

# CIRCUÏTS ANESTÈSICS

*13 de decembre del 2010*  
Dra. M<sup>a</sup> Luisa Martínez Villar  
Hospital de Granollers

Dintre del concepte d'aparell o màquina d'anestèsia s'inclouen tota una sèrie d'elements (*Figura 1*) que coincideixen a nivell del circuit anestèsic (CA).

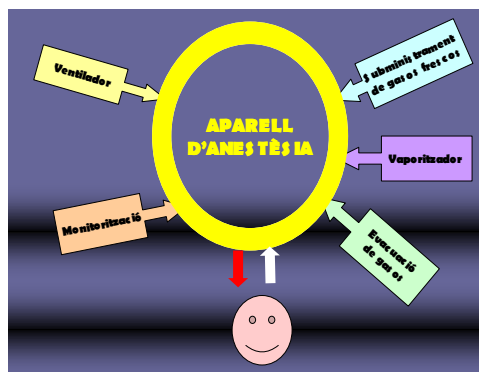


Figura 1

Des d'un punt de vista fisiològic, el CA es considera una prolongació de l'aparell respiratori del pacient. De forma molt esquemàtica no es més que un sistema de canonades encarregat de conduir una barreja de gasos (oxigen, protòxic i/o aire) des de el subministrament de gasos frescos (FGF) cap al pacient i retornar-los des del pacient cap al l'exterior (sistema antipol.lució) (*Figura 2*).



Figura 2

Segons la disposició dels seus components varia l'eficàcia del CA. De totes les configuracions descrites la següent representa una de les més efectives: FGF a la branca inspiratòria, entre la vàlvula unidireccional inspiratòria i l'absorbidor de CO<sub>2</sub>; la vàlvula de sobrepressió i la bossa reservori a la branca espiratòria, entre la vàlvula unidireccional espiratòria i el ventilador (*Figura 3*).

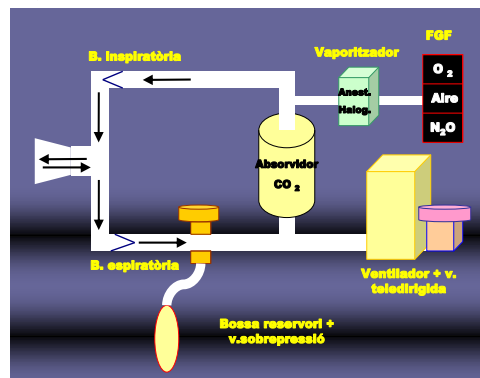


Figura 3

Les propietats que defineixen un circuits són:

- Capacitat.
- Constant de temps.
- Compliança (volum comprimit)
- Resistència.
- Hermeticitat
- Humidificació i escalfament de gasos.
- Absorció i adsorció de gasos.
- Re inhalació de gasos

## Capacitat:

És el volum de gas que cap dins de les estructures que componen el sistema anestèsic (*Figura 4*). Intervé al càlcul de la compliança i de la constant de temps del circuit. Els circuits més eficients són els que tenen una capacitat més baixa.

La majoria de volum es localitza a nivell de la concertina, del ventilador i de l'absorvidor de CO<sub>2</sub> ("canister").

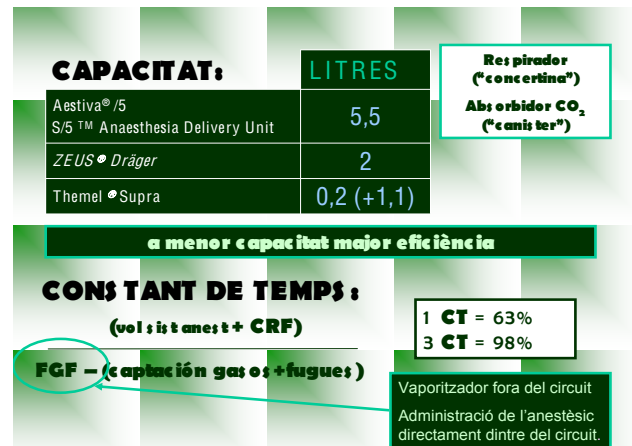


Figura 4

## Constant de temps del circuit:

Correspon al temps que requereix el circuit per canviar la composició dels gasos que per ell circulen. Expressa en minuts la velocitat de canvi per passar d'un estat inicial a un estat final o d'equilibri. Es defineix com el temps necessari per assolir el 63% de l'estat final. Es requereixen tres constants de temps (C<sub>T</sub>) per arribar al 98% del canvi. Un circuit amb una C<sub>T</sub> petita ens permet fer canvis ràpids a la composició dels gasos inspirats, en canvi, una C<sub>T</sub> gran fa que els canvis siguin més lents.

