

RESPIRADORES

1.	PRINCIPIO DE LA RESPIRACIÓN PULMONAR.....	2
2.	TERMINOLOGÍA.....	3
3.	FASES DEL CICLO VENTILATORIO	5
3.1.	FASE INSPIRATORIA.....	5
3.2.	CAMBIO DE INSPIRACIÓN A EXPIRACIÓN	6
3.3.	FASE DE EXPIRACIÓN	7
3.4.	CANVIO DE EXPIRACIÓN A INSPIRACIÓN.....	8
4.	ESQUEMA GENERAL DE UN RESPIRADOR.....	10
4.1.	UNIDAD NEUMÁTICA	10
4.2.	MEZCLADOR	13
4.3.	CAUDALÍMETRO.....	13
4.4.	SENSOR DE OXIGENO	13
5.	GASES MEDICINALES.....	14
5.1.	GAS MÉDICO:	14
5.2.	COMPOSICIÓN DEL GAS.....	14
5.3.	EVACUACIÓN DE GASES	14
6.	VAPORIZADORES.....	15
7.	ALARMAS.....	16

1. Principio de la respiración pulmonar

Un respirador pulmonar es un equipo mecánico que “respira”. Es un instrumento no invasivo que permite al paciente respirar de forma artificial. El servicio de ventilación es fundamental en la mayoría de hospitales, que se proporciona tanto a adultos como en tratamientos pediátricos, durante intervenciones quirúrgicas o tratamientos de diversas patologías pulmonares. Las mejoras en los equipos de respiración se han caracterizado por la incorporación de nuevos modos de ventilación y monitorización más complejos de máquina y paciente.

En una primera clasificación, tendremos respiradores para adultos, pediátricos y neonatales. Concretamente, tenemos varias subdivisiones, como de curas intensivas, anestesia, alta frecuencia, jet, respiración asistida de presión positiva y negativa. Por otro lado, los últimos avances tecnológicos han propiciado la aparición de una nueva generación de respiradores, basados en el control por microprocesador, que tienen la capacidad de capturar, procesar y compensar señales de realimentación provenientes del paciente, en tiempo real. Estas señales de realimentación tienen la capacidad de comunicarse con ordenadores, que permiten la monitorización de las señales vitales y el control del tratamiento del paciente.

El acto fisiológico de la ventilación pulmonar es esencial. Durante una ventilación normal, como el diafragma sube, el pecho se expande causando una presión negativa a los pulmones que obliga a entrar el aire. La nariz y la faringe calientan, filtran, humidifican y conducen el gas inhalado hasta las áreas de intercambio de gases (alvéolos). La expiración es un suceso pasivo, que expulsa el cuerpo del dióxido de carbono sobrante.

Los pacientes que tienen fallos de ventilación pueden experimentar dificultades en el acto físico de respirar, a causa de enfermedades neuromusculares, restrictivas u obstructivas pulmonares o dificultades en el intercambio de gases, en el ámbito alveolar, causadas por diferentes enfermedades. Los pacientes que han de pasar por una intervención quirúrgica pueden estar anestesiados antes y durante la operación, a parte de recibir una ventilación después de la intervención, hasta que el cuerpo recupera las suyas funcionales normales. Los respiradores mecánicos se utilizan en los casos en que existe o puede existir un fallo de la función de ventilación normal.

Los respiradores mecánicos se conectan al tubo endotraqueal de un paciente intubado, introduciendo un volumen conocido de gas y aire en los pulmones del mismo. Una vez que el gas sale del equipo se calienta, filtra nebuliza y humidifica externamente, antes de pasar a través del filtro bacteriológico a los conductos del

paciente y los pulmones. El gas inspirado se puede enriquecer con oxígeno a un nivel mayor que el aire ambiental i/o gases anestésicos.

2. Terminología

Respirador: dispositivo automático conectado a las vías respiratorias del paciente y destinado a proporcionar o aumentar su ventilación pulmonar.

Equipo de anestesia: equipo para la distribución y administración de gases y vapores médicos y anestésicos en un sistema respiratorio.

Frecuencia (f): número de respiraciones efectuadas por minuto (r.p.m.)

