

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).

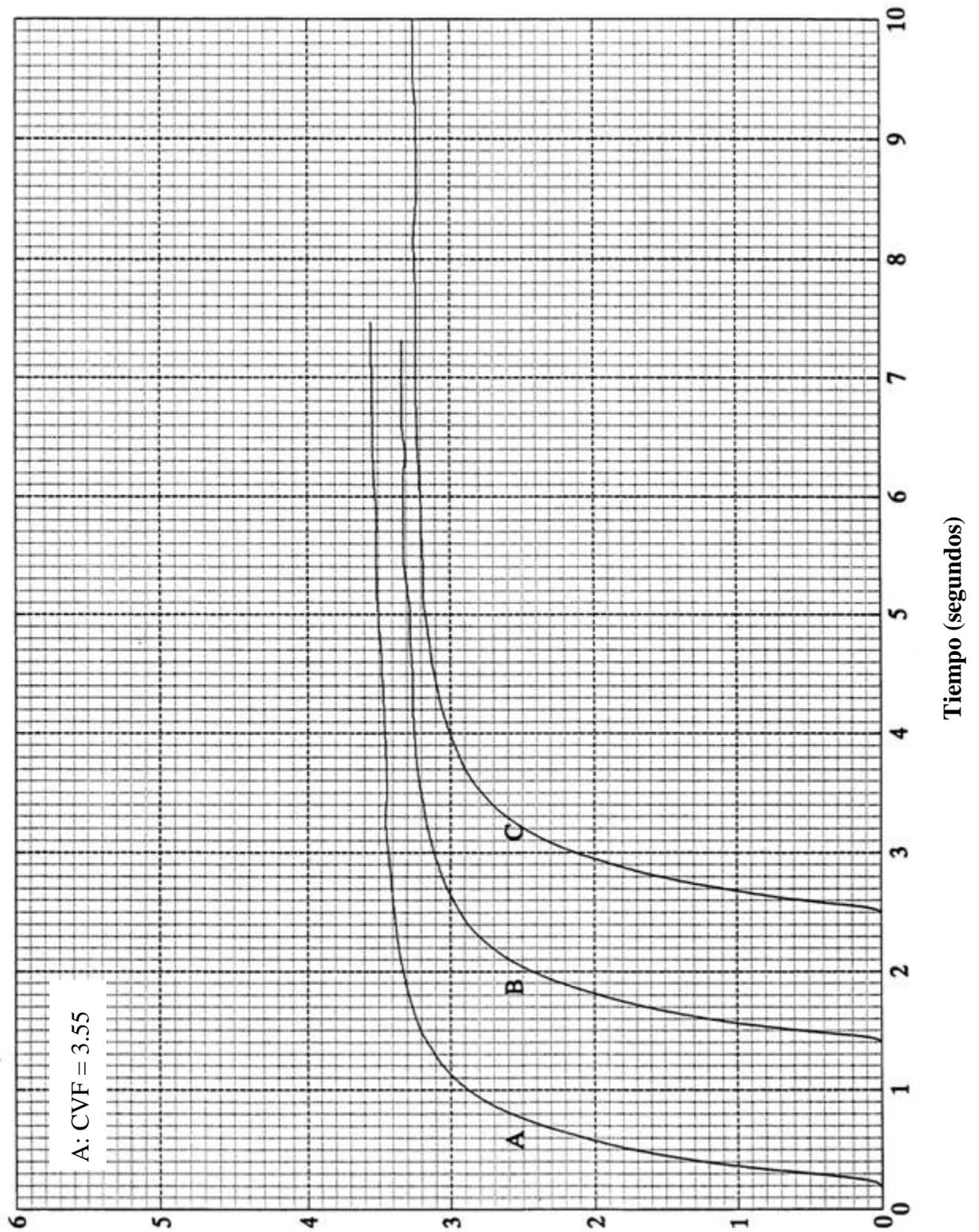
B. Cálculo de la variabilidad excesiva de la CVF.

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:

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

$$0.22/3.55 = .062$$

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

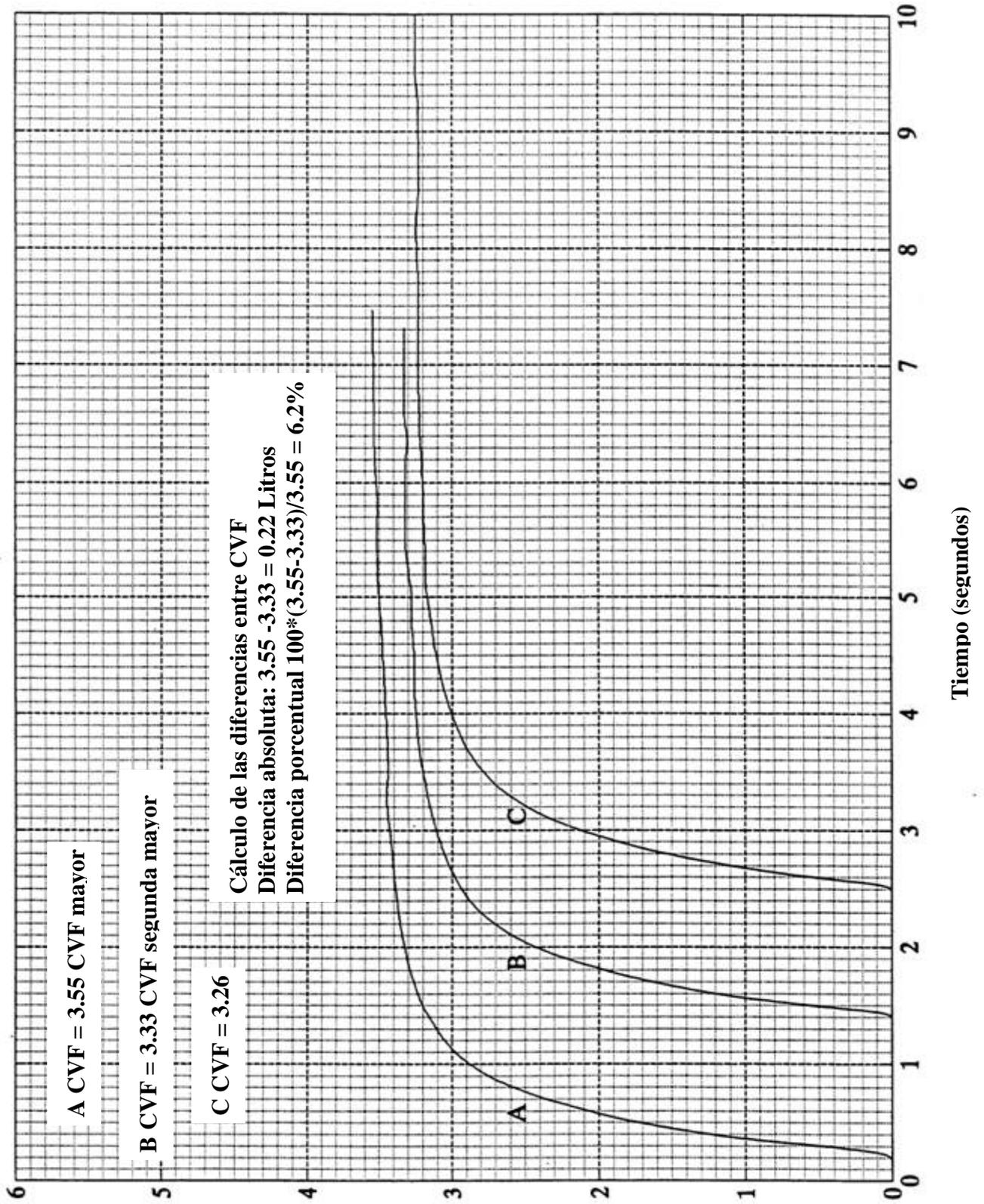
Ya que 6.2% es mayor que 5%, hay una excesiva variabilidad entre las curvas A y B, si se utilizan los criterios de la ATS-87(criterio del 5%), pero no, si se utilizan los criterios del Cotton Dust (criterio del 10%).

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

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

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

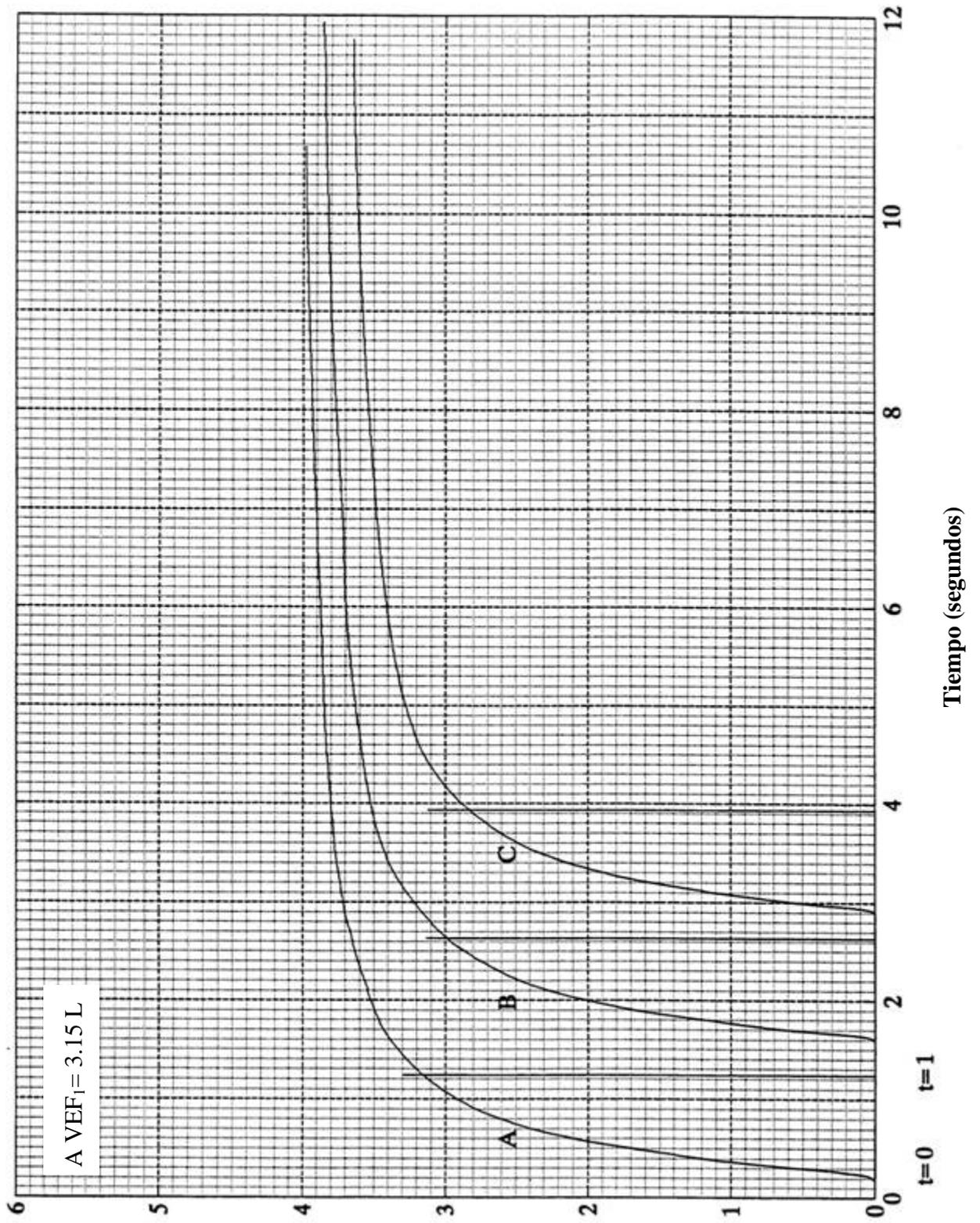
La variabilidad entre las curvas A y B es de solamente 120 mililitros y de un 3%, de manera que las dos CVF no presentan una variabilidad excesiva, de acuerdo a todos los criterios. Nótese (opcional) que 120 mililitros es mayor que 100 ml; de esa manera, el criterio de porcentaje es usado para determinar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