$$C_T = (\text{volum del sistema anestèsic} + \text{Capacitat residual funcional}) / \text{Fluix de gasos frescos} - (\text{captació de gasos} + \text{fugues})$$

La constant de temps és directament proporcional al volum de distribució dels gasos que està constituït per la suma del volum del sistema anestèsic (capacitat del sistema) i el de la capacitat funcional pulmonar (espai alveolar més espai mort anatómic). És inversament proporcional al flux de gasos frescos i a la captació de gasos. La captació de gasos a nivell pulmonar és irrellevant quan es fan servir fluxos de gas fresc alts, però no ho és quan aquest s'aproxima al consum metabòlic d'oxígen (Circuit tancat).

## Compliança:

És la quantitat de volum de gas que es pot comprimir dins un sistema pel fet de aplicar-li una pressió positiva. Es mesura en ml/cm H<sub>2</sub>O, es a dir, una variació del volum en relació a una variació de pressió (dV/dP). És secundari a la propietat de compressibilitat dels gasos i a la distensibilitat dels components del sistema. És deriva de l'aplicació de la Llei de Boyle (per a una massa fixa de gas a temperatura constant, el producte de la seva pressió pel seu volum es manté constant). Depèn de la capacitat del sistema i de la possibilitat d'expandir-se (de la distensió de les seves estructures) amb l'augment de pressió. La propietat de compressibilitat dels gasos es manté constant en el temps, a diferència del que succeeix amb la distensibilitat dels sistema que pot incrementar-se amb l'ús i esterilitzacions repetides. Els circuits més eficients són aquells que tenen una baixa compliança.

Com a conseqüència a cada cicle ventilatori es genera un volum de gas comprimit, que no es inhalat pel pacient. La magnitud d'aquest depèn de la quantitat de gas sotmès a l'increment de pressió (la capacitat de tot el circuit més la del ventilador) i de la pressió màxima que s'assoleixi dins el sistema (pressió pic a vies aèries) (Figura 5). Aquesta disminució al volum corrent que realment és inhalat pel pacient en relació al volum administrat pel circuit, pot tenir conseqüències nefastes en el cas de certes situacions (durant l'anestèsia pediàtrica i algunes patologies toracopulmonars) en que es requereixen patrons ventilatoris amb baixos volums corrents, freqüències respiratòries altes i es generen amb pressions d'insuflació elevades.

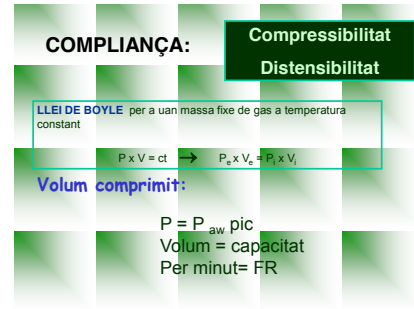


Figura 5

El sistema anestèsic es considerat, des del punt de vista funcional, com una extensió de les vies respiratòries del pacient. Ofereix una resistència al pas dels gasos que es tradueix en un augment del treball respiratori, en el cas de la ventilació espontània, o una dificultat espiratòria, en el cas d'una ventilació mecànica. Es defineix la resistència com a la caiguda de pressió que es produeix al llarg d'un tub com a conseqüència del flux d'un fluid per ell (figura 6).