Volumen correcto o volumen #tidal (V_T): volumen de gas que entra y sale del paciente por respiración.

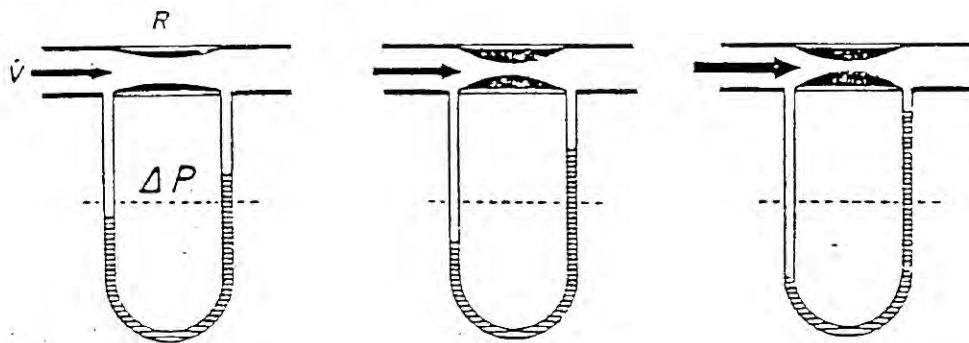
Volumen minuto respiratorio (V): caudal de gas que entra y sale del paciente por minuto.

Presión en la vía aérea: presión en un punto de la vía aérea.

Relación I:E : relación entre el tiempo de las fases de inspiración y expiración.

PEEP: Presión positiva expiatoria final.

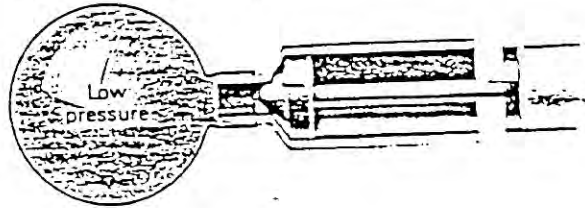
Resistencia: Es la resistencia que supone al #fluxe flujo para atravesar las vías respiratorias del paciente. Se mide en $\text{cmH}_2\text{O/litro/segundo}$.



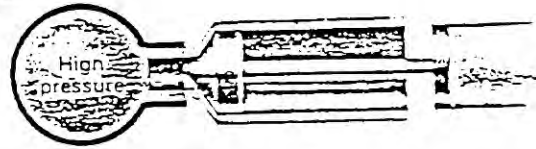
Compliancia: Es la relación entre las variaciones de volumen y las variaciones de presión producidas por los músculos respiratorios.

$$C = \frac{DV \text{ (litres)}}{DP \text{ (cm H}_2\text{O)}}$$

High compliance



Low compliance



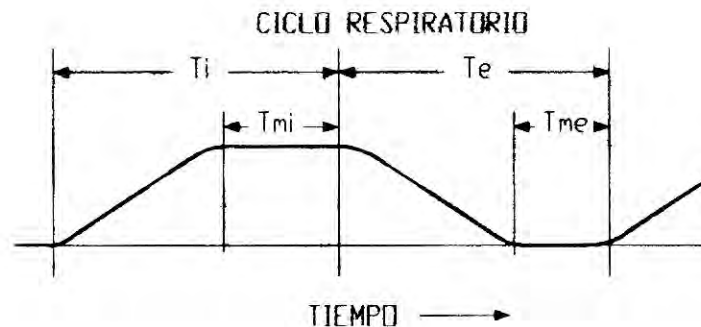
Relación entre las principales variables respiratorias

Relación I:E	= Tiempo de expiración / Tiempo de inspiración
Tiempo de inspiración	= Tiempo de flujo inspiratorio + Tiempo de mantenimiento de inspiración
Tiempo de expiración	= Tiempo de flujo de expiración + tiempo de mantenimiento de expiración
Tiempo de ciclado	= Tiempo de inspiración + Tiempo de expiración
Frecuencia de respiración	= 60 / tiempo de ciclo
Volumen #tidal	= Flujo en litros por minuto * Tiempo de inspiración
Volumen por minuto	= Volumen #tidal * frecuencia de respiración
Flujo	= (Presión de las vías respiratorias – Presión pulmonar) / Resistencia

