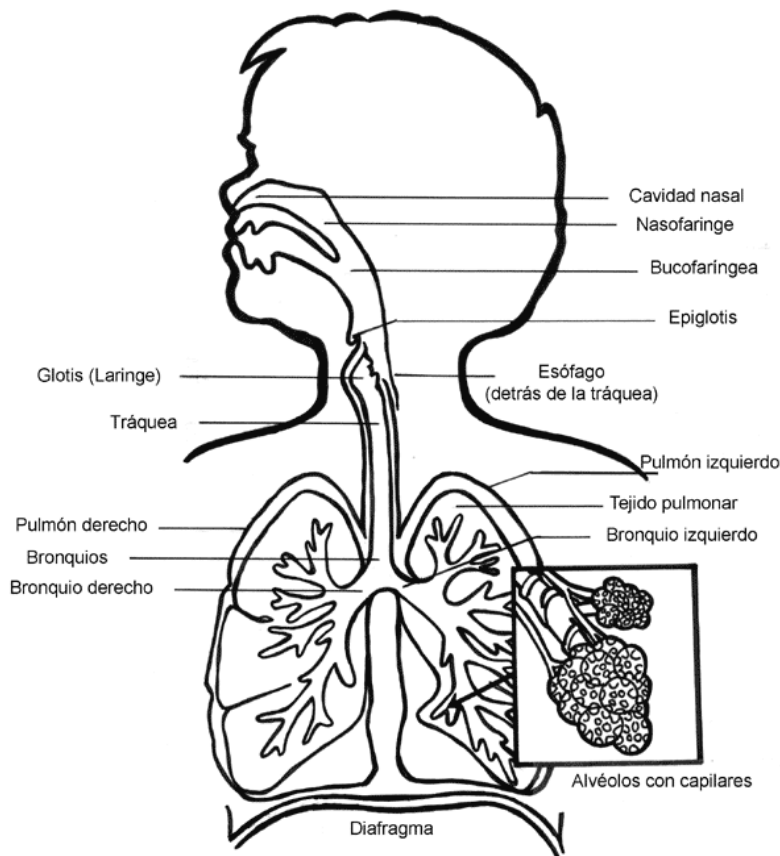

CAPÍTULO 2:**CONCEPTOS MÉDICOS Y FISIOLÓGICOS**

En este capítulo se presentan los conceptos médicos básicos para comprender el funcionamiento del sistema respiratorio, así como los requerimientos y métodos para la medición de su eficiencia, haciendo uso principalmente de la espirometría. El conocimiento de los conceptos del sistema respiratorio aquí explicados, son indispensables para vislumbrar y comprender qué es lo que se desea y requiere en la realización de este proyecto.

2.1 El Sistema Respiratorio

El control de la respiración ocurre en diferentes partes del cuerpo como en la estructura pulmonar y en la cerebral [Johnson, 1991], por lo que además de ser un proceso orgánico vital, se caracteriza por un funcionamiento complejo. La regulación respiratoria es un criterio esencial para medir la fortaleza física, pues ocurre para el intercambio adecuado de gases (transporte de oxígeno del exterior hasta la sangre y del dióxido de carbono en sentido opuesto), control del ritmo respiratorio, protección y liberación de sustancias tóxicas, colaboración junto con el riñón en la regulación del PH, disminución de costos de energía, termorregulación y contribución en la homeostasis (mantenimiento interno aceptable), entre otras.

El control respiratorio en la estructura pulmonar inicia cuando el aire entra al sistema a través de la nariz o la boca. El aire que entra por la nariz es filtrado, calentado a la temperatura corporal y humedecido a su paso por la nariz y cornetes nasales para protección de los alvéolos. El aire inspirado entra en las vías aéreas a través de la nasofaringe y, el respirado por la boca a través de la orofaringe. Luego pasa por la glotis, la laringe y entra al árbol traqueo- bronquial. A partir de la tráquea, el aire puede ser conducido a través de 10 o hasta 23 generaciones o ramificaciones en su tránsito hacia los alvéolos. En los alvéolos se pone en contacto directo con la sangre venosa de los capilares pulmonares. [Levitzky, 1993].



