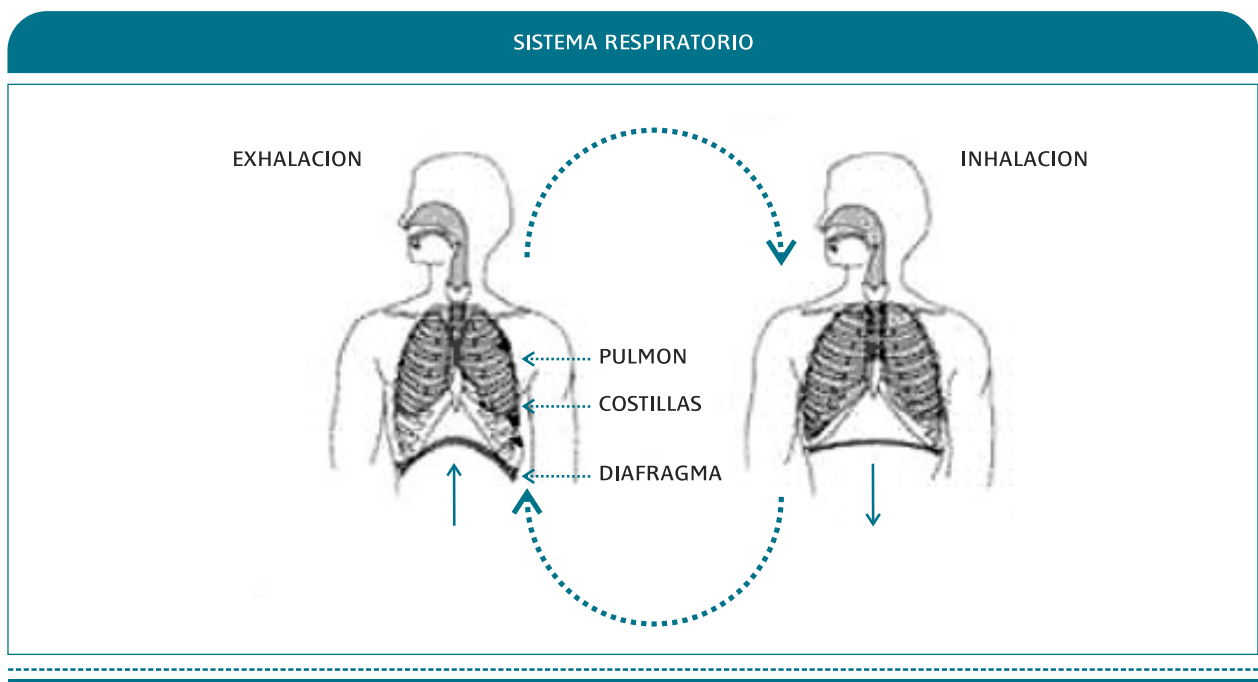


SISTEMA RESPIRATORIO

El sistema respiratorio es el encargado, en el organismo humano, de la respiración. Ahora bien, ¿qué se entiende por respiración? La podemos definir como el conjunto de mecanismos por los cuales las células toman oxígeno (O₂) y eliminan el dióxido de carbono (CO₂) que producen. Por lo tanto la respiración es un proceso complejo que puede dividirse en cinco sucesos funcionales importantes:

- 1) Ventilación alveolar, que es el intercambio de aire entre la atmósfera y los alvéolos pulmonares, y viceversa;
- 2) Hematosis o intercambio de gases entre los alvéolos pulmonares y la sangre del capilar pulmonar;
- 3) Transporte de gases, que se realiza a través de la sangre;
- 4) Difusión de gases entre la sangre y las células a nivel tisular; y
- 5) Respiración real, que es la utilización de O₂ y producción de CO₂ por parte de las células.



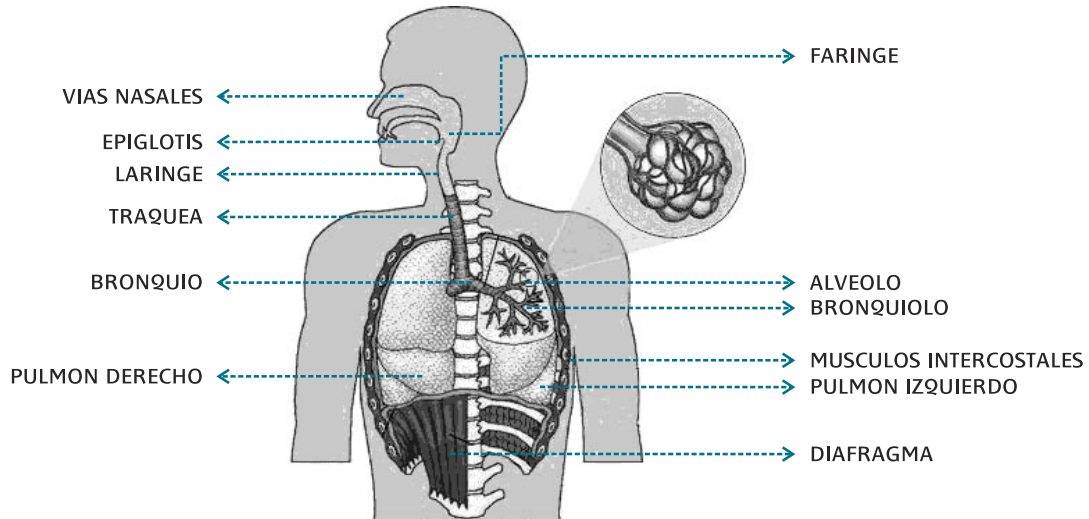
ASPECTOS ESTRUCTURALES

Elementos: teniendo en cuenta que estamos hablando desde un punto de vista sistémico y para lograr una mejor comprensión del tema, vamos a encontrarnos con distintos elementos formando 2 subsistemas básicos; por un lado el “subsistema pulmonar”, y por el otro lado el “subsistema circulatorio”, ambos fundamentales para la existencia del “sistema respiratorio”.

En lo que concierne al subsistema pulmonar, éste va a estar constituido por dos grandes sectores. El sector de intercambio de gases y la bomba respiratoria, que conjuntamente forman una unidad funcional, el complejo toracopulmonar.

El sector de intercambio de gases está representado por:

SECTOR DE INTERCAMBIO DE GASES



Vías Aéreas: es el conjunto de conductos por donde va a circular el aire desde el medio ambiente hasta los pulmones. Se van a clasificar de acuerdo a su ubicación en vías aéreas superiores, desde las narinas hasta los bronquios fuente; y vías aéreas inferiores desde los bronquios fuente hasta los bronquiolos terminales.

Alvéolos: constituyen el lugar donde se realiza el intercambio aéreo, es decir el punto final donde llega el O_2 antes de pasar a la sangre. Comienzan a aparecer en la vía aérea después de los bronquiolos terminales, constituyendo en primer término los bronquiolos respiratorios, luego los sacos alveolares y finalmente los alvéolos propiamente dichos.

Vasos de la Circulación Pulmonar o Menor: podemos decir que se inician como capilares arteriales y capilares venosos. Los primeros provienen de la arteria pulmonar, la cual viene del ventrículo derecho trayendo sangre carboxigenada (sangre de alto contenido en CO_2) proveniente de todos los tejidos del organismo.

Los capilares venosos, por su parte, son continuación de los capilares arteriales y conducen sangre oxigenada (con alto contenido en O_2) que ya pasó por los alvéolos. Se van a continuar con las venas pulmonares, que se dirigen a la aurícula izquierda para llegar a la circulación sistémica.

