

HOSPITAL NACIONAL DR. JOSE ANTONIO SALDAÑA
NEUMOLOGIA Y MEDICINA FAMILIAR



Neumología y Medicina Familiar

MANUAL DE PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS DEL
LABORATORIO DE FISILOGIA PULMONAR.

RESPONSABLES:

- Dr. Juan Carlos Aguilar Aldana
- Dr. Alberto Antonio Flores Molina
- Dra. Claudia Arely González Martínez
- Dr. Oscar Salomón Zepeda

LOS PLANES DE RENDEROS, SEPTIEMBRE 2012.

INDICE:

INTRODUCCIÓN:

Desde 1991 en el departamento de Terapia Respiratoria y Fisiología Pulmonar de este centro hospitalario, se han realizado gasometría arterial y espirometría forzada. Cabe mencionar, que desde entonces, Terapia respiratoria y Fisiología Pulmonar han funcionado como un solo departamento con una misma jefatura. En el 2007 se elaboró el primer manual de procesos de esta área el cual no ha sido actualizado. Luego de gestiones realizadas en los últimos años para la creación de un laboratorio de Fisiología Pulmonar que beneficie a los pacientes con patologías respiratorias, se elabora un manual de procedimientos técnicos acorde a la complejidad de los nuevos estudios de función pulmonar a realizar. Los nuevos procedimientos a realizar serán: Pletismografía pulmonar, Difusión de monóxido de carbono y Prueba de esfuerzo cardiopulmonar.

PROCEDIMIENTOS:

1. ESPIROMETRIA.

1.1 OBJETIVO DE LA PRUEBA:

La valoración objetiva de la función mecánica respiratoria.

1.2 INDICACIONES:

1.2.1 Diagnóstica.

- a) Síntomas: sibilancias, disnea, ortopnea, tos, flema o dolor torácico.
- b) Signos: ruidos respiratorios disminuidos, hiperinflación, lentitud espiratoria, deformidad torácica, presencia de estertores.
- c) Pruebas anormales: hipoxemia, hipercapnia, policitemia, radiografía de tórax anormal.

1.2.2 Impacto de la enfermedad en la función respiratoria.

1.2.3 Evaluación de individuos en riesgo de enfermedad pulmonar.

1.2.4. Monitorización y vigilancia de enfermedad pulmonar.

1.2.5. Pronóstico.

1.2.6. Descripción del curso de la enfermedad.

1.2.7. Valoración de impedimento y discapacidad respiratoria.

1.2.8. Estudios Epidemiológicos.

1.3 CONTRAINDICACIONES

1.3.1 RELATIVAS:

- Falta de comprensión o de colaboración en el entendimiento y la realización de la prueba (deterioro físico o cognitivo y simuladores).
- Problemas bucodentales o faciales que impidan o dificulten la colocación y sujeción de la boquilla.
- Náuseas provocadas por la boquilla.
- Dolor torácico significativo que impida la colaboración para el esfuerzo.
- Traqueostomía.

1.3.2 ABSOLUTAS:

- Neumotórax activo o reciente. *
- Hemoptisis activa o reciente. *
- Aneurisma torácico, abdominal o cerebral.
- Ángor inestable o infarto de miocardio reciente.*
- Cirugía torácica o abdominal reciente. *
- Desprendimiento de retina o cirugía ocular reciente.*
- (* 8 semanas)

1.4 TECNICA DE ESPIROMETRIA:

1.4.1. Calibrar el espirómetro y verificar su calibración.

1.4.2. Presentarse y explicar la prueba.

1.4.3. Preparar al sujeto para la prueba.

- a. Verificar contraindicaciones de la prueba.
- b. Investigar tabaquismo, enfermedad reciente, uso de medicamentos (Broncodilatadores y ejercicio intenso). Estas circunstancias se deben investigar pero no contraindican la prueba.
- c. Pesar y medir al sujeto o paciente sin zapatos.

1.4.4. Instruir para la prueba:

- a) Posición sentada con la cabeza ligeramente levantada.
- b) Inhalar rápidamente y de manera completa.
- c) Posición correcta de la boquilla (circuito abierto).
- d) Exhalar con máximo esfuerzo.
- e) Mantener esfuerzo de exhalación hasta que se indique terminación.

1.4.5. Demostrar la prueba.

1.4.6. Realizar la maniobra: Circuito cerrado:

- a) Colocar al sujeto en la posición correcta.
- b) Colocar pinza nasal.
- c) Colocar correctamente la boquilla (siempre una nueva).
- d) Inhalar de manera completa y rápida (<1 segundo).
- e) Exhalación máxima hasta que no se pueda expulsar más aire mientras se mantiene la posición del tronco recta con el cuello ligeramente elevado.
- f) Estimular vigorosamente durante la exhalación.
- g) Inspiración máxima, nuevamente rápida y completa.
- h) Repetir las instrucciones y la demostración de la maniobra si es necesario.
- i) Repetir un mínimo de tres buenas maniobras (generalmente no se requieren más de ocho).
- j) Revisar la repetibilidad de la prueba y realizar más maniobras si es necesario (se pueden realizar hasta quince).

1.4.7. Realizar la maniobra: Circuito abierto:

- a) Colocar al sujeto en la posición correcta.
- b) Colocar la pinza nasal.
- c) Inhalar de manera completa y rápida (<1 segundo).
- d) Colocar correctamente la boquilla (siempre una nueva).
- e) Exhalación máxima hasta que no se pueda expulsar más aire mientras se mantiene la posición del tronco recta con el cuello ligeramente elevado.
- f) Estimular vigorosamente durante la exhalación.
- g) Repetir un mínimo de tres buenas maniobras (generalmente no se requieren más de ocho).
- h) Revisar la repetibilidad de la prueba y realizar más maniobras si es necesario (se pueden realizar hasta quince).

1.5 PARÁMETROS DE CALIDAD DE LA ESPIROMETRÍA

1.5.1 Criterios de Aceptabilidad

1.5.1.1. **Inicio adecuado:** Curva flujo-volumen de forma triangular, con inicio vertical y generación de un vértice (flujo pico).

1.5.1.2. **Terminación adecuada:** Tiempo de exhalación de más 6 segundos en adultos o más de 3 segundos en niños.

1.5.1.3. **Sin presencia de artefactos:** Terminación temprana, esfuerzos variables, presencia de tos, cierre de la glotis, fuga de aireo por extrapolación de volumen >5%.

1.5.2 Criterio de Repetibilidad

1.5.2.1. Se deben tener 3 maniobras aceptables.

1.5.2.2. Aplicable a FVC y FEV1.

1.5.2.3. La diferencia entre los dos mayores valores de FEV1 o FVC debe ser <150 mL.

1.5.3 Reporte espirométrico:

Estos deben incluir:

1.5.3.1) Información demográfica del paciente;

1.5.3.2) Datos ambientales,

1.5.3.3) Valores de referencia,

1.5.3.4) Resultados de tres maniobras de FVC con valores de FEV1, FVC y/o FEV6, FEV1/FVC y/o FEV1/FEV6 y PEF), también debe incluir gráficas de flujo-volumen y volumen-tiempo;

1.5.3.5) Otros parámetros recomendados pueden ser la fecha de última calibración, la repetibilidad (variabilidad FVC y FEV1), graduación de calidad y la interpretación automatizada de los resultados.

2. PLETISMOGRAFIA.

2.1 OBJETIVO

Medición de volúmenes pulmonares.

2.2 DEFINICIONES DE VOLÚMENES Y CAPACIDADES PULMONARES:

El término volumen pulmonar se refiere a la cantidad de aire dentro de los pulmones en un momento determinado y que se cuantifica por una Prueba de Función Respiratoria. Una capacidad pulmonar describe la suma de dos o más volúmenes pulmonares. Los principales volúmenes y capacidades pulmonares se definen en la Tabla 1. Sin importar que técnica se utilice para medir los volúmenes pulmonares, se requiere cuantificar la capacidad vital (VC) y dos de sus componentes, la capacidad inspiratoria (IC) y el volumen de reserva espiratoria (ERV) para poder cuantificar el volumen residual (RV) y la capacidad pulmonar total (TLC).

Tabla No. 1: Definiciones de volúmenes y capacidades pulmonares

TV o V_T : Volumen corriente, es el volumen de aire inhalado o exhalado durante medido durante un ciclo respiratorio normal.

FRC: Capacidad funcional residual, es el volumen de aire dentro de los pulmones al final de la espiración después de un ciclo respiratorio normal.

VTG: Volumen de gas torácico, es el volumen absoluto de aire en un momento determinado y una presión alveolar determinada. Los estándares de la ATS/ERS recomiendan evitar este término y en su lugar usar terminología más específica, como FRC medida por pletismografía o FRC_{pleth} .

VC: Capacidad vital, es el mayor volumen de aire medido por inhalación o exhalación a nivel de la boca y entre los puntos de máxima inspiración y espiración completa. La VC se puede medir un esfuerzo relajado y continuo de inhalación máxima desde un punto de máxima exhalación previa (capacidad vital inspiratoria o IVC); la capacidad vital espiratoria (EVC) se mide de manera similar a la IVC, pero de manera inversa con un esfuerzo de espiración máxima, continua y relajada, desde un punto previo de máxima inspiración; y la capacidad vital forzada (FVC) es el volumen exhalado con máximo esfuerzo desde un punto de inspiración máxima.

TLC: Capacidad pulmonar total, es el mayor volumen de aire contenido en los pulmones después de una inspiración máxima.

RV: Volumen residual, es el volumen de aire contenido en los pulmones después de una exhalación completa, sin importar desde que volumen pulmonar previo se inició la exhalación.

ERV: Volumen de reserva espiratoria, es el mayor volumen de aire que se puede exhalar desde el nivel previo de FRC.

IRV: Volumen de reserva inspiratoria, es el mayor volumen de aire que se puede inhalar desde un nivel previo al final de la inspiración de un ciclo respiratorio normal.

IC: Capacidad inspiratoria, es el mayor volumen de aire que se puede inspirar desde un nivel previo de FRC. También es la suma del V_T y el VRI.

2.3 INDICACIONES:

- 2.3.1. Diagnóstico fisiológico preciso.
- 2.3.2. Cuando la información de la espirometría no ha sido previamente concluyente.
- 2.3.3. Confirmar procesos pulmonares restrictivos.
- 2.3.4. Medir la hiperinflación pulmonar.
- 2.3.5. Determinar la combinación de procesos obstructivos y restrictivos.
- 2.3.6. Valoración neumológica preoperatoria en situaciones especiales.
- 2.3.7. Cuantificar la proporción del volumen pulmonar no ventilado.

