min of the instrument being set to the ready condition. In measuring the resistance of the instrument, pressure should be measured in the side of the standard mouthpiece used by the instrument when constant flows are injected into the spirometer. If an in-line filter is to be used as part of routine testing of humans, a filter must be attached during spirometer validation and resistance testing.

Five repeats of each of the 24 waveforms should be injected into the test instrument using room air at ambient temperature. In those circumstances where the flow or volume sensor is changed between subjects (e.g., disposable flow sensor), a different sensor should be used for each of the repeat tests. The average of the five repeat values should be used for comparison with the standard values. The range and percent deviations of values from the five repeated tests should also be computed by:

$$\text{Range} = \text{maximum} - \text{minimum} \quad (\text{B1})$$

$$\text{Range (\%)} = 100 \times \frac{(\text{maximum} - \text{minimum})}{\text{average}} \quad (\text{B2})$$

$$\text{Deviation} = \text{average} - \text{standard} \quad (\text{B3})$$

$$\text{Deviation (\%)} = 100 \times \frac{(\text{average} - \text{standard})}{\text{standard}} \quad (\text{B4})$$

Averages are calculated as a simple n weighted average.

The five repeats of 24 waveforms should be considered a rigid testing sequence. The testing of a device should be completed by running all 24 waveforms with five repeated tests. If the device fails to accurately measure a value for a particular waveform, no additional repeats should be conducted for only one waveform.

Diagnostic devices should also be tested by injecting at least four waveforms using heated and humidified air (waveforms 1 through 4) to verify accuracy of volume parameters under STPS conditions. Using volume-time waveforms 1 through 4, the average FVC and FEV₁ of three trials shall be compared to the standard values. The validation limits for testing under STPS conditions are $\pm 4.5\%$ or 200 ml, whichever is greater. Spirometers must meet these accuracy criteria for all four waveforms under STPS conditions. Using 4.5% allows a 1.5% simulator error, necessary because of the added uncertainty when using heated and humidified air. The time between each of the three trials should be less than 2 min. The temperature of the air injected into the device under test should be within $\pm 1^\circ\text{C}$ of 37°C and should be measured before the air is injected into the device. Waveform generators are being modified to allow STPS testing. The STPS testing requirement will be implemented when STPS testing services are available.

In addition to testing using the waveform generator, the device should be tested using at least two healthy human subjects.

TABLE B1
STROKE VOLUME, VOLUME IN SPIROMETER AT START
OF TEST (FOR VOLUME SPIROMETERS), RATE,
AND CORRESPONDING MVV TARGET VALUES

Test Number	Target MVV (L/min)	Stroke Volume (L)	Rate (Strokes/min)	Starting Volume (L)
1	60	1.0	60	2.0
2	100	1.0	100	3.0
3	120	2.0	60	3.0
4	200	2.0	100	3.0

The purpose of the testing using a human subject is to verify that the instrument will function properly under conditions other than those present using a mechanical simulator. To achieve a balanced design, each subject should perform alternating maneuvers between a standard spirometer and the device being tested, performing three maneuvers on each device, for a total of six maneuvers. One subject should be randomly assigned to perform their first maneuver on the standard spirometer while the other subject's first maneuver will be performed on the device being tested, allowing the learning effect to be equally distributed across both instruments. The differences between the largest of the three trials from each device should be within $\pm 6\%$ or 200 ml, whichever is greater, for FVC and FEV₁, and $\pm 15\%$ or 30 L/min, whichever is greater, for PEF.

For validating MVV, a mechanical pump should be used with a sinusoidal waveform. The response of the device should be determined using incrementally increased flows up to a maximum of 250 L/min, produced with stroke volumes up to 2 L. The specific minimum patterns and for volume spirometers, the volume in the spirometer, are given in Table B1. The device should read the MVV within $\pm 10.5\%$ of reading or ± 20 L/min, whichever is greater for all four test patterns specified in Table B1. In addition, the pressure measured at the mouthpiece should not exceed 10 cm H₂O during the entire MVV maneuver. No mechanical pump testing at ATPS is required for MVV.

DIAGNOSTIC DEVICES: TESTING FOR ACCURACY AND PRECISION WITH A WAVEFORM GENERATOR

Accuracy Testing

Accuracy criteria: Deviation $\pm 3.5\%$ or ± 0.100 L, whichever is greater, for volume measurements; $\pm 5.5\%$ or ± 0.250 L/s, whichever is greater, for FEF_{25-75%}; $\pm 12\%$ or ± 25 L/min (± 0.420 L/s), whichever is greater, for PEF. These criteria are increased slightly from those in Table 2 to account for the waveform generator inaccuracy. For MVV testing, deviation must be less than $\pm 10.5\%$ or 20 L/min, whichever is greater.

Waveforms: Twenty-four standard volume-time waveforms (APPENDIX C) for FVC, FEV₁, and FEF_{25-75%}; 26 standard flow-time waveforms (APPENDIX D) for PEF. For ATPS testing, volume-time waveforms 1 through 4 should be used with heated and humidified air as specified in this appendix. For MVV testing, sinusoidal waveforms should be used with the patterns specified in Table B1.

Spirometer tested: One production spirometer. Spirometers should not be screened or especially calibrated before testing. If an in-line filter is to be used during the testing of humans, it should be attached for this testing. When during clinical testing, if the flow or volume sensor is changed between subjects, the sensors must be changed for each of the five repeat tests described below. The spirometer may not be recalibrated after these sensor changes unless recalibration is required after each sensor change during clinical testing.

Validation: Each spirometric waveform is to be injected into

the spirometer five times. MVV patterns will be injected in duplicate. Average values will be calculated for each waveform and, along with individual values, will be used to score the spirometer. See formulas B1-B4.

Acceptable performance: For FVC and FEV₁, in each of the volume-time waveforms: deviation (formula B3) must be less than 0.100 L or deviation (%) (formula B4) must be less than 3.5%. For FEF_{25-75%} in each of the volume-time waveforms: deviation must be less than 0.250 L/s or deviation (%) must be less than 5.5%. For PEF in each of the flow-time waveforms: deviation must be less than 25 L/min (0.420 L/s) or deviation (%) must be less than 12%. For ATPS testing using waveforms 1-4: deviation must be less than 0.2 L or deviation (%) must be less than 4.5%. For MVV in each of the patterns: deviation must be less than 20 L/min or deviation (%) must be less than 10.5%.

An error occurs when both deviation (formula B3) and deviation (%) (formula B4) exceed their specified limits. For testing with ambient air, acceptable performance is present if the error rate for each individual parameter (FVC, FEV₁, FEF_{25-75%}, PEF) is less than 5% (one error for each parameter when 24 or 26 waveforms are used). For MVV testing and spirometric testing with ATPS conditions, acceptable performance is present if the error rate is zero.

Precision Testing: Intradvice Testing

Precision criteria: See the acceptable performance criteria listed below.

Waveforms: Use data generated as part of accuracy testing. Acceptable performance: For FVC and FEV₁, for each of the volume-time waveforms: The range (formula B1) must be less than 0.100 L or range (%) (formula B2) must be less than 3.5%. For FEF_{25-75%} using each of the volume-time waveforms: The range (formula B1) must be less than 0.250 L/s or the range (%) (formula B2) must be less than 5.5%. For PEF using each of the flow-time waveforms: The range must be less than 25 L/min (0.420 L/s) or the range (%) must be less than 7%.

An error occurs when both range (formula B1) and range (%) (formula B2) exceed their specified limits. Acceptable performance is present if the error rate for each individual parameter (FVC, FEV₁, PEF) is less than 5% (one error for each parameter if 24 or 26 waveforms are used).

MONITORING DEVICES (PEF) TESTING CRITERIA

The range and deviations from the standard PEF values should be calculated using formulas B1 through B4.

Accuracy Testing

Accuracy criterion: $\pm 12\%$ or ± 25 L/min of target values, whichever is larger. The primary criterion is $\pm 10\%$; 2% is added to account for the inaccuracy of the waveform generator.

Waveforms: 26 flow-time curves (APPENDIX D).

Meters tested: Two production meters. Meters should be selected routinely from a production run and not be screened before validation testing.

Validation: Each meter will receive five maneuvers for each of the 26 waveforms. An average for each waveform will be calculated and used to score that meter against the accuracy criteria.

Acceptable performance: An error occurs when both deviation (formula B3) and deviation (%) (formula B4) exceed their specified limits. Acceptable performance is less than three errors out of the total 52 tests (26 waveforms, 2 meters).

Precision Testing: Intradvice Testing

Criterion: Less than 6% intradvice variability or 15 L/min, whichever is greater. The primary criterion is less than 5%. One per-

TABLE C1
VALUES FOR STANDARD WAVEFORMS

Curve	FVC (L)	FEV ₁ (L)	FEV ₁ (%FVC)	Vest (L)	Vest (%FVC)	PEF _{max} (L/s)	FEV _{25-75%} (L/s)
1	6.000	4.262	71.0	0.052	0.9	6.497	3.410
2	4.999	4.574	91.3	0.068	1.4	9.873	5.683
3	3.498	1.188	33.9	0.014	0.4	1.380	0.644
4	1.498	1.371	91.5	0.019	1.3	2.952	1.704
5	5.132	3.868	75.4	0.087	1.7	7.535	3.209
6	4.011	3.027	75.5	0.317	7.9	5.063	2.572
7	3.169	2.519	79.5	0.354	11.2	4.750	2.588
8	1.993	1.615	81.0	0.151	7.6	3.450	1.857
9	4.854	3.772	77.7	0.203	4.2	7.776	3.365
10	3.843	3.031	78.9	0.244	6.3	4.650	2.899
11	2.735	1.871	68.2	0.022	0.8	3.706	1.272
12	2.002	1.621	81.0	0.094	4.7	3.807	1.780
13	4.896	3.834	78.3	0.460	9.4	5.207	3.677
14	3.786	3.053	80.6	0.338	10.2	4.368	3.122
15	5.937	5.304	89.3	0.060	1.3	12.132	6.092
16	5.458	3.896	71.4	0.215	3.9	7.395	2.892
17	5.833	2.597	44.5	0.035	0.6	5.257	1.153
18	4.343	3.155	72.6	0.042	1.0	7.523	2.335
19	3.935	2.512	63.8	0.044	1.1	5.408	1.137
20	2.881	2.563	89.0	0.041	1.4	5.822	2.695
21	4.477	3.549	79.3	0.102	2.3	9.398	3.368
22	3.857	2.813	72.9	0.036	0.9	5.055	2.204
23	3.419	1.360	39.8	0.013	0.4	2.868	0.531
24	1.237	0.922	74.5	0.037	3.0	2.095	0.709

Definition of abbreviations: Vest = extrapolated volume (see Figure 2 for description).

cent or 5 L/min is added to account for the imprecision of the waveform generator.