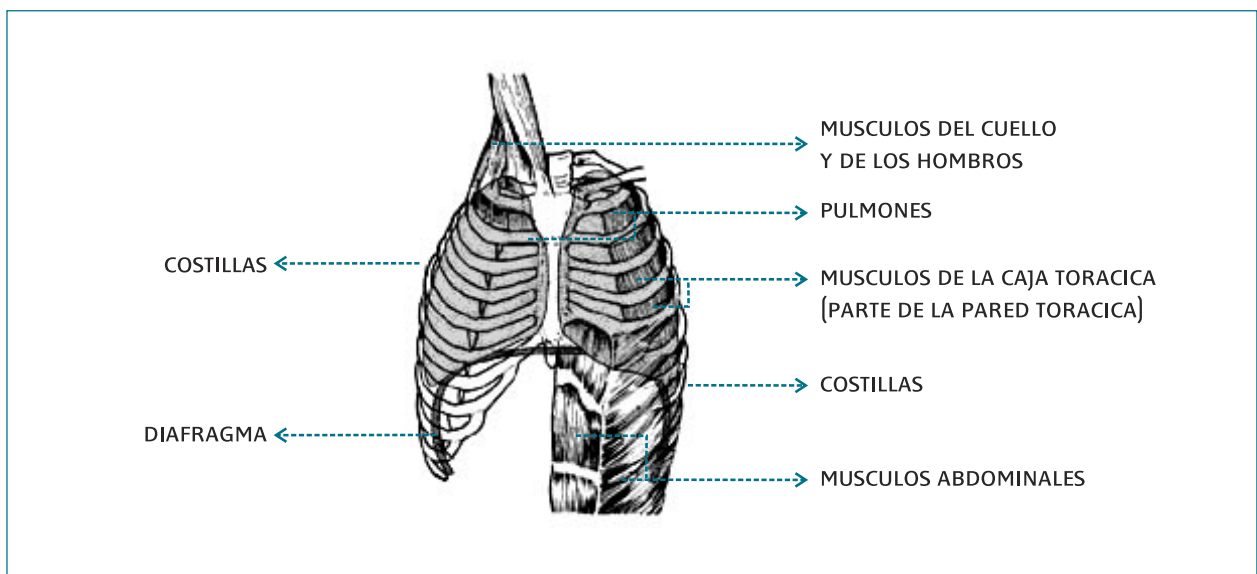
La bomba respiratoria va a tener tres elementos como constituyentes del mismo:

Esqueleto del Tórax: la caja torácica, dada por la columna vertebral (par-

te del segmento cervical y el segmento dorsal en su totalidad), las clavículas, las costillas y el esternón; actúa como un elemento de sostén para el pulmón y trabaja sincrónicamente con el segundo elemento accesorio del sistema respiratorio.

Músculos Respiratorios: se dividen en *inspiratorios* (diafragma, escalenos, trapecio, esternocleidomastoideo, músculos del ala de la nariz, intercostales externos y músculos paraesternales), y *espiratorios* (músculos de la pared abdominal, triangular del esternón e intercostales internos).

MUSCULOS RESPIRATORIOS Y PULMONES



Sistema Nervioso: está representado por los centros nerviosos respiratorios, las vías aferentes y las vías eferentes.

El subsistema circulatorio, por su parte, va a estar formado por:

- > Vasos de la Circulación Menor o Pulmonar;
- > Corazón;
- > Vasos de la Circulación Mayor o Sistémica.

Límites: en lo que se refiere a los límites del sistema pulmonar, podemos decir que por un lado vamos a tener a las membranas de las vías aéreas superior e inferior y alveolar, como límites del órgano intercambiador de gases, ya que para la bomba respiratoria los límites estarían dados por los mismos límites del tórax:

- > agujero torácico superior, hacia arriba;
- > diafragma, hacia abajo;
- > el esternón por delante;
- > columna vertebral por detrás;
- > costillas y músculos intercostales a los lados.

El sistema circulatorio, en cambio, va a estar limitado por el endotelio de los pequeños, medianos y grandes vasos, así como también el endocardio del corazón.

Reservorio: en el caso del sistema pulmonar el reservorio va a estar representado por la porción de parénquima pulmonar que se halla constituyendo el volumen de reserva inspiratoria, es decir, el grupo de alvéolos que normalmente no participan en la respiración en un individuo en reposo, pero que en caso de requerirse un mayor aporte de O₂ al organismo, pueden entrar en juego.

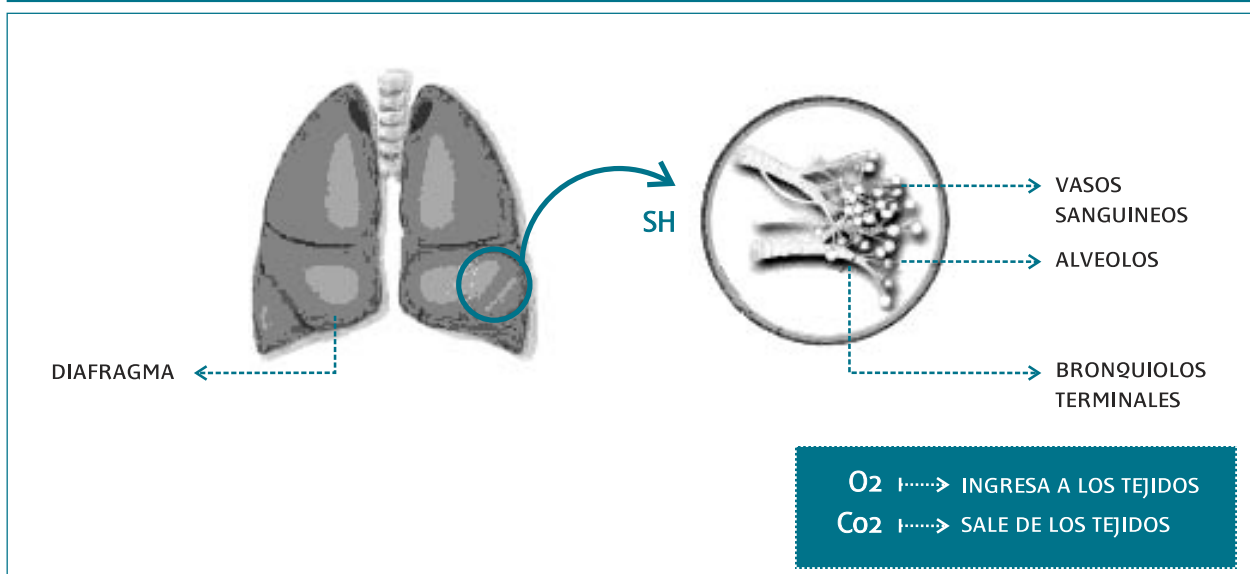
El sistema circulatorio va a tener como reservorio a la **hemoglobina (Hb)**, particularmente a aquella parte de la misma que en condiciones de reposo no cede sus moléculas de O₂ a los tejidos, pero que ante una necesidad sí podría hacerlo.

Redes de Comunicación: el O₂ y el CO₂ están constantemente circulando y pasando de un medio a otro, tal es así que:

> el O₂ pasa, junto con otros gases, desde la atmósfera a las vías aéreas, entrando por las narinas hacia las fosas nasales y conduciéndose por la laringe, tráquea, bronquios fuente, bronquiolos terminales, bronquiolos respiratorios, sacos alveolares y alvéolos. Desde aquí el O₂ difunde a través de la membrana respiratoria hacia los capilares pulmonares, y a partir de éstos, en un medio totalmente diferente al anterior (líquido en vez de aéreo), circula por todo el árbol arterial sistémico hacia los tejidos; donde al llegar entrará a las células, atravesando sus membranas e intercambiándose con CO₂.

> El CO₂, por su parte, hará el camino exactamente inverso al O₂, hasta salir, por las narinas, hacia la atmósfera.