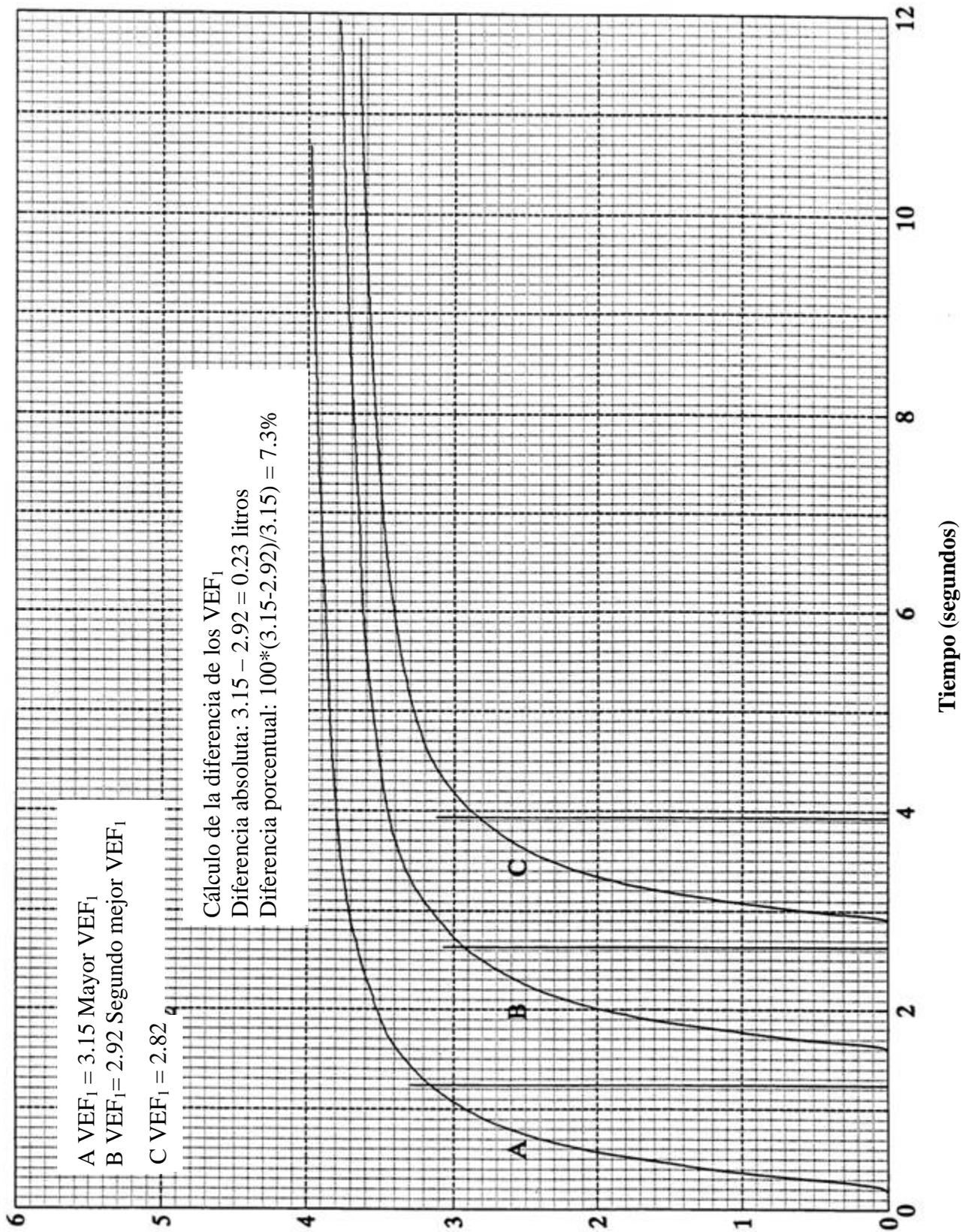
OPCIONAL: 7.3% es mayor que 5%, pero menos que 10%, así pues, estos trazos no cumplirían el criterio ATS-1987, pero sí con los de Cotton Dust.