El grau de resistència depèn del tipus de flux, laminar o turbulent. Aquesta és major en cas d'un flux turbulent. Quan hi ha un flux laminar la resistència té una relació inversament proporcional a la quarta potència del radi (Llei de Hagen-Poiseville) i directament proporcional a la viscositat del fluid. Però amb un flux turbulent la resistència és inversament proporcional a la cinquena potència del radi i depèn més de la densitat del fluid que de la seva viscositat (Eddies). El pas d'un flux laminar a un turbulent depèn de diversos factors: nombre crític de Reynolds que relaciona la velocitat crítica, la densitat i la viscositat; la estructura de la paret interna del tub (presència d'irregularitats) i del coeficient viscositat/densitat.

En un sistema anestèsics existeixen àrees de flux laminar i de flux turbulent. Les zones de major resistència corresponen a les disminucions brusques de calibre (tub endotraqueal, acolçament de les tubuladures) i els connectors angulats (aparició d'àrees de flux turbulent).

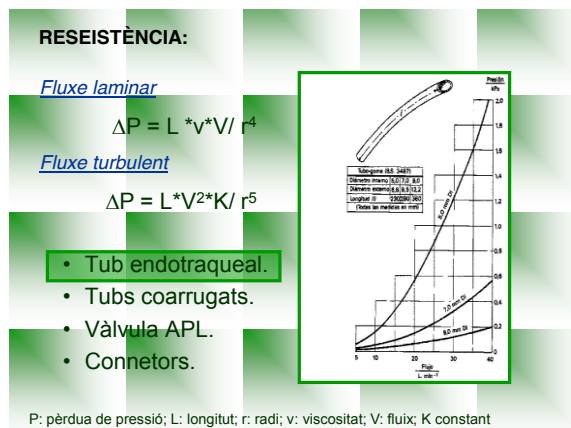


Figura 6

## Absorció i Adsorció dels gasos anestèsics:

Es refereix a la captació que realitza el sistema anestèsic dels gasos i vapors anestèsics, tant a la superfície ((adsorció) com a la profunditat (absorció). La captació dels anestèsics halogenats per la cal sodada, sobretot quan aquesta es desseca, respon a un procés d'adsorció.

El procés d'absorció és el resultat d'una dilució de la substància en profunditat i depèn dels coeficients de dilució. Aquest procés és el responsable de la captació dels anestèsics inhalatoris per diferents components dels circuit anestèsic (tubuladures, bossa reservori, ventilador...).

Aquests processos de captació d'anestèsic pels components del circuit són els responsables de l'allargament de la inducció i del despertar. A l'inici de la inducció és requereix la saturació d'aquests pel agent inhalatori abans d'iniciar l'augment a la barreja gasosa. Quan al despertar s'inverteix el gradient de concentracions i es produeix la alliberació de l'anestèsic que pot ser lenta depenent del seu coeficient de dilució en aquell material. Aquesta alliberació d'anestèsic pot ser perllongada en el temps en petites quantitats desencadenant una hipertèrmia maligna o una hepatitis tòxica en pacients sensibles.

## Reinhalació de gasos:

El concepte de reinhalació designa la reinspiració dels gasos espirats al cicle respiratori previ (*Figura 7*). Aquests gasos poden ser:

- *gasos espirats sense modificar*: hi ha risc de hipercàpnia i hipòxia que són més importants durant la ventilació espontània. Es considera que el grau de reinhalació és significatiu quan: durant la ventilació espontània hi ha un augment de la ventilació minut com a mínim d'un 10% amb un increment o no a la  $Pa\ CO_2$ ; durant la ventilació controlada amb un volum minut constant, quan hi ha un increment de 5 mm Hg a la  $Pa\ CO_2$ .
- *gasos espirats depurats de  $CO_2$  i enriquits amb  $O_2$  i gasos anestèsics*: aquest és el principi de l'anestèsia a baixos fluxos.

Les principals avantatges de la reinhalació són l'aprofitament dels gasos i vapors anestèsics, la disminució de la contaminació ambiental (quiròfans, atmosfèrica) i el manteniment de l'escalfament i humidificació dels gasos.