Waveforms: Four of the 26 standard flow-time waveforms (waveforms 1, 4, 8, and 25).

Meters tested: Ten production meters.

Validation: Three flows for each waveform for each meter. For each waveform and for each meter, calculate range (formula B1) and range (%) (formula B2) for each PEF.

Acceptable performance: An error occurs when both range (formula B1) and range (%) (formula B2) exceed their specified limits. Acceptable performance is six or fewer errors (error rate = 5% for 120 trials).

Precision Testing: Interdevice Variability

Criterion: Less than 11% interdevice variability or 25 L/min, whichever is greater. This includes 1% or 5 L/min for the imprecision of the waveform generator.

Waveforms: Same as for intradevice testing.

Meters tested: Same as for intradevice testing.

Validation: Same data as for intradevice testing. Interdevice percentage is calculated as follows: for each meter, calculate an average PEF for each waveform. For each waveform, combine all data from the 10 meters to calculate range (formula B1) and range (%) (formula B2) for each of the four waveforms.

Acceptable performance: An error occurs when both range (formula B1) and range (%) (formula B2) exceed their specified limits. Acceptable performance is present if there are no errors.

TABLE D1
CALCULATED VALUES FOR 26 STANDARD FLOW-TIME WAVEFORMS (0.002-S SAMPLING INTERVAL)*

Waveform Number	Flow PEF (L/s)	Vol-80 PEF (L/s)	Vol-40 PEF (L/s)	Rise-Time (ms)	Vest Time-to-PEF (ms)	Flow Time-to-PEF (ms)	Estir Vol (L)	%Vest (%FVC)	FEV ₁ (L)
1	7.445	7.243	7.337	93.5	86.8	151.7	0.108	2.5	3.373
2	10.860	9.905	10.450	55.7	46.5	86.6	0.093	2.2	3.838
3	4.794	4.372	4.630	68.3	53.0	114.7	0.054	3.3	1.302
4	4.401	4.240	4.321	76.0	65.6	116.3	0.051	2.9	1.468
5	3.630	3.364	3.584	159.5	170.6	241.0	0.081	3.0	2.053
6	3.088	2.728	2.948	44.5	36.8	62.7	0.027	1.3	1.110
7	2.509	2.237	2.403	148.0	67.4	173.6	0.057	3.7	1.048
8	2.328	2.048	2.210	42.4	35.6	57.6	0.015	1.0	0.950
9	5.259	4.923	5.109	57.0	47.2	85.4	0.046	1.8	2.182
10	4.733	4.657	4.668	46.7	93.6	122.2	0.035	1.5	2.029
11	6.870	6.472	6.706	81.1	67.4	123.6	0.085	3.1	2.080
12	10.684	10.528	10.558	115.3	139.9	214.1	0.189	3.4	4.618
13	4.804	4.706	4.739	105.3	121.7	194.9	0.080	2.7	2.304
14	1.821	1.756	1.789	124.7	127.7	201.8	0.074	2.5	2.249
15	7.956	7.814	7.832	174.9	152.6	270.4	0.192	5.0	3.219
16	5.251	5.100	5.168	76.3	80.5	123.7	0.060	2.1	2.246
17	5.842	5.721	5.757	165.1	163.4	285.1	0.151	5.0	2.802
18	8.593	8.404	8.445	132.9	126.2	248.7	0.178	3.6	4.303
19	6.933	6.651	6.807	76.3	63.7	120.2	0.083	2.2	3.007
20	7.430	7.274	7.324	120.9	143.3	268.4	0.141	2.5	4.613
21	3.973	3.745	3.880	130.3	88.4	193.1	0.079	6.0	1.096
22	3.377	3.316	3.334	184.2	157.6	259.6	0.094	5.0	1.559
23	8.132	7.954	8.019	84.8	83.1	152.1	0.107	2.4	3.476
24	4.155	4.028	4.086	50.3	52.3	83.7	0.032	1.2	1.833
25	14.194	13.896	13.964	57.9	53.7	100.3	0.126	1.9	5.944
26	11.595	10.446	11.172	49.6	42.2	79.1	0.088	1.7	4.311

Definition of abbreviations: Flow PEF = peak flow determined by obtained highest observed flow value; Vol-80 PEF = peak flow determined from volume-time curve using an 80-ms segment; Vol-40 PEF = Peak flow determined from volume-time curve using a 40-ms segment; Rise-Time = time required for the flow to rise from 10% of PEF to 90% of PEF; Flow Time-to-PEF = time required for flow to rise from 200 mL/s to maximum flow (PEF); Vest Time-to-PEF = time required for flow to rise from Vest time zero to PEF.

* Units: flow (L/s), volumes (L), and time (milliseconds). These waveforms are available on digital media from the American Thoracic Society.

MONITORING DEVICES (FVC AND FEV₁) TESTING CRITERIA

Accuracy Testing

Criterion: Deviation \pm 5.5% or deviation (%) \pm 0.1 L, whichever is larger.

Waveforms: Twenty-four standard volume-time waveforms (APPENDIX C).

Device testing: Two production devices selected routinely from a production run and not screened before testing.

Validation: Each device will receive five maneuvers for each of the 24 waveforms. An average for each waveform will be calculated and used to score that meter against the accuracy criteria.

Acceptable performance: An error occurs when both deviation (formula B3) and deviation (%) (formula B4) exceed their specified limits. Acceptable performance for each individual parameter is less than three errors out of the total 48 tests (24 waveforms, 2 devices).

Precision Testing: Intradvice Testing

Criterion: Range (%) $<$ 3.5% or range $<$ 0.1 L, whichever is greater.

Waveforms: Four of the 24 standard volume-time waveforms (waveforms 1, 3, 6, and 11).

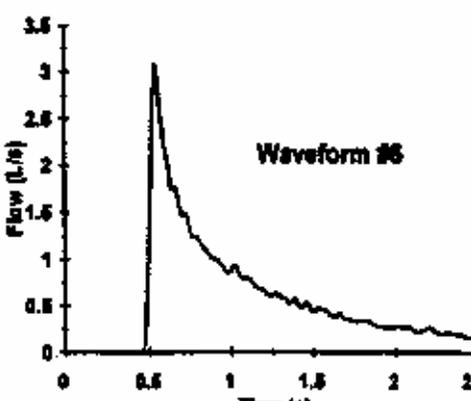
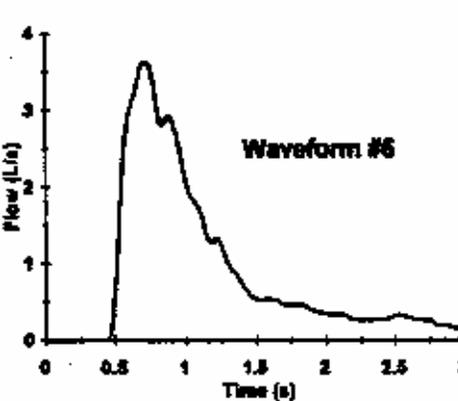
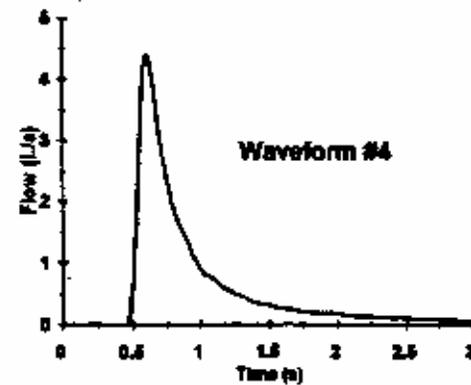
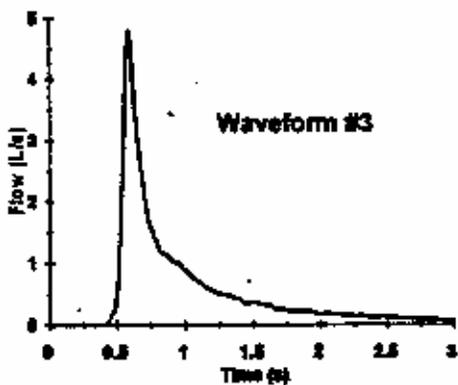
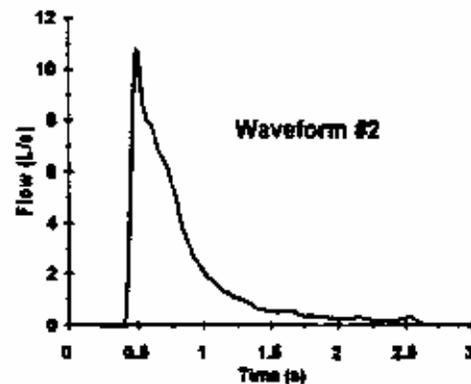
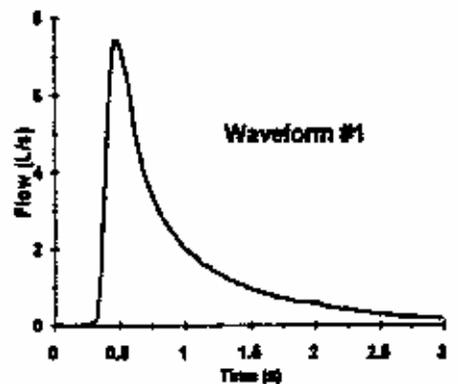
Meters tested: Ten production devices.