PULMON NORMAL – INTERCAMBIO GASEOSO

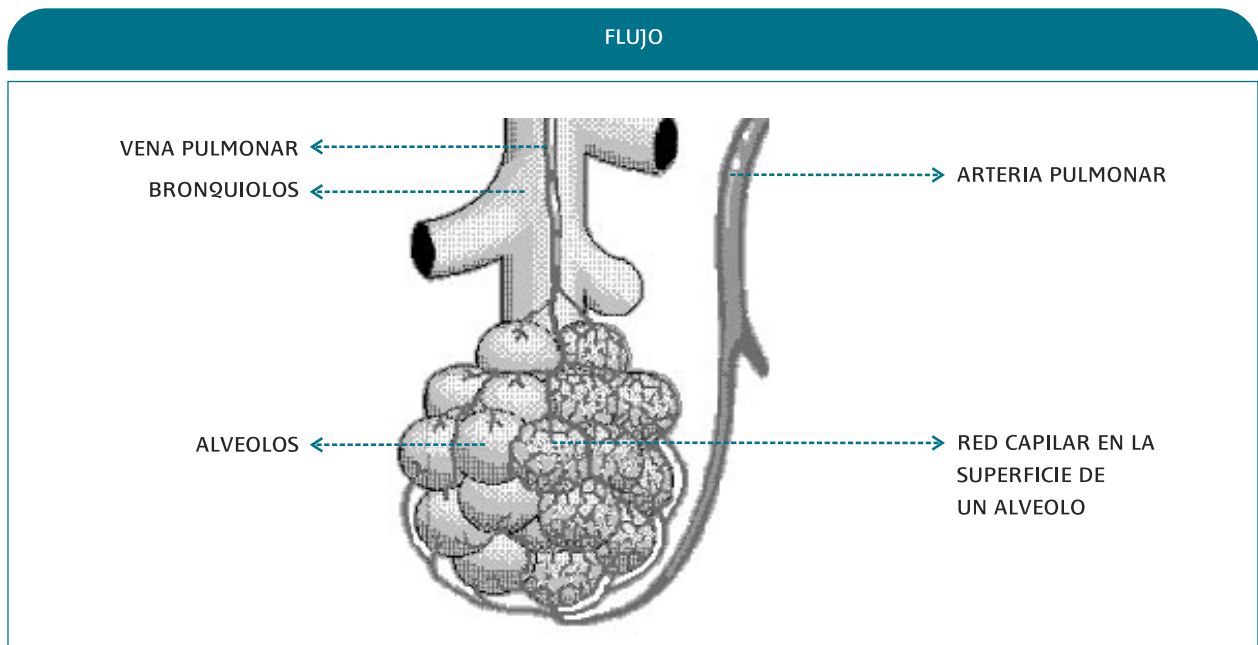


Es importante tener en cuenta algo que ya se mencionó anteriormente; la circulación del O_2 y el CO_2 por los compartimientos se produce gracias a los gradientes de presión que existen entre un medio y el otro, sin embargo a pesar de ello, es fundamental la indemnidad de los compartimientos tanto aéreos como sanguíneos, así como también de la membrana respiratoria.

ASPECTOS FUNCIONALES

Una vez comprendida, parte por parte, la estructura del sistema respiratorio vamos a pasar ahora a ver como funcionan todas esas partes juntas.

Habíamos dicho que para una mejor comprensión podíamos dividir al sistema respiratorio en dos subsistemas; el pulmonar y el circulatorio. Pero ahora, para definir los aspectos funcionales debemos considerar al sistema respiratorio como lo que es, un “todo”.



Flujo: está representado por el O_2 y el CO_2 que circulan, en sentido inverso, por las vías aéreas superiores e inferiores, por los alvéolos y por todo el árbol circulatorio sanguíneo.

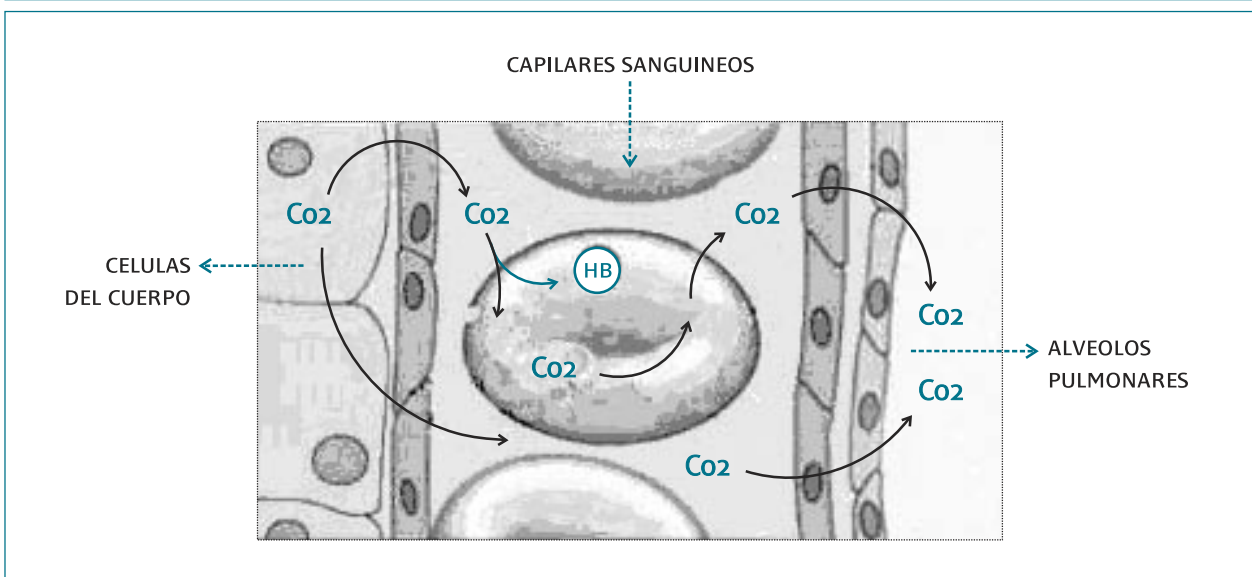
El O_2 entra al cuerpo desde la atmósfera, junto a otros gases (nitrógeno, CO_2 y vapor de agua), en distintas proporciones, representando el O_2 el 21% de todos esos gases. Esta mezcla de gases constantemente ejerce una presión sobre el ambiente, que es la que se conoce como “presión atmosférica”, cuyo valor normal es de 760 mmHg y que resulta de la suma de presiones absolutas parciales de cada uno de esos gases.

Dentro de la vía aérea la presión total (760 mmHg) se mantiene constante, pero lo que va variando es la presión absoluta parcial de cada uno de los gases a medida que van avanzando hacia los alvéolos, variaciones que dependen particularmente de la humedad y la temperatura del

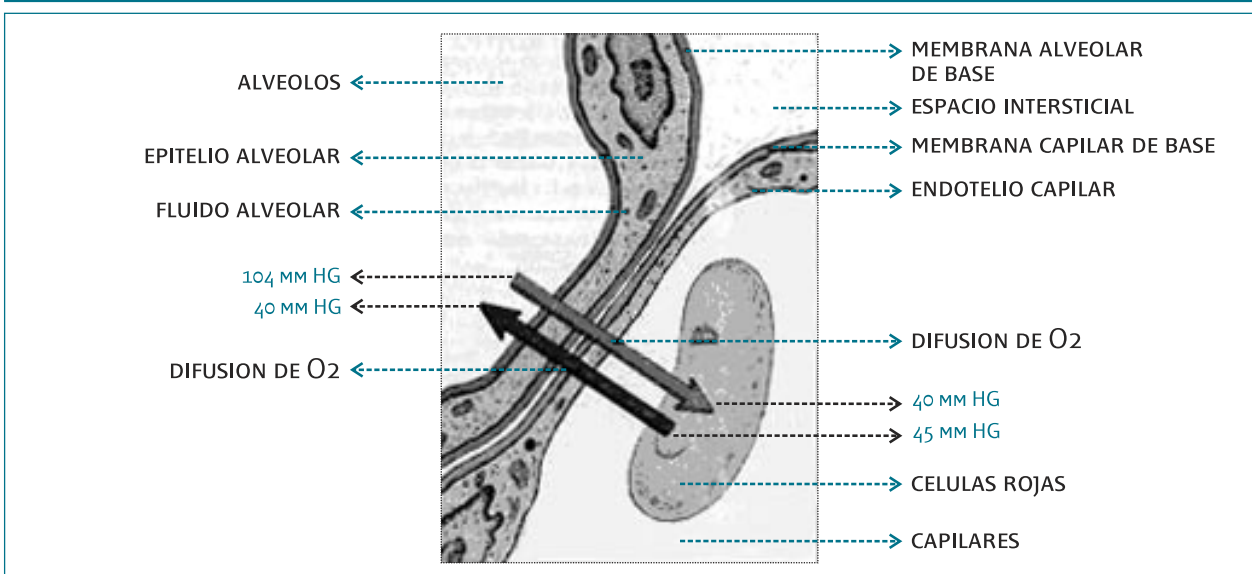
medio.

Una vez que el aire inspirado llega a los alvéolos está listo para realizar la **hematosis**, la cual se lleva a cabo gracias al gradiente de presiones, del O_2 y el CO_2 , que existe entre el alvéolo y el capilar pulmonar. De tal manera que el O_2 difunde, a favor de gradiente, hacia la sangre y el CO_2 , en sentido inverso, lo hace hacia el alvéolo. Por supuesto que la difusión de estos gases no va a depender exclusivamente de sus gradientes de concentración, sino también del coeficiente de difusión de cada gas y de la indemnidad de la membrana respiratoria.