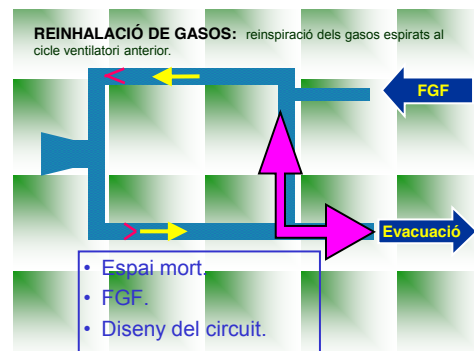


Figura 7

La quantitat de gas reinhalat depèn:

- *flux de gasos frescos*: el grau de reinhalació és inversament proporcional al flux de gasos frescos. Per que existeixi reinhalació es requereixen fluxos inferiors a la ventilació minut del pacient. Per tant l'eficiència del flux de gasos per evitar la reinhalació també depèn del patró ventilatori del pacient (tipus de ventilació espontània o mecànica; duració de la inspiració; duració de l'espiració; duració de la pausa espiratòria).

- *Espai mort mecànic*: correspon a una prolongació de l'espai mort anatòmic. La seva composició gasosa és diferent segons el moment del cicle respiratori i el disseny del circuit, però per definició són reinhalats a cada cicle ventilatori sense cap canvi a la seva composició. Poden haver-hi tres tipus diferents de gasos: gas de l'espai mort anatòmic amb una composició similar als gasos inspirats saturada de vapor d'aigua a uns 32°C; gas alveolar saturat de vapor d'aigua a temperatura corporal ric en CO<sub>2</sub> i pobre en O<sub>2</sub>; gas de composició mixta de les dues anteriors. Anatòmicament correspon a: mascareta i tub endotraqueal, mascareta laríngea o cànula de traqueotomia; segment pacient o axial de la connexió en "Y" o en "T" al circuit filtre; part inicial dels circuits Mapleson; segment pacient de la vàlvula de no reinhalació. Es considera una prolongació de l'espai mort anatòmic. S'ha de tenir en compte a l'hora de calcular el volum efectiu de gasos que intervé a la ventilació alveolar, per tant ha de ser el mínim possible.

$$V_A = (V_T - V_D) \times f = [V_T - (V_{D \text{ pacient}} + V_{D \text{ aparell}})] \times f$$

V<sub>T</sub>: volum corrent

V<sub>D</sub>: volum espai mort

f: freqüència respiratòria

V<sub>A</sub>: ventilació alveolar.

- *disseny del circuit* (veure: Tipus de circuits anestèsics).

## Hermeticitat del circuit:

Pel correcte funcionament es requereix que un circuit anestèsic sigui hermètic, es a dir, que no tingui fuites en els seus components que permetin la sortida dels gasos o l'entrada d'aire procedent d'una font diferent al subministrament de gasos frescos (aire atmosfèric; aire motor del ventilador).

Els punts més freqüents de fuga són: connexions; vàlvules; i, el baló de pneumotapomament del tub endotraqueal. La magnitud de la fuga depèn del diàmetre del forat de fuga i de la pressió al circuit anestèsic (són més importants durant la ventilació a pressió positiva que durant la ventilació espontània). Les conseqüències de l'existència d'una fuga dintre d'un circuit anestèsic són més importants a mesura que es disminueix el flux de gasos frescos. Depenent de la seva magnitud donen lloc a hipoventilació (per disminució del volum corrent real administrat al pacient) amb hipòxia i hipercàpnia, i despertar intraoperatori (per pèrdua d'agent inhalatori o per dilució en cas d'entrada d'aire). Per tant, es fa obligatori la realització d'una prova de fuga abans d'utilitzar un circuit anestèsic. Els aparells d'anestèsia actuals disposen d'una fase d'auto test que inclou la verificació d'absència de fuites.

### *Proves de fuites:*

Hi ha un gran nombre d'elles, ja que, existeixen una gran diversitat de dissenys de màquines d'anestèsia. Els més emprats actualment i reconeguts com a vàlids a nivell internacional són: *Test de fuga de pressió positiva* i el *Test de fuga de pressió negativa*. Aquest últim és obligatori realitzar-lo a aquells aparells que disposen d'una vàlvula de diagnòstic. És considerat com el Test universal de fuites.

Malgrat tot, el més emprat és el *Test de pressió positiva*. Aquest consisteix en pressuritzar el sistema, mitjançant el flux d'oxigen d'emergència, mantenint alhora ocluida la connexió al pacient. Si es manté constant la pressió dins el circuit es verifica la integritat

interna del circuit. En cas de la existència d'una vàlvula de diagnòstic, només es comprova la part compresa entre aquesta vàlvula i el segment d'unió al pacient. La magnitud de la fuga es calcula observant quin volum de gas es necessari aportar als sistema, obrint el rotàmetre, per mantenir una pressió constant dins seu.