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})**

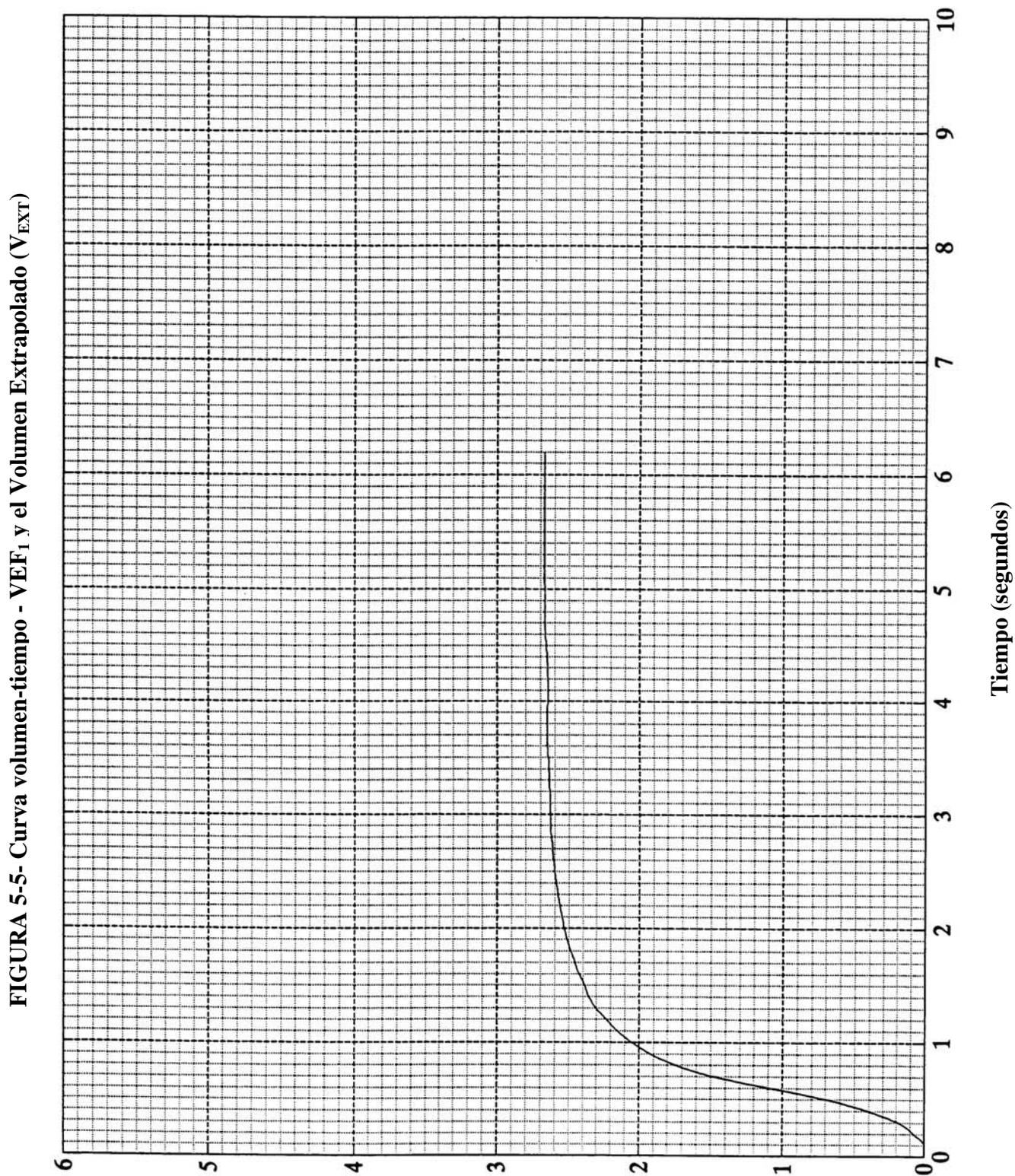


FIGURA 5-6. CURVA VOLUMEN-TIEMPO. TRAZO DE LÍNEA PARA EL V_{EXT}

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

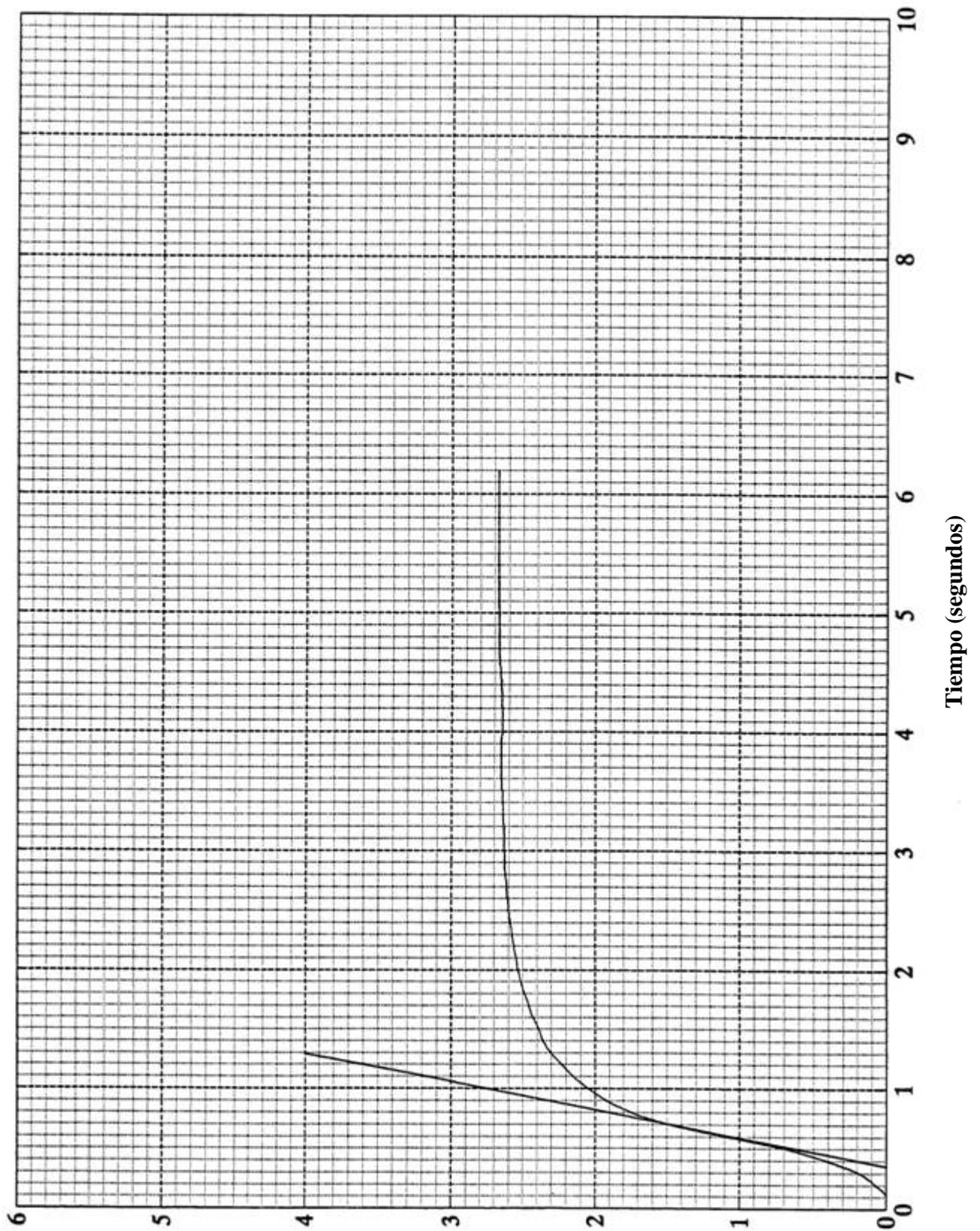


FIGURA 5-7. CURVA VOLUMEN-TIEMPO. MEDIDA DEL TIEMPO CERO Y DEL VEF₁
Error!

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

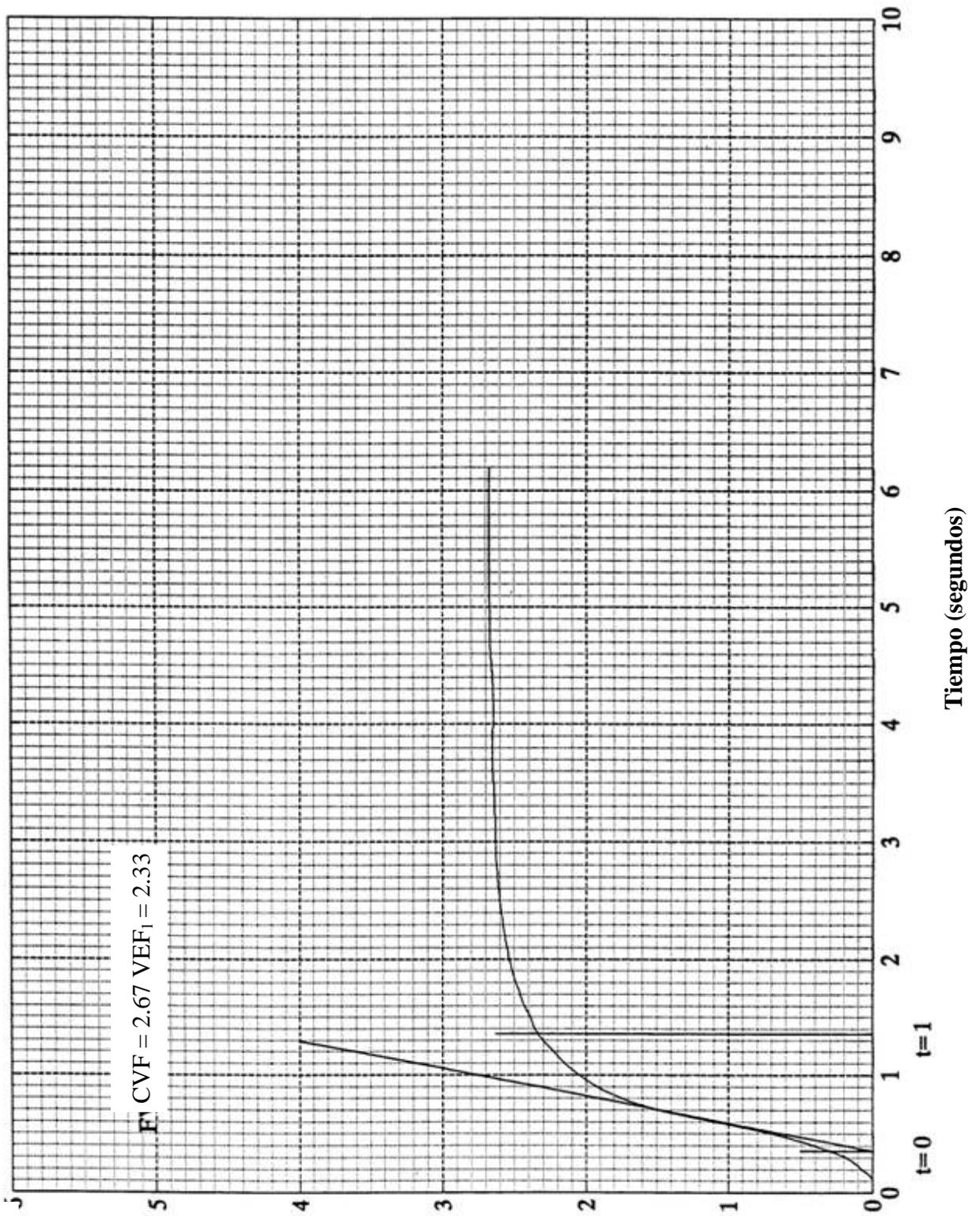
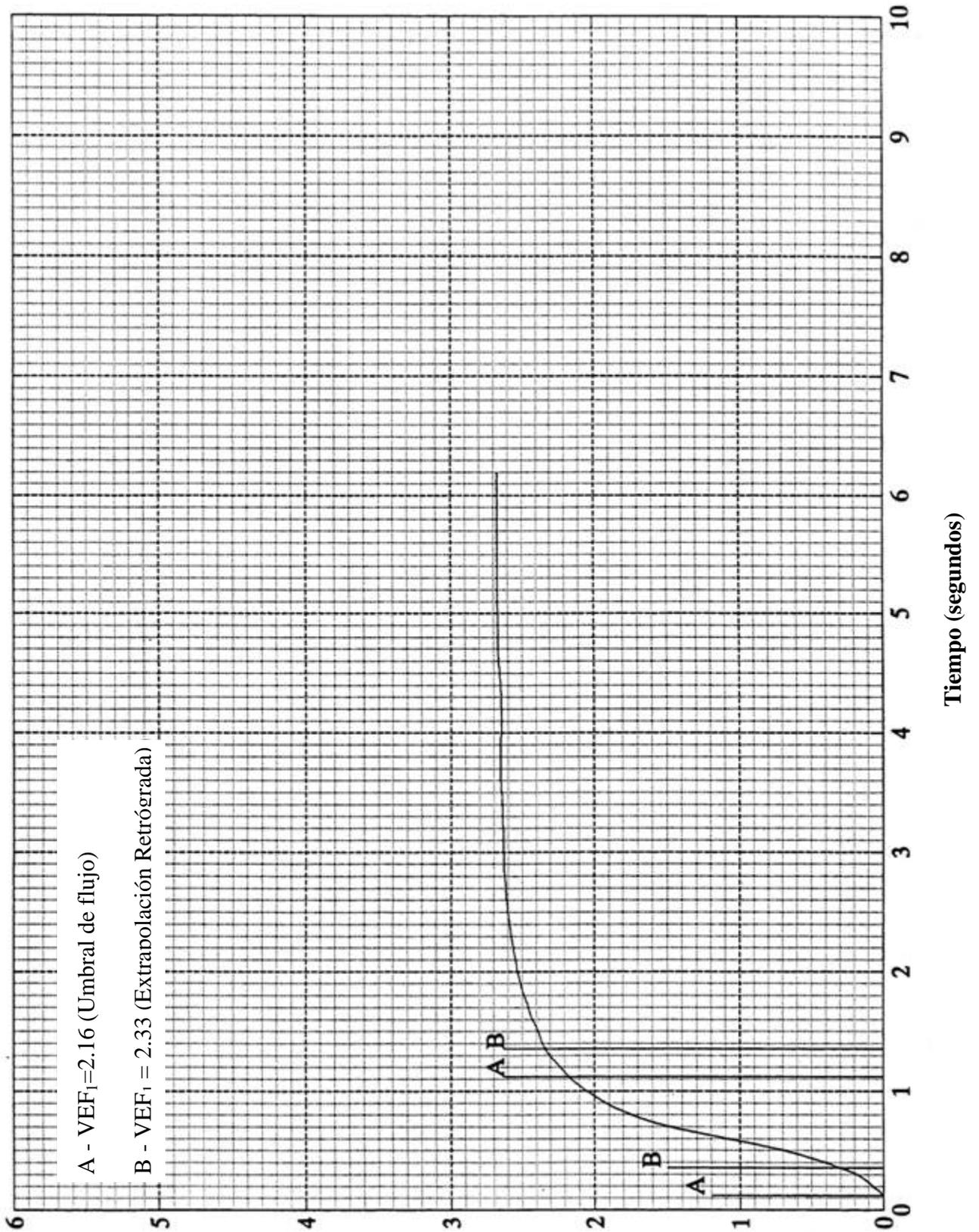