©HBWebster1999

Figura 2.1: Elementos del Sistema Respiratorio Humano [3]

2.2 Volúmenes y Capacidades Pulmonares

El volumen de gas en los pulmones, depende en cualquier momento de la mecánica de éstos, al igual que de la pared torácica y de la actividad de los músculos de la inspiración y espiración. El volumen pulmonar puede alterarse por procesos patológicos y fisiológicos. En general los volúmenes pulmonares se expresan a la temperatura del cuerpo y presión ambiental, y saturación del vapor de agua (TCPS).

Existen cuatro volúmenes pulmonares estándar y cuatro capacidades pulmonares estándar que constan de dos o más volúmenes en combinación:

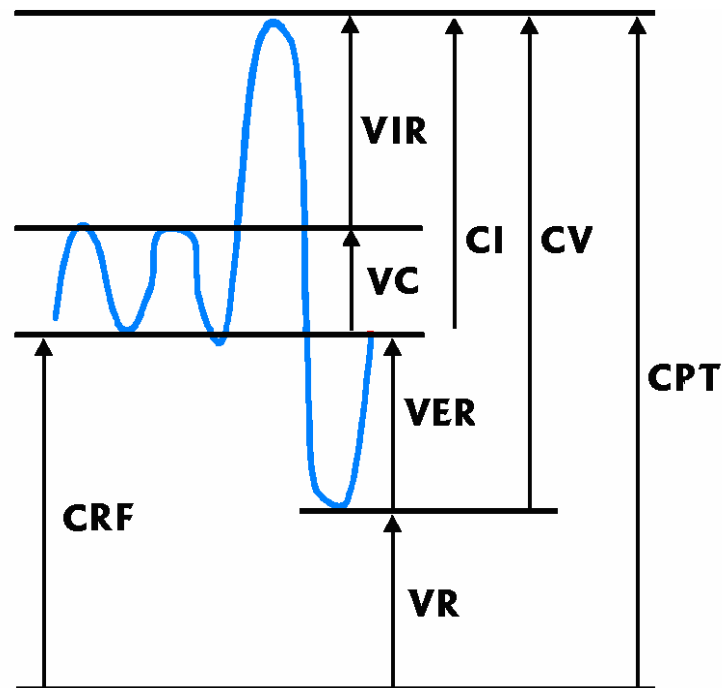


Figura 2.2: Espiograma del ciclo respiratorio con capacidades y volúmenes estándar [13]

VC (Volumen Corriente o Volumen Tidal.)

Se denomina volumen corriente al volumen de aire movilizado en cada respiración normal y tranquila (eupnea). Es de aproximadamente 500 ml. Equivale al 3% del peso corporal ideal.

VIR (Volumen Inspiratorio de Reserva o Volumen de Reserva Inspiratoria)

El volumen de reserva inspiratoria es el máximo volumen de aire que puede ser inspirado a partir del volumen corriente, es decir, el volumen que puede inhalarse al final de una inspiración normal; es aproximadamente de 3.1 lts. Equivale aproximadamente al 50% de la capacidad pulmonar total (CPT).

VER (Volumen Espiratorio de Reserva o Volumen de Reserva Espiratoria)

Es el máximo volumen de aire que puede ser espirado durante una espiración forzada máxima, es decir, es el volumen evaluado a partir de finalizar la espiración tranquila. Equivale a cerca del 20% de la capacidad pulmonar total con un volumen de 1.2 lts.

VR (Volumen Residual)

El volumen residual es el volumen de aire que permanece en el pulmón después de una espiración máxima. El aumento de este valor indica atrapamiento aéreo y su ausencia provocaría que los pulmones se colapsaran. En condiciones normales es de 1.2 lts y equivale al 20% de la capacidad pulmonar total aproximadamente.