	Neonatos	1 año	8 años	Adultos
Volumen minutos (litros / minuto)	0,6	1,5	4	8
Frecuencia (resp / minuto)	40	30	20	16
Compliancia (ml / bar)	2,5	10	25	50
Tiempo inspiración (segundos)	0,5	0,66	1	1,25

3. Fases del ciclo ventilatorio

Durante el funcionamiento del equipo, se puede variar la forma de introducir el gas y realizar las pausas respiratorias. Normalmente, la expiración es un acto pasivo, que los respiradores realizan obstruyendo la bronca expiratoria del circuito de respiración de paciente del equipo. Durante la expiración, tenemos la opción de dejar los pulmones a la presión atmosférica o con una presión final de expiración positiva (PEEP). Así, el ciclo de ventilación está formado básicamente por cuatro fases.



- Fase inspiratoria
- Cambio de inspiración a expiración
- Fase expiratoria
- Cambio de expiración a inspiración

3.1. Fase inspiratoria

Esta fase se caracteriza por la forma de onda de flujo del volumen entregado. Por ejemplo, la velocidad a la que se entrega un gas y el mecanismo que determina la forma de onda. Hay cuatro formas básicas, que se pueden conseguir utilizando un generador de flujo o de presión.

1. Forma de onda de flujo sinusoidal

Aunque no se haya establecido formalmente todavía su superioridad clínica, se cree que la forma de onda sinusoidal es la más parecida fisiológicamente a la respiración. Mantiene un flujo de gas acelerado y después decelera en los pulmones. La forma de onda tiene una presión de respiración positiva.

La produce un mecanismo que puede iniciar y mantener de forma rápida un flujo a una velocidad constante durante el tiempo de inspiración deseado. Es la salida típica de un compresor con fuelle o sistemas neumáticos.

3. Forma de onda de flujo decelerado:

Esta forma de onda se caracteriza por subir rápidamente hasta el pico de flujo máximo, siguiendo a continuación una declaración del dicho flujo. Esta deceleración puede ser la respuesta del equipo a la resistencia del sistema pulmonar del paciente o estar programada dentro del sistema respiratorio de la liberación de gas del respirador.

4. Forma de onda de flujo acelerada

Es una forma de onda no muy utilizada, todavía está disponible en los respiradores Servo 900C de Siemens y Erica de Engstrom. Sus ventajas se encuentran en tener un pico de presión menor y una distribución de la ventilación mejor, evitando así sobrepresiones en los pacientes. Es la forma de onda opuesta a la del flujo acelerado.

Durante la fase inspiratoria, se cierra la válvula de expiración del respirador, con el fin de evitar la expiración. Si el control del respirador provoca que la nombrada válvula se mantenga cerrada después de completar el flujo inspiratorio pero antes de empezar la expiración se crea un mantenimiento de la inspiración durante la fase inspiratoria. En la figura se puede ver un período de mantenimiento de inspiración.

3.2. Cambio de inspiración a expiración

El fin de la inspiración e inicio de la expiración depende de los controles de volumen del respirador. El mecanismo que controla este cambio depende de como están los controles de volumen, presión, flujo y tiempo de inspiración del respirador. Hay 6 formas comunes de realizar el cambio de una fase a otra, especificadas a continuación e ilustradas en la figura. La palabra ciclado indica que la primera variable se controla mediante la medida del flujo del respirador. La palabra limitado indica que la segunda variable especificada es la que controla las características de la respiración:

5. Volumen ciclado

La inspiración acaba cuando se ha entregado el volumen preestablecido por el respirador, dentro del límite así establecido por el respirador de presión a las vías respiratorias.

6. Volumen limitado

La inspiración acaba cuando se ha entregado el volumen preestablecido dentro del tiempo especificado.

7. Tiempo ciclado, volumen delimitado

La inspiración acaba cuando se ha entregado un flujo determinado en un tiempo establecido. El volumen depende del flujo.