FIGURA 5-8. CURVA VOLUMEN-TIEMPO-DOS POSIBLES TIEMPOS CERO

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

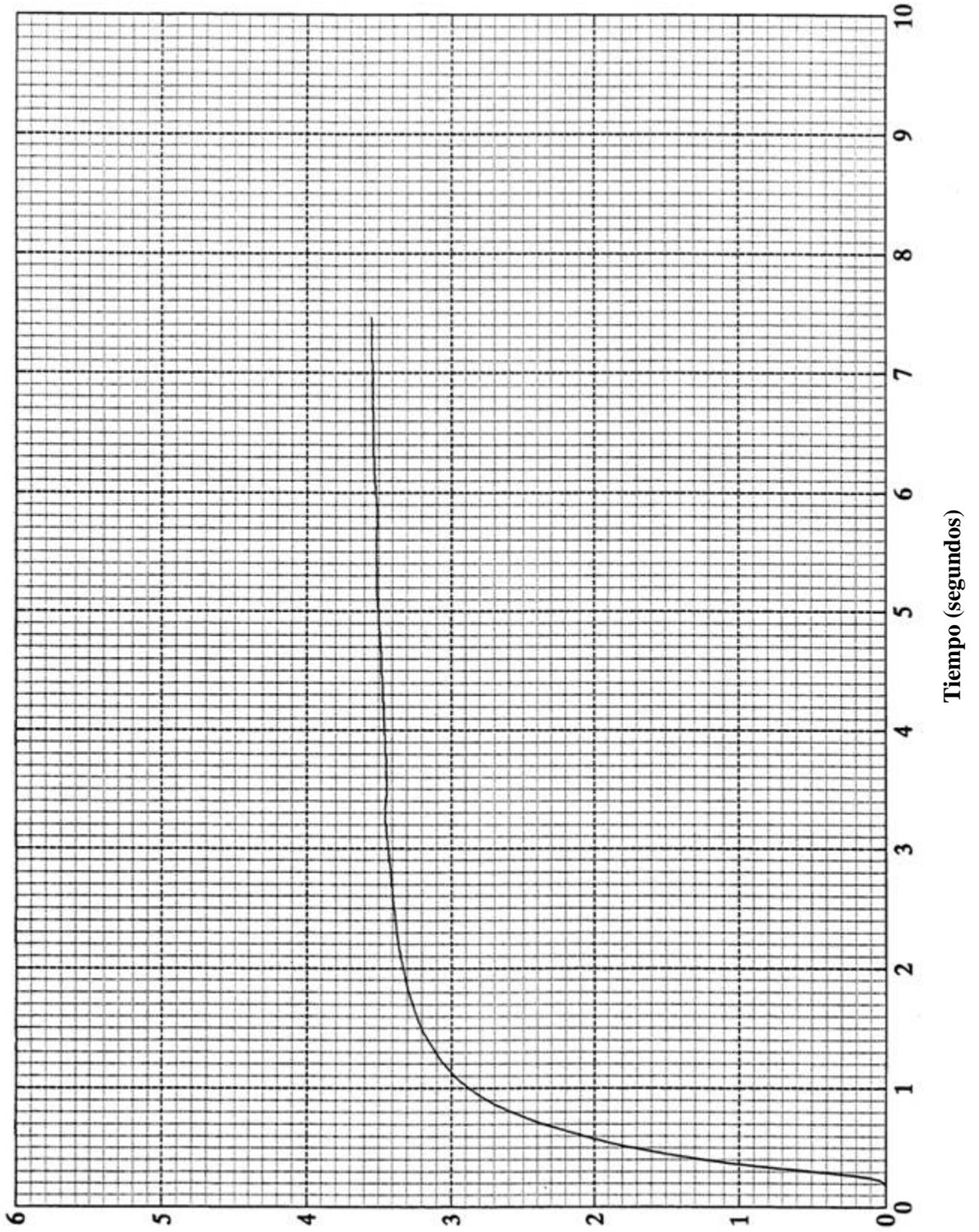


EJERCICIO: Utilizando la curva de la figura 5-9, calcule el VEF₁, utilizando la extrapolación retrógrada.

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.

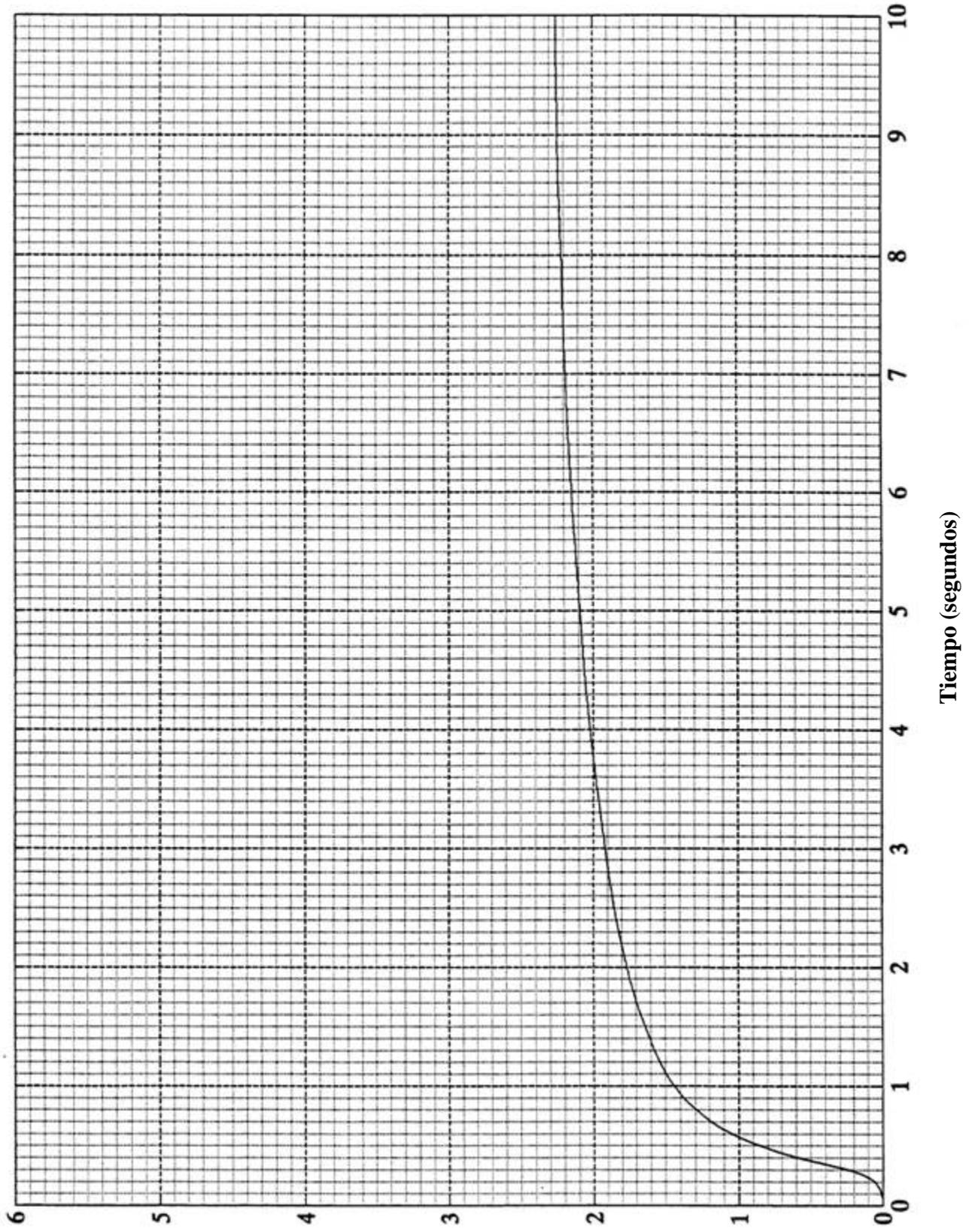
RETROALIMENTACIÓN: $VEF_1 = 1.56 \text{ L}$