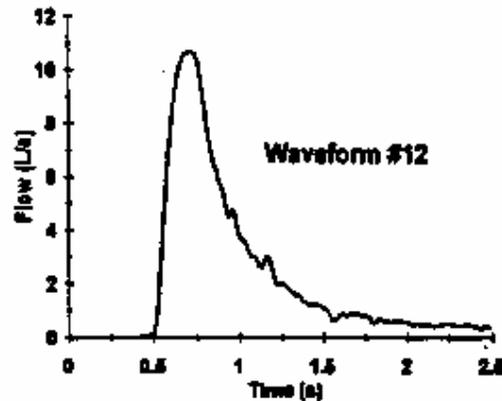
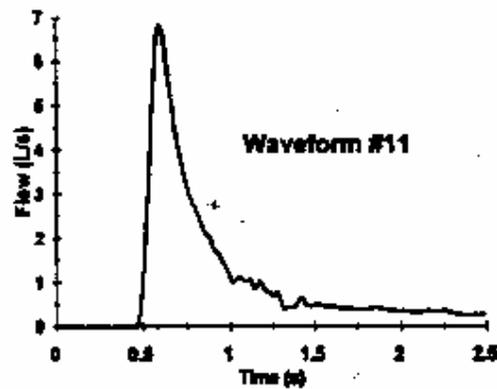
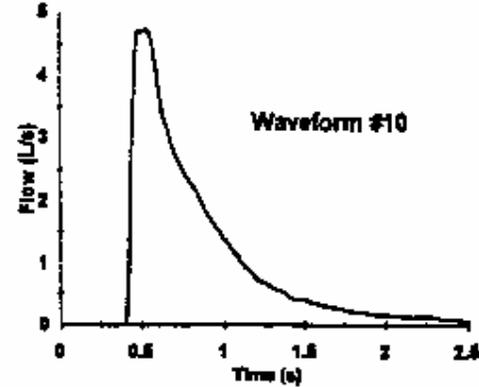
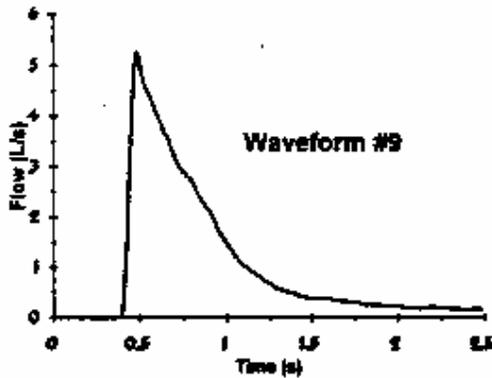
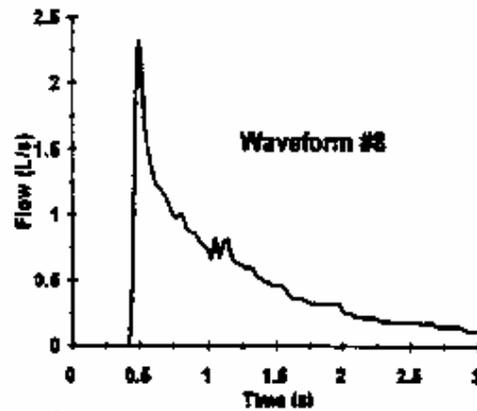
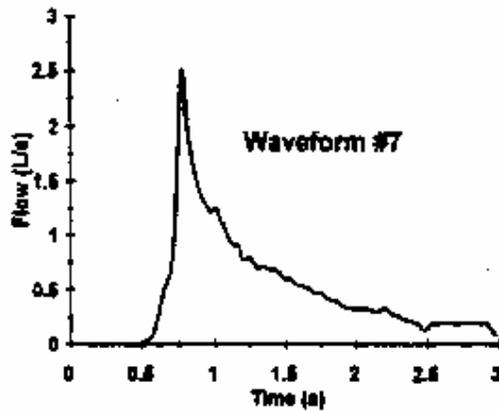
Validation: Three flows for each waveform for each device. For each waveform and for each device, calculate range (formula B1) and range (%) (formula B2) for FVC and FEV₁.

Acceptable performance: An error occurs when both range (formula B1) and range (%) (formula B2) exceed their specified limits. Acceptable performance for each individual parameter is six or fewer errors (error rate \leq 5% for 120 trials).

Precision Testing: Interdevice Variability

Criterion: Less than 11% interdevice variability or 0.2 L, whichever is greater.





Waveforms: Same as for intradevice testing.

Devices tested: Same as for intradevice testing.

Validation: Same data as for intradevice testing. Interdevice percentage is calculated as follows: for each device, calculate an average FVC and FEV₁ for each waveform. For each waveform and parameter, combine all data from 10 meters to calculate range (formula B1) and range (%) (formula B2) for each of the four waveforms.

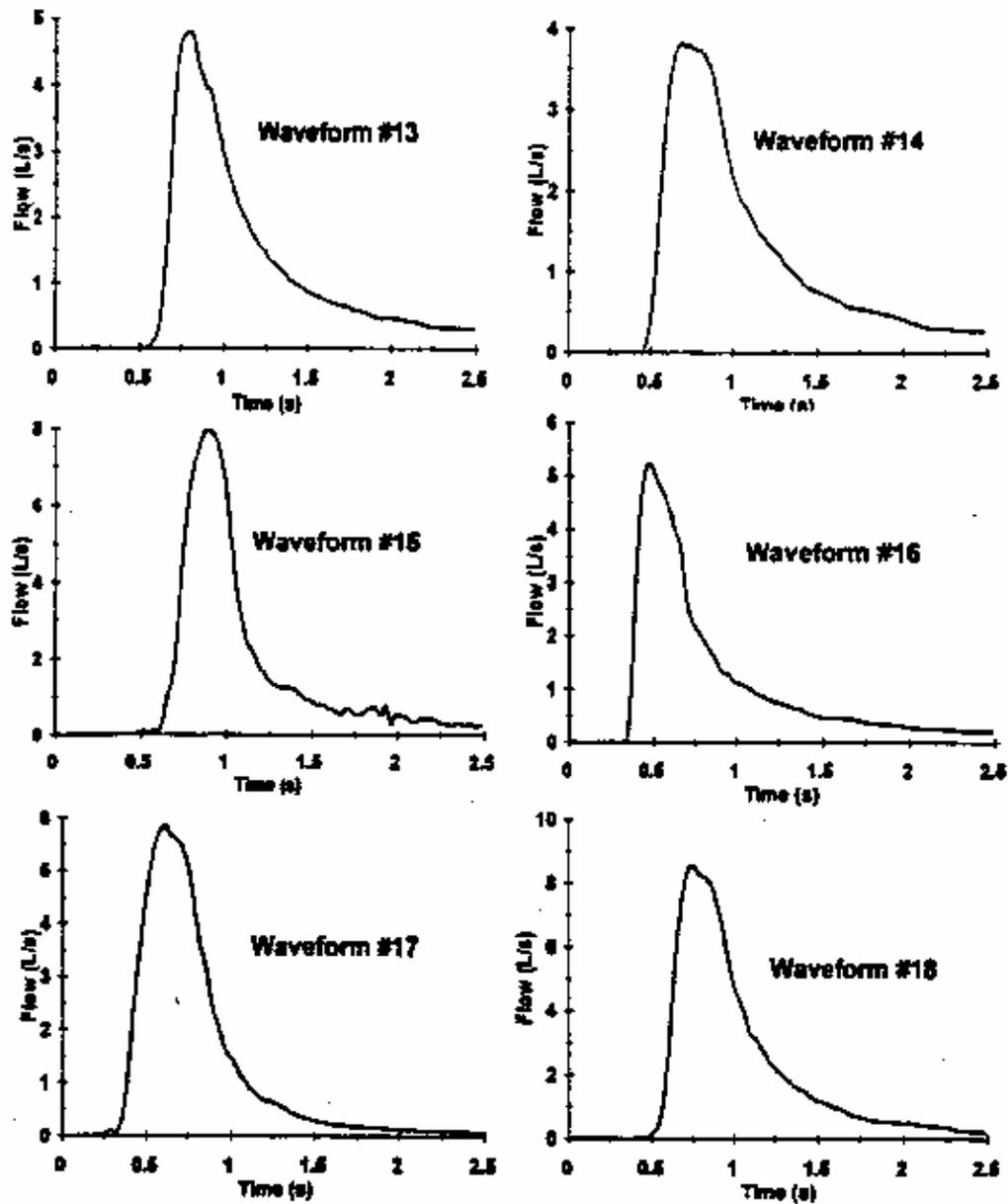
Acceptable performance: An error occurs when both range (formula B1) and range (%) (formula B2) exceed their specified limits. Acceptable performance is present if there are no errors.

APPENDIX D

Standard Flow-Time Waveforms for Validating PEF

The following flow-time waveforms are intended primarily for

testing portable PEF meters but can be used for testing other types of spirometers, especially those measuring PEF, time-to-peak flow, or rise-time. These waveforms were chosen to represent a range of PEFs and efforts (rise-times). The PEF is derived directly from the flow-time waveform—maximal observed value. To calculate the volume-determined PEF, volume is first obtained by integrating (summing) the flow values. Flow is then calculated from the volume-time waveform using the ATS 8-point smoothing function. The resulting volume PEF is usually lower than the PEF obtained from the flow-time waveform. Rise-time is defined as the time required for the flow to rise from 10% of the PEF to 90% of the PEF and is expressed in milliseconds. Other investigators have used the time-to-PEF, using the back-extrapolated technique to determine the zero time-point. Using back-extrapolation to calculate time-to-peak flow sometimes



results in artificially lower time-to-PEF, as can be seen in waveform 7.