Estas mediciones, no se recomiendan para valorar la gravedad o impedimento de las enfermedades respiratorias, ni tampoco para seguir el curso de la enfermedad y la respuesta a tratamiento.

2.4 CONTRAINDICACIONES:

Las contraindicaciones para la medición de volúmenes pulmonares son las mismas descritas para la espirometría. No se recomienda en pacientes con enfermedad grave que no pueden suspender el uso de oxígeno suplementario o pacientes con venoclisis o claustrofobia quienes no pueden entrar a la cabina del pletismógrafo.

2.5 PREPARACIÓN DEL EQUIPO:

El equipo debe ser apropiadamente preparado previo a la prueba.

- 2.5.1. Encendido del equipo y calentamiento del mismo.
- 2.5.2. Ajuste correcto de presión barométrica y temperatura.
- 2.5.3. El sensor de flujo debe completar una calibración de volumen siguiendo las recomendaciones del fabricante.
- 2.5.4. Debe revisar que el obturador tenga una resistencia mínima al cierre y la apertura.
- 2.5.5. Los transductores de presión deben estar alineados correctamente.
- 2.5.6. Debe asegurarse que la puerta de la cabina cierre herméticamente.

2.6 CONTROL DE CALIDAD DE LOS EQUIPOS.

- 2.6.1. Verificar la calibración de volumen, de manera similar a la espirometría.
- 2.6.2. Confirmar que no haya fugas en el sistema.

2.6.3. La puerta debe cerrar herméticamente y la válvula de obturación debe tener resistencia mínima a la apertura y cierre de la misma.

2.7 PREPARACIÓN DEL PACIENTE:

2.7.1. Se recomienda evitar el tabaquismo, el ejercicio intenso y el uso de broncodilatadores antes de la prueba.

2.7.2. No ingerir alimentos copiosos.

2.7.3. Evitar ropa ajustada o prendas restrictivas (fajas y corsés).

2.8 INSTRUCCIÓN DEL PACIENTE:

2.8.1. Posición correcta para la prueba,

2.8.2. Uso de la boquilla y la pinza nasal apropiadamente.

2.8.3. Debe hacerse énfasis en la respiración normal en volumen corriente, la maniobra pletismográfica de respiración jadeante, seguida con la maniobra de Capacidad Vital (CV) que cumpla inspiración máxima seguida de espiración completa.

2.9 DEMOSTRACIÓN DE LA MANIOBRA:

Después de instruir al paciente el técnico debe demostrar la forma de realizar la maniobra respiratoria. Esto debe incluir la colocación correcta de la boquilla, la respiración normal, la respiración en jadeo durante la oclusión y la maniobra de CV.

2.10 MANIOBRA RESPIRATORIA PLETISMOGRÁFICA:

2.10.1. El paciente debe colocarse sentado con la posición correcta de la boquilla y la pinza nasal.

2.10.2. Cerrar la cabina y esperar a que el paciente se familiarice y se establezca la temperatura (aproximadamente 1 minuto).

2.10.3. Se pide que el individuo realice varias respiraciones normales (3 -10) para asegurarse que está cómodo con la boquilla y se estabiliza la Capacidad Residual Funcional (CFR)

2.10.4. La maniobra pletismográfica sigue con obturación de la válvula y el paciente debe realizar respiración jadeante con frecuencia respiratoria de 1 Hz (rango de 30-90 respiraciones por minuto) durante el tiempo que la válvula está obturada.

2.10.5. Se instruye a la maniobra de capacidad vital, la cual puede realizarse con espiración máxima hasta llegar a Volumen Residual (VR) seguida de inspiración máxima y espiración completa. A diferencia de la Capacidad Vital Forzada (CVF), esta maniobra debe ser relajada y se debe completar criterio de terminación con meseta de 1 segundo al final de la espiración.

2.11 REVISAR CRITERIOS DE ACEPTABILIDAD Y REPETIBILIDAD:

2.11.1. Criterios de aceptabilidad de las maniobras respiratorias:

- a) La TGV (FRC medida por pletismografía o FRCpleth) se mide en a nivel estable.
- b) Los dos extremos de la FRCplethson visibles en la gráfica.
- c) La frecuencia respiratoria de 30-90.
- d) La curva de la maniobra de TGV (FRCpleth) tiene histéresis mínima.
- e) La pendiente de la línea de medición es paralela a la curva de TGV.
- f) Maniobra de VC es relajada con criterio de terminación, meseta de 1 segundo al final de la espiración.
- g) Se tienen 3 maniobras aceptables de TGV (FRCpleth).

2.11.2. Repetibilidad de la prueba

- a. Varianza menor al 5% entre las maniobras aceptables de TGV (FRCpleth).
$$(TGV \text{ mayor} - TGV \text{ menor}) / TGV \text{ promedio}$$
- b. La VC debe ser repetible dentro de 150 ml.

2.11.3. Reporte de Pletismografía

- a. Se reporta el promedio de las 3 maniobras aceptables para FRCpleth, IC y ERV.
- a. Se reporta el mayor valor de VC.
- b. Se reportar el RV como la TLC menos el mayor valor de VC.

3. DIFUSIÓN DE MONOXIDO DE CARBONO (DLCO)

3.1 OBJETIVO:

Medir el intercambio pulmonar de gases.

3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO:

La difusión pulmonar de monóxido de carbono (DLCO, por sus siglas en inglés), es una de las pruebas de función respiratoria de mayor utilidad clínica. Realizarla lleva poco tiempo y requiere de una maniobra similar al de una espirometría, pero incluye un periodo de apnea de 10 segundos en inspiración máxima. Durante la medición de DLCO, se agregan un gas inerte, comúnmente Helio (He), Metano (CH₃) o Neón (Ne), que sirven para calcular la ventilación alveolar (VA) y medir los volúmenes pulmonares (TLC y RV) por medio de dilución de gases.

3.2.1 Técnicas de medición de DLCO:

3.2.1.2 Técnicas y características:

- a. Una sola respiración:** Más disponible, estandarizada y ampliamente estudiada en sujetos normales y pacientes.
- b. Intra-respiración:** Requiere analizadores de gases rápidos. Se han desarrollado nuevas aplicaciones acompañadas de técnicas de una sola respiración.
- c. Estado estable:** Requiere menos equipamiento, menos cálculos y menos cooperación del paciente.
- d. Re-respiración:** Puede realizarse con capacidad vital <1.30 L fácilmente adaptable en cuidados intensivos.

3.2.2 DETERMINANTES PULMONARES DE DLCO:

3.2.2.1 Determinantes estructurales:

- a. Volumen de gas pulmonar.
- b. Distancia a la fase de intercambio.
- c. Grosor de membrana alvéolo-capilar.
- d. Superficie total de intercambio.
- e. Efecto de cierre en la vía aérea.
- f. Volumen sanguíneo capilar.

3.2.2.2 Determinantes funcionales:

1. Niveles absolutos V/Q.

2. Uniformidad de la V/Q.
3. Composición del gas alveolar.
4. Características de difusión de la membrana.
5. Propiedades de unión a la hemoglobina.
6. Presión del gas en los capilares alveolares.

3.2.3 Consideraciones sobre equipos:

Los equipos de DLCO actualmente disponibles, son computarizados y altamente complejos, por lo que se requiere que se garantice un buen soporte técnico local por parte del fabricante para asegurar un funcionamiento óptimo.

El equipo cuenta con:

- a) Una fuente de gas de prueba, generalmente un cilindro de gas que contiene 3% de CO, oxígeno (se recomienda 21%) y un gas trazador que puede ser helio, metano o neón.
- b) Un sistema de medición de flujo y volumen, por ejemplo, neumotacógrafo; y
- c) Un analizador de gases que puede ser de una muestra o de análisis continuo.

Los equipos deben reunir los criterios de desempeño recomendados por la ATS/ERS.

3.2.4 Consideraciones sobre los gases de prueba:

El gas de prueba debe contener una concentración de CO al 0.3%. El gas trazador debe ser química y biológicamente inerte y se usa para medir la ventilación alveolar (VA) y para determinar la concentración alveolar inicial de CO. Además, el gas trazador no debe interferir en la medición de CO. Los gases trazadores que cumplen con estos requisitos y suelen usarse en la prueba son el helio, el neón y el metano. Asimismo, debido a que la presión alveolar de oxígeno (PAO₂) afecta la captación de CO, es conveniente que se controle la concentración de oxígeno en el gas de prueba; se recomiendan concentraciones (fracciones inspiradas de oxígeno o FiO₂) de 17 a 21%, más comúnmente, en la actualidad, los equipos requieren 21% de oxígeno. Además, es importante que el proveedor del gas de prueba garantice concentraciones exactas de cada componente de la mezcla gaseosa (certificación de trazabilidad de los gases).

3.3 INDICACIONES DE LA PRUEBA DE DLCO:

3.3.1. Enfermedades obstructivas:

- a. EPOC (disminuida proporcionalmente al grado de enfisema)
- b. Asma (suele ser normal o aumentada)
- c. Fibrosis quística (disminuyen en estado avanzado)

3.3.2. Enfermedades restrictivas:

- a. Enfermedades intersticiales (habitualmente disminuida)
- b. Enfermedades restrictivas extrapulmonares (suele ser normal)

3.3.3. Enfermedades vasculares pulmonares: (habitualmente disminuida)

- a. Tromboembolismo pulmonar crónico
- b. Hipertensión pulmonar primaria
- c. Vasculitis pulmonares

3.3.4. Evaluación preoperatoria:

- a. Resección por cáncer pulmonar
- b. Cirugía de reducción de volumen

3.3.5. Evaluación de impedimento y discapacidad:

- a. EPOC, enfermedades intersticiales, otras.

3.4 TECNICA DE DLCO DE UNA SOLA RESPIRACION:

3.4.1 PREPARACIÓN DEL EQUIPO:

- a. El equipo debe ser calibrado, al menos una vez al día para volumen con jeringa de 3 L, siguiendo las recomendaciones de la ATS/ERS para espirometría.
- b. Debe realizarse una revisión diaria para fugas en el sistema. Las condiciones ambientales deben ser ajustadas cada vez que sea necesario, según los cambios ambientales de presión barométrica (PB) y temperatura.
- c. La fracción inspirada de oxígeno (FiO₂) es importante porque el oxígeno compete con el CO por el sitio de unión de la Hb.
- d. Antes y después de cada prueba el analizador de gases debe ser calibrado a nivel cero de concentración de gases de prueba (CO y gas trazador) y al nivel del gas de prueba.