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

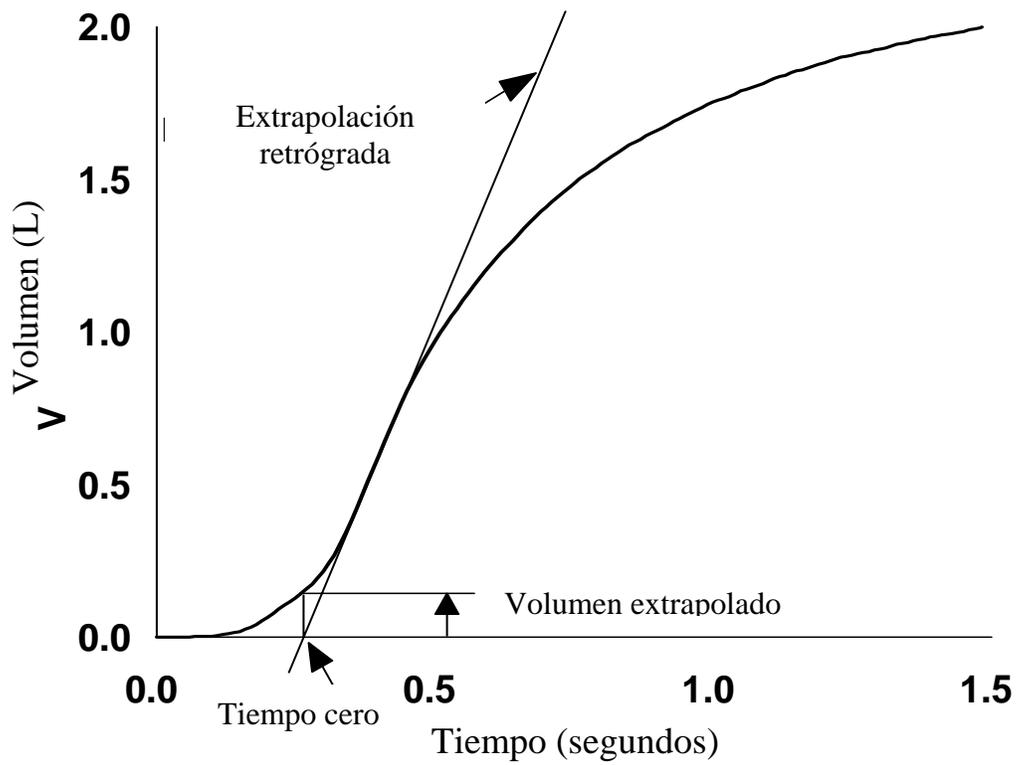
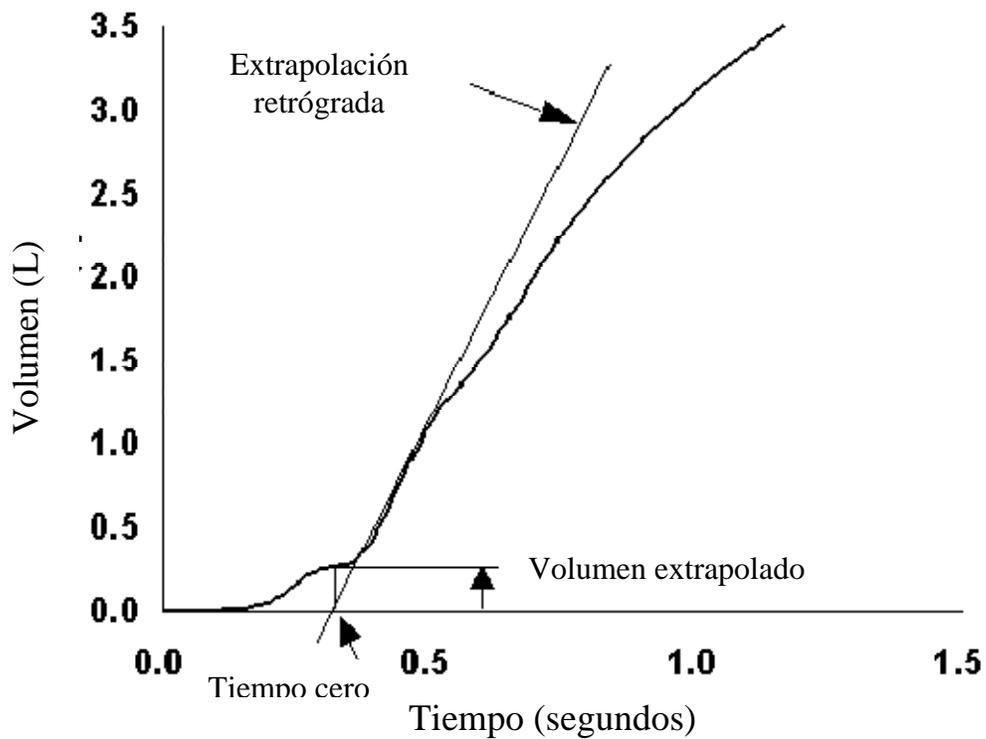


FIGURA 5-12. EJEMPLO DE VOLUMEN EXTRAPOLADO



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

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

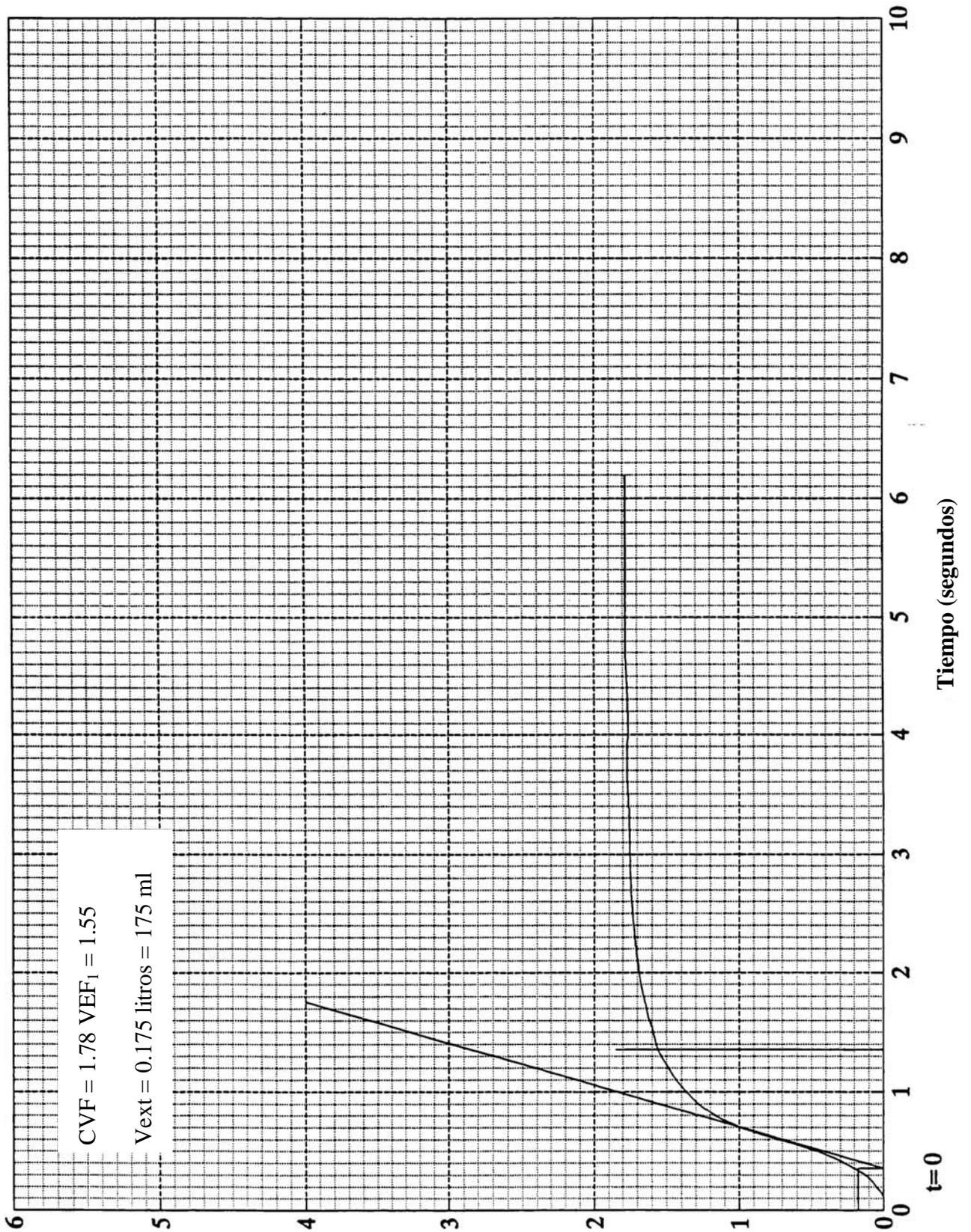
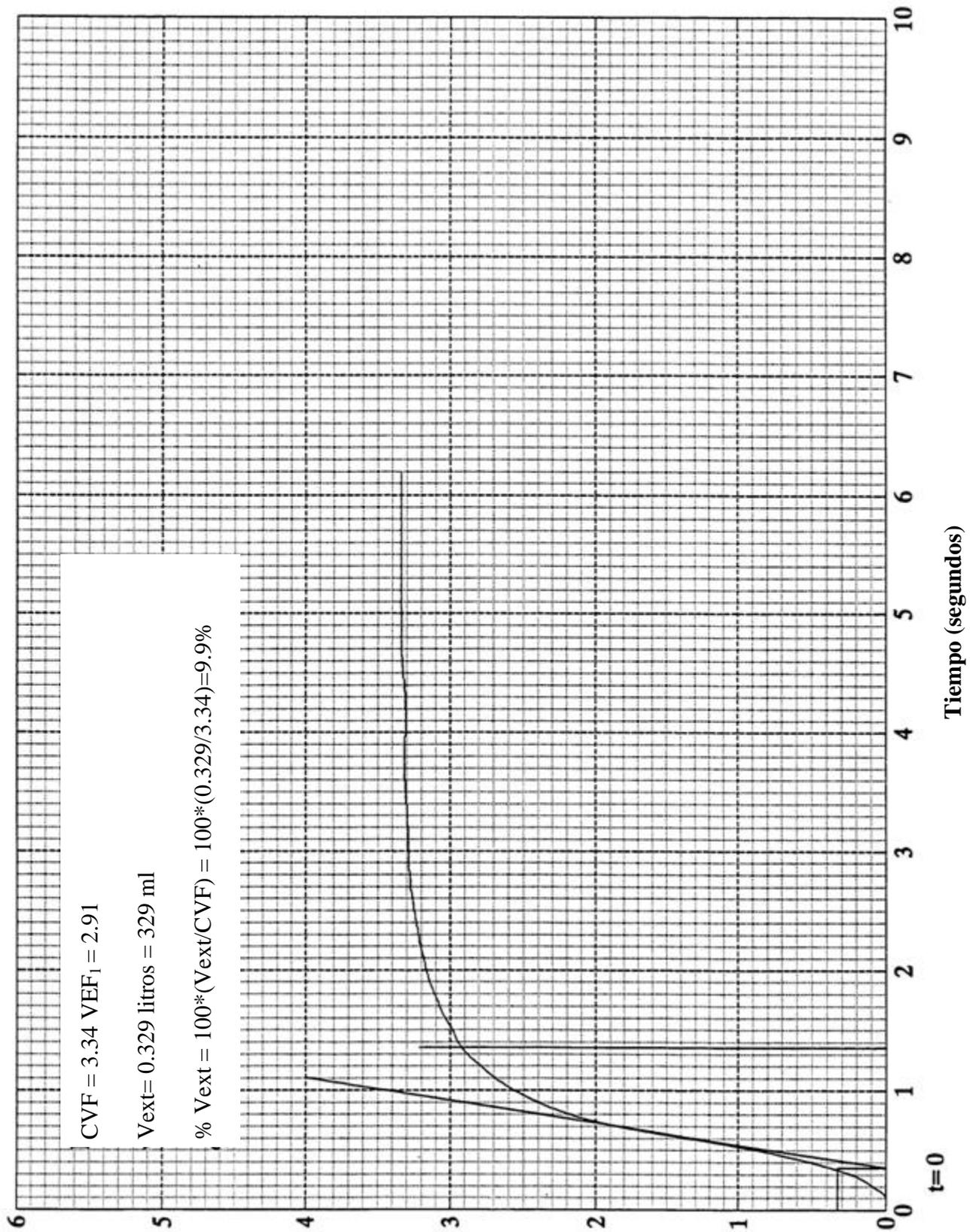


FIGURA 5-14 CURVA VOLUMEN-TIEMPO

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.