CPT (Capacidad Pulmonar Total)

Es la máxima cantidad de aire que albergan los pulmones después de una inspiración forzada, que es de aproximadamente 6 litros. Es la suma del volumen corriente (VC), el volumen inspiratorio de reserva (VIR), el volumen espiratorio de reserva (VER) y el volumen residual (VR).

$$CPT = VC + VIR + VER + VR$$

CV (Capacidad Vital)

Se denomina capacidad vital al volumen de aire capaz de ser movilizado por los pulmones. Es la suma del volumen corriente (VC), el volumen de reserva inspiratoria (VIR) y el volumen espiratorio de reserva (VER). Es de aproximadamente 4.8 litros y equivale a cerca del 80% de la capacidad pulmonar total.

$$CV = VC + VIR + VER$$

CI (Capacidad Inspiratoria)

La capacidad inspiratoria es la suma del Volumen Corriente o Tidal y el Volumen de Reserva Inspiratoria. En términos de la espiración corresponde al máximo volumen que puede inhalarse después de una espiración normal. Su valor es de aproximadamente 3.6 litros y equivale a cerca del 60% de la capacidad pulmonar total.

$$CI = VC + VIR$$

CRF (Capacidad Residual Funcional)

La capacidad residual funcional es la cantidad de aire que permanece en los pulmones después de una espiración normal. Corresponde a la sumatoria del volumen espiratorio de reserva y el volumen residual. Esta cantidad varía según la postura, la grasa corporal o la

actividad física y esta mezcla de gases se renueva constantemente por el volumen ventilatorio.

$$CRF = VER + VR$$

2.3 Evaluación del Funcionamiento Ventilatorio

Para evaluar la eficiencia y la posible detección de disfunciones respiratorias se necesita de exámenes clínicos que permiten evaluar prácticamente el estado del paciente. La prueba de Funcionamiento Pulmonar (PTF de las siglas en inglés de *Pulmonar Test Function*) [Lausted y Johnson, 2000] o Prueba Funcional Ventilatoria (PFV) es una práctica que permite:

- 1) Valorar la aptitud física y cuantificar la capacidad pulmonar o en su defecto las deficiencias respiratorias del paciente.
- 2) Diagnosticar diferentes tipos de enfermedades respiratorias.
- 3) Evaluar la respuesta del paciente a las terapias por trastornos ya determinados.
- 4) Diagnóstico preoperatorio para determinar cuando la presencia de una enfermedad respiratoria incrementa el riesgo de cirugía.

Las técnicas PTF comúnmente usadas son la espirometría, pletismografía y la capacidad de difusión.

Aunque estas pruebas pueden proveer de información importante sobre la condición física de un paciente, este tipo de test posee importantes limitaciones como son:

- 1) No se puede determinar que porción de los pulmones están dañados o enfermos, solo se determina la presencia de la enfermedad.
- 2) Existe una total dependencia de la cooperación del paciente lo que excluye a pacientes con enfermedades críticas, niños y en ocasiones chequeos de rutina.

Para una correcta evaluación se recurre a procedimientos complementarios como son: el examen físico, evaluación del historial médico y pruebas de rayos X entre otros.

2.4 Espirometría

La espirometría consiste en el análisis de la magnitud de los volúmenes pulmonares y la rapidez de movilización de los mismos bajo circunstancias controladas. La prueba espirométrica o espirográfica consiste en realizar una inspiración máxima seguida de una espiración forzada en una boquilla especial, constituyendo una prueba relativamente simple y reproducible gráficamente. El espirómetro permite obtener el trazado o registro volumen-tiempo y el de flujo volumen de la respiración [Toledo, 2001].

El espirómetro ofrece una muy baja resistencia para respirar y, con la colaboración aceptable del paciente, la forma de la curva espirométrica es puramente función de la capacidad pulmonar del mismo, el estado de su pecho y de la resistencia del aire. A volúmenes pulmonares altos, un aumento en la presión intrapleurales resulta en grandes espiraciones de flujo. Sin embargo a volúmenes pulmonares intermedios y bajos, el flujo

espiratorio es independiente del esfuerzo a partir de una presión intrapleural alcanzada [Johnson, 2000].