HEMATOSIS



MEMBRANA RESPIRATORIA



¿Cómo se movilizan estos gases en la sangre?

Los gases al movilizarse en una masa líquida *difunden*, de tal manera que hablamos de difusión de gases en sangre; y esta difusión se lleva a cabo siguiendo las "*Leyes de los Gases*", que tienen en cuenta ciertos factores determinantes, que no son los mismos que rigen la circulación de los gases por el aire. ¿Cuáles son esos factores?

El primero es la *presión parcial del gas [P]*, que está dado por la concentración del gas en sangre y; también la solubilidad *[S]: a > concentración > P ya > S < P.*

$$P = \text{GAS} / S$$

La velocidad de circulación del gas va a depender de la interrelación entre ciertos factores:

> Depende en forma directamente proporcional al *gradiente de presión del gas [GP]*;

> Es directamente proporcional al *área de sección transversal [Ast]* del vaso donde se halla circulando el gas;

> Depende directamente de la *solubilidad del gas [S]*;

> Es inversamente proporcional a la *longitud [L] del vaso sanguíneo*;

> Es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del peso molecular del gas *[R2PM]*;

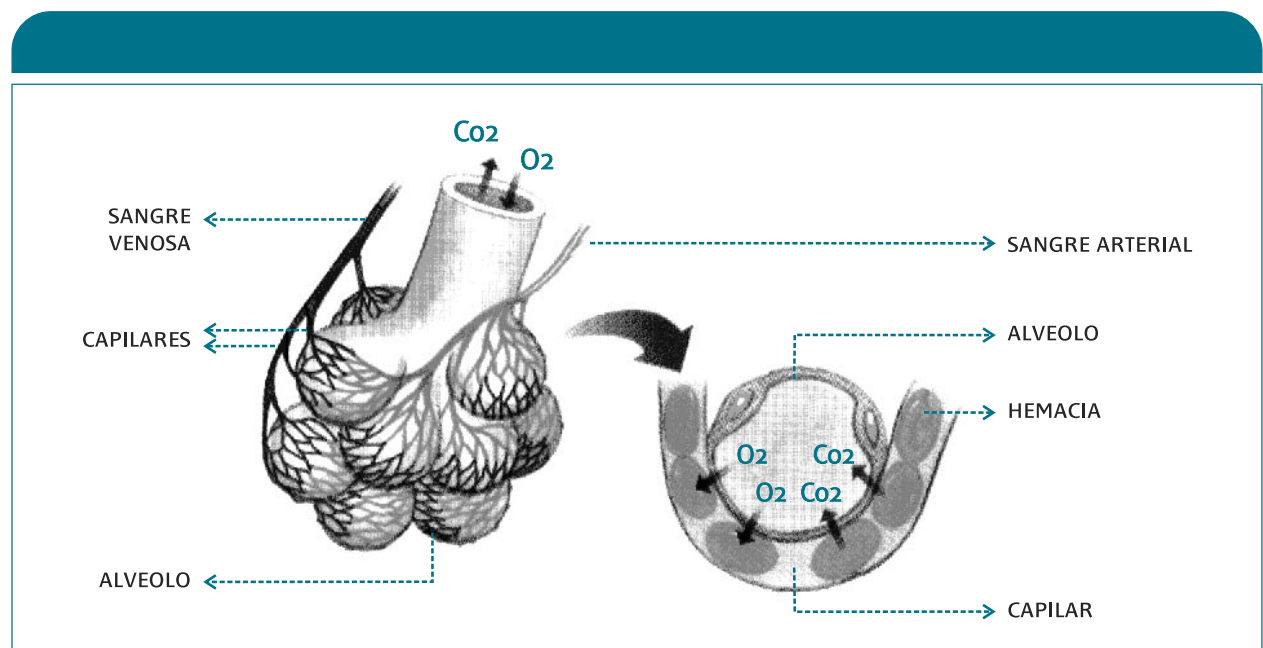
Por eso:

$$\text{Difusión} = \frac{GP \times Ast \times S}{L \times R2PM}$$

¿CÓMO ESTÁ FORMADA LA MEMBRANA RESPIRATORIA (MR)?

Desde el interior del alvéolo hasta el capilar pulmonar la MR está por:

- * El surfactante que separa el aire de la capa líquida;
- * Una capa líquida;
- * El epitelio alveolar, formado por dos tipos de células: los neumocitos tipo I y los neumocitos tipo II;
- * La membrana basal del epitelio alveolar;
- * El intersticio;
- * La membrana basal del capilar pulmonar;
- * El endotelio capilar.



Cada eritrocito que llega al alvéolo por el capilar pulmonar está en contacto con el mismo por 0,75seg.; sin embargo para que se produzca el pasaje del O₂ del alvéolo al capilar sólo se necesitan 0,3 seg. (la mitad del tiempo de contacto entre el alvéolo y el glóbulo rojo).

Sin embargo, para que el CO₂ difunda del capilar al alvéolo con sólo 1/10 parte del tiempo de contacto es suficiente. Esto se debe a que el CO₂ es 20 veces más difusible que el O₂: su coeficiente de difusión es de 20 en relación con coeficiente de difusión del O₂ que es 1.

Esto nos lleva a deducir que el pasaje del CO₂ se realiza mucho más rápido que el de O₂ y por lo tanto si se presentara alguna dificultad en la hematosis (engrosamiento de la membrana respiratoria, aceleración del flujo sanguíneo, etc.) estará más comprometida la difusión del O₂ que la del CO₂, ya que el tiempo de contacto entre el eritrocito y el alvéolo tal vez sea suficiente para el CO₂ pero no para el O₂. De ahí que los trastornos relacionados con el O₂ son más frecuentes de ver en la práctica médica que los relacionados al CO₂.

Relación Ventilación-Perfusión (RVP)

Es la relación existente entre los alvéolos ventilados y su perfusión (irrigación) por parte de los capilares pulmonares.

Los alvéolos del vértice pulmonar con relación a los de la base se encuentran más ventilados pero menos perfundidos, lo que se relaciona con la presión intrapleurales y la presión arterial media pulmonar.

Tal es así que los alvéolos del vértice están bien ventilados y mal perfundidos, y los de la base, mal ventilados y bien perfundidos.

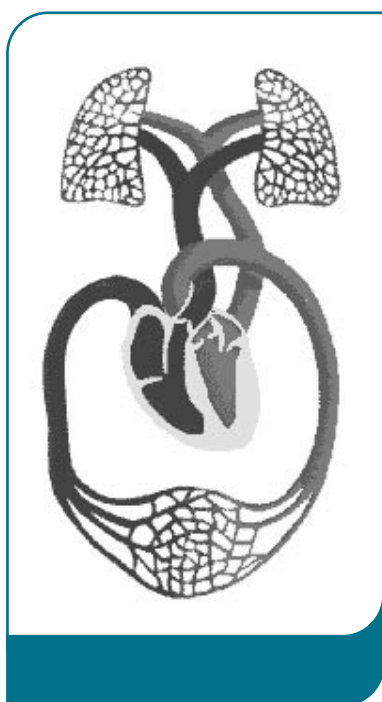
Entonces si tenemos en cuenta que en la parte media del pulmón los alvéolos están igualmente ventilados y perfundidos, la RVP será de 1, mientras que en el vértice pulmonar la RVP será > a 1 (a favor de los alvéolos ventilados) y en la base será < a 1 (a favor de los alvéolos perfundidos).

Una vez producida la hematosis el O₂ comienza su recorrido por todo el árbol circulatorio hacia los tejidos, donde va a ser utilizado.

El flujo del O₂ y del CO₂ por vía sanguínea se lleva a cabo de dos maneras: en forma disuelta, que se representa como presión parcial del gas, y por otro lado, unido a la **Hemoglobina (Hb)**, siendo esta última la que determina el transporte de la mayor cantidad de cada uno de los gases, y por ende la más importante a tener en cuenta.

En condiciones normales la Hb puede transportar 1,34 ml de O₂ por gramo, lo que sería la "capacidad máxima de transporte de la Hb". La sangre adulta posee generalmente 15 gr.-% de Hb (15gr de Hb cada 100ml de sangre) y si cada gr. transporta 1,34 ml de O₂, los 15 gr. transportarán, por ende, 20,1 ml de O₂ cada 100 ml de sangre.