3.4.2. PREPARACIÓN DEL PACIENTE:

- a. Preparación previa de espirometría.
- b. Evitar ejercicio intenso el día de la prueba.
- c. Evitar posición supina previa a la prueba.
- d. Evitar tabaquismo el día de la prueba.
- e. Suspender oxígeno suplementario, al menos 10 minutos antes.
- f. Si se requiere, medir niveles de Hb y COHb el día de la prueba.
- g. Reposo durante 5 minutos antes de la prueba

3.4.3. INSTRUCCIÓN DEL PACIENTE:

- a. Posición sentada con la cabeza ligeramente levantada.
- b. Posición correcta para el uso de la boquilla y filtro.
- c. Énfasis en la maniobra inspiratoria que requiere respiraciones normales, espiración máxima no forzada, seguida de inspiración máxima, apnea de 10 segundos y exhalación máxima no forzada.

3.4.4 MANIOBRA INSPIRATORIA:

3.4.4.1 Maniobra de DLCO de una sola respiración

- a. Colocar al individuo en posición correcta (sentado).
- b. Colocación de boquilla con filtro (desechable) y pinza nasal.
- c. Permitir varias respiraciones normales.
- d. Evitar inspiraciones profundas previas a la inhalación de CO.
- e. Espiración máxima no forzada hasta llegar a Volumen Residual (> 6 segundos).
- f. Inspiración máxima rápida (<4 s) y máxima hasta Capacidad Pulmonar Total.
- g. Sostener la respiración en Capacidad Pulmonar Total por 10 segundos.
- h. Evitar maniobras de Valsalva y Müller durante la apnea.
- i. Exhalación suave no forzada hasta Volumen Residual (duración <4 s).

3.4.4.2 Aceptabilidad de la maniobra

- a. Volumen inspiratorio >85% de la máxima Capacidad Vital Forzada.
- b. Periodo de apnea estable por 10 ± 2 segundos.
- c. Sin evidencia de fugas o maniobras de Valsalva o Müller.
- d. Exhalación <4 s y tiempo de muestreo de gas alveolar <3 s
- e. Comprobación de volúmenes de lavado (VD) y de muestra (VS).

- i) VD de 0.75 – 1 L (VD <0.75 L si la Capacidad vital forzada es <2 L)
- ii) VS de 0.50 - 1 L (VS <500 mL si la Capacidad vital forzada es <1.00 L y VD adecuado).

3.4.4.3 Intervalo entre maniobras y número de maniobras

- a. Reposo de 4 minutos entre pruebas.
- b. Al menos 2 maniobras y no más de 5.

3.4.4.4 Repetibilidad

- a. Repetibilidad en dos maniobras <3 unidades de DLCO (mL/min/mmHg)
- b. Si no se alcanza repetibilidad, seguir hasta un máximo de 5 maniobras.
- c. Se reporta el promedio de DLCO de dos maniobras aceptables.

BORRADOR

4. PRUEBA DE EJERCICIO CARDIOPULMONAR

4.1 OBJETIVOS:

4.1.1 Las pruebas de ejercicio cardiopulmonar (PECP) permiten el análisis integrado de la respuesta al ejercicio y evalúan la reserva funcional de los sistemas implicados en la misma.

4.1.2 Determinan el grado de limitación de la tolerancia al ejercicio.

4.1.3 Las pruebas de ejercicio cardiopulmonar resultan especialmente adecuadas para la evaluación de aquellas situaciones en que la disnea no tiene un reflejo claro en las pruebas de función pulmonar efectuadas en condiciones de reposo.

4.2 INDICACIONES DE LAS PRUEBAS DE EJERCICIO CARDIOPULMONAR CON REFERENCIA A LA ENFERMEDAD PULMONAR:

4.2.1. Evaluación de la limitación a la tolerancia del ejercicio y potenciales factores limitantes.

4.2.2. Identificación de la limitación a la tolerancia del ejercicio, discriminando entre las diferentes causas.

4.2.3. Diferenciación entre disnea de origen cardíaco y pulmonar.

4.2.4. Evaluación de la disnea no explicable por el grado de alteración de las pruebas funcionales respiratorias.

4.2.5. Evaluación de las enfermedades pulmonares obstructivas.

4.2.6. Evaluación de las Enfermedades pulmonares intersticiales.

4.2.7. Evaluación de Hipoxemia notable durante el ejercicio.

4.2.8. Evaluación de la Enfermedad cardíaca oculta.

4.2.9. Evaluación del Patrón respiratorio ineficaz durante el ejercicio

4.2.10 Evaluación de la Oclusión vascular pulmonar crónica

4.2.11. Evaluación de la Fibrosis quística

4.2.12. Evaluación preoperatoria

- a). Cirugía abdominal mayor, especialmente en pacientes de avanzada edad
- b). Cirugía del cáncer del pulmón
- c). Cirugía con reducción de volumen en el enfisema pulmonar
- d). Diagnóstico de asma inducida por el ejercicio
- e). Programas de rehabilitación: evaluación del paciente y prescripción de ejercicio

4.2.13. Evaluación de la disfunción-discapacidad

4.2.14. Trasplante de pulmón, pulmón-corazón

4.3. PROTOCOLOS:

El objetivo de las PECP es provocar un incremento de los requerimientos energéticos mediante una carga de trabajo controlada para evaluar la reserva funcional de los órganos y sistemas involucrados en la respuesta al ejercicio. Las pruebas de esfuerzo simples, tales como la distancia recorrida durante un período de tiempo determinado (prueba de marcha de 6 o 12 min) 20 pueden proporcionar una percepción de la tolerancia del ejercicio, pero no son tan útiles como las pruebas de ejercicio de tipo incremental por la imposibilidad de control de la carga externa y la implicación de factores como el aprendizaje y la motivación que incrementan la variabilidad de estas pruebas.

Nos referiremos a dos tipos de protocolos de ejercicio: con incremento progresivo de carga y los que se efectúan a una carga constante.

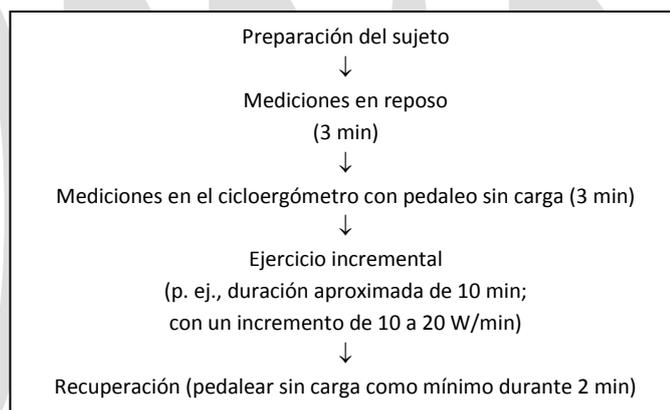
4.3.1 Protocolos incrementales:

Una PECP de estas características comprende:

1. Análisis durante un período de aproximadamente 18-20 min desde el inicio al final de la prueba:
 - a) una fase de reposo previo al ejercicio (aproximadamente 3 min);
 - b) ejercicio sin carga (aproximadamente 3 min);
 - c) incrementos progresivos de carga hasta el límite de tolerancia (aproximadamente 10 min),
 - y d) durante la fase de recuperación (mínimo 2 min manteniendo el ejercicio sin carga).
2. Se recomienda efectuar la prueba utilizando un cicloergómetro con control electromagnético empleando una frecuencia de pedaleo constante de aproximadamente 60 ciclos/min.
3. Se obtienen resultados equivalentes tanto si la carga se incrementa de forma continua (prueba de rampa) o bien en forma de escalones fijos cada minuto (prueba escalonada) hasta que el paciente presenta limitación de la tolerancia por síntomas, de forma que no puede mantener la intensidad de trabajo a una frecuencia de pedaleo regular superior a 40 ciclos/min.

4. La magnitud del incremento de la carga dependerá de las características del paciente, de forma que el período de incremento de cargas dure aproximadamente unos 10 min. Incrementos de 10 a 20 W/min suelen ser adecuados para sujetos sedentarios sanos, pero el estudio de pacientes puede requerir incrementos inferiores de carga.
5. En caso de utilizar un tapiz rodante como ergómetro se aconseja, por su simplicidad, el protocolo de Balke²⁴, consistente en el mantenimiento de una velocidad constante del tapiz (entre 3 y 5,3 km/h) y la programación de incrementos de pendiente (entre el 1 y el 2%/min) hasta alcanzar la limitación por síntomas.

Protocolos de ejercicio incremental
(usando un cicloergómetro con control electromagnético)



El diseño del protocolo y las mediciones a realizar dependerán básicamente de las características físicas del paciente y de los objetivos planteados al indicar la PECP. Asimismo, la duración del análisis durante el período de recuperación y el tipo de mediciones (con o sin boquilla) efectuadas dependerá de los objetivos de la PECP.

La PECP estándar deben contemplar:

1. Mediciones no invasivas efectuadas durante la respiración de aire ambiente (FIO₂ 0,21), que incluyen:
 - a) medición de O₂ y CO₂ en aire espirado (FEO₂ y FECO₂, respectivamente).
 - b) carga de trabajo (W).
 - c) ventilación por minuto (V·E) y sus componentes (frecuencia respiratoria [FR] y volumen corriente [VT]).

d) frecuencia cardíaca (FC) y

e) presión sanguínea sistémica.

2. El ECG y la pulsioximetría deben monitorizarse de forma continua durante el desarrollo de la PECP.

3. Determinar la percepción de síntomas durante y al finalizar la PECP (incluye la intensidad del ejercicio, la disnea, el malestar torácico y la fatiga muscular. La cuantificación de estos síntomas debe efectuarse utilizando procedimientos estandarizados (escala de Borg, escala analógica visual).

4. Muestreo de sangre mediante canulación arterial (preferentemente radial o humeral).

5. Monitorización continua de la presión arterial durante la prueba.

Protocolos a carga constante

Una primera utilidad de este tipo de protocolos con carga constante es:

1. Evaluar si el sujeto es capaz de sostener un determinado nivel de ejercicio submáximo durante un período relativamente prolongado de tiempo.