8. Presión ciclada

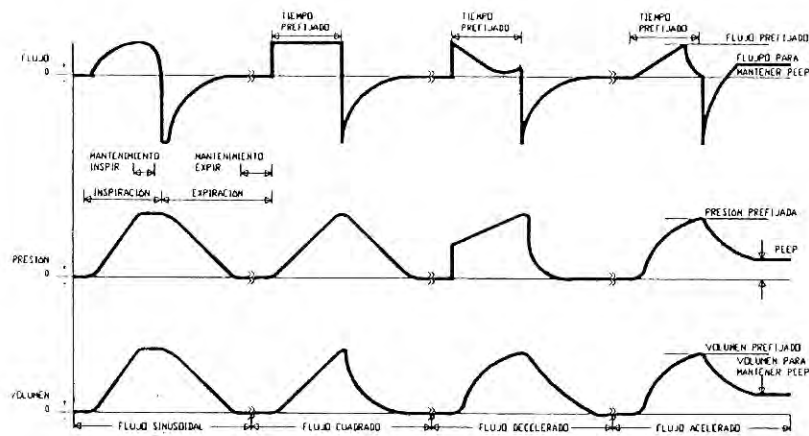
La inspiración acaba cuando se consigue una determinada presión a las vías respiratorias.

9. Tiempo ciclado, presión limitada

La inspiración acaba cuando el respirador entrega el flujo necesario para mantener la presión a vías respiratorias prefijada dentro del límite de tiempo establecido.

10. Tiempo limitado, presión ciclada

La inspiración #para quan es supera el tiempos fijado durante la entrega del flujo necesario para mantener una presión a las vías respiratorias determinada.



Ondas de flujo, presión y volumen en la fase inspiración a expiración

3.3. Fase de expiración

La expiración se inicia cuando el respirador abre la válvula de exhalación, después de acabar la fase inspiratoria (incluyendo el tiempo de mantenimiento de la inspiración). Con esto es permite que el paciente extraiga gas a partir de una presión

final de 0 cmH₂O, que implica una pérdida de volumen rápida. Al final de esta fase, el paciente se queda con un volumen residual o base, conocido como volumen residual funcional (FRV). El tiempo que transcurre entre la finalización del flujo de expiración se conoce como tiempo de mantenimiento de la expiración. En la figura se puede ver esta fase, que va entre el tiempo de mantenimiento de la inspiración y expiración.

En casos de enfermedades restrictivas, es aconsejable aumentar el FRV para propiciar el intercambio de gases a los alvéolos. En este caso, el respirador permite que el paciente expire de forma pasiva, pero manteniendo una presión de base final superior. Este proceso se realiza cerrando la válvula de exhalación antes que el paciente acabe la expiración y manteniendo un flujo continuo de gas. Los terapeutas realizan esta técnica poniendo el PEEP al nivel deseado. El PEEP aumenta el FRV porque éste es proporcional a la presión final de expiración. El PEEP se utiliza en varios modos de ventilación, tal y como se muestra en la figura.

3.4. Cambio de expiración a inspiración

Para cambiar de inspiración a expiración hay cinco mecanismos básicos.

11. Modo controlado

Se utiliza en pacientes que, por razones fisiológicas, estén paralizados, tienen una enfermedad neuro muscular o son incapaces de realizar respiración normal porque están anestesiados. En este modo, el paciente no realiza ningún esfuerzo y no se le permite iniciar un ciclo respiratorio. El respirador funciona de acuerdo a la posición del control de la máquina, entregando el ritmo y volumen seleccionados.

12. Modo asistido

Este modo de funcionamiento está basado en un nivel de disparo sensible al flujo o a la presión. Cuando el paciente realiza un esfuerzo inspiratorio, acciona un mecanismo sensible a la presión o el flujo, se inicia la fase inspiratoria, y se entrega el volumen seleccionado. Por otra parte, el control de BPM inicia la respiración si el paciente no lo hace. Cuando el paciente inicia la respiración un controlador de tiempo que gobierna el BPM se pone a cero.