A la cantidad de O₂ que transporta la Hb se la conoce como "saturación de O₂ de la Hb", que habíamos dicho era de 1,34 ml como capacidad máxima, lo cual correspondería a una saturación del 100% de la Hb. Pero en la práctica el transporte es de una menor cantidad, lo que se





conoce como contenido de O₂ de la Hb (cantidad real que transporta la Hb) y si lo relacionamos porcentualmente con la capacidad máxima de transporte de la Hb obtendremos la verdadera saturación de O₂ de la Hb, que será menor al 100%. Es decir que toda vez que se hable de saturación de O₂ de la Hb se estará hablando de la relación porcentual entre la cantidad de O₂ que transporta la Hb y la cantidad máxima teórica de O₂ que puede transportar.

Es necesario tener en cuenta que una mínima parte del O₂ se transporta disuelto en la sangre: **la Presión Parcial del O₂ (pO₂)** representa esa cantidad, que corresponde a 0,3ml de O₂ por cada 100ml de sangre arterial y a 0,12 ml de O₂ por cada 100ml de sangre venosa. Estas cantidades sólo corresponden al 2% del total de O₂ transportado en sangre. El 98% restante lo hace unido a la Hb.

Su sumamos el O₂ disuelto en 100ml de sangre arterial más el contenido de O₂ unido a la Hb en igual cantidad de sangre se obtiene el contenido arterial de O₂, que es de aproximadamente 20ml/%.

Ahora bien, si multiplicamos la cantidad de O₂ unida a la Hb cada 100ml de sangre por los 5000ml de sangre que llegan a las células por minuto obtendremos la cantidad de O₂ que se entrega a los tejidos por minuto (por este método de transporte); lo que se conoce como **Disponibilidad de O₂ (DO₂)**, cuyo valor normal es de 1000ml/min.

Para conocer el contenido venoso de O₂ hacemos lo mismo que para el contenido arterial, sólo que esta vez se tiene en cuenta la sangre venosa, es decir la que abandona los tejidos.

De esta manera resulta que el contenido venoso de O₂ es de aproximadamente 15ml/%. Si hallamos la diferencia entre el contenido arterial y el contenido venoso de O₂ se obtiene la **Diferencia Arterio-Venosa de O₂ (DAVO₂)**, que corresponde a 5ml/%.

Si multiplicamos la DAVO₂ por el VMC (5000ml) obtendremos el **Consumo de O₂** en ml/min, que se representa como VO₂ y que corresponde a 250ml/min. de O₂.

Resumiendo, podemos decir que cada 100ml de sangre se le ofrecen a las células 20ml de O₂ a través de las arterias, y las venas retiran 15 ml de O₂ que no fueron utilizados (siempre hablando en condiciones de reposo); es decir que los tejidos consumen cada 100ml de sangre 5ml de O₂ (DAVO₂). En total, por minuto, cada 5000ml de sangre (VMC) se le ofrecen a las células 1000ml de O₂ (DO₂), y éstas por igual cantidad de sangre consumen 250 ml de O₂ (VO₂).

Para poder comprender de una manera más práctica cómo se transporta el O₂ unido a la Hb se lo puede graficar en un par de ejes de ordenadas y abscisas, colocando valores de pO₂ en las abscisas y el contenido de O₂ de la Hb (saturación de O₂ de la Hb) en las ordenadas. De esta manera se crea la denominada **curva de disociación de la Hb**.

¿Cómo podemos interpretar a esta curva?

A nivel del capilar alveolar existe una pO₂ de 104mmHg que se corres-



ponde con una saturación de la Hb del 100%, con un contenido de O₂ de 20,1ml/%. A nivel de las arterias la pO₂ cae a 97mmHg con una saturación del 97%. En este punto la Hb contiene 19,4ml de O₂.

Una vez que la Hb pasa por los tejidos cede, en condiciones de reposo, 5ml/% de O₂; por lo que a nivel de las venas el contenido de O₂ de la Hb cae a 14,4ml/%, que corresponde a una pO₂ de 40mmHg y a una saturación de la Hb del 70-75%.

Utilizando estos valores podemos trazar la curva de disociación de la Hb y el O₂, la cual tendrá una forma de "S" *itálica*.

En esta curva se pueden distinguir dos partes muy bien delimitadas: una derecha alta y otra izquierda baja. En la parte alta (dcha.) cuando los valores de pO₂ son elevados (a partir de 70 mmHg) la saturación y por ende el contenido de O₂ de la Hb prácticamente no varían. En cambio en la parte baja de la curva (izq.) las bajas concentraciones de O₂ determinan que pequeños cambios impliquen grandes variaciones a nivel del contenido o saturación de la Hb; esto facilita la entrega de O₂ por parte de la Hb hacia los tejidos.

En resumen, podemos decir que la Hb tiene la propiedad de estar totalmente saturada de O₂ a valores altos de pO₂ (en los pulmones) y cederlo con facilidad cuando la pO₂ del medio es baja (en los tejidos).

Ahora bien, la curva de disociación Hb-O₂ no es estática, ya que está sujeta a cambios en base a cuatro factores principales:

- a) Concentración de protones (H⁺), es decir pH;
- b) Concentración de CO₂;
- c) Concentración de 2,3 DPG (2,3 difosfo glicerato);
- d) Temperatura.

La acidosis (caída del pH), la hipercapnia (aumento del CO₂), la hipotermia (aumento de la temperatura) o el aumento en la concentración del 2,3DPG desvían la curva hacia la derecha, lo que significa que disminuye la afinidad de la Hb por el O₂ y por lo tanto disminuye el cese del mismo a los tejidos. En este caso se necesita un mayor valor de pO₂ para alcanzar la misma saturación que en condiciones normales.

Por otro lado la alcalosis (aumento del pH), la hipocapnia (disminución del CO₂), la hipotermia (disminución de la temperatura) o la disminución en la concentración de 2,3DPG desvían la curva hacia la izquierda, o sea aumentan la afinidad de la Hb por el O₂, lo que dificulta su liberación hacia los tejidos. Ante esta situación, a valores normales de pO₂, el contenido o saturación de O₂ de la Hb serán mayores.

Compuertas: van a estar representados por todos aquellos elementos que me controlen el volumen del flujo, como ser:

1- **Epiglotis:** la apertura de la misma es fundamental para que el aire entre desde la atmósfera a la gran vía aérea.

2- **Corazón:** su actividad determina un mayor o menor flujo sanguíneo hacia los pulmones y hacia los tejidos, lo que traería aparejado un mayor



o menor volumen de O₂ y CO₂ circulantes.

3- Esfínter Precapilar: al igual que el corazón, su apertura o cierre determina un mayor o menor flujo sanguíneo hacia la microcirculación, con las mismas incidencias sobre el volumen y circulación del O₂ y el CO₂.

Censores: en el sistema respiratorio van a estar dados por diferentes áreas quimiosensibles de nuestro organismo donde diversos estímulos actúan y modifican la actividad respiratoria.

> Área quimiosensible central: se halla ubicada en la parte anterior y baja del bulbo y recibe el nombre de centro respiratorio.

> Área quimiosensible periférica: está representada por quimiorreceptores ubicados en el corpúsculo carotídeo y el corpúsculo aórtico.

El corpúsculo carotídeo se localiza a nivel de la bifurcación de la arteria carótida primitiva, mientras que el corpúsculo aórtico está a nivel del cayado aórtico.

El área quimiosensible central es sumamente sensible a los cambios de CO₂ y de pH, mucho más que las áreas quimiosensibles periféricas, de ahí que el CO₂ y el pH actúen fundamentalmente a nivel central. Por su parte, el O₂ no estimula a nivel central; sólo lo hace a nivel periférico.

Asas de retroalimentación: están constituidas por el CO₂ y el O₂ disueltos en sangre y por el pH.

Regulación de la respiración:

El CO₂ actúa por dos vías: en la primera el CO₂ pasa de la sangre al líquido cefalorraquídeo (LCR) y por éste llega al centro respiratorio estimulando a sus neuronas e induciendo a un aumento de la frecuencia respiratoria.

En la segunda vía el CO₂ pasa desde la sangre al intersticio, y de aquí llega a las células del centro respiratorio, sin ocupar el LCR, estimulando también la respiración.