2. Evaluación de las necesidades de oxigenoterapia durante el ejercicio simulando los valores de $V \cdot O_2$ que puedan requerirse durante determinadas actividades diarias.

3. Valorar la cinética del intercambio de gases respiratorios, O_2 y CO_2 .

4. Prueba de reto provocación al ejercicio:

El protocolo consiste:

a) un rápido incremento de la carga de trabajo hasta conseguir un alto grado de ventilación durante al menos 4 min ($V \cdot E$ 15-20 veces el valor de referencia del FEV1) mientras el paciente respira aire que contenga menos de 10 mg/l de agua a 20-25 °C y la humedad relativa sea inferior al 50%.

b) En pacientes que presentan broncoprovocación por ejercicio, los valores de FEV1 generalmente disminuyen dentro de los primeros 10 min después de cesar el ejercicio, con una sustancial recuperación a los 30 min postejercicio.

c) Monitorización con espirometría forzada efectuada antes y a los 1, 3, 5, 7, 10, 15, 20 y 30 min después del ejercicio.

d) La respuesta es evaluada como el porcentaje de caída que se produce en el FEV1 postejercicio. Valores de un descenso del 10% en el FEV1 después del ejercicio

se consideran anormales y superior al 15% como diagnóstico de broncospasmo inducido por ejercicio.

Condiciones para evaluar la presencia y gravedad de la broncoconstricción inducida por ejercicio

1. **Seguridad:** Deben evaluarse los factores o las contraindicaciones en los pacientes con broncoconstricción inducida por ejercicio. La saturación de oxígeno (SaO₂) en reposo debe ser superior al 94% y debe monitorizarse de forma continua con pulsioximetría
2. **Mediciones:** La medición del FEV₁ es obligatoria, preejercicio y a los 1, 3, 5, 7, 10, 15, 20 y 30 min postejercicio. En atletas el FEF₂₅₋₇₅ debe incluirse en la evaluación de la broncoconstricción inducida por ejercicio
3. **FEV₁ en reposo:** > 75% del valor de referencia o el 80% del valor habitual (si es conocido) y reproducible (p. ej., < 10% de variación).
4. **Retirada de la medicación** A las 6 h los broncodilatadores de corta duración, cromoglicato sódico y nedocromil sódico; a las 24 h para los broncodilatadores de larga duración, teofilinas y antihistamínicos, y sin esteroides o cafeína el día del estudio
5. **Factores que deben ser controlados:** Broncoconstricción inducida por ejercicio superior a 3 h. Infección inferior a 6 semanas. La exposición al polen (la prueba debe ser efectuada fuera de la época de polinización, en los pacientes sensibles al polen)
6. **Tipo de ejercicio:** Carrera o pedaleo. La bicicleta es recomendable por ser más segura y fácil
7. **Intensidad de ejercicio:** V·O₂ suficiente para alcanzar un V·E (l/min) en ejercicio de $18,5 \pm 3,5$ veces el FEV₁ predicho durante al menos 4 min; $V \cdot E \text{ (l/min)} = 28 \square V \cdot O_2 \text{ (l/min)} + 0,27$; $V \cdot O_2 \text{ (ml/min)} = 10 \square \square W + 500$. Para el tapiz rodante el $VO_2 > 35 \text{ ml/kl/min}$ para alcanzar el V·E requerido.
8. **Duración del ejercicio:** Entre 6 y 8 min para alcanzar V·E necesaria y sostenida durante al menos 4 min.
9. **Aire inspiratorio:** Se recomienda aire comprimido de botella. El aire ambiente debe contener menos de 10 mgH₂O/l, una temperatura inferior a 25 oC y una humedad relativa inferior al 50%. El aire frío se usará sólo en caso de reproducir las condiciones ambientales.

10. **Índice de gravedad** Si los pacientes no toman corticoides orales o inhalados, se considerará ligero un descenso del FEV1 de 10-25%, moderado del 25-50% y grave superior al 50%.
11. **Recuperación:** Espontánea o con administración de un β 2-agonista. Debería preverse la administración de O2 suplementario en caso de ser necesario durante la realización de la prueba

PRUEBAS DE MARCHA:

Son usadas para evaluar la tolerancia al ejercicio en pacientes con enfermedades respiratorias crónicas graves.

Las pruebas de marcha durante un tiempo determinado no tienen una buena correlación con los índices de función pulmonar medidos en condiciones de reposo. Sin embargo, la prueba de marcha de 6 min tiene un uso generalizado en la clínica y presenta una cierta coincidencia con la calidad de vida relacionada con la salud.

La prueba tipo episodios *shuttle* podría tener algunas ventajas si se compara con las clásicas pruebas de marcha, dado que se incorpora el control de la velocidad a través de un ritmo fijado.

El paciente camina durante 10 m adecuadamente señalizados a una velocidad que es marcada por un sistema acústico, tipo metrónomo. La velocidad es incrementada en cada episodio, El parámetro de medida es el número de episodios que realiza el paciente hasta que se ve forzado a finalizar por:

- a) disnea;
- b) no haber completado el recorrido entre episodios, o
- c) hasta que se alcanza el 85% de la frecuencia cardíaca máxima $200 - (0,65 \times \text{edad})$.

PROTOSCOLOS PARA LA DETECCIÓN DE LA ISQUEMIA MIOCÁRDICA:

El protocolo de Bruce:

1. Se inicia el ejercicio caminando en el tapiz rodante durante 3 min a 2,7 km/h al 0,5 o el 10% en el grado de inclinación, dependiendo del estado físico y el entrenamiento previo del paciente.

2. El grado de inclinación del tapiz y la velocidad se incrementa un 2% cada 3 min y 1,8 km/h, respectivamente, hasta alcanzar un grado de inclinación del 18% y una velocidad de 8 km/h.
3. Después se incrementa 0,8 km/h cada 3 min.
4. Durante la realización de la prueba se monitoriza la presión arterial y el electrocardiograma, utilizando 12 derivaciones que son recogidas en cada escalón y durante el período de recuperación postejercicio.
5. Se da por finalizada la prueba cuando se detecta una caída de la presión arterial y/o alteraciones del ECG significativas (p. ej., 2 mm en la depresión ST o arritmias ventriculares).

EQUIPO Y MEDICIONES:

EQUIPO:

Existen 2 tipos de equipos utilizados para realizar Pruebas de Ejercicio Cardiopulmonar: Los cicloergómetros y la Banda sin Fin.

MEDICIONES:

1. Medición del intercambio de gases

El análisis de la respuesta del O₂ y CO₂ espirados durante el ejercicio constituye un aspecto central para el cálculo del consumo de oxígeno ($V \cdot O_2$) y de la producción de CO₂ ($V \cdot CO_2$) y, por ende, de la interpretación de la PECP. Por tanto, la metodología utilizada para la medición del intercambio de gases respiratorios es de importancia capital.

La técnica más simple de medición de la FEO₂ y FECO₂ es a través de la colección de muestras de gas espirado mezclado en una bolsa meteorológica. Conociendo la FIO₂ (0,21), la medición de la FEO₂ y FECO₂, así como del volumen ventilado en un determinado período de tiempo, permite el cálculo del $V \cdot O_2$ y el $V \cdot CO_2$ siguiendo las fórmulas estándares. Este método de muestreo del gas espirado y de cálculo de la $V \cdot E$ puede proporcionar una gran exactitud de cálculo de los valores del $V \cdot O_2$ y el $V \cdot CO_2$, pero resulta inadecuado para la realización de protocolos de ejercicio con incrementos rápidos de la carga debido a las rápidas variaciones temporales que experimentan las variables de interés.

En la actualidad, la colección de muestras de gas espirado en bolsas meteorológicas se utiliza únicamente como técnica de validación.

La medición de la $V \cdot E$ y el muestreo de gas espirado de una caja de mezclas de aproximadamente 6 l de volumen permite la monitorización continua del $V \cdot O_2$ y el $V \cdot CO_2$. Este método presenta ventajas sobre el descrito anteriormente y resulta adecuado para las mediciones efectuadas en estado estacionario e incluso en protocolos de tipo incremental en la clínica, si la caja de mezclas tiene un diseño correcto. Sin embargo, este método presenta claras limitaciones para el análisis detallado del perfil de la respuesta de los gases respiratorios durante protocolos incrementales y en la evaluación de la cinética del O_2 en protocolos efectuados a una carga submáxima constante.

El umbral láctico:

Se acepta que el valor de VO_2 en el que se produce un incremento de la concentración de ácido láctico [La] en sangre arterial determina los siguientes aspectos:

1. Delimita la transición entre ejercicio moderado y ejercicio intenso.
2. Indica el punto en que se desencadenan una serie de respuestas fisiológicas que implican un incremento sustancial de la VE, del intercambio pulmonar de gases y del equilibrio ácido-base.
3. Tiene importantes implicaciones en lo que respecta a la capacidad de sostener el nivel de ejercicio tanto en sujetos sanos como en enfermos.

El umbral láctico es bastante específico del tipo de ejercicio realizado y está reflejando la magnitud de la masa muscular sobre la que el trabajo se efectúa. Para un mismo sujeto, es apreciablemente menor para el ejercicio de los brazos que el de las piernas y, generalmente, menor con cicloergometría que con el ejercicio efectuado con tapiz rodante. Se puede realizar estimaciones directas e indirectas del umbral láctico.

Características esenciales de un equipo para pruebas de ejercicios cardiopulmonar:

I) Las señales biológicas que se captan de forma analógica son: *a)* medidor de flujo o volumen; *b)* analizadores de gases; *c)* ECG; *d)* carga del ergómetro, y *e)* pulsioximetría.

También se incorpora al análisis final, la medición de gases arteriales.

II) Puntuación de la información subjetiva : La percepción que tiene el paciente durante y al finalizar la PECP debe ser registrada usando procedimientos cuantificativos estandarizados.

Esta evaluación debe incluir la percepción de ahogo, disnea, dolor en el pecho y esfuerzo muscular. El grado de ahogo debe ser registrado usando una escala analógica visual. La escala debe ser capaz de poder usarse durante la realización del ejercicio (Escala de Borg).

III) Programa de control de calidad:

Programa de mantenimiento preventivo y una sistemática de control de calidad, para asegurar mediciones exactas y reproducibles dentro de los rangos establecidos, documentados en un libro de registro.