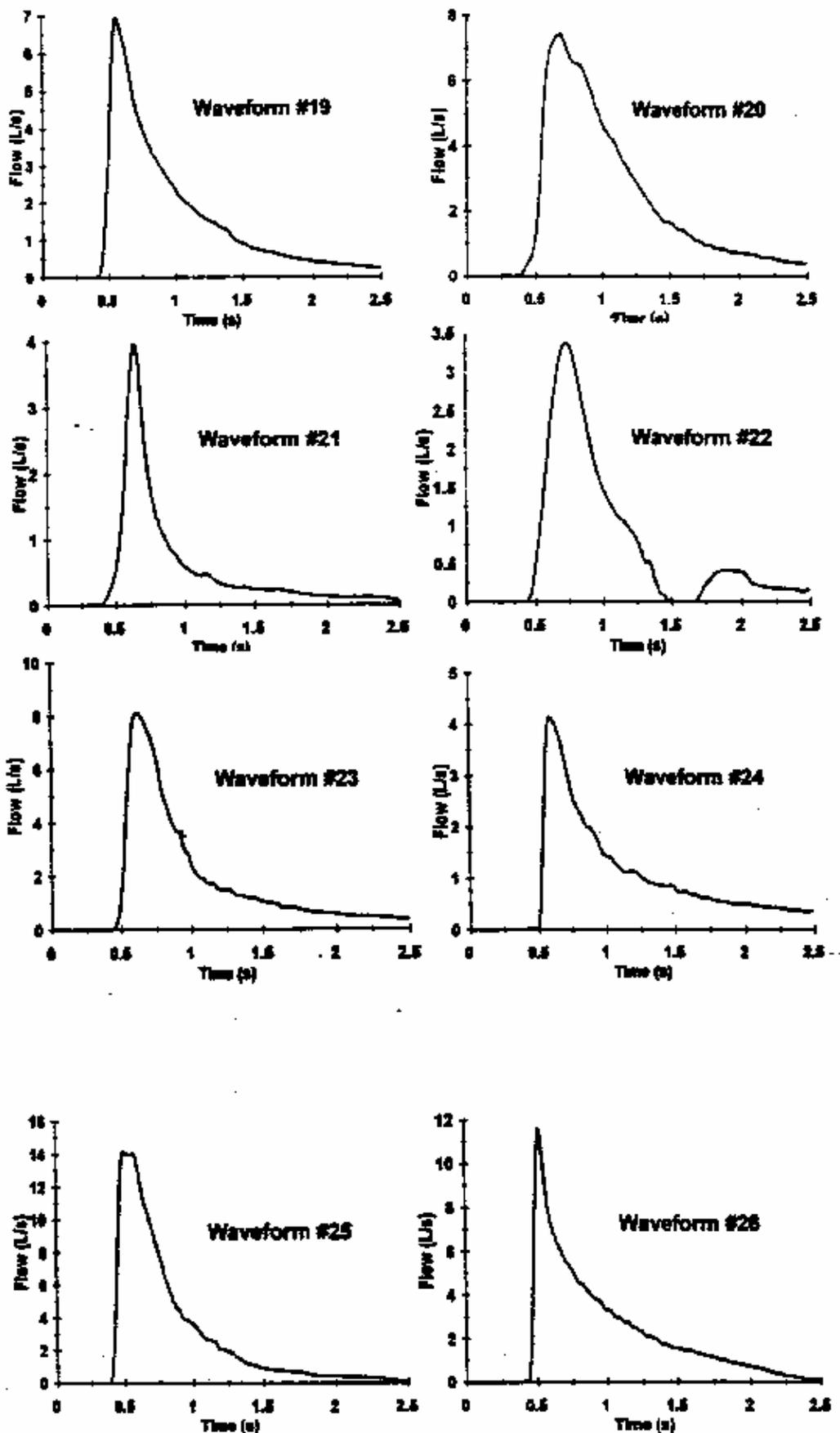
APPENDIX E

Signal-Processing Tutorial

Since computers have come into such common use in spirometry and since fundamental errors have been detected in recently tested commercially available hardware and software (79), a short tutorial on signal processing is presented (Figure E1).

For volume spirometers, signals are generally derived from electrical voltages from a potentiometer. Some spirometers also use optical shaft or position encoders (80). Flow devices of the

Fleisch pneumotachometer variety also have electrical voltage outputs. For the volume spirometer with a potentiometer and the flow device with a flow transducer, the signal is sampled by a computer's analog to digital (A-to-D) converter. The ability of these systems to accurately measure the spirogram depends on the volume or flow transducer's linearity, the accuracy and linearity of the electrical transducer (potentiometer), and the resolution of the A-to-D converter. A resolution of 12 bits (1 part in 4,096, raw resolution from 0.003 to 0.004 L) for the A-to-D converter is recommended, although 10 bits (1 part in 1,024, raw resolution from 0.008 to 0.016 L) may be adequate for sampling volume. The sampling rate of the spirometer volume or flow is very important. Lemen and associates (19) have shown



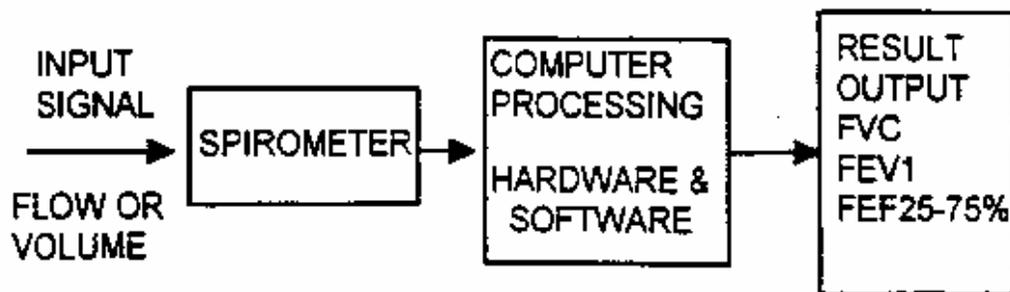


Figure E7. Block diagram of spirometer data acquisition.

that for both infants and adults, 95% of the signal energy in the flow-time spirogram is within a bandwidth of zero to 12 Hz. For the volume-time curve, 95% of the signal energy is contained from zero to 6 Hz. Digital sampling theory requires that samples be taken at least twice the rate of the highest frequency contained in the signal (81). Thus for volume-time spiograms, a 12-Hz sampling rate should be adequate. However, most volume-time spiograms are sampled at a 100-Hz or greater rate to make measurements easier and more accurate. Computer system developers should be aware that even with 100-Hz sampling, it may be necessary to linearly interpolate between sampling points to determine accurate FEV₁, FEF_{25-75%}, and other similar spirometric measures.

Volume sampling techniques with optical and shaft or position encoders of the volume-time signal have been used (80). This approach measures the time interval between uniform volume intervals (for example, 0.010 L). In this case, the resolution of the time interval between measurements during rapid flow becomes a limiting factor. Ostler and associates have recently addressed these issues (80). For example, if a resolution of flow to within $\pm 5\%$ of reading at 12 L/s for a system with 0.010-L resolution is required, then a clock resolution of at least 40 μ s is needed (80).