El pH, por su parte, actúa de igual manera. Si hay acidemia, ésta repercute sobre el centro respiratorio, estimulándolo.

El O₂, en cambio, ya habíamos dicho que no actúa a nivel central sino en las áreas quimiosensibles periféricas, de tal manera que la caída del O₂ en sangre es captada por estos quimiorreceptores que envían el mensaje al centro respiratorio determinando un aumento de la frecuencia respiratoria; y esto ocurre solamente cuando cae la saturación de la Hb o disminuye de manera importante el flujo sanguíneo.

CIRCULACIÓN PULMONAR

ASPECTOS ESTRUCTURALES

La circulación pulmonar, llamada también circulación menor o pequeño circuito circulatorio, tiene sus características particulares que la diferencian de la circulación sistémica o mayor.

Por un lado maneja todo el VMC hacia un solo órgano, el pulmón; mien-

¿QUÉ ES LA HEMATOSIS?

Es el intercambio alvéolo-capilar de oxígeno, a través del cual el O₂ pasa del alvéolo al capilar pulmonar y el difunde del capilar pulmonar al alvéolo.



EN LA ATMÓSFERA LOS GASES SE ENCUENTRAN EN ESTA PROPORCIÓN:

- * NITRÓGENO (N₂) = 79%
= 597 MMHG DE PRESIÓN PARCIAL (PP).
- * OXÍGENO (O₂) = 21%
= 159 MMHG DE PP.
- * DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) = 0,04% = 0,3 MMHG DE PP.
- * PRESIÓN DE VAPOR DE AGUA (P_{VH₂O}) = 0,5%
= 3,7 MMHG DE PP.

tras que la gran circulación distribuye el VMC hacia todo el organismo. En esta circulación los vasos arteriales transportan sangre de características venosas y los vasos venosos sangre arterial.

Y por último la circulación pulmonar trabaja a bajas presiones y bajas resistencias, con una gran complacencia.

Elementos y Límites: la circulación pulmonar está representada por:

> **Arterias Pulmonares:** son dos, una derecha y una izquierda, resultantes de la bifurcación de la arteria pulmonar principal que sale del ventrículo derecho. Conducen sangre carboxigenada hacia los pulmones.

> **Venas Pulmonares:** en número de cuatro (dos superiores y dos inferiores) drenan en la aurícula izquierda. Vienen de los pulmones y lle van sangre oxigenada.

> **Capilares Pulmonares:** continúan a las arterias pulmonares constituyendo los capilares arteriales que pasan a capilares venosos hasta transformarse en las venas pulmonares. Están en íntima relación con los alvéolos y es a este nivel donde se realiza la hematosis.

FUNCIONES DE LA CIRCULACIÓN

PULMONAR

En lo que se refiere a la respiración, la circulación menor tiene las funciones de hematosis y de filtro. ¿A qué nos referimos con “función de filtro”?

En la circulación sistémica, particularmente a nivel de miembros inferiores y dependiendo de ciertos factores precipitadores, se suelen formar trombos (coágulos sanguíneos) que a veces se desprenden formando émbolos (coágulos circulantes) que pasan a la mitad derecha del corazón, de ahí a la arteria pulmonar y terminan enclavándose en los capilares pulmonares, lo que constituye el conocido TEP (tromboembolismo de pulmón), que si bien a veces puede causar la muerte, no tiene gran significancia y puede ser resuelto con una adecuada terapéutica. En cambio si esos émbolos pasaran a la circulación sistémica terminarían enclavados en órganos nobles como el cerebro o el riñón, entre otros, provocando infartos con sus correspondientes repercusiones funcionales.

Es por eso que se considera a la circulación pulmonar como un gran filtro de émbolos para la circulación sistémica.

También podemos decir que la pequeña circulación tiene una función de nutrición, ya que transporta el O₂ y los nutrientes necesarios a las células del epitelio alveolar. Es importante destacar que el resto del pulmón recibe los nutrientes de las arterias bronquiales, que provienen directamente de la aorta torácica.

Por otro lado existen ciertas funciones que podrían considerarse metabólicas, como ser la producción de algunas enzimas (enzima convertidora de angiotensina, enzima convertidora de bradiquinina, etc.).

PRUEBAS CLÍNICAS PARA EVALUAR LA MECÁNICA RESPIRATORIA

Los volúmenes que se manejan a nivel pulmonar pueden ser medidos a través de la espirometría, la cual puede ser “estática” o “dinámica”.

La primera mide los volúmenes que se movilizan entre la atmósfera y la caja torácica, sin importar el tiempo; mientras que la segunda mide los volúmenes que se movilizan entre la atmósfera y la caja torácica en función del tiempo, es decir, los flujos.

Estas mediciones se llevan a cabo con aparatos especiales llamados espirometros.

La cantidad de aire que entra al pulmón en una inspiración tranquila o sale de él en una espiración tranquila, se denomina **Volumen Corriente (VT)** y su valor normal es de **500 ml**.

Si le pedimos a un individuo que inspire profundamente al máximo de sus posibilidades, entrará a los pulmones una cantidad de aire que en condiciones de reposo no entra y que recibe la denominación de Volumen de Reserva Inspiratorio (VRI), cuyo valor normal es de 3000 ml.

Ahora bien, si después de una inspiración normal se le pide al individuo que espire forzosamente, saldrá de los pulmones una cantidad de aire que normalmente no sale, que se denomina **Volumen de Reserva Espiratorio (VRE)**, con un valor normal de **1100 ml**.

No obstante, hay una cantidad de aire que aún después de una espiración forzada no puede ser eliminada del complejo toracopulmonar, y es el **Volumen Residual (VR)**, que normalmente es de **1200 ml**.

Existe una situación en donde el individuo sin inspirar ni espirar tiene en sus pulmones un determinado volumen de aire, que corresponde al llamado **Nivel Espiratorio de Reposo (NER)**, que contiene el VR y el VRE y que es igual a **2300 ml**.

Si sumamos los diferentes volúmenes obtendremos las “capacidades”.

Si se parte del NER, se inspira profundamente y luego se sigue respirando normalmente se obtiene la **Capacidad Inspiratoria (CI)**, que es la suma del VT y el VR (**3500 ml**).

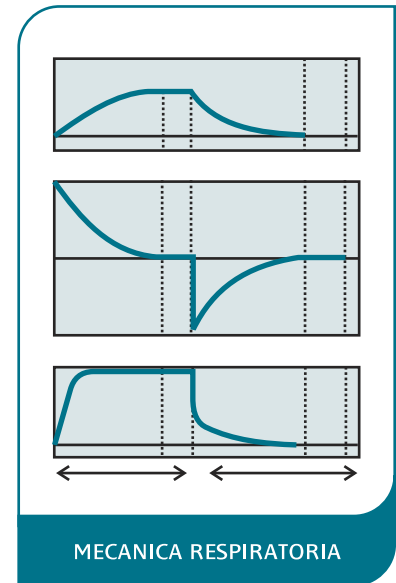
Si de respirar normalmente se inspira profundamente y luego se espira de manera forzada se obtiene la denominada **Capacidad Vital (CV)**, resultado de la suma del VRI, el VT y el VRE (**4600 ml**).

Si sumamos el VR y el VRE (**2300 ml**) obtendremos la **Capacidad Residual Funcional (CRF)**, y por otro lado la suma de todos los volúmenes: VT, VRI, VRE y VR se llama **Capacidad Pulmonar Total (CPT)** y es igual a **5800 ml**.

De todos los volúmenes y capacidades se pueden determinar solamente el VRI, el VRE y el VT, y la CI, y la CV, pues el VR no puede ser medido y por ende la CRF y la CPT tampoco, ya que contienen al VR.

Pero que ocurre si queremos introducir a nuestras mediciones a la variable “tiempo”. Ahí vamos a emplear la espirometría dinámica.

Entonces se le pide al individuo que luego de una respiración normal inspire al máximo y luego espire lo más rápidamente posible todo lo que pueda de aire. Estaremos evaluando así su **Capacidad Vital**





($VT+VRI+VRE$), pero en función del tiempo, y es lo que se conoce como **Capacidad Vital Forzada (CVF)**.

Para que se considere normal la **CV** de un individuo, ésta debe ser igual o mayor al 75% de la **Capacidad Vital teórica** para ese individuo, que va a depender del sexo, edad y altura (valores que se obtienen de una tabla especial).