Calibración básica previa a procedimiento:

- a) Determinación condiciones ambientales: Presión barométrica, temperatura y humedad relativa.
- b) La calibración del medidor de flujo o volumen se efectuará con una jeringa de precisión de 3 l.
- c) Calibración de los analizadores de O₂ y CO₂: Se requiere la calibración diaria con un mínimo de 2 puntos (0 y 8% para CO₂; 13 y 21% para O₂) para cada analizador.
- d) Calibración de cicloergómetros y para el tapiz rodante debe de ser cada 6 meses.
- e) El sujeto control (un miembro del equipo sano) realizara una prueba de esfuerzo a carga constante con una periodicidad semanal.
- f) Los valores de consumo de oxígeno VO₂, VCO₂ y V_e obtenidos en estado estacionario debe tener una reproducibilidad próxima al 7% en relación a los valores previos. La presencia de desviaciones significativa implica la necesidad de reevaluar todo el sistema.

REALIZACIÓN DE LA PRUEBA:

Cualificación del personal:

1. Personal entrenado, con conocimientos básicos sobre fisiología del ejercicio y en técnicas de resucitación cardiopulmonar.
2. Las PECP deben ser supervisadas por un médico también entrenado al respecto, y estar presente durante la prueba o, al menos, en el área donde se efectúa la PECP y fácilmente accesible si es requerido.

Preparación del paciente previo a la prueba:

1. Mantener su medicación habitual,
2. Debe evitar comidas al menos 2 h antes de la prueba, y tiene que vestir de forma adecuada (ropa y zapatos cómodos) durante la realización de la prueba.
3. Deben ser efectuados
4. Realizar cuestionario sobre medicaciones y examen físico para descartar contraindicaciones o la programación de pacientes que presentan incapacidad de realización de la PECP por problemas mecánicos.
5. Se debe de contar con todas las pruebas de función pulmonar realizadas al paciente previo a la realización de la prueba.
6. Explicar al paciente sobre las características de la prueba y del equipo utilizado para su tranquilidad y máxima colaboración durante la misma.
7. Se le informará al paciente sobre los objetivos y riesgos inherentes en la prueba y firmará la hoja de consentimiento informado
8. También recibirá instrucciones sobre cómo comunicarse con el personal durante la realización de la prueba y sobre los motivos de interrupción de la misma.
9. Se instruirá al paciente sobre la forma de efectuar la ergometría y se efectuará una pequeña práctica antes del inicio de la prueba hasta que se sienta confortable con el ergómetro.
10. La altura del sillón del cicloergómetro se ajustará a las características antropométricas del paciente.
11. Se estimulará al paciente a efectuar las preguntas que considere pertinentes al inicio o durante la prueba con el objetivo de reducir su ansiedad.
12. Se insertará un catéter en una arteria distal, preferentemente en la arteria radial del lado no dominante para muestreo de sangre arterial para análisis gasométrico, después de realizar la prueba de Allen.
13. Antes de la prueba, los electrodos de ECG deben ser colocados de forma cuidadosa.
14. El esfigmomanómetro debe colocarse en uno de los brazos del paciente.
15. La boquilla y las pinzas nasales deben ser ajustadas de forma que el paciente se sienta confortable y no se detecten fugas, ni se favorezca la acumulación de saliva en la boca durante la prueba.
16. Las instrucciones para comunicarse con el personal durante la prueba (evaluación del malestar) o para interrumpir la prueba en caso de mareo o dolor opresivo retrosternal deben ser recordadas.

17. Durante la prueba el paciente será estimulado a efectuar un esfuerzo regular a la cadencia establecida y a prolongar la prueba hasta la limitación por síntomas.
18. Durante la recuperación el paciente mantendrá el pedaleo sin carga (o “caminará” con mayor lentitud en el tapiz rodante) durante al menos 2 min con el objetivo de evitar una hipotensión postejercicio.
19. Después de retirar la boquilla, se preguntará al paciente por los síntomas (tipo e intensidad) que determinaron la interrupción del ejercicio.
20. Si la prueba no aporta información adecuada para obtener conclusiones debido a problemas técnicos o de colaboración del paciente, se puede proceder a una segunda prueba después de unos 30-45 min de reposo.
21. Después de retirar el catéter arterial, deberá efectuarse una presión adecuada en la zona para evitar la hemorragia y la formación de hematoma. Dicha compresión puede ser necesaria durante 10-15 min. Posteriormente, se colocará un vendaje compresivo en la zona, que no se retirará durante las 6 h siguientes a la PECP.

Contraindicaciones de la PECP:

Absolutas:

1. Infarto agudo de miocardio (3-5 días)
2. Angina inestable.
3. Arritmias incontroladas que produzcan síntomas o compromiso hemodinámico
4. Endocarditis activa
5. Miocarditis o pericarditis aguda
6. Estenosis aórtica grave sintomática
7. Fallo cardíaco incontrolado
8. Embolismo pulmonar agudo o infarto pulmonar
9. Trastorno agudo de tipo no cardíaco que pueda afectar la realización de ejercicio o que se vea agravado por el ejercicio (p. ej., infección, fallo renal, tirotoxicosis)
10. Trombosis de las extremidades inferiores.

Relativas:

1. Estenosis de la arteria coronaria izquierda o su equivalente
2. Estenosis valvular cardíaca moderada
3. Alteraciones electrolíticas
4. Hipertensión arterial no tratada (sistólica > 200 mmHg, diastólica > 120 mmHg).
5. Hipertensión pulmonar

6. Taquiarritmias o bradiarritmias
7. Cardiomiopatía hipertrófica
8. Impedimento mental que inhabilite la cooperación
9. Bloqueo atrioventricular grave

BORRADOR

HOSPITAL DE NEUMOLOGÍA Y MEDICINA FAMILIAR

“DR. JOSÉ ANTONIO SALDANA”

LABORATORIO DE FISIOLOGÍA PULMONAR

FECHA: _____.

NOMBRE DEL PACIENTE: _____.

EDAD: _____. SEXO: _____ EXPEDIENTE: _____.

SERVICIO: _____.

DIAGNÓSTICO: _____.

MEDICO REFERENTE: _____.

MOTIVO DEL ESTUDIO: _____.

() GASOMETRÍA ARTERIAL:

Aire ambiente.

Con O₂: FiO₂: _____ %

() ESPIROMETRÍA.

Simple. Salbutamol.

Forzada. Tropium.

() PLETISMOGRAFÍA.

() DIFUSIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO.

() PRUEBAS DE EJERCICIO:

Protocolos incrementales.

Protocolos a carga constante.

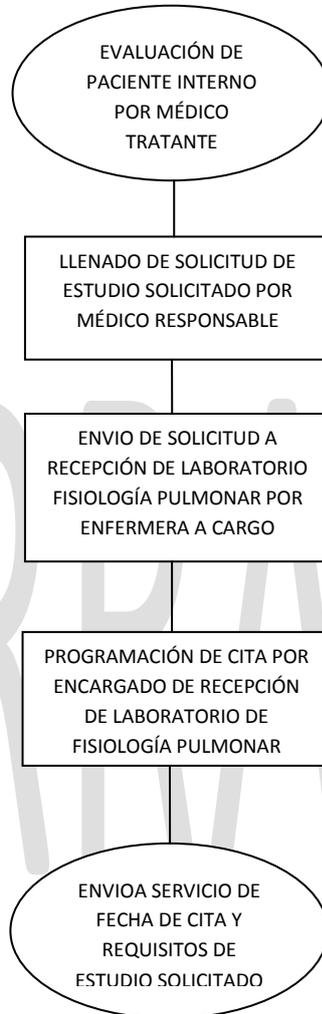
El protocolo de Bruce.

Broncoprovocación al ejercicio.

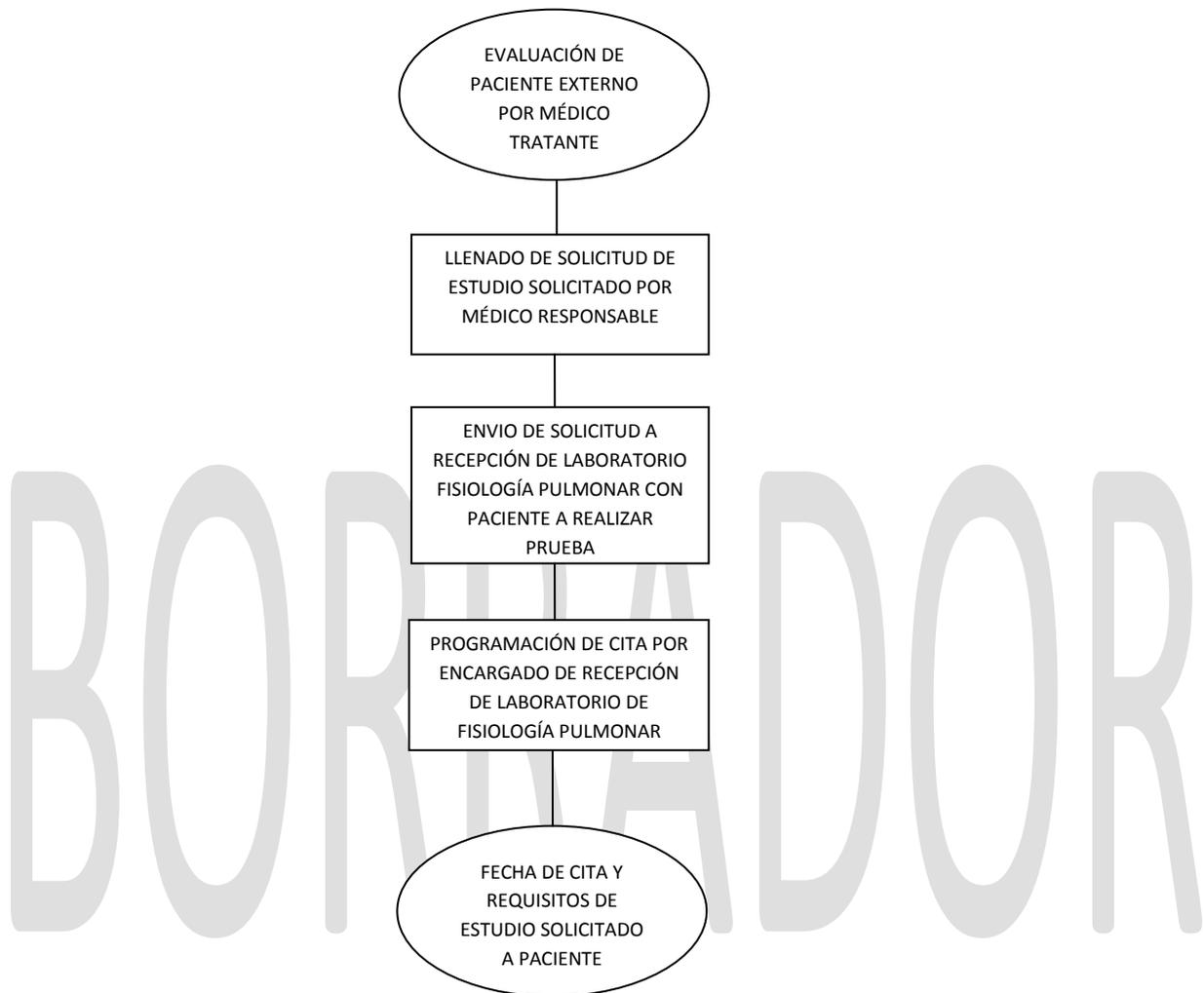
Titulación de O₂ a la marcha.