References

- American Thoracic Society. 1979. Standardization of spirometry. *Am. Rev. Respir. Dis.* 119:831-838.
- American Thoracic Society. 1987. Standardization of spirometry: 1987 update. *Am. Rev. Respir. Dis.* 136:1286-1296.
- American Thoracic Society. 1991. Lung function testing: selection of reference values and interpretative strategies. *Am. Rev. Respir. Dis.* 144:1202-1218.
- Quanjor, P. H., G. J. Tammeling, J. E. Coates, R. Pedersen, R. Peatlin, and J. C. Yernault. 1993. Lung volumes and forced ventilatory flows: report of working party, standardization of lung function tests, European Community for Steel and Coal—official statement of the European Respiratory Society. *Eur. Respir. J.* 6(Suppl. 16):3-40.
- National Asthma Education Program. October 1992. Expert panel report on diagnosis and management of asthma. U.S. Government Printing Office, Washington, DC. NIH Publication No. 92-2113A.
- U.S. Department of Health and Human Services. June 1992. International consensus report on the diagnosis and treatment of asthma. U.S. Government Printing Office, Washington, DC. DHHS Publication No. 92-3091.
1993. Guidelines on the management of asthma: statement by the British Thoracic Society, the British Paediatric Association, the Research Unit of the Royal College of Physicians of London, the King's Fund Centre, the National Asthma Campaign, et al. *Thorax* 48(Suppl.): S1-S24.
- Enright, P. L., L. J. Johnson, J. E. Connert, H. Voelker, and A. S. Buist. 1991. Spirometry in the Lung Health Study: methods and quality control. *Am. Rev. Respir. Dis.* 143:1215-1223.
- Crapo, R. O. 1994. Pulmonary-function testing. *N. Engl. J. Med.* 331: 25-30.
- Renzetti, A. D., Jr., E. R. Bleecker, G. R. Epler, R. N. Jones, R. E. Kanner, and L. H. Repsher. 1986. Evaluation of impairment/disability secondary to respiratory disorders. *Am. Rev. Respir. Dis.* 133: 1205-1209.
- Hankinson, J. L. 1986. Pulmonary function testing in the screening of workers: guidelines for instrumentation, performance, and interpretation. *J. Occup. Med.* 28:1081-1092.
1975. Pulmonary terms and symbols: a report of the ACCP-ATS Joint Committee on Pulmonary Nomenclature. *Chest* 67:583-593.
1994. Topical review: guidelines for the measurement of respiratory function—recommendations of the British Thoracic Society and the Association of Respiratory Technicians and Physiologists. *Respir. Med.* 88:165-194.
- Smith, A. A., and E. A. Gaensler. 1975. Timing of forced expiratory volume in one second. *Am. Rev. Respir. Dis.* 112:882.
- Morris, A. H., R. E. Kanner, R. O. Crapo, and R. M. Gardner. July 1984. Clinical Pulmonary Function Testing: A Manual of Uniform Laboratory Procedures, 2nd ed. International Thoracic Society, Salt Lake City.
- E. P. Horvath, Jr., editor. 1981. Manual of Spirometry in Occupational Medicine. National Institutes for Occupational Safety and Health, Cincinnati.
- Hankinson, J. L., and R. M. Gardner. 1982. Standard waveforms for spirometer testing. *Am. Rev. Respir. Dis.* 126:362-364.
- Hankinson, J. L., and R. O. Crapo. 1995. Flow-time standard waveforms for testing PEF. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 696-701.
- Leman, R. J., C. B. Gerdes, M. J. Wegmann, and K. J. Perrin. 1982. Frequency spectra of flow and volume events for forced vital capacity. *J. Appl. Physiol.* 53:977-984.
- Peatlin, R., A. Jardin, A. Bobadaza, and B. Hannahard. 1982. Harmonic content of the flow signal during forced expiration in normal man. *Bull. Eur. Physiopath. Respir.* 18:491-500.
- Jensen, R. L., R. O. Crapo, R. I. Jackson, and S. L. Berlin. 1991. Evaluation of peak flow meter precision using a computerized pump. *Am. Rev. Respir. Dis.* 143:A347.
- Shapiro, S. M., J. M. Hendler, R. G. Ogirala, T. K. Aldrich, and M. B. Shapiro. 1992. An evaluation of the accuracy of Anasys and miniWright peak flow meters. *Chest* 99:358-362.
- Hankinson, J. L., M. S. Filios, K. B. Kinsey, and E. L. Personak. 1993. Comparison of miniWright and spirometer measurements of peak flow. *Am. Rev. Respir. Dis.* 147:A115.
- Gilndmeyer, H. W., R. N. Jones, H. W. Barkman, and H. Weill. 1987. Spirometry: quantitative test criteria and test acceptability. *Am. Rev. Respir. Dis.* 136:449-452.
- Brown, L. K., A. Millar, M. Filipceki, and T. S. Lau. 1995. Forced mid-expiratory time: reference values and the effect of smoking. *Lung* (In press)
- Section of pulmonary function specifications. *Federal Register*. February 12, 1973; 38:4265.
- Hansen, L. M., O. F. Pedersen, S. Lyager, and N. Naerregaard. 1983. Differences in vital capacity due to the methods employed (in Danish). *Ugeskr. Laeger* 145:2752-2756.
- Krowka, M. J., P. L. Enright, J. R. Rodarte, and R. E. Hyatt. 1987. Effect of effort on measurement of forced expiratory volume in one second. *Am. Rev. Respir. Dis.* 136:829-833.
- Morgan, K. C. 1975. The assessment of ventilatory capacity (commentary)

- recommendations). *Chest* 67:95-97.
30. Gardner, R. M., R. O. Crapo, R. G. Billings, J. W. Shigeoka, and J. L. Hankinson. 1983. Spirometry: what paper speed? *Chest* 84:161-165.
 31. Occupational Safety and Health Administration. 1980. Pulmonary function standards for cotton dust: 29 Code of Federal Regulations: 1910. 1043 Cotton Dust, Appendix D: 808-832.
 32. Hankinson, J. L., and J. O. Viola. 1983. Dynamic STPS correction factors for spirometric data. *J. Appl. Physiol.* 44:1354-1360.
 33. Hankinson, J. L., R. M. Castellano, K. B. Kinsley, and D. G. Keimig. 1986. Effects of spirometer temperature on FEV₁ shift changes. *J. Occup. Med.* 28:1222-1225.
 34. Pincock, A. C., and M. R. Miller. 1983. The effect of temperature on recording spirometers. *Am. Rev. Respir. Dis.* 128:894-898.
 35. Hankinson, J. L., J. O. Viola, E. L. Petsonk, and T. R. Ebeling. 1994. BTPS correction for ceramic flow sensors. *Chest* 105:1481-1486.
 36. Miller, M. R., and A. C. Pincock. 1986. Linearity and temperature control of the Fleisch pneumotachometer. *J. Appl. Physiol.* 60:710-715.
 37. Perks, W. H., T. Sopwith, D. Brown, C. H. Jones, and M. Green. 1983. Effects of temperature on vitalograph spirometer readings. *Thorax* 38:592-594.
 38. Cole P. 1954. Recordings of respiratory air temperature. *J. Laryngol.* 68:295-307.
 39. Madan, I., P. Bright, and M. R. Miller. 1993. Expired air temperature at the mouth during a maximal forced expiratory manoeuvre. *Eur. Respir. J.* 6:1556-1562.
 40. Johnson, L. R., P. L. Enright, H. T. Voelker, and D. F. Tashkin. 1994. Volume spirometers need automated internal temperature sensors. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 150:1575-1580.
 41. Association for the Advancement of Medical Instrumentation. October 1980. Standard for Spirometers (draft). AAMI, Arlington, Virginia.
 42. Nelson, S. B., R. M. Gardner, R. O. Crapo, and R. L. Jensen. 1990. Performance evaluation of contemporary spirometers. *Chest* 97:288-297.
 43. Gardner, R. M., J. L. Hankinson, and B. J. West. 1986. Evaluating commercially available spirometers. *Am. Rev. Respir. Dis.* 134:626-627.
 44. Gardner, R. M., J. L. Clausen, R. O. Crapo, G. R. Epler, J. L. Hankinson, R. L. Johnson, Jr., and A. L. Plummer. 1986. Quality assurance in pulmonary function laboratories. *Am. Rev. Respir. Dis.* 134:626-627.
 45. Tablan, C. C., W. W. Williams, and W. J. Martone. 1985. Infection control in pulmonary function laboratories. *Infect. Control* 6:442-444.
 46. Kirk, Y. L., K. Keady, H. A. Ashworth, and P. R. Hunter. 1992. Laboratory evaluation of a filter for the control of cross-infection during pulmonary function testing. *J. Hosp. Infect.* 20:193-198.
 47. Denison, D. M., D. S. Cramer, and P. J. V. Hanson. 1989. Lung function testing and AIDS. *Respir. Med.* 83:133-138.
 48. Rutala, D. R., W. A. Rutala, D. J. Weber, and C. A. Thomsen. 1991. Infection risks associated with spirometry. *Infect. Control Hosp. Epidemiol.* 12:89-92.
 49. Leeming, J. P., A. H. Kendrick, D. Pryce-Roberts, D. Smith, and E. C. Smith. 1993. Use of filters for the control of cross-infection during pulmonary function testing. *J. Hosp. Infect.* 23:243-246.
 50. Hazleus, R. E., J. Cole, and M. Berdichewsk. 1981. Tuberculin skin test conversion from exposure to contaminated pulmonary function testing apparatus. *Respir. Care* 26:53-55.
 51. Isles, A., J. MacLusky, M. Corry, R. Gold, C. Prober, P. Fleming, and H. Levinson. 1984. *Pseudomonas* species in cystic fibrosis: an emerging problem. *J. Pediatr.* 104:206-210.
 52. Burgos, F., C. Martinez, and J. Torres. 1993. *Am. Rev. Respir. Dis.* 147:A400.
 53. du Moulin, G. C., K. D. Stottmeier, P. A. Pelletier, A. Y. Tsang, and J. Hedley-White. 1988. Concentration of *Mycobacterium avium* by hospital hot water systems. *J.A.M.A.* 260:1599-1601.
 54. von Reyn, C. F., R. D. Waddell, T. Eaton, R. D. Arbeit, J. N. Maslow, T. W. Barber, R. J. Brindle, C. F. Gilks, J. Lumio, J. Ladevinta, A. Ranki, D. Dawson, and J. D. Falkingham III. 1993. Isolation of *Mycobacterium avium* complex from water in the United States, Finland, Zaire, and Kenya. *J. Clin. Microbiol.* 31:3227-3230.
 55. Eichorn, J. H., M. L. Baneroff, H. Laasberg, G. C. du Moulin, and A. J. Saubermann. 1977. Contamination of medical gas and water pipelines in a new hospital building. *Anesthesiology* 46:286-289.
 56. Townsend, M. C. 1984. The effects of leaks in spirometers on measurement of pulmonary function. *J. Occup. Med.* 26:835-841.
 57. Crapo, R. O., R. M. Gardner, S. L. Berlin, and A. H. Morris. 1986. Automation of pulmonary function equipment: user beware! *Chest* 90:1-2.
 58. Gardner, R. M., J. L. Clausen, D. J. Coulon, R. D. Crapo, G. R. Epler, J. L. Hankinson, and R. L. Johnson. 1986. Computer guidelines for pulmonary laboratories. *Am. Rev. Respir. Dis.* 134: 628-629.
 59. Gardner, R. M., J. L. Clausen, G. Epler, J. L. Hankinson, S. Permutt, and A. L. Plummer. 1986. Pulmonary function laboratory personnel qualifications. *Am. Rev. Respir. Dis.* 134:623-624.
 60. American Thoracic Society. 1978. ATS respiratory care committee position paper: director of pulmonary function laboratory. *ATS News* 4:6.
 61. Make, B. 1979. Minimum criteria for training course in spirometric testing in industry. *Bull. Am. Coll. Chest Phys.* 18:24-36.
 62. Enright, P. L., and R. D. Hyatt. 1987. Office Spirometry. Lea & Febiger, Philadelphia.
 63. Wanger, J. 1992. Pulmonary Function Testing: A Practical Approach. Williams & Wilkins, Baltimore.
 64. Paoletti, P., G. Piselli, P. Fazzi, G. Viegi, F. DiPede, R. Prediletto, L. Carozzi, R. Polato, M. Satta, R. Zambon, T. Sapigni, M. D. Lebowitz, and C. Giuntini. 1986. Reference values for vital capacity and flow-volume curves from a general population study. *Bull. Eur. Physiopathol. Respir.* 22:451-459.
 65. D'Angelo, E., E. Prandi, and J. Milic-Emili. 1993. Dependence of maximal flow-volume curves on time course of preceding inspiration. *J. Appl. Physiol.* 75:1155-1159.
 66. Hankinson, J. L. 1993. Instrumentation for spirometry. In E. A. Eisen, editor. Occupational Medicine: State of the Art Reviews, Vol. 8. Hanley and Belfus, Philadelphia. 397-407.
 67. Eisen, E. A., J. M. Robins, J. A. Graves, and D. H. Wegman. 1984. Selection effects of repeatability criteria applied to lung spirometry. *Am. J. Epidemiol.* 120:734.
 68. Eisen, E. A., L. C. Oliver, D. C. Christiani, J. M. Robins, and D. H. Wegman. 1985. Effects of spirometry standards in two occupational cohorts. *Am. Rev. Respir. Dis.* 132:120.
 69. Kuffie, S. E., M. D. Atfield, J. L. Hankinson, and R. M. Castellano. 1987. The ATS spirometry variability criteria: associations with morbidity and mortality in an occupational cohort of coal miners. *Am. J. Epidemiol.* 125:437-444.
 70. Ferris, B. G., Jr., F. E. Speizer, Y. Bishop, G. Prang, and J. Weener. 1978. Spirometry for an epidemiologic study: deriving optimum summary statistics for each subject. *Bull. Eur. Physiopathol. Respir.* 14:146-166.
 71. Kanner, R. E., M. B. Schenk, A. Munoz, and F. E. Speizer. 1983. Spirometry in children: methodology for obtaining optimal results for clinical and epidemiological studies. *Am. Rev. Respir. Dis.* 127:720-724.
 72. Liese, W., W. J. Warwick, and G. Cumming. 1974. Water vapour pressure in expired air. *Respiration* 31:252-261.
 73. Townsend, M. C. 1984. Spirometric forced expiratory volumes measured in the standing versus the sitting position. *Am. Rev. Respir. Dis.* 103:123-124.
 74. Ferris, B. G. 1978. Epidemiology standardization project: recommended standardized procedures for pulmonary function testing. *Am. Rev. Respir. Dis.* 118(part 2):55-88.
 75. Townsend, M. C., A. G. DuChene, and B. J. Fallet. 1982. The effects of underrecording forced expirations on spirometric lung function indexes. *Am. Rev. Respir. Dis.* 126:734-737.
 76. Pennock, B. E., R. M. Rogers, and D. E. McCaffree. 1981. Changes in measured spirometric indices: what is significant? *Chest* 80:97.
 77. Hankinson, J. L., and K. M. Bang. 1991. Acceptability and reproducibility criteria of the American Thoracic Society as observed in a sample of the general population. *Am. Rev. Respir. Dis.* 143:516-521.
 78. National Institute for Occupational Safety and Health. August 1991. Draft Spirometry Training Guide. National Institute for Occupational Safety and Health and the Universities Occupational Safety and Health Educational Resource Center, Continuing Education and Outreach Program, University of Medicine and Dentistry of New Jersey.
 79. Nelson, S. B. 1987. Commercially Available Spirometers: Performance Evaluation. University of Utah. Thesis.
 80. Ozler, D. V., R. M. Gardner, and R. O. Crapo. 1984. A computer system for analysis and transmission of spirometry waveforms using volume sampling. *Comput. Biomed. Res.* 17:229-240.
 81. Jerri, A. J. 1977. The Shannon sampling theorem: its various extensions and applications—a tutorial review. *Proc. IEEE* 65:1565-1596.