Si la **CV** hallada es inferior al 75% de la teórica, el individuo presenta una incapacidad pulmonar restrictiva (pacientes enfisematosos, con neumoconiosis, etc.)

Pero si tenemos en cuenta el tiempo en que se expulsa la **CV** y medimos cuánto aire expulsa un individuo en 1 segundo, estamos midiendo el **VEF1 (Volumen de Espiración Forzada en 1 segundo)**, el cual lo tenemos que relacionar porcentualmente con la **Capacidad Vital hallada**, por medio del llamado Índice de Tiffeneau, que es igual a $(VEF1 \cdot 100) : CVF$ hallada.

Si esta relación es mayor al 75% quiere decir que en un segundo se elimina más del 75% de la **CVF**, lo que es normal. Pero si se elimina menos del 75% quiere decir que hay una incapacidad pulmonar obstructiva (obstrucción de la vía aérea), por ejemplo en pacientes con EPOC, con asma, etc.

Ejemplos:

CVFh: 4000 ml

CVFt: 4000 ml

VEF1: 3500 ml

La **CV** de este individuo es igual al 100% de la **Capacidad Vital Teórica**, por lo que puedo deducir que no presenta trastornos restrictivos, mientras que el Índice de **Tiffeneau: $(3500 \cdot 100) = 4000 = 87,5\%$** , lo que me indica que su **VEF1** es igual al 87,5% de su **CVF**, o sea que tampoco tiene problemas obstructivos.

CVFh: 2000 ml

CVFt: 4000 ml

VEF1: 1000 ml

La **CV** de este individuo es igual al 50% de la **CV** teórica, y su Índice de **Tiffeneau: $(1000 \cdot 100) : 2000 = 50\%$** , lo que me dice que su **VEF1** es igual al 50% de su **CVF**. Esta es una persona con una incapacidad restrictiva asociada a una incapacidad obstructiva de sus pulmones.

Existen otras pruebas para evaluar la presencia de incapacidades obstructivas, pero que únicamente las vamos a nombrar:

- 1- FEF 200-1200
- 2- FEF 25-75%
- 3- Pico Flujo
- 4- Ventilación Voluntaria Máxima (VVM)
- 5- Volumen Crítico de Cierre.



PRUEBAS CLINICAS PARA EVALUAR LA HEMATOSIS

Son una serie de pruebas que se piden para estudiar el intercambio alvéolo-capilar de un individuo, para poder establecer así si existe alguna patología que impida una correcta hematosis.

- > Análisis de gases en sangre
- > Medición del **volumen de ventilación alveolar (VVA)** y del **espacio muerto (VD)**
- > Relación **VD/VT**
- > **pO₂** transcutánea
- > Saturación de **O₂** de la hemoglobina
- > **pCO₂** transcutánea
- > Determinación de la **PAO₂ (Presión Alveolar de O₂)**
- > Diferencia entre **PAO₂** y **PaO₂** (Presión arterial de O₂)
- > Relación a/A
- > **PAFI** (relación entre PaO₂ y FIO₂)
- > Capnografía
- > Admisión venosa
- > Shunt (cortocircuito)

La relación entre la solubilidad y la raíz cuadrada del peso molecular de un gas se conoce como **COEFICIENTE DE DIFUSIÓN (CD)**:

$$CD = \frac{S}{\sqrt{PM}}$$

El CD de un gas es directamente proporcional a su velocidad de difusión.

ESPACIO MUERTO: Es el aire que no entra en contacto con la sangre capilar pulmonar y por lo tanto no participa en la hematosis: aire de las fosas nasales, laringe, tráquea, bronquios fuente y alvéolos no perfundidos.

En el espacio muerto la temperatura corporal modifica las pp de los gases, quedando éstos con los siguientes valores:

pN₂: 563mmHg
pO₂: 149mmHg
pCO₂: 0,3mmHg
pVH₂O: 47mmHg

Dentro del alvéolo y por la mezcla del aire que ingresa con el aire que ya estaba (aire residual), los gases quedan así:

pN₂: 569mmHg

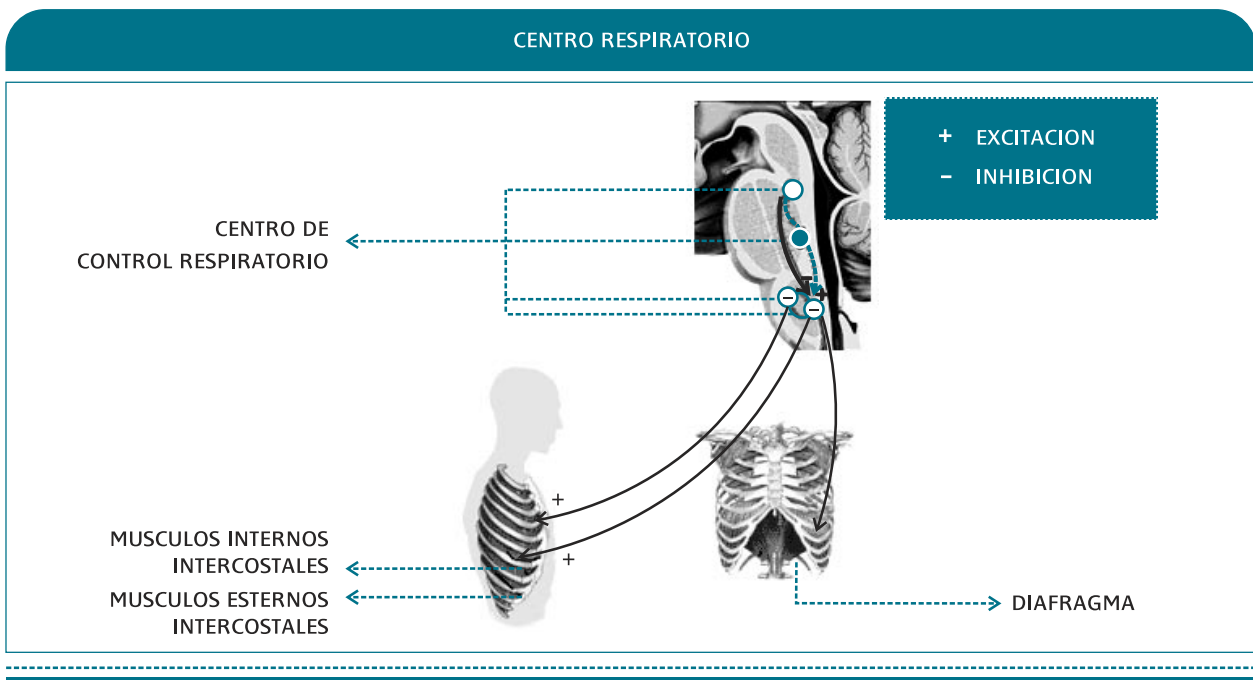
pO_2 : 104mmHg
 pCO_2 : 40mmHg
 pVH_2O : 47mmHg

En el capilar pulmonar la sangre llega al alvéolo a través del sector venoso con una pO_2 de 40mmHg y una pCO_2 de 45mmHg y se va con una pO_2 de 97mmHg y una pCO_2 de 40mmHg.

PAGINA 6: El CENTRO RESPIRATORIO se encuentra en el bulbo y la protuberancia y está representado por tres núcleos:

- > el centro respiratorio ventral y dorsal;
- > el centro neumotáxico;
- > el centro apnéustico.

El valor al cual la Hb se encuentra saturada en un 50% se llama P_{50} y corresponde a valores aproximados de 26-28mmHg.