El *Test de pressió negativa* és més complexa de realitzar, però és més sensible que l'anterior (detecta fuites de fins a 30 ml/min), és volum independent, no depèn de la compliança de la bossa reservori ni de les tubuladures, no cal un coneixement profund del disseny intern de l'aparell i és universal. Per a realitzar-lo es col·loca una pera de succió al segment de connexió al pacient i si es manté la succió durant un mínim de 10 seg es verifica l'absència de fuites.

Els circuits circulars requereixen també la comprovació del correcte funcionament de les vàlvules unidireccionals (*Test de flux*), ja que, es poden obstruir per la presència de condensació o de cossos estranys.

## Humidificació i escalfament dels gasos:

El mecanisme fisiològic d'escalfament i humidificació dels gasos inspirats desapareix durant la ventilació artificial al no passar aquests per les cavitats nasals ni per l'orofaringe. La inspiració d'aire sec i fred produeix una alteració del funcionament de l'epiteli ciliat de les vies respiratòries amb un espessament del moc i inclòs ulceració de l'epiteli. Es fa necessari l'aport de calor i humitat al circuit. Això s'aconsegueix mitjançant la interposició d'humidificadors i intercanviadors d'escalfor. Dintre d'un circuit circular aquest aport es realitza pe l'absorbidor de CO<sub>2</sub>. La seva efectivitat augmenta a mesura que es disminueix el flux de gasos frescos.

## COMPONENTS DEL CIRCUIT ANESTÈSIC

L'estructura bàsica d'un circuit anestèsic està constituïda per un segment d'Suministrament de gasos frescos, un segment de connexió al pacient i un segment de sortida dels gasos sobrants. Els elements que la formen són:

- Subministrament de gasos frescos (SGF): format pels flutàmetres d'oxigen, nitrós i aire.
- Tubs coarrugats: serveixen de conductors, a vegades dipòsits, dels gasos. Tenen diferents composicions (cautxú, polietilè, silicona). Tenen unes mides estàndards (longitud de 110 a 130 cm; diàmetre intern de 22 mm pels adults i 15 mm pels pediàtrics) que els confereixen una capacitat equivalent a la d'un volum corrent mitjà. Ofereixen una resistència al pas dels gasos (ha de ser inferior a 0,15 cm H<sub>2</sub>O per 100 cm de longitud i un flux de 30 L/min), són elàstics (1-4 ml/cm H<sub>2</sub>O els de cautxú i 0,3 a 0,8 ml/cm H<sub>2</sub>O els de polietilè) i tenen la capacitat d'absorbir els gasos i vapors anestèsics en major o menor quantitat depenent del material que estan fets.
- Bossa o baló reservori: és un dipòsit de gran elasticitat (els de cautxú acumulen fins a 50 –60 L sense augment de pressió) que esmorteix els increments de pressió dins del circuit evitant el barotraumatisme. Ha de tenir una capacitat mínima equivalent a un volum corrent, ja que, durant la ventilació espontània i manual actua recollint els gasos espirants. També ens informa de la ventilació del pacient per percepció visual o tàctil.
- Vàlvules:
  - *Vàlvula d'escapament regulable*: la seva funció és deixar anar part de la barreja de gasos quan la pressió dins del circuit assoleix un valor determinat (pressió d'obertura) que és regulable. La pressió d'obertura és baixa (0,5 a 2 cm H<sub>2</sub>O) per a la respiració espontània i elevada per a la manual i controlada. Quan es troba oberta ofereix una resistència de 0,5 a 2 cm H<sub>2</sub>O. Rep diferents denominacions: *overflow valve, pop-off valve, blow-off valve, APL (adjustable pressure-limiting valve), relief valve, v. de Heidbrink, v. de Waters, v. de pressió límit, v. de sobrepressió, v. espiratòria*.
  - *Vàlvula unidireccional*: són dispositius que fan que hagi un únic sentit de circulació de gasos independentment del moment del cicle respiratori. També poden ser anomenades: *vàl. Direccional, vàl. De bóveda, vàl. Antiretorn o vàl. Separadora*. El seu funcionament és passiu, actuen per l'existència d'un gradient de pressions a ambdós costats de la vàlvula. Generalment n'hi han dues, una inspiratòria i altre espiratòria, formant part d'un circuit circular. Les més emprades actualment són les de càpsula. Estan constituïdes per un disc que oclueix de forma intermitent el pas dels gasos. Quan aquestos travessen la vàlvula en sentit ascendent produeixen la seva obertura, si hi ha un retorn dels gasos en sentit contrari el disc descendeix produint l'obturació de la vàlvula impedit el retorn dels gasos (figura 8). El seu mal funcionament és causa de reinhalació i augment de l'espai mort.
  - *Vàlvula de no reinhalació*: actuen dirigint els gasos frescos cap al pacient (segment inspiratori) i recondueix els gasos espirats cap a l'ambient o cap al sistema d'eliminació impedit que siguin reinhalats (figura 9). Es caracteritzen per tenir una baixa pressió d'obertura i de tancament, baixa resistència, mínim espai mort, per ser lleugeres i de material transparent i per ser fàcils de netejar i esterilitzar. A la taula 1 s'esquematitzen els diferents tipus amb les seves principals característiques. Si no hi ha una oclusió total del disc, ja sigui per un excés d'humitat, per l'electricitat estàtica o per un cos estrany, es produeix reinhalació dels gasos.
- Filtres: actuen protegint al pacient i al sistema anestèsic envers microorganismes i partícules vehiculitzats amb els gasos i a l'entorn envers als contaminants exhalats pel pacient. També poden actuar com a intercanviadors de calor i humitat. Han de tenir una eficàcia superior al 99% en bloquejar als virus i bacteris. Hi ha de dos tipus: membranes fibroses compactes amb porus de petit diàmetre,