13. Ventilación controlada intermitente (IMV)

Se consigue manteniendo un flujo de gas continuo en el circuito o utilizando un sistema sensible a la demanda de paciente para proporcionar el gas necesario para la

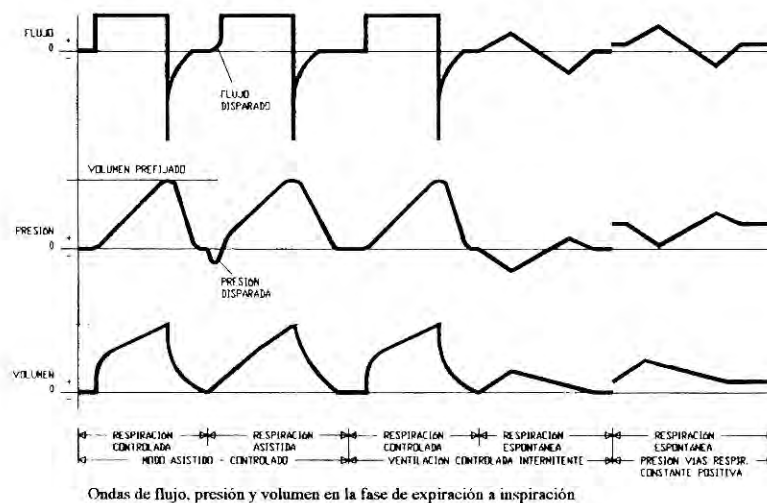
inspiración en una respiración espontánea. El paciente puede respirar de forma espontánea a su rimo entre ciclos respiratorios controlados. Es un método utilizado para ir cortando la dependencia del paciente con el respirador.

14. IMV sincronizado (SIMV)

#La diferencia respecto al modo IMV es que en este modo de funcionamiento, el sistema entrega gas esta sincronizado con el esfuerzo del paciente, de forma que compensa el problema de ciclos respiratorios, común en usar IMV.

15. Presión positiva continua en vías respiratorias (CPAP)

Este modo de funcionamiento permite al paciente respirar de forma espontánea a una presión mayor que el ambiente, como la PEEP, pero sin cambio o con un cambio muy pequeño de presión respecto a la presión de referencia. Son muy útiles para pacientes con una respiración normal con deficiencias en el intercambio de gases.

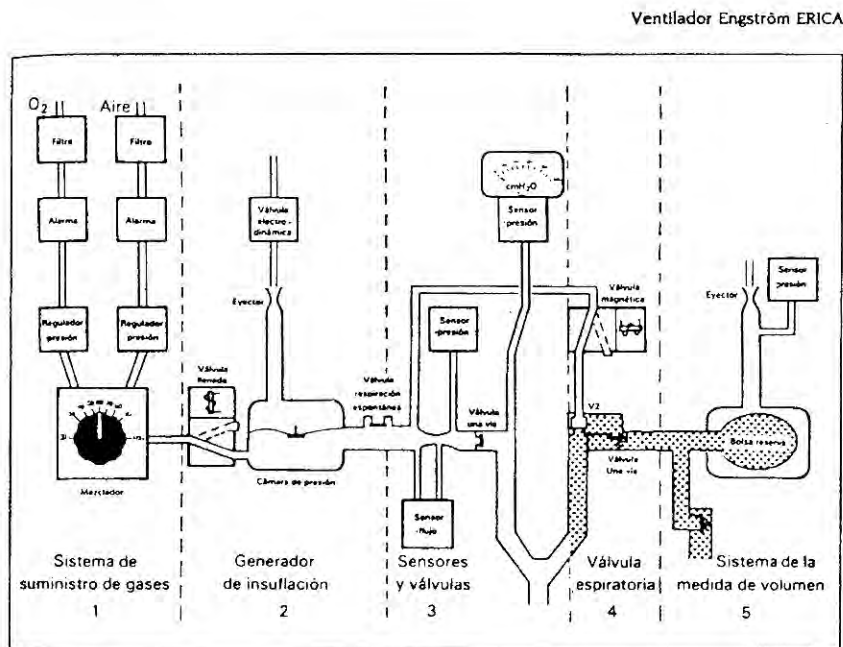


Casi todos los respiradores son capaces de realizar las 4 fases de ventilación en cada ciclo respiratorio: inspiración, cambio a expiración, expiración y cambio a inspiración. La decisión de utilizar cualquier combinación de este modo de funcionamiento depende de las condiciones del paciente, la disponibilidad del respirador, las preferencias del fisiólogo y la habilidad del terapeuta respiratorio.