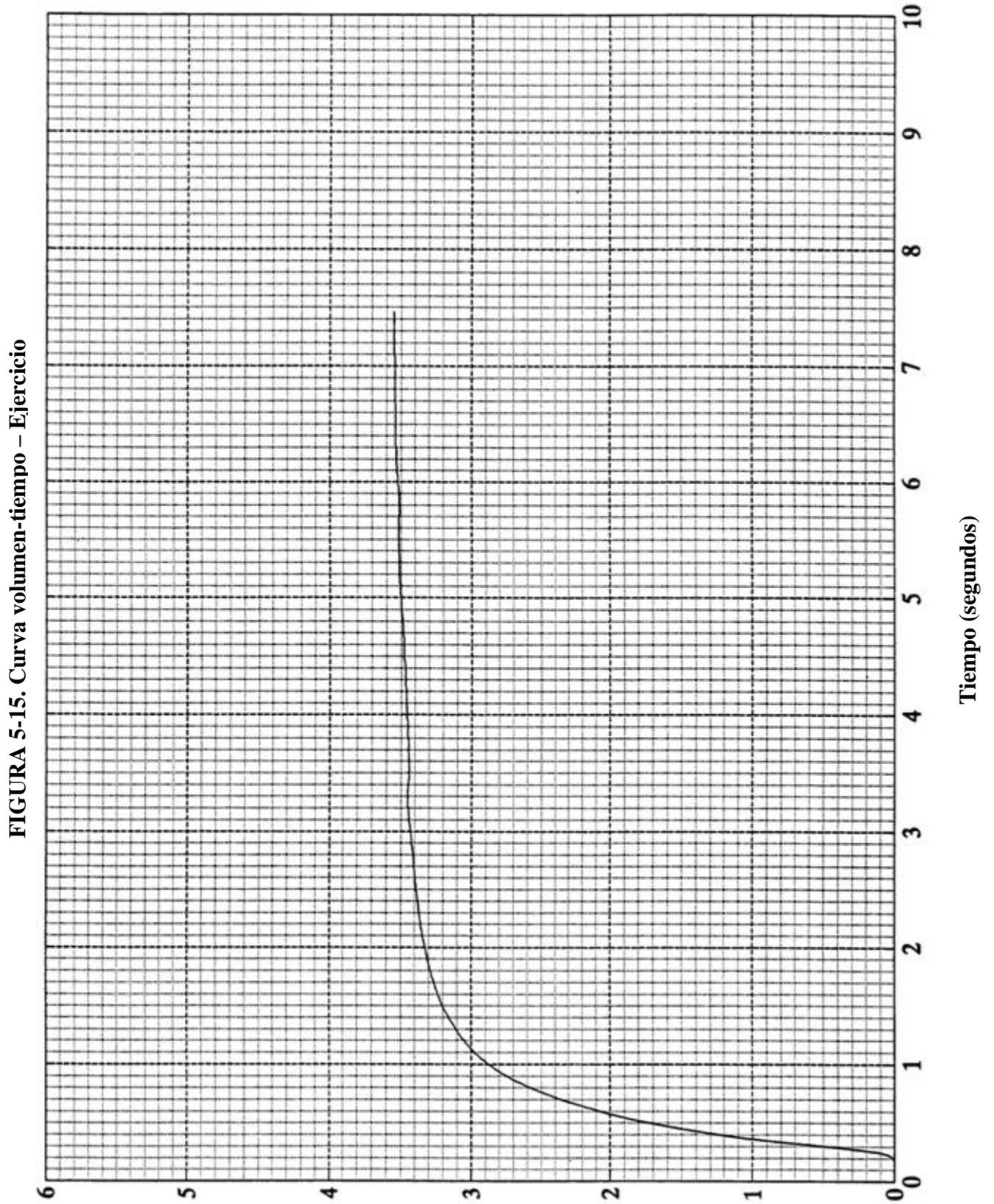
RETROALIMENTACIÓN:

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

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

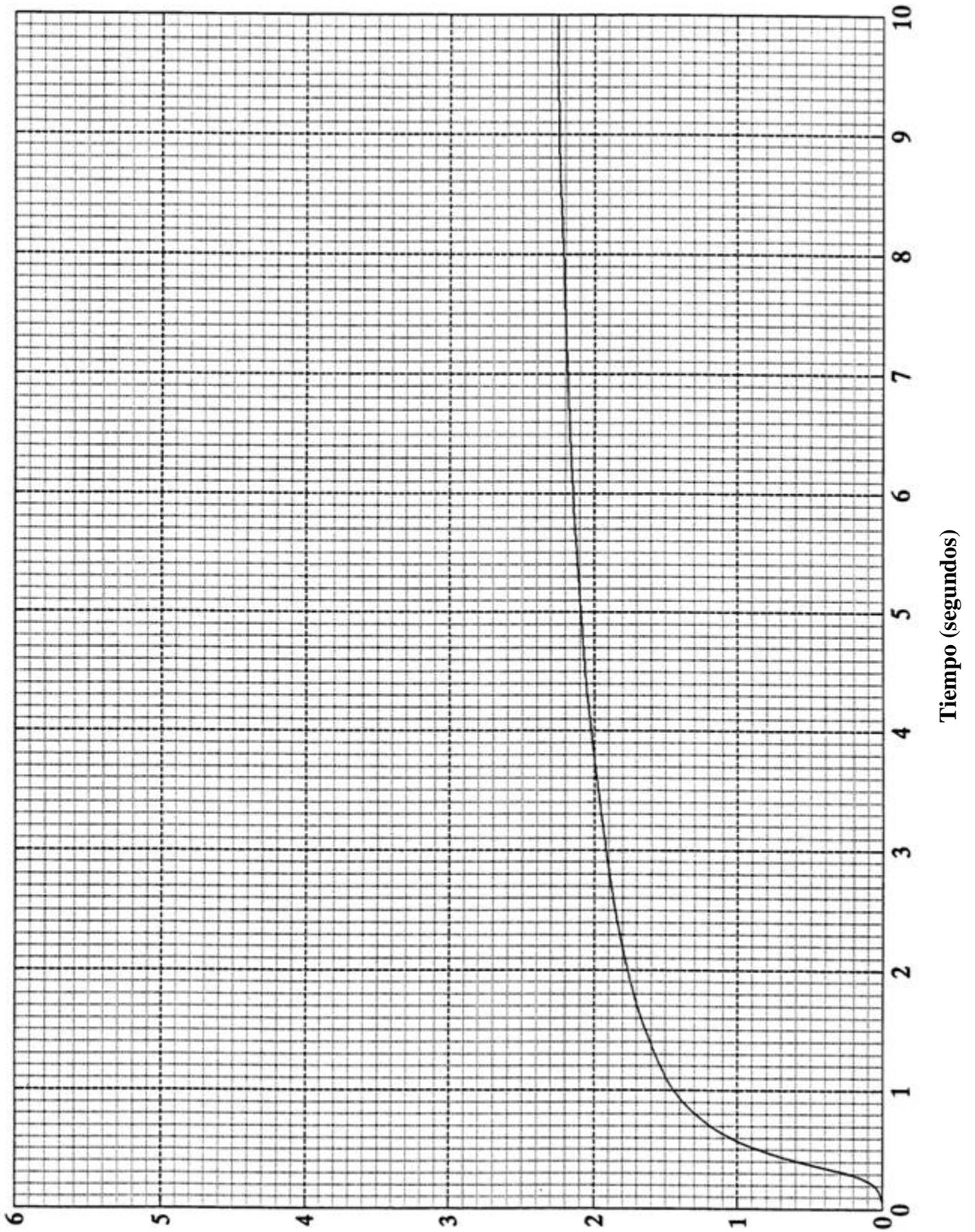
$$(0.13/2.25)100 = 5.7\%$$

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%):

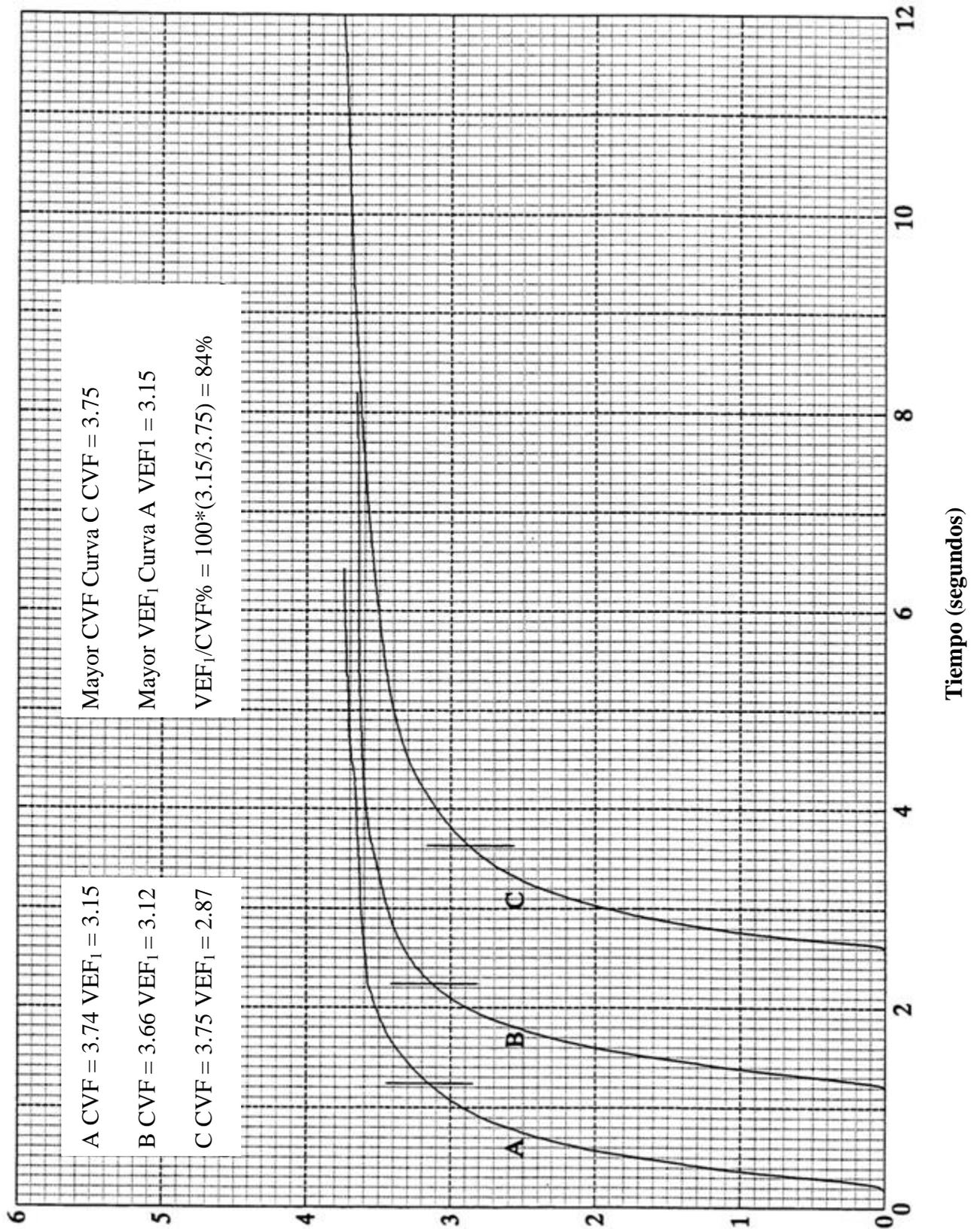
La mayor CVF aceptable es de 3.75 L (de la curva C).