PROCESOS DE ATENCIÓN. FISIOLÓGÍA PULMONAR.

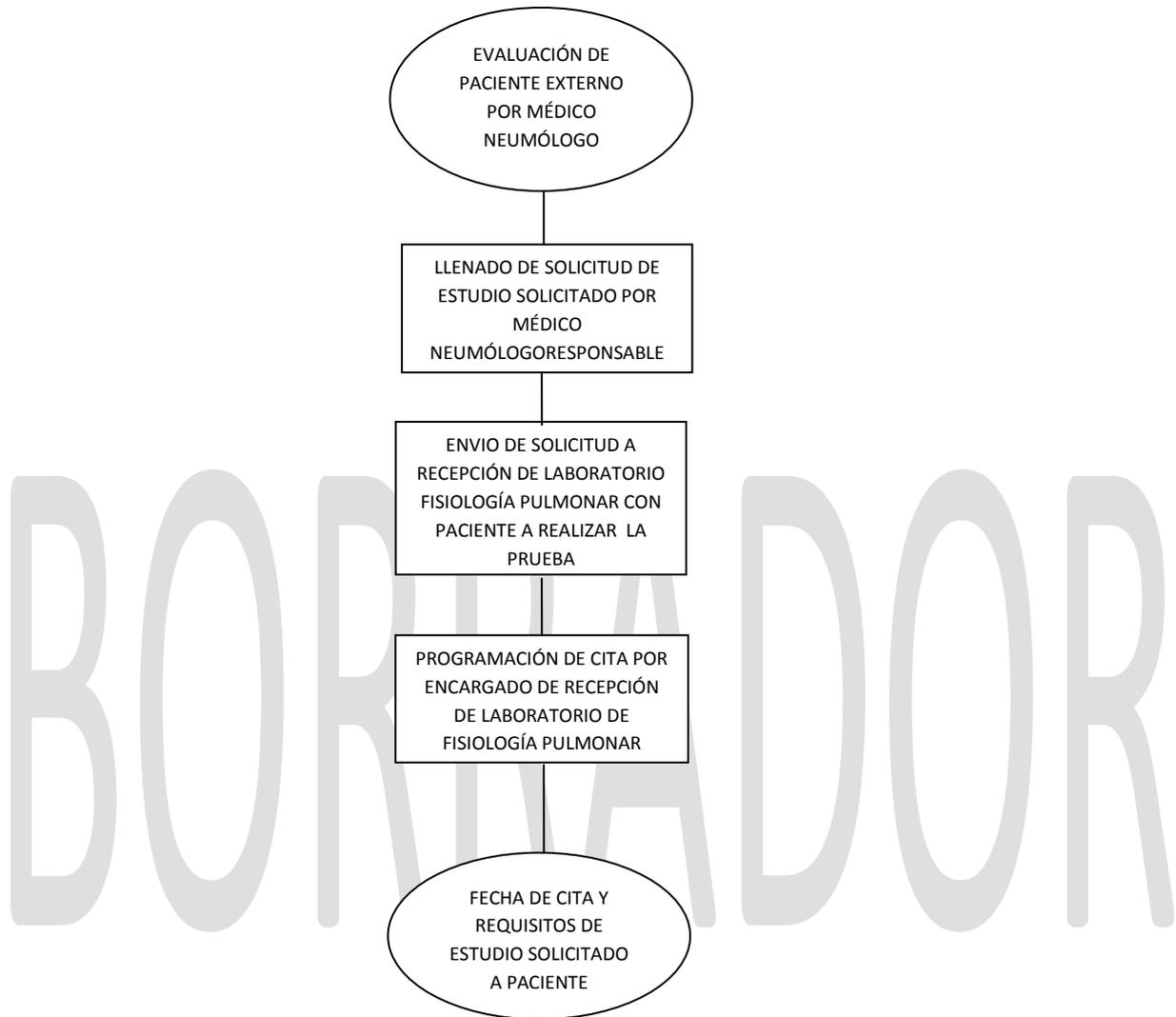
PROCESO DE PROGRAMACIÓN DE CITA A PACIENTE INTERNO. FISIOLÓGÍA PULMONAR



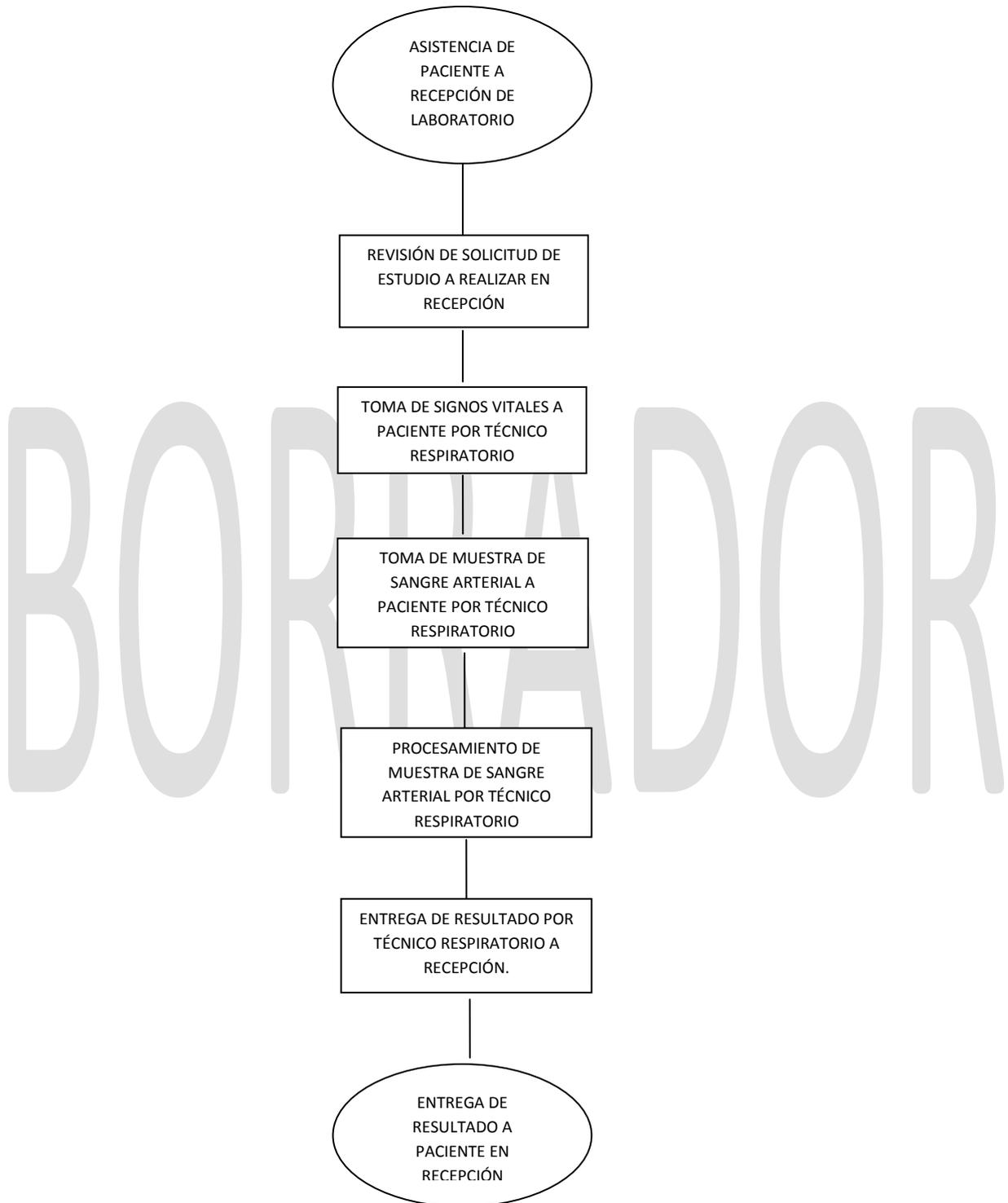
PROCESO DE PROGRAMACIÓN DE CITA A PACIENTE EXTERNO. FISIOLÓGÍA PULMONAR. PARA
ESPIROMETRÍA Y GASOMETRÍA.