APÉNDICE G. LISTA DE VERIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE LA ESPIROMETRÍA

La lista que se muestra abajo es un resumen de la unidad 4: Técnica espirométrica. Refiérase a dicha unidad para mayor información.

1. Prepare el equipo.

- a. Configure y limpie el equipo.
 1. Verifique si hay papel.
 2. Fije la velocidad del papel si es necesario.
 3. Verifique la posición de las plumillas.
 4. Coloque el tubo principal si el caso lo amerita.
- b. Verifique la calibración del equipo.
- c. Haga una prueba de cómo corre el papel.
- d. Verifique que tenga todo lo necesario en cantidad adecuada.
- e. Escriba el valor de la temperatura ambiente (y de la presión barométrica, si esto es necesario).
- f. Verifique que las escalas de medición de peso y talla estén funcionando adecuadamente.

2. Prepare a la persona.

- a. Explique el motivo de la espirometría: “Me gustaría ver qué tan fuerte y rápido puede usted sacar aire”.
- b. Determine si la espirometría debe ser pospuesta usando los criterios de su institución, o los aspectos explorados en la siguiente lista de preguntas:
 1. ¿Cómo se siente hoy?
 2. ¿Ha usted fumado cigarrillos, puro, o pipa, durante la última hora?
 3. ¿Ha usado cualquier medicamento inhalado, como un broncodilatador en aerosol, durante la última hora?
 4. ¿Qué ha comido en la última hora?
 5. ¿Ha tenido usted alguna infección respiratoria como catarro, gripe, neumonía o bronquitis, en las últimas tres semanas?
 6. ¿Ha tenido algún problema o infección en los oídos, durante las últimas tres semanas?
 7. ¿Lo han operado recientemente?
 8. ¿Si usted usa prótesis dental (dentadura postiza), se puede quitar ésta?

3. Coloque a la persona en posición.

- a. Verifique la posición previamente empleada (sentado o parado) y use la misma posición de ser posible. Registre en la hoja de la persona la posición que se va a usar.

- b. Recomiéndele a la persona aflojarse cualquier prenda de vestir entallada e indíquele que eleve el mentón y extienda ligeramente el cuello.
 - c. Enséñele a la persona cómo se coloca el clip nasal y verifique que lo haga de la manera correcta.
4. **Realice la prueba.**
- a. Explíquelo a la persona cómo colocar la boquilla (en la boca, sin que haya obstrucción por la lengua o dientes, y que cierre los labios alrededor, herméticamente).
 - b. Explíquelo y póngale el ejemplo de cómo se realiza la maniobra espiratoria forzada: “Cuando esté listo, tome todo el aire posible, coloque la boquilla en su boca y sin titubeos, sople y expulse el aire lo más fuerte, rápido y completo que pueda, sin parar, y hasta que yo le diga”.
5. **Verifique los últimos detalles de la preparación.**
- a. Coloque la plumilla para imprimir en la posición apropiada sobre el papel.
 - b. Comience a correr el papel al menos un segundo antes de que la persona sople en la boquilla.
6. **Asesore a la persona.**
- a. Anime a la persona de manera activa mientras esté realizando la maniobra (¡Sople, sople, sople!).
 - b. Siga animándola hasta que se alcance una meseta—ATS-1994. (Polvo de algodón, *Cotton Dust*): cambio de volumen en 0.5 segundos, menor a 25 ml.
7. **Verifique la aceptabilidad de cada trazo antes de continuar la prueba.**
- a. Los espirogramas aceptables no deben tener:
 - 1. Titubeos o falsos inicios.
 - 2. Tos
 - 3. Esfuerzo variable.
 - 4. Cierre de glotis.
 - 5. Finalización temprana antes de alcanzar una meseta.
 - 6. Fugas.
 - 7. Errores en la línea basal.
 - b. Revise con el sujeto, si es necesario, las causas de los errores.
 - c. Continúe haciendo maniobras hasta que haya obtenido tres trazos aceptables, permitiéndole al sujeto que descanse entre cada una de las pruebas y no supere un máximo de 8 pruebas.

8. **Verifique el exceso de variabilidad de las dos CVF y los dos VEF₁ mayores.** (Véase la **unidad 5: Cálculos espirométricos básicos** y el **apéndice H: Esquema general de los cálculos espirométricos**, para mayor información). Haga que la persona realice todas las maniobras espiratorias forzadas adicionales que sean necesarias y que no se las prohíba una afección médica
9. **Registre la información en la hoja del paciente.** Anote, como mínimo, la siguiente información:
 - a. Nombre,
 - b. edad,
 - c. sexo,
 - d. talla,
 - e. raza,
 - f. posición de pruebas anteriores,
 - g. valores esperados usados previamente,
 - h. día y hora de la prueba,
 - i. temperatura ambiente,
 - j. presión barométrica (si es posible),
 - k. resultados de la prueba,
 - l. identificación del técnico.

APÉNDICE H. ESQUEMA GENERAL DE LOS CÁLCULOS ESPIROMÉTRICOS

La lista abajo mostrada es un resumen de la unidad 5: Cálculos espirométricos básicos. Refiérase a dicha unidad para más información.