4. Esquema general de un respirador

4.1. Unidad neumática

Los respiradores se componen principalmente de 5 etapas controladas y monitorizadas por el sistema electrónico.



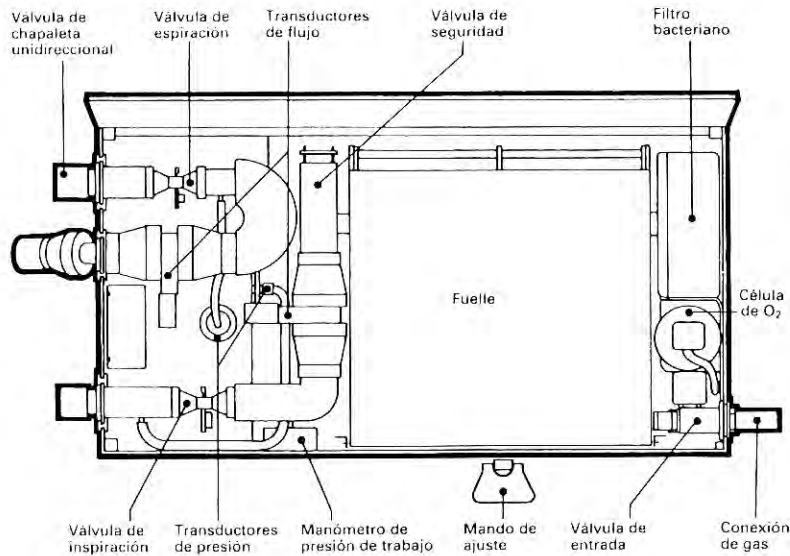
16. Suministro de gases

Comprende la alimentación de gases desde el exterior, el sistema de alarma contra la caída de presión de estos gases y la mezcla en la concentración deseada por el usuario (ver mezclador).

17. Generador de insuflación

La cámara de presión se llena de gas proveniente del mezclador en la concentración de oxígeno prefijada a través de la válvula de llenado (de tipo On/Off). La cámara se vacía por medio del flujo de aire sobre la parte superior de la cámara. Al comprimir la membrana por la parte superior se expulsan los gases de la parte inferior al circuito de paciente. La forma y cantidad que estos fluyen queda determinada por la

válvula de aguja servocontrolada electrónicamente mediante los parámetros de presión, flujo y volumen determinados.



18. Sensores y válvulas

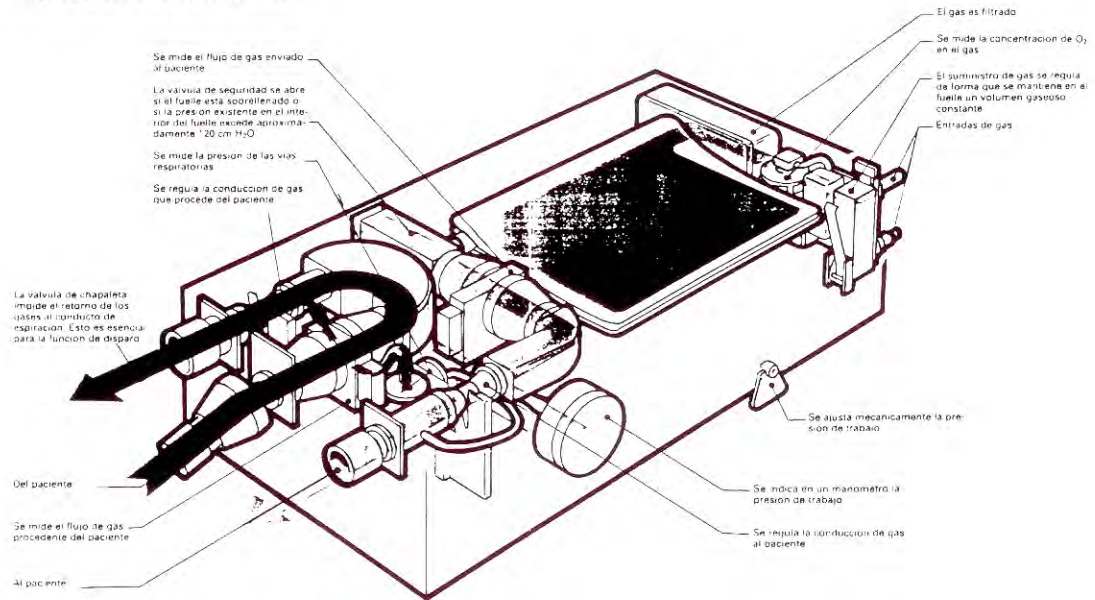
El flujo de gas al paciente se controla mediante sensores y válvulas de esta etapa. La válvula de una vía aísla el circuito de paciente del generador de insuflación y mediante el flujo en un solo sentido evita la contaminación de la cámara de insuflación. Los sensores de presión proporcionan toda la información por los diferentes medidores en el panel frontal (manómetro y espirómetro), así como los datos necesarios que serán procesados y servirán para controlar la válvula electrodinámica.