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.

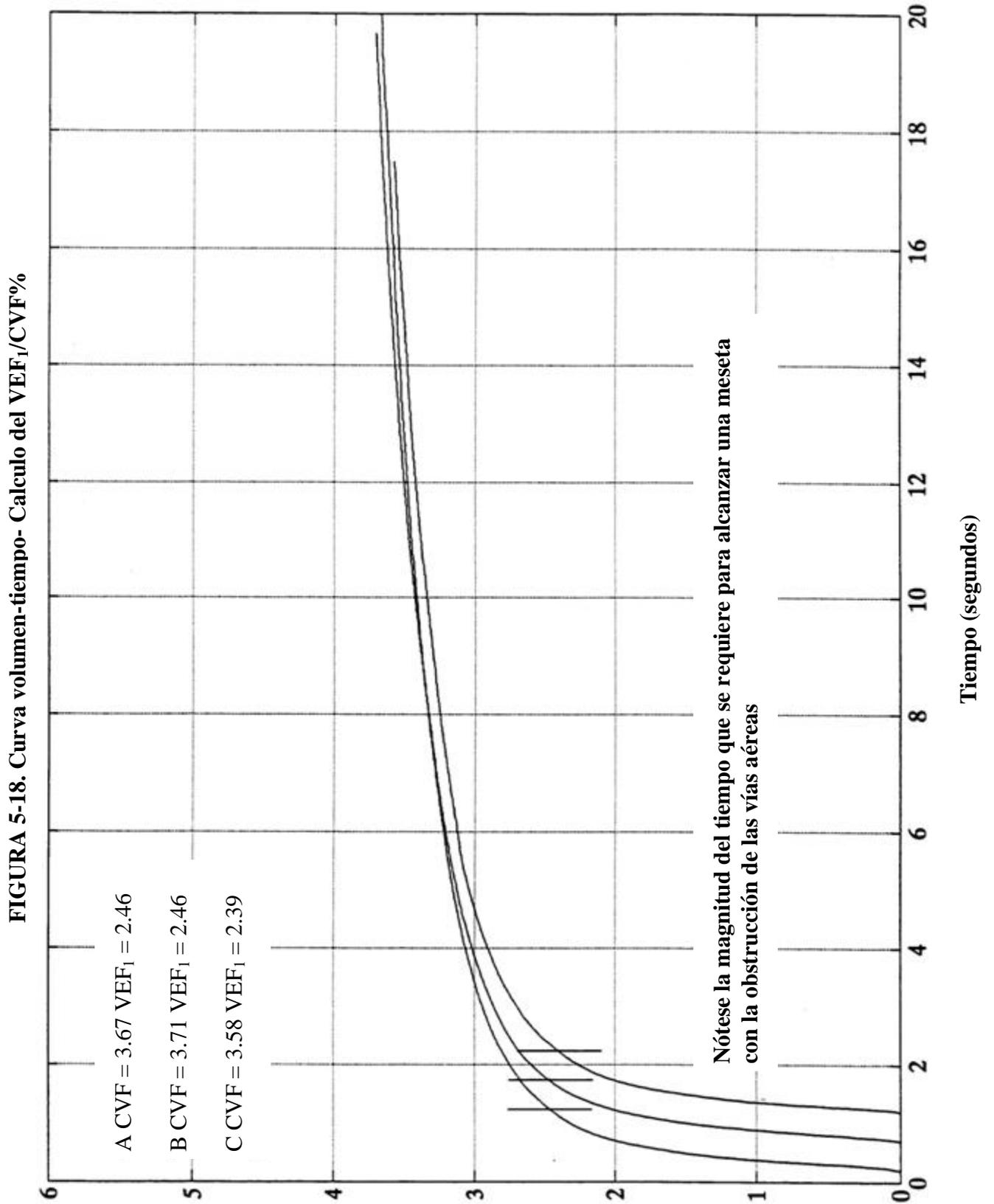
RETROALIMENTACIÓN:

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 espíratório forzado promedio en la mitad central de la CVF (conocido previamente como flujo espíratório 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%}

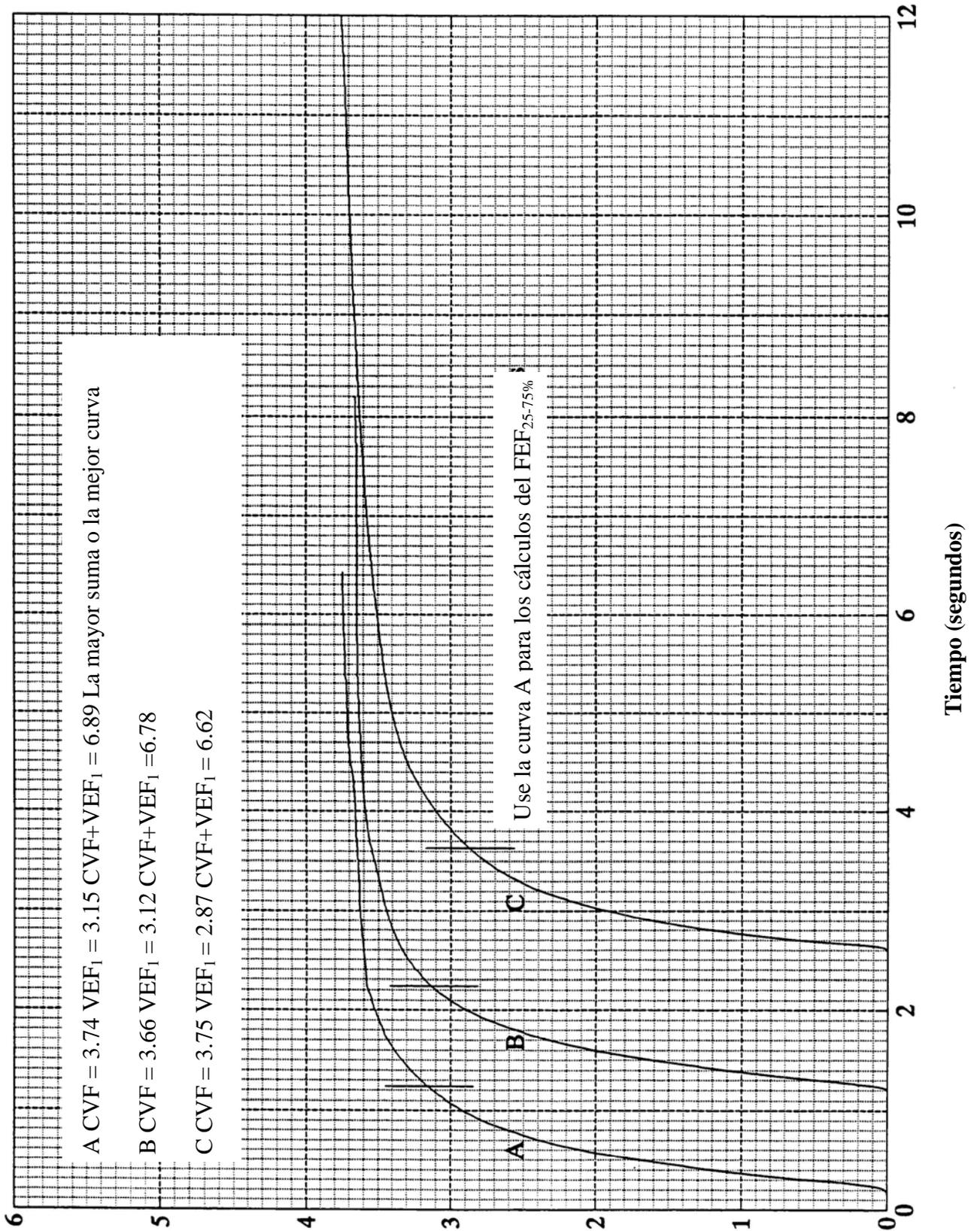
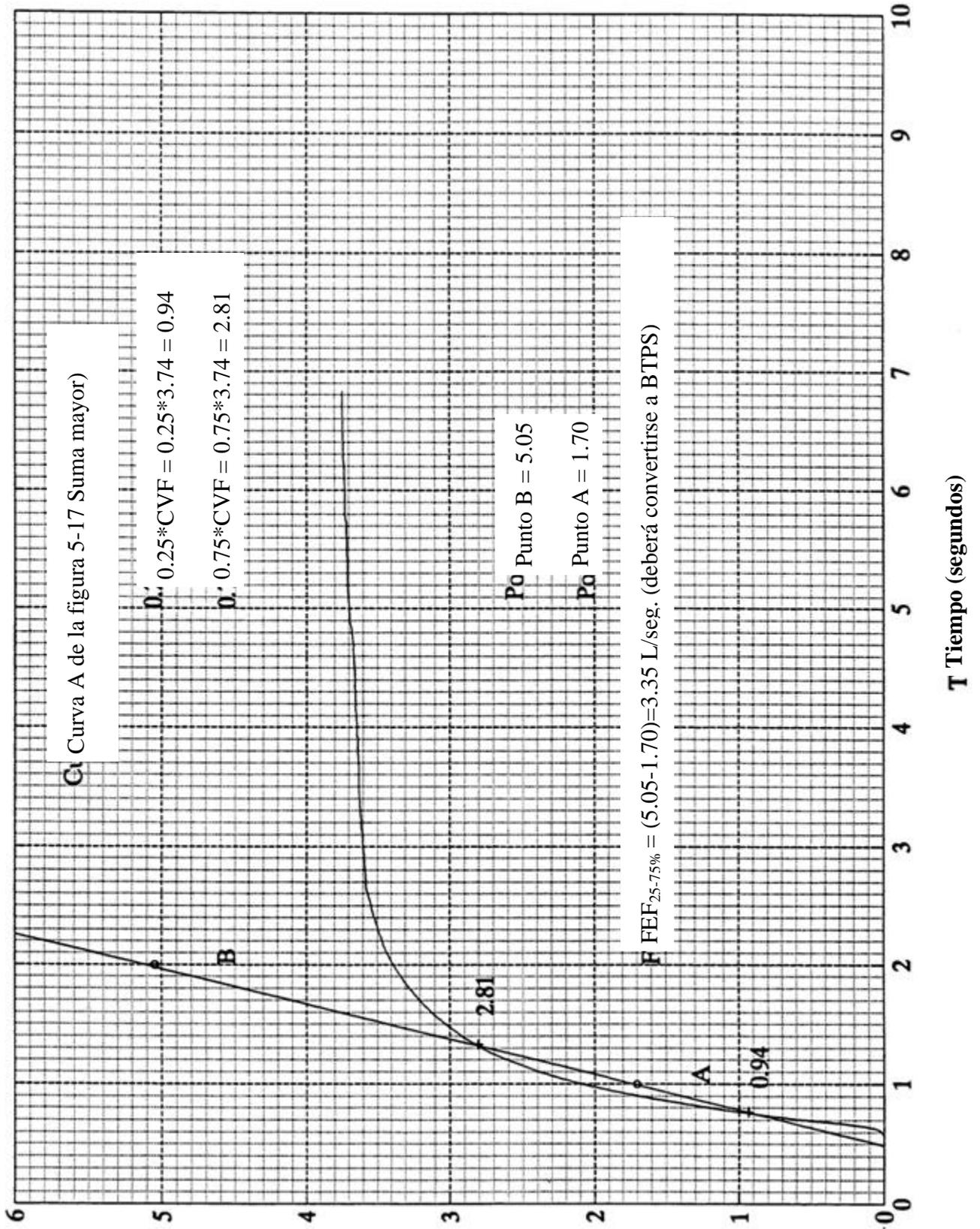