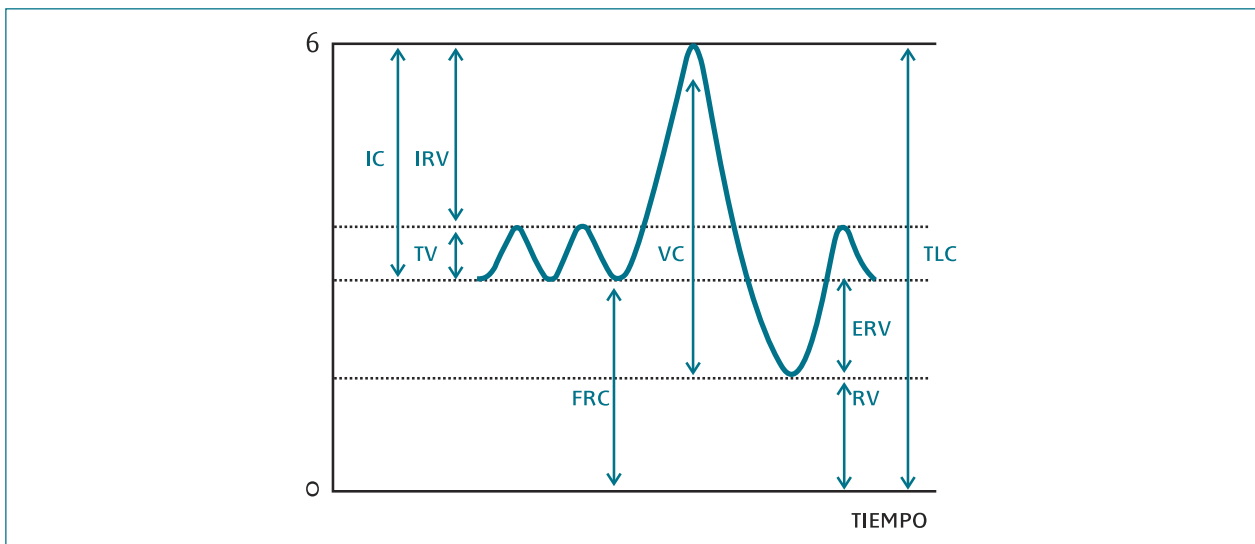


TRABAJO PRACTICO

- 1) Defina “respiración” y nombre los sucesos funcionales fundamentales de ella.
- 2) Señale los componentes del sistema respiratorio.
- 3) Enumere los elementos que constituyen la membrana respiratoria.
- 4) Marque la correcta acerca de la espirometría estática.
 - a) Es la prueba clínica que evalúa cuánto flujo de aire manejan los pulmones.
 - b) Estudia los volúmenes de aire que entran y salen del complejo toracopulmonar.
 - c) Es una prueba muy fidedigna para evaluar la hematosis.
 - d) Ninguna es correcta.
- 5) Complete: “la espirometría dinámica se basa en el estudio de los de aire que maneja el complejo toracopulmonar, o sea que tiene en cuenta el en función del”



ESPIROMETRIA



- 6) Escriba verdadero (V) o falso (F):
 - “El O₂ actúa principalmente estimulando el centro respiratorio.”
 - “Los gases (O₂ y CO₂) difunden a través de la membrana respiratoria a favor de gradiente”.
 - “La capnografía es una prueba muy útil para evaluar la homeostasis”.
- 7) Defina Volumen Corriente (VT).

8) Resuelva:
 CVFh: 2800 ml
 CVFt: 5000 ml
 VEF1: 2500 ml

CVFh: 3000 ml
 CVFt: 5000 ml
 VEF1: 1500 ml

9) Coloque al lado de cada prueba clínica si corresponde a una prueba para evaluar una incapacidad obstructiva o la hematosis.

- > Shunt
- > Pico Flujo
- > pO₂ transcutánea
- > Saturación de O₂ de la Hb
- > FEF 25-75%
- > Volumen Crítico de Cierre

10) ¿Qué entiende por Índice de Tiffeneau?

PAGINA 1: DIBUJO DE COMPLEJO TORACOPULMONAR

PAGINA 2:

¿Cómo está formada la membrana respiratoria (MR)?

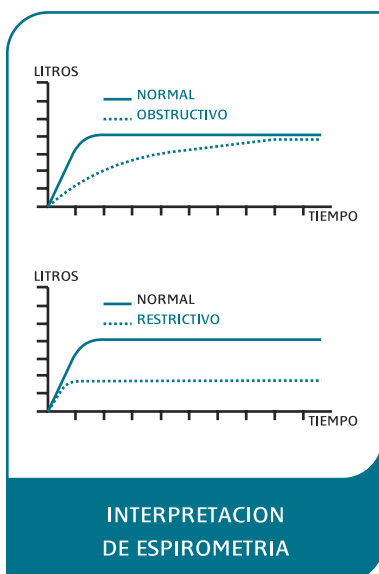
Desde el interior del alvéolo hasta el capilar pulmonar la MR está constituida por:

- > El surfactante que separa el aire de la capa líquida;
- > Una capa líquida;
- > El epitelio alveolar, formado por dos tipos de células: los neumonocitos tipo I y los neumonocitos tipo II;
- > La membrana basal del epitelio alveolar;
- > El intersticio;
- > La membrana basal del capilar pulmonar;
- > El endotelio capilar.

PAGINA 3:

¿Qué es la HEMATOSIS? Es el intercambio alvéolo-capilar de oxígeno, a través del cual el O₂ pasa del alvéolo al capilar pulmonar y el CO₂ difunde del capilar pulmonar al alvéolo.

La relación entre la solubilidad y la raíz cuadrada del peso mo-



INTERPRETACION DE ESPIROMETRIA



lecular de un gas se conoce como COEFICIENTE DE DIFUSIÓN (CD)

$$CD = \frac{S}{R_2PM}$$

El CD de un gas es directamente proporcional a su velocidad de difusión.

ESPACIO MUERTO: Es el aire que no entra en contacto con la sangre capilar pulmonar y por lo tanto no participa en la hematosis: aire de las fosas nasales, laringe, tráquea, bronquios fuente y alvéolos no perfundidos.

PAGINA 4:

En la atmósfera los gases se encuentran en esta proporción:

Nitrógeno (N₂) = 79% = 597mmHg de presión parcial (pp)

Oxígeno (O₂) = 21% = 159mmHg de pp

Dióxido de Carbono (CO₂) = 0,04% = 0,3mmHg de pp

Presión de Vapor de Agua (pVH₂O) = 0,5% = 3,7 mmHg de pp

En el espacio muerto la temperatura corporal modifica las pp de los gases, quedando éstos con los siguientes valores:

pN₂: 563mmHg

pO₂: 149mmHg

pCO₂: 0,3mmHg

pVH₂O: 47mmHg

Dentro del alvéolo y por la mezcla del aire que ingresa con el aire que ya estaba (aire residual), los gases quedan así:

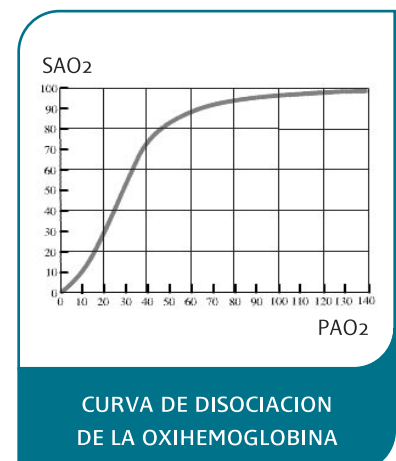
pN₂: 569mmHg

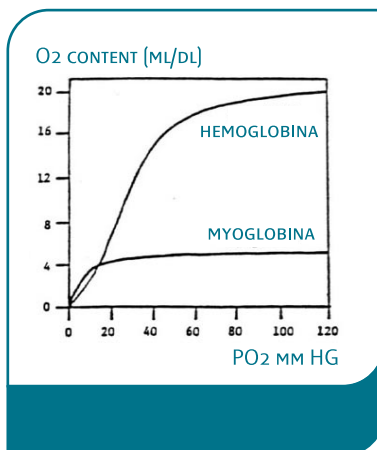
pO₂: 104mmHg

pCO₂: 40mmHg

pVH₂O: 47mmHg

En el capilar pulmonar la sangre llega al alvéolo a través del sector venoso con una pO₂ de 40mmHg y una pCO₂ de 45mmHg y se va con una pO₂ de 97mmHg y una pCO₂ de 40mmHg.





PAGINA 5:

FIGURA 40-8, PAG.559 GUYTON

FIGURA 40-10, PAG.561 GUYTON

PAGINA 6:

El CENTRO RESPIRATORIO se encuentra en el bulbo y la protuberancia y está representado por tres núcleos:

- > el centro respiratorio ventral y dorsal;
- > el centro neumotáxico;
- > el centro apnéustico.

El valor al cual la Hb se encuentra saturada en un 50% se llama P₅₀ y corresponde a valores aproximados de 26-28mmHg.

PAGINA 7:

FIGURA 41-1, PAG.568 GUYTON

PAGINA 8:

FIGURA 37-6, PAG.525 GUYTON