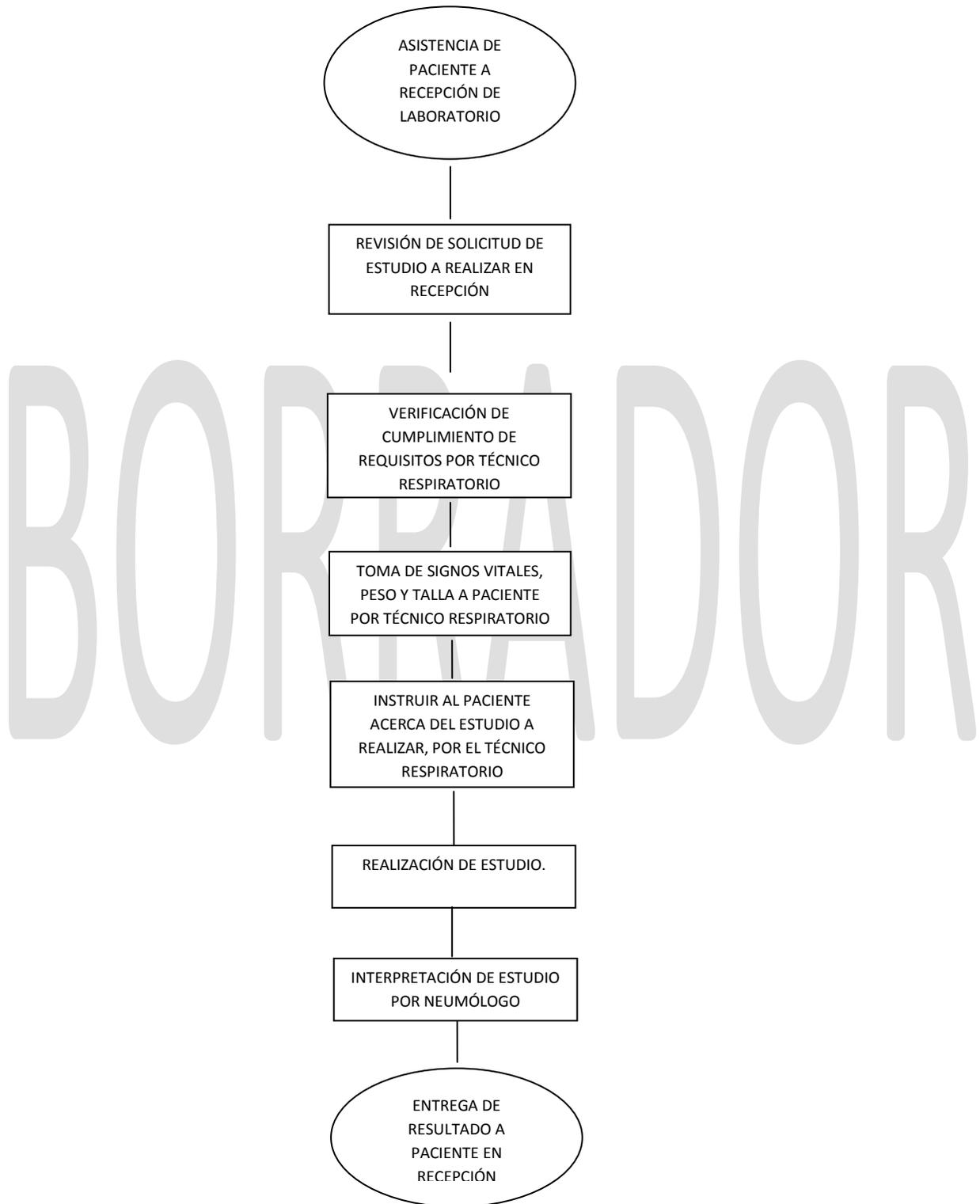
PROCESO DE PROGRAMACIÓN DE CITA A PACIENTE EXTERNO. FISIOLÓGÍA PULMONAR. PARA PLETISMOGRAFÍA, DIFUSIÓN DE MONOXIDO DE CARBONO Y PRUEBAS DE EJERCICIO CARDIOPULMONAR.



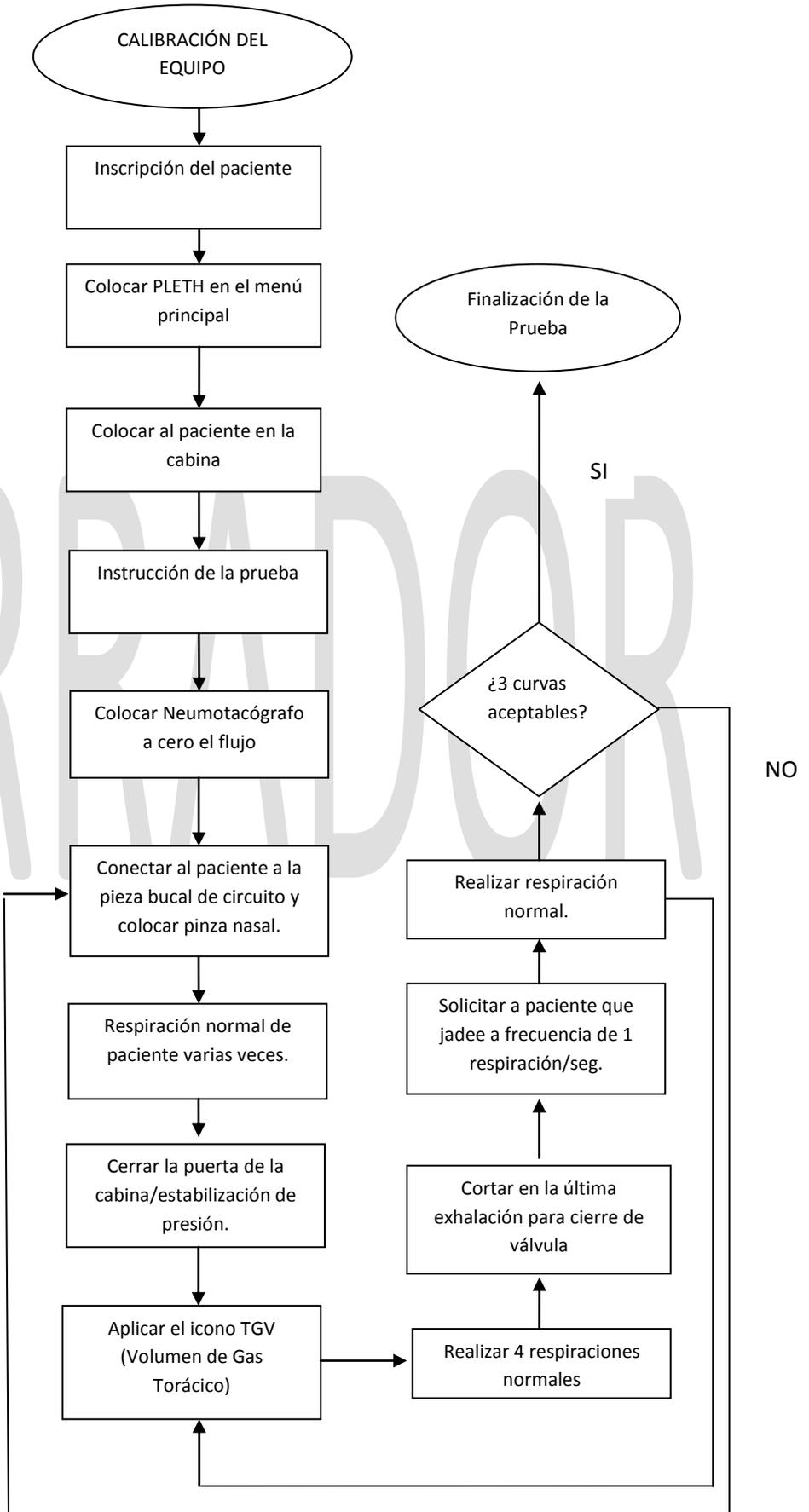
PROCESO DE ATENCION A PACIENTE EXTERNO. FISIOLÓGIA PULMONAR. GASOMETRIA



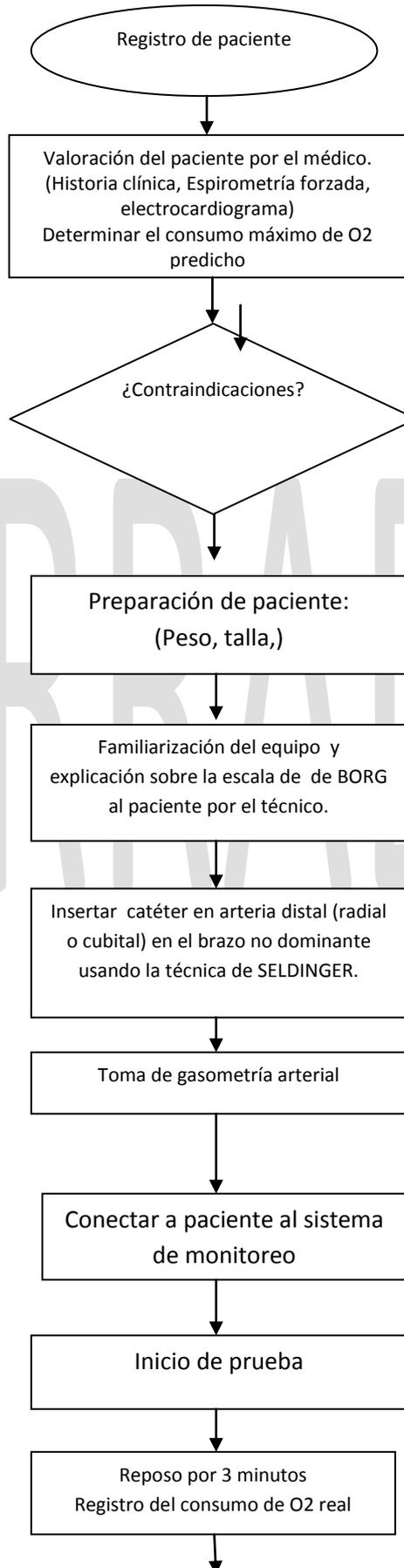
PROCESO DE ATENCION A PACIENTE EXTERNO. FISIOLÓGIA PULMONAR. ESPIROMETRÍA,
PLETISMOGRAFÍA Y DIFUSIÓN DE MONOXIDO DE CARBONO Y PRUEBA DE EJERCICIO
CARDIOPULMONAR,