FIGURA 5-20. CURVA VOLUMEN-TIEMPO – FEF_{25-75%}

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.

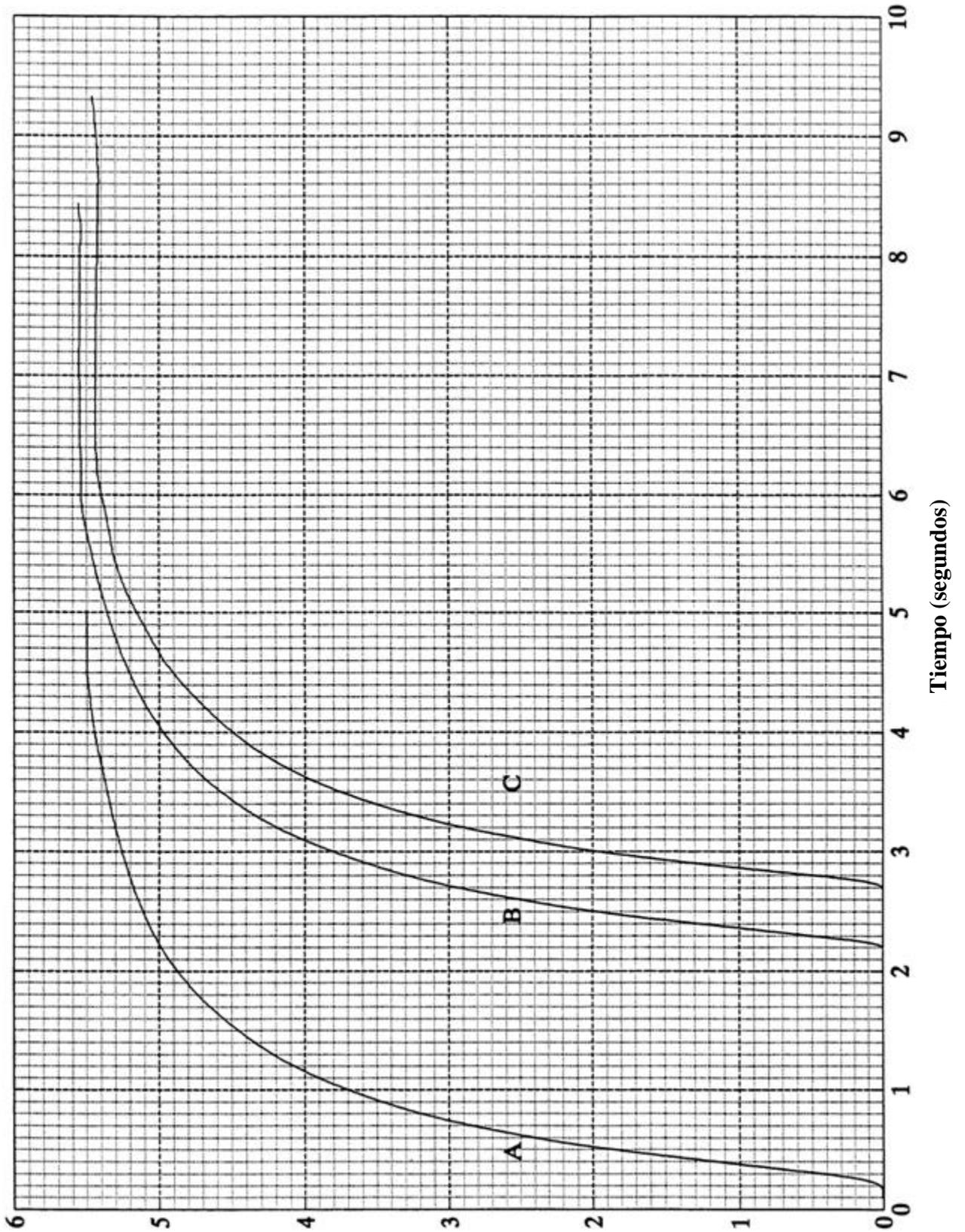
$$\text{VEF}_1 = 4.22 \text{ l} \quad \text{CVF} = 5.55 \text{ l}$$

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

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 ($5.65 - 1.85 \text{ L} = 3.75 \text{ L/seg}$).

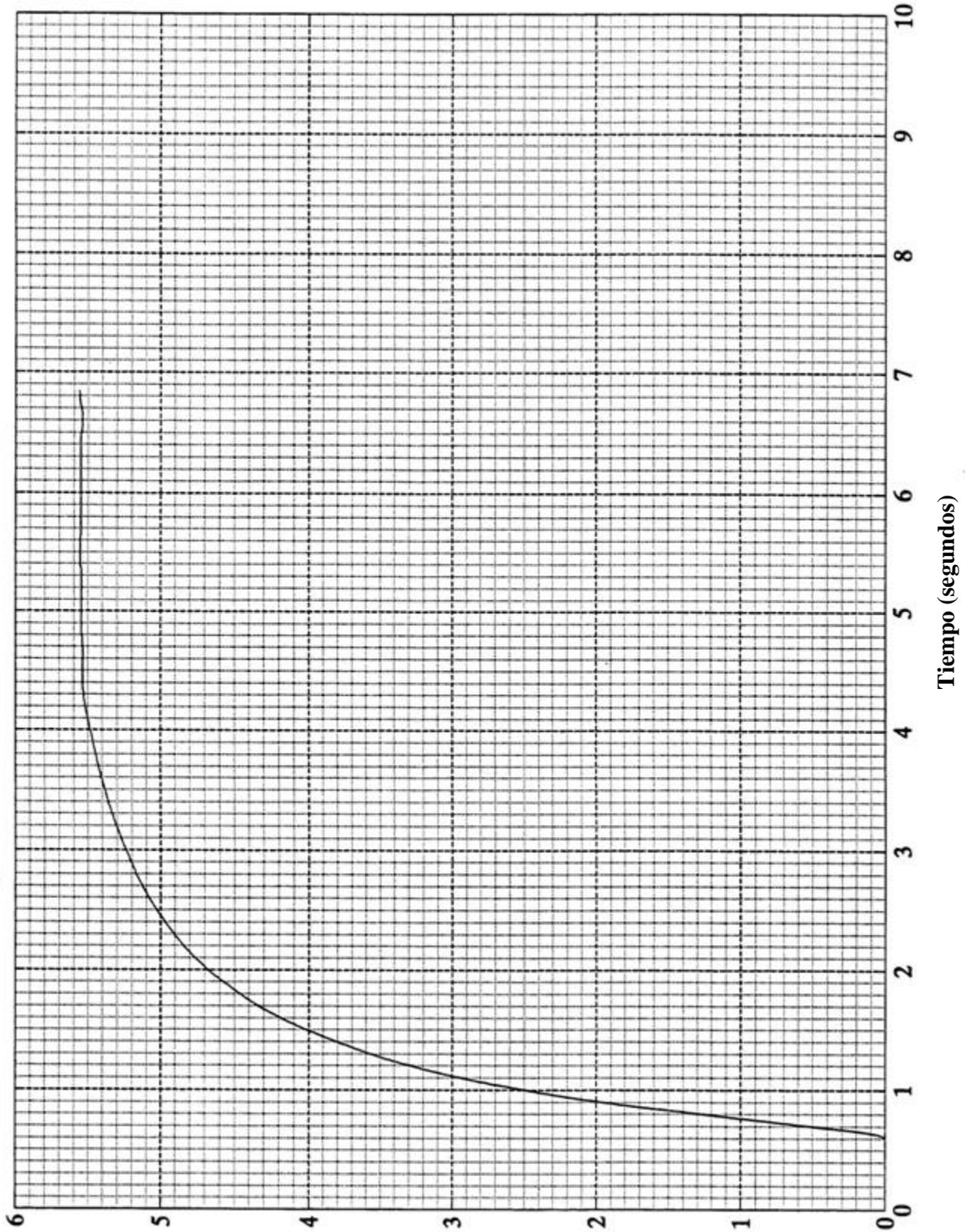
DATOS PARA RECORDAR:

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.

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

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 ambiente 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.**