1. **Use solamente trazos que cumplan los criterios de aceptabilidad** (Véase apéndice G. **Lista de verificación del procedimiento de la espirometría y la unidad 4: Técnica espirométrica**, para las instrucciones).
2. **Capacidad vital forzada (CVF)**
 - a. Mida la CVF a partir de la línea basal, en todos los trazos aceptables.
 - b. Determine si hay un exceso de variabilidad, esto es, que la diferencia entre las dos CVF mayores sea menor de 200 ml (**Opcional**: de acuerdo a la ATS-1987 (Sociedad Americana Torácica), para las CVFs que tienen un valor de 2 litros o menos, úsese 100 ml; para CVF mayores de 2 litros, úsese 5%; Polvo de algodón - CVF menor de 1 litro, use 100 ml ó 10% para aquellas CVF mayores de un litro).
 - c. Use la mayor CVF obtenida a partir de todos los trazos aceptables.
 - d. Convierta a BTPS si se necesita (véase más abajo).
3. **Volumen espiratorio forzado en un segundo (VEF₁)**
 - a. Mida el VEF₁ en los trazos aceptables.
 - b. Encuentre los puntos t = 0 y t = 1 segundo.
 - c. Haga una extrapolación retrógrada si el t = 0 no resulta obvio. La ATS recomienda hacerla en todos los cálculos del VEF₁. Trace una línea recta a lo largo de la porción más empinada de la curva y extienda la línea hasta interceptar la línea basal.
 - d. Calcule el volumen en t = 1 segundo.
 - e. Determine si hay un volumen extrapolado excesivo a nivel de t = 0. No se acepta un volumen extrapolado si es mayor del 5% de la CVF, para aquellas CVF que exceden de 3 litros - use 150 ml para aquellas CVF menores de 3 litros.
 - f. Determine si hay un exceso de variabilidad. La diferencia entre los dos mayores VEF₁ deberá ser menor de 200 ml. Opcional: de acuerdo a la ATS-1987, use 100 ml para VEF₁ de 2 litros o menores; use 5% para aquéllos que sean mayores de 2 litros; Polvo de algodón - para un VEF₁ menor de 1 litro, use 100 ml ó 10% para VEF₁ mayores de 1 litro.
 - g. Convierta a BTPS si es necesario (véase más abajo).
4. **El VEF₁ como porcentaje de la CVF.**
 - a. Use la CVF y el VEF₁ mayores aceptables, aún cuando no provengan del mismo trazo.
 - b. $VEF_1/CVF \times 100 = VEF_1/CVF\%$
 - c. No convierta a BTPS, ya que el resultado es una proporción o cociente.
5. **Índice de flujo espiratorio forzado medio (FEF_{25-75%})**
 - a. Use la “mejor curva” (trazo aceptable con la suma mayor de la CVF y del VEF₁).
 - b. Calcule el 25% y el 75% de la CVF y marque dichos puntos en el trazo.
 - c. Trace una línea recta a través de los puntos del 25% y del 75%.
 - d. Localice dos líneas verticales de tiempo adyacentes que estén separadas por un segundo.

- e. Determine el volumen para cada una de esas dos líneas verticales.
- f. Determine la diferencia entre estos dos volúmenes.
- g. Convierta a BTPS (véase más abajo).
- h. El resultado es en litros por segundo.

6. Conversión a BTPS

- a. Convierta la temperatura ambiente a grados centígrados, si fuera necesario.
- b. Encuentre la temperatura ambiente y el factor de conversión correspondiente en el **nomograma de conversión a BTPS**.
- c. Multiplique la CVF, el VEF₁ y el FEF_{25-75%} por el factor de conversión, para obtener el volumen correcto en BTPS.

7. Valores normales esperados

- a. Sea consistente con la tabla de valores esperados que vaya a usar.
- b. Localice los valores esperados para el VEF₁ y la CVF, utilizando como indicadores la edad de la persona, su sexo, su talla y su raza.
- c. En algunas personas de raza blanca, multiplique los valores esperados por 0.85 (el factor de conversión racial).
- d. Calcule el porcentaje del valor esperado:

$$\text{CVF observada} / \text{CVF esperada} \times 100 = \text{CVF\% del valor normal.}$$
 (Haga lo mismo para el VEF₁ y el FEF_{25-75%}).

8. Cambios en espirogramas de seguimiento

- a. Calcúlelo como diferencia absoluta (vgr., CVF en el tiempo₁ – CVF en el tiempo₂ = + ó – litros de diferencia).
- b. Puede también calcularlo como cambio porcentual con relación al valor previo (Vgr.,

$$\frac{\text{CVF en el tiempo}_1 - \text{CVF en el tiempo}_2}{\text{CVF en el tiempo}_1} \times 100 + \text{ó} - \%$$

- c. Use los mismos pasos para calcular el cambio porcentual en el VEF₁ y en el FEF_{25-75%}.

APÉNDICE I: CÁLCULOS MATEMÁTICOS BÁSICOS

SUMA: $a + b = c$

Ejemplo: $3 + 2 = 5$

RESTA: $c - b = a$

Ejemplo: $5 - 2 = 3$

MULTIPLICACIÓN: $a \times b = d$

Ejemplo: $3 \times 2 = 6$

DIVISIÓN: $\frac{d}{b} = a$ ó $d/b = a$

Ejemplo: $3 \times 2 = 6$

FRACCIÓN: $a = \frac{\text{numerador}}{\text{denominador}}$ ó a/b

Ejemplo: $3/5$

DECIMALES:

1. Los números a la izquierda del punto decimal son números enteros.
Ejemplo 3.
2. El primer número a la derecha del punto decimal representa las décimas.
Ejemplo $.2 = 2/10$
3. El segundo número a la derecha del punto decimal representa las centésimas.
Ejemplo $.05 = 5/100$
 $.67 = 67/100$
4. El tercer número a la derecha del punto decimal representa las milésimas, etc.
Ejemplo: $.009 = 9/1000$
 $.872 = 872/1000$

CONVERSIÓN DE FRACCIONES A DECIMALES:

$$a/b = .c$$

Ejemplo: $4/5 = .8$

CONVERSIÓN DE DECIMALES A FRACCIÓN:

$$a.bc = abc/100$$

Ejemplo: $3.75 = 375/100$
 $= 3 \frac{3}{4}$

CONVERTIR DECIMALES A PORCENTAJES:

$$.a = a \times 100 = a \%$$

Ejemplo: $.8 = 80\%$
 $(.8 \times 100 = 80\%)$

CONVERTIR PORCENTAJES A DECIMALES:

$$a \% = a \% / 100 = .a$$

Ejemplo: $80\% = .8$
 $(80/100 = .8)$

APÉNDICE J. CONVERSIONES MÉTRICAS

El sistema métrico sigue una secuencia ordenada para los prefijos que indican la unidad de medición:

Prefijo	Unidades en	Ejemplo
Kilo-	miles	1 kilolitro = 1,000 litros
Hecto-	cientos	1 hectolitro = 100 litros
Deca-	decenas	1 decalitro = 10 litros
No prefijo	unidades	
Deci-	décimas	1 decilitro = 0.1 litro
Centi-	centésimas	1 centilitro = 0.01 litro
Mili	milésima	1 mililitro = 0.001 litro

Se presentan las unidades de medición más frecuentes en el sistema métrico y su equivalente en unidades utilizadas en los Estados Unidos:

Unidades Métricas Abreviación Equivalente aproximado de unidades usadas en USA

Distancia

Kilómetro	Km.	0.62 millas
Metro	m	39.37 pulgadas
Centímetro	cm.	0.39 pulgadas
Milímetro	Mm.	0.04 pulgadas

Capacidad (líquidos)

Litro	l	1.057 cuartos de galón
-------	---	------------------------

Capacidad (material seco)

Litro	l	0.908 cuartos de galón
-------	---	------------------------

Peso

kilogramo	Kg.	2.2046 libras
gramo	g	0.035 onzas
miligramo	MG	0.015 pizcas (grains)

<u>Unidades Norteamericanas</u>	<u>Equivalente métrico</u>
-------------------------------------	--------------------------------

Distancia

1 milla	1.609 Km.
1 yarda	0.914 m
1 pie	30.480 cm.
1 pulgada	2.540 cm.

Capacidad (líquidos)

1 galón	3.7851 l
1 cuarto de galón	0.946 l
1 pinta	0.473 l
1 onza líquida	29.573 ml

Capacidad (material seco)

1 medida de áridos (bushel)	35.238 l
1 cuarto de galón	1.101 l
1 pinta	0.550 l

Peso

1 libra	0.453 Kg.
1 onza	28.349 g

APÉNDICE K. OTROS FACTORES A TOMAR EN CUENTA AL CALCULAR BTPS

1. Presión ambiental. Algunos médicos prefieren usar los factores de conversión BTPS que corrijan la presión del ambiental así como la temperatura. Las fluctuaciones en la presión ambiental produce cambios de menos del 1% en las pruebas espirométricas habituales. Sin embargo, a grandes alturas o durante estudios de investigación, se deberá considerar el uso de factores de conversión para la presión ambiental.

Para obtener la presión ambiental, use un barómetro o infórmese con el servicio meteorológico sobre la presión barométrica. Convierta las pulgadas de mercurio en milímetros de mercurio, si es necesario (1 mm = 0.04 pulgadas).

Para tomar en cuenta la presión ambiental dentro de los cálculos de BTPS, use la siguiente fórmula:

$$V_{BTPS} = \frac{V_{ATPS} \times [310 \times (P_B - P_{H_2O})]}{[(P_B - 47) \times (273 + T)]}$$

Pb = Presión barométrica, mmHg.

PH₂O = Presión del vapor de agua a la temperatura del espirómetro

T = Temperatura en grados centígrados

47 = Presión del vapor de agua a temperatura de 37°C

310 = Temperatura absoluta del cuerpo (en grados Kelvin)

2. Factor del instrumento o de campana: El factor instrumental o factor de campana se menciona ocasionalmente junto con BTPS. En ciertos espirómetros de sello de agua, se refiere a una constante que indica el volumen de desplazamiento por milímetro, del movimiento vertical de la campana. Si usted usa este tipo de espirómetro, se necesita este factor de corrección. Consulte las instrucciones en el manual del fabricante.
3. Instrumentos con gráficas en unidades BTPS: Algunos instrumentos cuentan con un papel graficado que asume que el espirómetro se encuentra a 25°C y a una presión barométrica de 760 mm de mercurio (presión barométrica a nivel del mar). Si la temperatura ambiente no es de 25°C, la información recolectada por este tipo de instrumentos debe ser corregida con el factor BTPS apropiado. Consulte las instrucciones en el manual del fabricante.