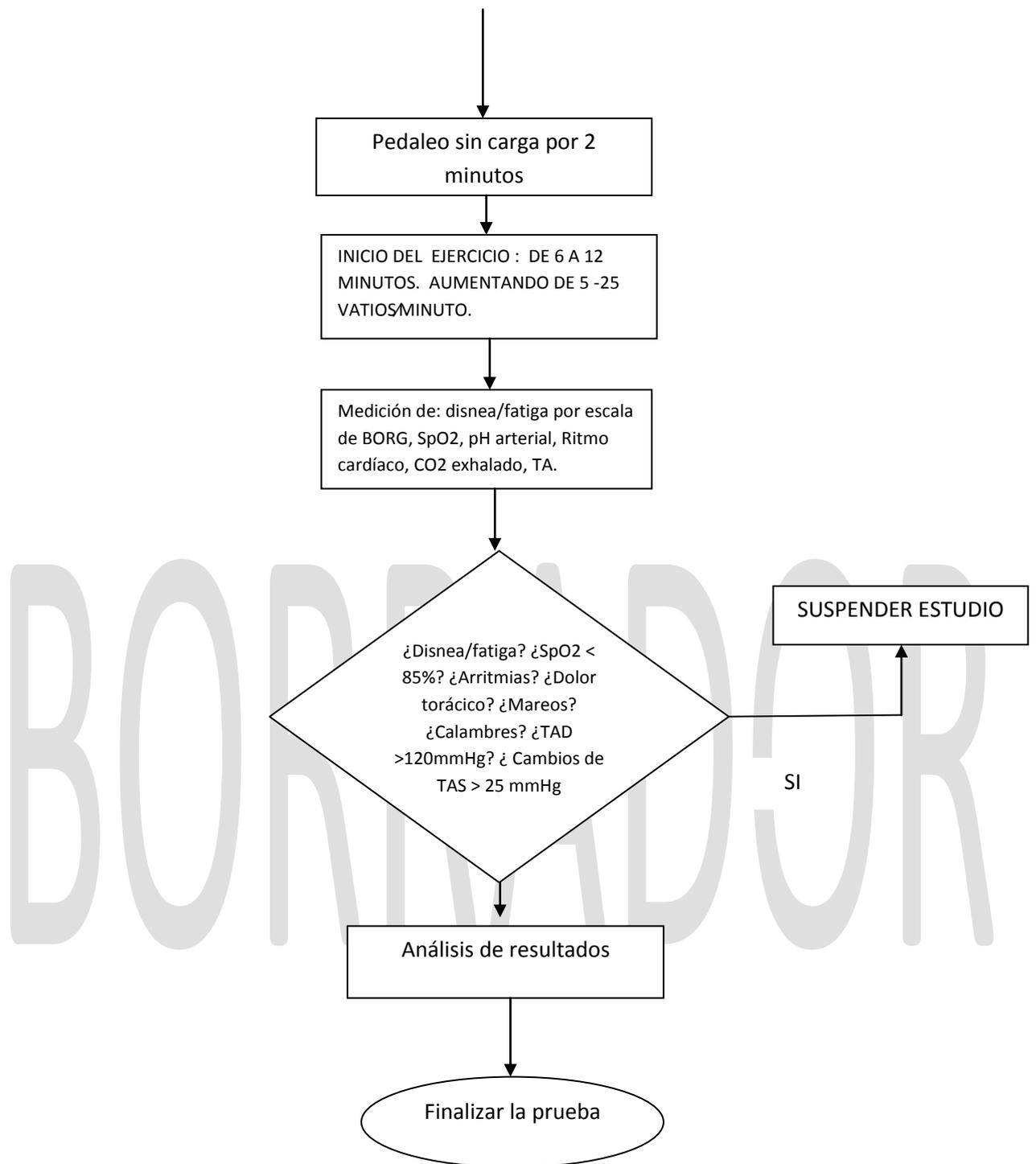


MEDICIÓN DE VOLUMENES PULMONARES POR PLETISMOGRAFIA

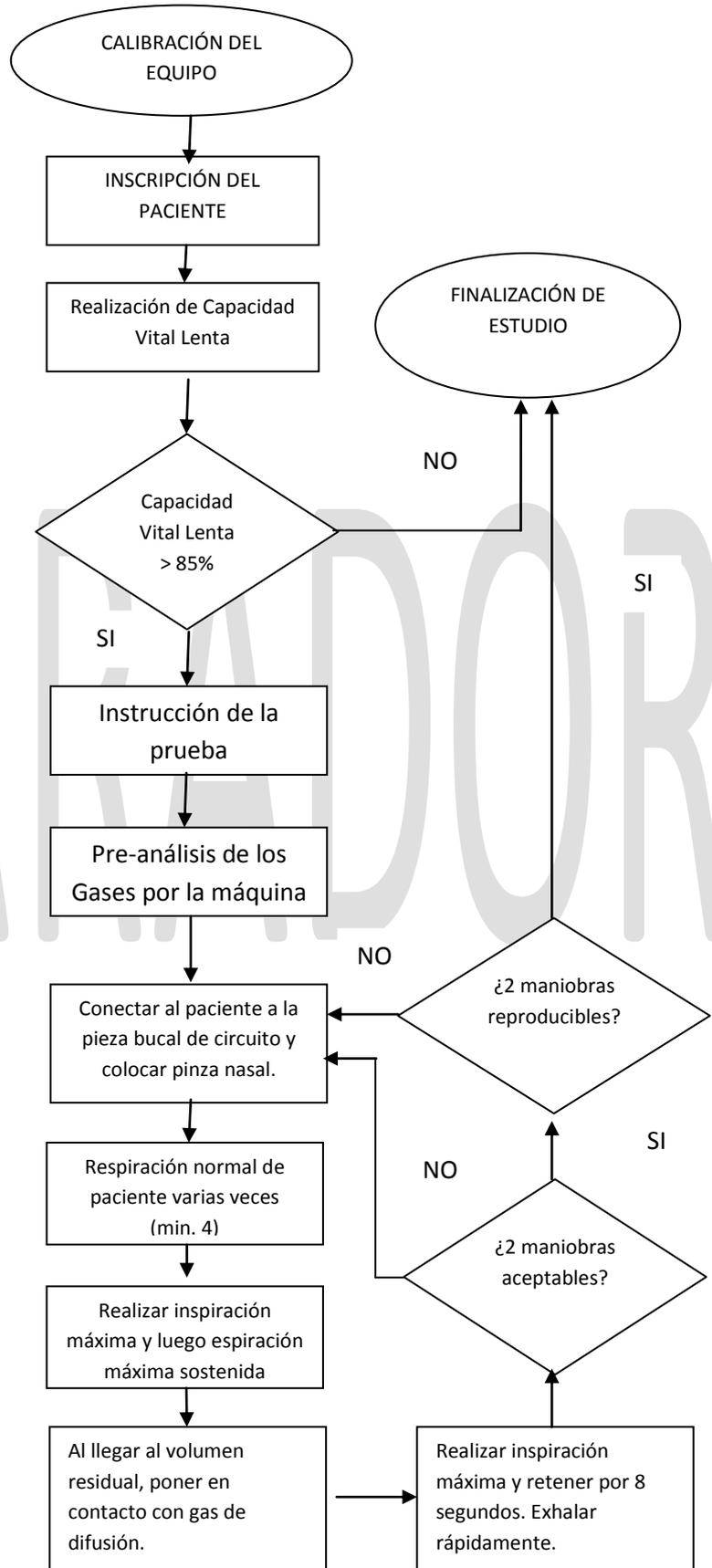


PRUEBA DE EJERCICIO CARDIOPULMONAR

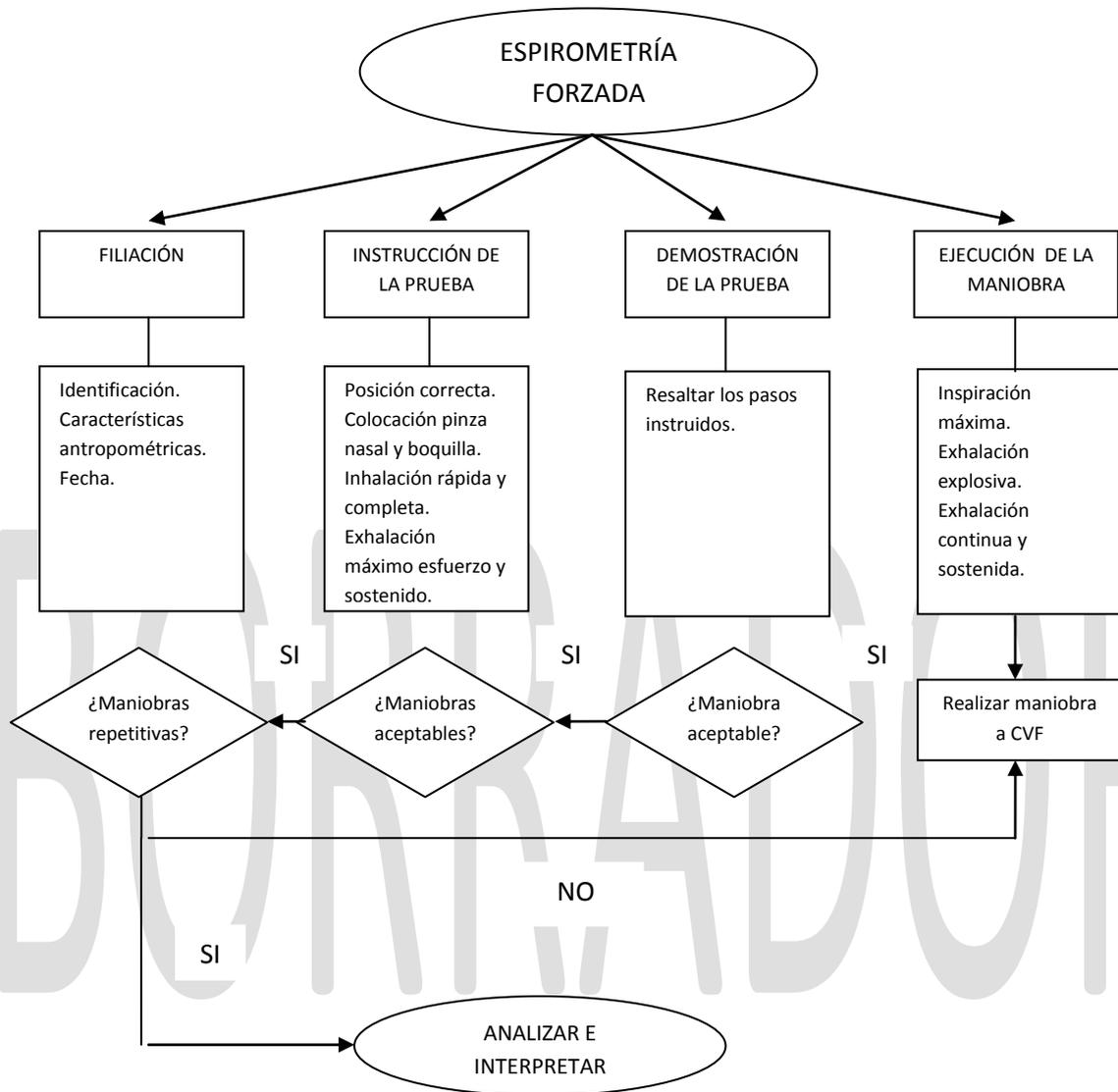




CAPACIDAD DE DIFUSIÓN DEL MONOXIDO DE CARBONO



PROCESO TÉCNICO DE ESPIROMETRÍA FORZADA





RAUL ROBERTO CASTILLO DURAN
DIRECTOR HOSPITAL SALDAÑA
CONTRATANTE

BORRADOR