però amb una gran superfície; materials que actuen creant camps electromagnètics, constituents per fibres menys denses però amb porus de gran diàmetre.

- Absorbidors de CO<sub>2</sub>: són substàncies que transformen, mitjançant una reacció química (tipus neutralització d'un àcid per una base) el CO<sub>2</sub> produït durant la respiració alveolar. Com a producte intermedi es genera àcid carbònic, que es combina amb un hidròxid alcalí formant carbonat, aigua i calor, productes finals del procés (Taula 2). També contenen un indicador (violeta d'etilè) que canvia de color segons el pH i que és indicatiu del grau d'esgotament del absorbent. Tradicionalment hi han dos tipus de substàncies: la cal sodada i la cal baritada. Si bé totes dues contenen hidròxid càlcic, es diferencien a la resta de la seva composició, la qual cosa, dona lloc a dues reaccions amb diferents productes i propietats físiques (Taula 2). Quan aquestes substàncies es combinen amb alguns anestèsics inhalatoris es generen haloalcalins que poden esdevenir tòxics, si bé, això únicament ha estat confirmat en animals. La combinació de halotà amb cal sodada genera BCDFE (2-Bromo-2Cloro-1,1-difluoretene) i la combinació de sevoflurà amb cal sodada genera Component A (2-fluorometoxi-1,1,3,3,3-pentafluoro-1-propene) associat a nefrotoxicitat en rates. La quantitat d'haloalcalins produïda és proporcional a la concentració de bases fortes (hidròxid de sodi o de potassi) presents a la cal, i, en el cas del sevoflurà es potencia amb la dessecació i escalfament d'aquesta. Recentment ha aparegut una nova substància anomenada Amsorb, que és inactiva envers als anestèsics inhalatoris, ja que careix de la presència d'hidròxid de sodi i de potassi a la seva composició, incorporant sulfat de calci i polivinilpirrolidina que li confereix duresa i per conferir-li consistència porosa. La combinació de desflurà, enflurà o isoflurà amb una cal sodada deshidratada (presència de menys del 90% del seu contingut d'aigua) genera la formació de CO. Aquest fenomen també es relaciona amb la presència de Na OH i KOH a l'absorbidor.