Es importante hacer notar que un espirómetro no puede proveer de mediciones referentes a volumen residual (RV), Capacidad Residual Funcional (FRC) o la capacidad pulmonar total sólo por mediciones del volumen espirado. La capacidad funcional residual depende del tamaño corporal incrementando aproximadamente 32-51 ml/cm de altura [Levitzky, 1993], sexo, postura de la prueba, determinando así si un factor patológico está afectando el funcionamiento del pulmón considerado normal. Para control de la capacidad residual funcional se recurre a mediciones del nitrógeno espirado, prueba helio inspirado o prueba pletismográfica.

El uso básico de la espirometría es para la detección de enfermedades restrictivas y obstructivas, resultado de un incremento de la resistencia al flujo en las vías respiratorias que puede deberse a:

- Deterioro de la estructura alveolar que resulta en un cierre prematuro de las vías aéreas.
- Disminución en el diámetro de las vías causado por un broncoespasmo o presencia de secreciones que incrementa la resistencia al flujo.
- Bloqueo parcial de las vía traqueo-faríngea que en casos extremos puede deberse a un tumor que disminuya el diámetro de la vía ocasionando un flujo turbulento.

Los resultados de las pruebas espirométricas se utilizan para tomar decisiones en pacientes y pueden tener un efecto importante sobre el estilo y normas de vida así como en el futuro tratamiento de una persona [Toledo, 2001].

2.4.1 Parámetros Espirométricos

Las principales mediciones que resultan de utilidad en la espirometría son:

FVC: Capacidad Vital Forzada

Consiste en inhalar profundamente hasta llenar completamente los pulmones y exhalar con la mayor fuerza y rapidez posible, de manera que el paciente quede sólo con el volumen de reserva en los pulmones. Es expresado mediante las curvas espirométricas.

FEV1: Volumen Espiratorio Forzado en el primer segundo

Es el volumen de aire exhalado en el primer segundo con una espiración forzada después de una inspiración profunda. Figura como un índice altamente representativo de la capacidad ventilatoria y es el indicativo habitual de obstrucción de flujo aéreo. Es un valor dependiente de la edad, talla, sexo y raza.

FEF 25- 75%: Flujo Espiratorio Forzado

Representa la velocidad máxima de flujo espirado y mide el promedio de flujo entre el 25% y el 75% de la Capacidad Vital Forzada. Es independiente del esfuerzo espiratorio y diagnostica alteraciones obstructivas.

FEP o PEF: Flujo Espiratorio Pico o Flujo Espiratorio Máximo (FEM)

Informa de la calidad técnica y del esfuerzo realizado por el paciente durante la prueba. Los resultados pueden afectarse en caso de enfermedades neuromusculares y lesiones obstructivas de tráquea, laringe, bronquios u obstrucción severa de las vías aéreas intratorácicas.

VEF1%: Índice de Tiffenau (VEF1/CVF)

Un concepto importante encontrado frecuentemente en la literatura médica en temas respiratorios y considerado muy útil en la práctica clínica, es el Índice de Tiffenau, que establece una relación del volumen de aire espirado en función del tiempo y, refleja la fracción de la capacidad vital expulsada durante el primer segundo de una espiración forzada precedida de una inspiración también forzada. La determinación del Índice de Tiffenau, expresado usualmente como porcentaje, permite diferenciar de modo sencillo trastornos ventilatorios de origen obstructivo y restrictivo.

2.4.2 Contraindicaciones de la Espirometría

Existen dos tipos de contraindicaciones, las absolutas que implican un riesgo grave y las relativas. Entre las absolutas encontramos la angina de pecho inestable o angor y operaciones oculares recientes que puedan llevar al desprendimiento de retina. Entre las relativas se sugiere evitarse ante la presencia de problemas bucales, hemiplejia facial, náuseas, no comprensión de la maniobra y en algunos casos de estado físico o mental deteriorado [Quanjer H, Tammeling , 1993].