19. Conjunto de la válvula espiratoria

El conjunto EV comprende una válvula de espiración de control neumático y una válvula de una sola vía.

La válvula de espiración incluye un balón inflable conectado neumáticamente a través de válvulas magnéticas a la cámara de insuflación, para asegurar que siga cerrada durante la inspiración. En la espiración, mediante la válvula magnética, se libera el gas del balón a la atmósfera permitiendo espirar al paciente.

Flujo de gases a través del ventilador



20. Sistema de medida de volumen

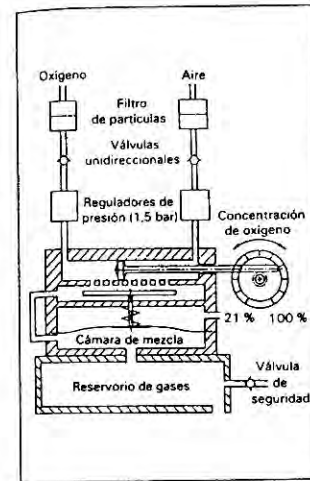
Los gases espirados se recogen en una bolsa de reserva que se vacía durante la siguiente insuflación. El sensor de presión da información del inicio y el final de vaciado, contabilizando el tiempo transcurrido. Dado que el vaciado se realiza a flujo constante, la medida de volumen que contiene la bolsa es inmediata ($\text{volumen} = \text{flujo} * \text{tiempo}$).

4.2. Mezclador

Dispositivo que recibe un suministro separado de oxígeno y otros gases, y los suministra mezclados en concentraciones regulables por el operador.

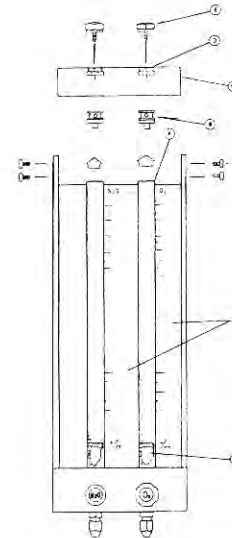
Ajustable de forma continua del 21 % al 100 % de oxígeno.

En el caso de la figura se trata de un pistón móvil dentro de un cilindro con perforaciones radiales equidistantes. La posición del pistón determina la mezcla resultante.



4.3. Caudalímetro

Dispositivo que indica, por unidad de tiempo, el volumen de un gas específico o mezcla de gases que fluyen a través de él.



4.4. Sensor de oxígeno

El funcionamiento de una célula de oxígeno es similar a una pila. La célula de oxígeno consiste en un cátodo, un ánodo y un electrolito de ácido débil. Las moléculas de oxígeno se dispersan a través de una membrana no porosa y son reducidas en el cátodo. La corriente generada entre los electrodos es directamente proporcional a la concentración de oxígeno del gas medido.

La vida útil es de medio año a un año.

5. Gases medicinales.

5.1. Gas médico:

Se entiende por gas medicinal cualquier gas o mezcla de gases destinado a ser administrados los pacientes con finalidades terapéuticas, diagnósticas o profilácticas, o para el uso con instrumentos quirúrgicos.