APÉNDICE L. TABLAS DE VALORES DE REFERENCIA DEL NHANES III (Hankinson et al.-1999)

Tabla 1. Varones caucásicos

Talla	Edad	CVF		VEF1		VEF1/CVF%	
		Pred	LLN	Pred	LLN	Pred	LLN
170cm	20	5.10	4.25	4.30	3.58	83.9%	74.3%
	30	4.97	4.12	4.08	3.36	81.9%	72.2%
	40	4.79	3.94	3.83	3.11	79.8%	70.1%
	50	4.55	3.70	3.55	2.83	77.7%	68.1%
	60	4.26	3.41	3.23	2.51	75.7%	66.0%
180cm	20	5.75	4.80	4.79	3.98	83.9%	74.3%
	30	5.62	4.67	4.58	3.77	81.9%	72.2%
	40	5.44	4.49	4.32	3.52	79.8%	70.1%
	50	5.21	4.25	4.04	3.23	77.7%	68.1%
	60	4.92	3.96	3.72	2.91	75.7%	66.0%
190cm	20	6.44	5.38	5.31	4.41	83.9%	74.3%
	30	6.31	5.25	5.10	4.20	81.9%	72.2%
	40	6.13	5.07	4.85	3.95	79.8%	70.1%
	50	5.90	4.83	4.56	3.66	77.7%	68.1%
	60	5.61	4.54	4.24	3.34	75.7%	66.0%

Tabla 2. Varones afro-americanos

Talla	Edad	CVF		VEF1		VEF1/CVF%	
		Pred	LLN	Pred	LLN	Pred	LLN
170cm	20	4.29	3.43	3.69	2.93	85.6%	75.2%
	30	4.11	3.25	3.46	2.70	83.8%	73.3%
	40	3.93	3.07	3.23	2.47	81.9%	71.5%
	50	3.75	2.89	3.00	2.24	80.1%	69.7%
	60	3.57	2.71	2.77	2.01	78.3%	67.9%
180cm	20	4.88	3.91	4.15	3.30	85.6%	75.2%
	30	4.69	3.73	3.92	3.07	83.8%	73.3%
	40	4.51	3.55	3.69	2.84	81.9%	71.5%
	50	4.33	3.37	3.46	2.61	80.1%	69.7%
	60	4.15	3.18	3.23	2.38	78.3%	67.9%
190cm	20	5.49	4.42	4.64	3.69	85.6%	75.2%
	30	5.31	4.24	4.41	3.46	83.8%	73.3%
	40	5.13	4.05	4.18	3.23	81.9%	71.5%
	50	4.95	3.87	3.95	3.00	80.1%	69.7%
	60	4.76	3.69	3.72	2.77	78.3%	67.9%

Tabla 3. Varones México-americanos

Talla	Edad	CVF		VEF1		VEF1/CVF%	
		Pred	LLN	Pred	LLN	Pred	LLN
170cm	20	5.14	4.31	4.41	3.71	85.7%	76.6%
	30	4.96	4.13	4.12	3.41	83.5%	74.4%
	40	4.74	3.91	3.82	3.12	81.3%	72.2%
	50	4.49	3.66	3.53	2.83	79.1%	70.0%
	60	4.20	3.37	3.24	2.54	76.9%	67.8%
180cm	20	5.76	4.83	4.94	4.15	85.7%	76.6%
	30	5.58	4.65	4.65	3.86	83.5%	74.4%
	40	5.36	4.43	4.35	3.56	81.3%	72.2%
	50	5.11	4.18	4.06	3.27	79.1%	70.0%
	60	4.82	3.89	3.77	2.98	76.9%	67.8%
190cm	20	6.42	5.38	5.50	4.62	85.7%	76.6%
	30	6.24	5.20	5.20	4.33	83.5%	74.4%
	40	6.02	4.99	4.91	4.03	81.3%	72.2%
	50	5.77	4.73	4.62	3.74	79.1%	70.0%
	60	5.48	4.44	4.33	3.45	76.9%	67.8%

Tabla 4. Mujeres caucásicas

Talla	Edad	CVF		VEF1		VEF1/CVF%	
		Pred	LLN	Pred	LLN	Pred	LLN
150cm	20	3.20	2.61	2.87	2.37	86.6%	76.8%
	30	3.19	2.61	2.74	2.24	84.4%	74.6%
	40	3.11	2.53	2.57	2.07	82.3%	72.5%
	50	2.96	2.37	2.35	1.86	80.2%	70.4%
	60	2.72	2.14	2.10	1.61	78.1%	68.3%
160cm	20	3.66	2.99	3.23	2.66	86.6%	76.8%
	30	3.65	2.98	3.09	2.53	84.4%	74.6%
	40	3.57	2.90	2.92	2.35	82.3%	72.5%
	50	3.42	2.75	2.71	2.14	80.2%	70.4%
	60	3.18	2.51	2.46	1.89	78.1%	68.3%
170cm	20	4.15	3.39	3.61	2.97	86.6%	76.8%
	30	4.14	3.39	3.47	2.83	84.4%	74.6%
	40	4.06	3.31	3.30	2.66	82.3%	72.5%
	50	3.91	3.15	3.09	2.45	80.2%	70.4%
	60	3.67	2.92	2.84	2.20	78.1%	68.3%

Tabla 5. Mujeres afro-americanas

Talla	Edad	CVF		VEF1		VEF1/CVF%	
		Pred	LLN	Pred	LLN	Pred	LLN
150cm	20	2.76	2.15	2.49	1.97	87.6%	76.9%
	30	2.68	2.07	2.31	1.79	85.5%	74.9%
	40	2.55	1.94	2.12	1.60	83.5%	72.8%
	50	2.36	1.76	1.90	1.38	81.5%	70.8%
	60	2.13	1.52	1.66	1.15	79.4%	68.7%
160cm	20	3.18	2.49	2.82	2.24	87.6%	76.9%
	30	3.10	2.41	2.65	2.06	85.5%	74.9%
	40	2.97	2.28	2.45	1.86	83.5%	72.8%
	50	2.78	2.10	2.24	1.65	81.5%	70.8%
	60	2.55	1.86	2.00	1.41	79.4%	68.7%
170cm	20	3.63	2.85	3.18	2.52	87.6%	76.9%
	30	3.55	2.77	3.01	2.34	85.5%	74.9%
	40	3.42	2.64	2.81	2.14	83.5%	72.8%
	50	3.23	2.46	2.59	1.93	81.5%	70.8%
	60	3.00	2.22	2.36	1.69	79.4%	68.7%

Tabla 6. Mujeres México-americanas

Talla	Edad	CVF		VEF1		VEF1/CVF%	
		Pred	LLN	Pred	LLN	Pred	LLN
150cm	20	3.29	2.69	2.91	2.40	87.9%	78.5%
	30	3.21	2.60	2.73	2.22	85.6%	76.3%
	40	3.07	2.47	2.54	2.03	83.4%	74.1%
	50	2.89	2.29	2.32	1.81	81.1%	71.8%
	60	2.66	2.06	2.07	1.56	78.9%	69.6%
160cm	20	3.73	3.05	3.28	2.70	87.9%	78.5%
	30	3.65	2.96	3.11	2.53	85.6%	76.3%
	40	3.51	2.83	2.91	2.33	83.4%	74.1%
	50	3.33	2.64	2.69	2.11	81.1%	71.8%
	60	3.10	2.41	2.45	1.87	78.9%	69.6%
170cm	20	4.20	3.43	3.68	3.03	87.9%	78.5%
	30	4.12	3.34	3.51	2.86	85.6%	76.3%
	40	3.98	3.21	3.31	2.66	83.4%	74.1%
	50	3.80	3.03	3.09	2.44	81.1%	71.8%
	60	3.57	2.80	2.85	2.20	78.9%	69.6%

APÉNDICE M. TABLAS DE PATRONES OBSTRUCTIVOS Y RESTRICTIVOS

La información que se presenta abajo, representa un método para interpretar los resultados espirométricos. Este método no es el único y existen otros que se pueden usar.

ENFERMEDADES PULMONARES Y RESULTADOS ESPIROMÉTRICOS

<u>Interpretación</u>	<u>VEF₁/CVF%</u>	<u>CVF</u>	<u>VEF₁</u>
Persona normal	Normal	Normal	Normal
Obstrucción de las vías aéreas	Bajo	Normal o baja	Bajo
Restricción pulmonar	Normal	Baja	Bajo
Combinación de obstrucción/restricción	Bajo	Baja	Bajo

Adaptado de: Chronic Obstructive Pulmonary Disease, 5th. Edition [1977]. American Lung Association (46).

LINEAMIENTOS PARA EVALUAR EL GRADO DE COMPROMISO VENTILATORIO

<u>Interpretación</u>	<u>Patrón obstructivo</u>	<u>Patrón restrictivo</u>
Normal	$VEF_1/CVF\% \geq LLN$	$CVF \geq LLN$
Limítrofe	$VEF_1/CVF < LLL \ \& \ VEF_1 \geq LLN$	
Leve	$VEF_1 < 100 \ \& \ \geq 70\% \text{ Pred}$	$CVF < LLN \ \& \ \geq 70\% \text{ Pred}$
Moderado	$VEF_1 < 70 \ \& \ \geq 50\% \text{ Pred}$	$CVF < 70 \ \& \ \geq 50\% \text{ Pred}$
Severo	$VEF_1 < 50\% \text{ Pred}$	$CVF < 50\% \text{ Pred}$

Adaptado de la Sociedad Torácica Americana: Lung function testing: Selection of reference values and interpretative strategies [1991]. American Review of Respiratory Diseases 144: 1202-1218 (30).