2.4.3 Requerimientos Generales en el Diseño de Espirómetros

Diferentes Instituciones Internacionales como la ATS (Sociedad Americana del Tórax), la AARC (Asociación Americana de cuidado Respiratorio), la ERC (Comité Respiratorio Europeo), OSHA (Administración de Salud y Seguridad Ocupacional) y NIOSH (Instituto Nacional para la Salud y Seguridad Ocupacional), han establecido estándares y recomendaciones para el diseño de espirómetros referentes a la resolución (mínimo flujo y volumen detectable) y linealidad del instrumento, así como la gama de valores usuales de tiempo, flujo y volumen.

A continuación se presenta los requerimientos por parte de la ATS que poseen gran validez internacional.

Del tipo de Prueba:

Tabla 2.1: Recomendaciones de Diseño Espirométrico ATS

PRUEBA	PRECISIÓN	GAMA DE FLUJO (L/S)
CV FVC FEV1	Desde 0.5 hasta 8 L con precisión de 0.05 L	De 0 a 14 L/s
FEF 25- 75%	Desde 0 hasta 12 L/s con precisión de 0.2 L/s	De 0 a 14 L/s

De la Visualización del Espirograma:

Tabla 2.2: Recomendaciones de Visualización de Espirogramas ATS

GRÁFICA	EJE DE VOLUMEN	EJE DE FLUJO	EJE DE TIEMPO
Volumen/Tiempo	5mm-1L	-	10mm=1s
Flujo/Volumen	Razón 1:2 (1L vol :2 L/s flujo)	Razón de 2:1 (2L/s flujo: 1L vol)	-

2.4.4 Requerimientos del usuario de un Espirómetro

Debido a la gran diversidad de espirómetros existentes en el mercado, generalmente los terapistas respiratorios y el personal médico que realiza la prueba, tienden a elegir un espirómetro que además de cumplir con normas internacionales, cubra de requerimientos de su experiencia clínica. De acuerdo a un estudio realizado para la Sociedad Torácica de Australia y Nueva Zelanda (Pierce, 1995) las tendencias de los operadores al elegir un espirómetro son:

- Ser simple de usar
- Ser seguro y efectivo al cumplir con estándares médicos y electrónicos.
- Poseer una rutina de calibración relativamente simple y estable que permita ajustes del personal médico.
- Ser robusto y que no requiera altos costos de mantenimiento.
- Poseer un desplegado gráfico de la prueba.
- Utilizar un sensor que pueda ser limpiado e incluso desechado.
- Contar con un proveedor confiable que pueda proporcionar entrenamiento, servicio y reparación.

-
- Que posea instrucciones de operación, rutina de mantenimiento y calibración.
 - Que use valores predictivos normales. (Ver Apéndice)

2.4.5 Calibración

Uno de los puntos clave para mantener el Control de Calidad de la Prueba es la calibración del instrumento. La calibración se define como el procedimiento para establecer la relación entre los valores determinados por los sensores de flujo o volumen, y el valor real actual de dichos parámetros.

La necesidad de calibrar los espirómetros es variable, dependiendo principalmente del tipo de sensor empleado. Algunos proveedores sugieren que ésta sea realizada diariamente con una jeringa certificada de 3 litros. Además del flujo y del volumen se debe considerar en la evaluación del instrumento la linealidad y estado físico del instrumento. Todos los espirómetros tienen que ser recalibrados después de ser sometidos a limpieza y desinfección o cuando algún resultado inusual en la medición indique un problema con el instrumento. Cuando un espirómetro es movido de un lugar caliente a uno frío o viceversa, se debe esperar un tiempo razonable a que se estabilice el instrumento.