Gases médicos principales:

- Oxígeno
- Aire comprimido
- Óxido nitroso (protóxido de nitrógeno)

5.2. Composición del gas

Composición del gas inspirado

- 20,9 % oxígeno (O₂)
- 0,08 % dióxido de carbono (CO₂)
- 79 % nitrógeno (N₂)

Composición del gas expirado

- 16 % oxígeno (O₂)
- 4 % dióxido de carbono (CO₂)
- 79 % nitrógeno (N₂)

5.3. Evacuación de gases

Los gases anestésicos son respirados en menor proporción, pero por periodos muy largos, por el personal de quirófanos. Es por ello la necesidad de un buen sistema de evacuación de gases.

Existen tres métodos comunes de evacuación de gases anestésicos:

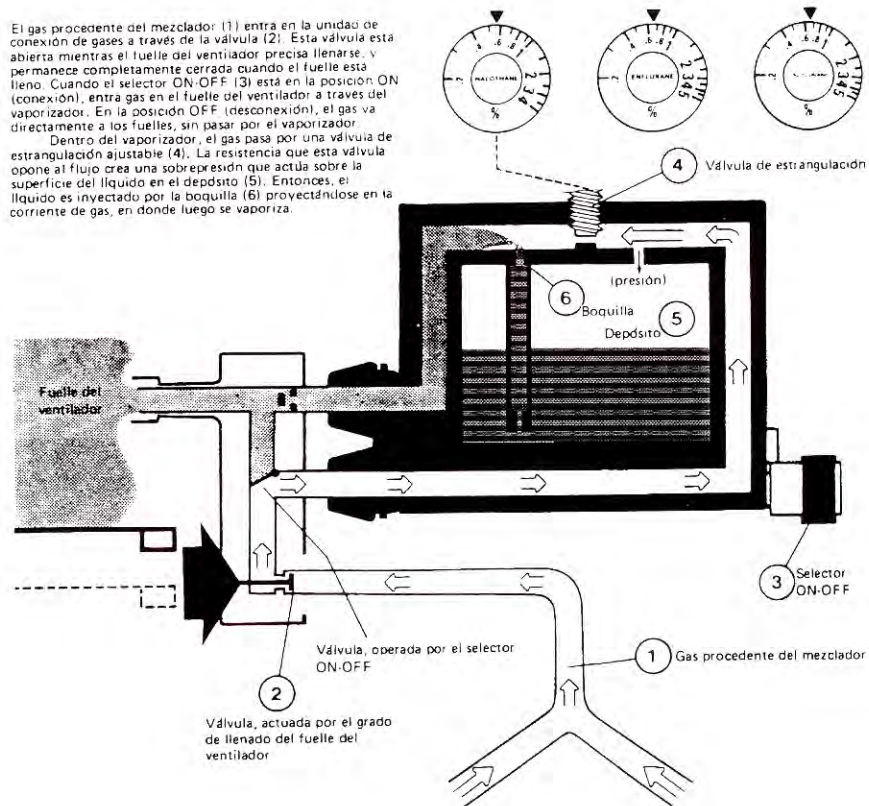
- Por vacío centralizado
- Por red de vacío, de uso exclusivo
- Por extractores locales, tipo Venturi

6. Vaporizadores

Un vaporizador anestésico es un dispositivo que facilita la evaporación del líquido anestésico volátil contenido en su interior a una velocidad que produce una concentración del vapor anestésico en la mezcla gaseosa controlable y predecible.

Líquidos anestésicos:

- Halothano
- Enflurano
- Isoflurano
- Metoxiflurano



7. Alarmas

Los respiradores monitorizan una amplia variedad de parámetros y alarmas para aquellas situaciones que puedan poner en peligro la vida. Es importante que estas alarmas sean revisadas periódicamente. Entre las alarmas obligatorias hay las siguientes:

- Alarma de alta presión
- Alarma de bajo volumen
- Alarma de concentración baja de oxígeno
- Alarma de integridad del sistema respiratorio (desconexión)
- Alarma de fallo de suministro eléctrico
- Alarma de continuidad de la presión
- Alarma de apnea (ventilación controlada intermitentemente o asistida o espontánea)

Xavier Pardell