2.4.6 Requerimientos para Validar la Prueba Espirométrica

La prueba debe constar de un mínimo de tres maniobras satisfactorias, y preferentemente un máximo de ocho, idealmente con una variabilidad menor de 0.2 L en el FEV1 y FVC, para considerar una correcta evaluación y graficación. Las variaciones en el aire ventilado son altamente dependientes de la posición de la persona debido a variaciones en la presión intrapleural. Para la prueba en adultos se obtendrán mejores resultados si se asegura que el paciente se siente erguido con los pies apoyados firmemente en el piso. En los niños sin embargo es a menudo mejor si se realiza de pie. Si el paciente se encuentra acostado, los datos obtenidos son un 10 por ciento inferiores a los obtenidos sentado por lo que se recomienda siempre seguir el proceso establecido por una Entidad Reguladora. Se requiere tapar la nariz por medio de una pinza nasal para evitar inspiraciones inconscientes durante la prueba, colocando además la boquilla con los labios apretados alrededor de ella. Se espirará el aire tan rápido y tan prolongadamente como sea posible, de forma que los pulmones queden vacíos (con tan sólo el volumen de reserva). Como criterio de aceptación de la maniobra, de acuerdo con la ATS, al menos dos de las tres mejores espiraciones no deben variar entre sí más del 5 por ciento o más de 100 ml.

Siempre se valorará la maniobra desde su inicio, curso y finalización. El espirómetro debe ser capaz de acumular por lo menos el volumen de aire exhalado en un tiempo de 15 segundos y volúmenes de aire mayores a 8 litros con un error máximo de 3%.

En pacientes con obstrucción, puede tomar varios segundos la expiración de aire. Se debe reconocer a esos pacientes a los cuales el esfuerzo se vea reducido por dolor de pecho,

problemas abdominales, problemas de incontinencia e incluso por falta de confianza. El mal entendimiento de la maniobra es la causa del 90% de los problemas encontrados (Pierce, 1995).

2.4.7 Interpretación de la prueba Espirométrica

En el presente trabajo, no se pretende cubrir la forma de evaluación de un especialista, tan sólo dar a conocer los conceptos fundamentales para comprender el procedimiento espirométrico. Las alteraciones de la mecánica ventilatoria pueden ser:

Patrón Obstructivo

Se define como una reducción del flujo espiratorio máximo respecto de la capacidad vital forzada, y se detecta mediante la relación VEF1/CVF que será menor del 70%. Se observa una CVF normal, un VEF1 disminuido y principalmente el índice VEF1/CVF también disminuido. Los flujos dependientes del esfuerzo como el flujo espiratorio pico (PEF) y el FEF 25-75 % no deben utilizarse para valorar el grado de obstrucción.

Patrón Restrictivo

Es la reducción de la capacidad pulmonar total, ya sea por alteraciones del parénquima (fibrosis), del tórax (rigidez o deformidad), de los músculos respiratorios o disminución de la distensibilidad. Se tiene como resultado una baja en la capacidad pulmonar total (CPT) y por lo tanto de la capacidad vital (CV). Las enfermedades

restrictivas limitan la expansión pulmonar, que se manifiesta en disminución del VEF1 y de la CVF. El VEF1/CVF aparece normal.

El FEF 25-75 % expresa una alteración de las vías aéreas pequeñas, pues al reducirse el volumen pulmonar se disminuyen los diámetros de los conductos, aumentando la resistencia y ocasionando que la presión se pierda más rápidamente.

En forma resumida se presenta el siguiente diagrama de evaluación:

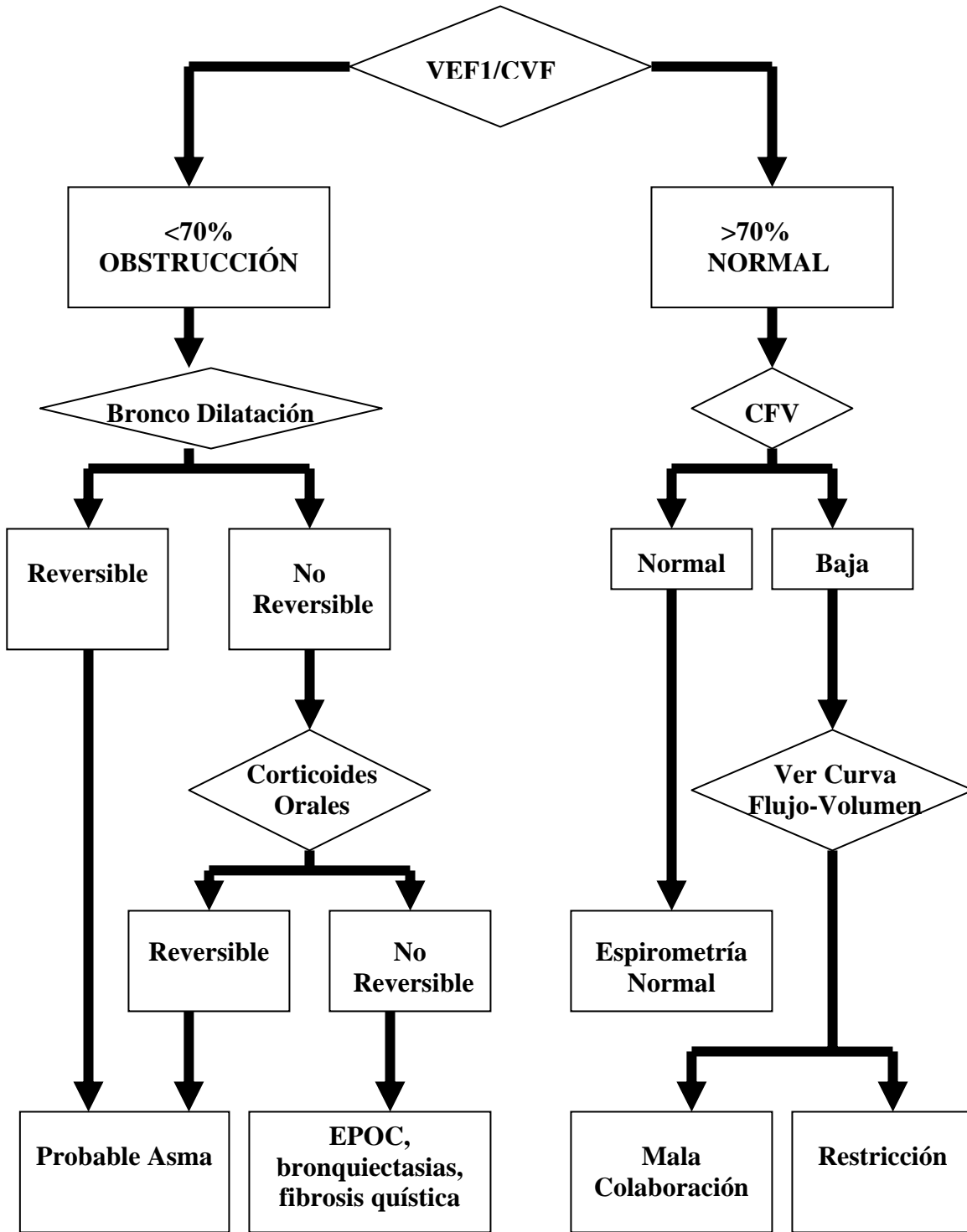


Figura 2.3: Diagrama De Evaluación Espirométrica [10]

2.5 Resumen del Capítulo

Se presentó brevemente el funcionamiento del Sistema Respiratorio Humano, destacando su importancia como sistema de oxigenación, control de sustancias de desecho y detonante de algunos problemas físicos en el organismo. Se explicó cuales son las pruebas efectuadas para evaluar deficiencias en su funcionamiento, ya sea por obstrucción o afecciones en alguno de los órganos, para introducir posteriormente al tema que nos concierne en esta tesis: la espirometría. Se dio a conocer algunos conceptos médicos, como lo son los volúmenes de aire movilizados en la mecánica ventilatoria (VC, VER, VIR, VR), la capacidad del organismo para manejarlos y mantenerlos (CPT, CV, CI CRF) y los indicadores que cuantifican, relacionan y permiten validar los conceptos anteriores en una prueba espirométrica (FVC, VEF1, FEF 25- 75% y VEF₁/CVF). Se trató también las exigencias técnicas que debe cumplir un espirómetro de acuerdo con las Normas Internacionales, enfatizando en las de la ATS, que serán los criterios empleados en el diseño de nuestro espirómetro. Finalmente, se describió brevemente la interpretación de los resultados de la prueba espirométrica, que deberá realizar un especialista, con el fin de validar los alcances de esta tesis.