- Canister: són els recipients que contenen l'absorbidor de CO<sub>2</sub>. Per ells passen els gasos del circuit, en sentit ascendent, essent una part important per a la determinació de la constant de temps del circuit, també poden incrementar la resistència d'aquest (a major diàmetre i menor alçada menor resistència). La zona de major absorció està localitzada al centre del recipient, ja que, a la zona perifèrica és a on es troba el pas de menor resistència per als gasos, per tant, travessen a ràpida velocitat i no es produeix una absorció adequada del CO<sub>2</sub>. Per augmentar la seva eficàcia es col·loquen envans divisoris als recipient o dos canisters en sèrie. El canister ha de tenir una capacitat mínima equivalent a un volum corrent (els grànols equivalen al 50% del seu volum).

- La unió dels components anteriors es realitza mitjançant connectors i manegots, si són components de diàmetres similars, o adaptadors, si són estructures de diferent calibre. Poden ser rectes, acolçats, en forma de "Y" o de "T". El seu diàmetre intern és de 15 mm o 22mm. Produeixen una resistència al pas dels gasos, que pot ser important en el cas dels acolçats, i tenen risc de desconnexió podent ser causa de fuites dins del circuit.

Actualment tots aquests elements es troben formant una unitat integrada, juntament amb el vaporitzador, ventilador i sistemes de monitorització, dintre de la màquina d'anestèsia, també anomenada més recentment, Estació de treball.

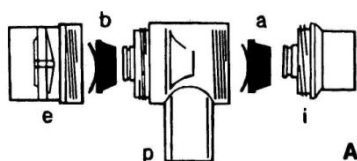
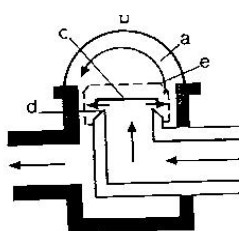


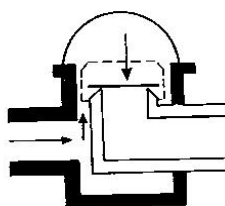
Figura 9: *Vàlvula de no reinhalació Ambu E*. i: segment inspiratori; e: segment espiratori; p: segment pacient; a: vàlvula inspiratòria; b: vàlvula espiratòria.

	ESPAI MORT (ml)	RESISTÈNCIA / FLUIXE (cm H <sub>2</sub> O/l/min)	Observacions
AMBU E	12	0,6-2,1 / 5-40	Muntatge difícil, fàcilment obstrucció per secrecions Ús pediàtric
AMBU-HESSE	17	0,3-0,7 / 5-40	
MARK III	6	1,5 / 50	
MARK III UNA VALVA	8	1 / 15	
PAEDI	0,8	1-5,5 / 5-20	
RUBEN	9	0,2 (pot augmentar a 3,5) / 50	
DIGBY-LEIGH	7	↑↑	
LAERDAL	9	↓↓	

Taula 1: Principals vàlvules de no reinhalació.



Inspiració



Espiració

Figura 8: Vàlvula unidireccional. a: cambra amb el segment d'entrada i segment de sortida; b: bóveda de plàstic transparent; c: disc obturador de mica, teflón o nylon; e: garjola metàl·lica que impedeix els moviments laterals del disc i limita els moviments ascendants.

Taula 2: Absorbidors de CO<sub>2</sub>

	Composició	Reacció	Propietats
<b>Cal sodada</b>	80% hidròxid càlcic 4% hidròxid sòdic 1% hidròxid potàssic 15% aigua	$CO_2 + H_2O \rightarrow CO_2H_2$ $CO_2 + 2 NaOH (KOH) \rightarrow CO_3Na_2(CO_3 K_2) + 2H_2O + calor$ $CO_3Na_2(CO_3 K_2) + Ca(OH)_2 \rightarrow CO_3Ca + 2 NaOH (KOH)$	Aquesta reacció es produeix de forma progressiva des de la superfície (formada per hidròxid sòdic, hidròxid potàssic i aigua) cap al centre (format pel hidròxid càlcic) dels grànols i és indispensable la presència d'aigua. Es neutralitza de 15 a 20 L de CO <sub>2</sub> per cada 100 gr de cal sodada. A mesura que s'esgota es desseca i endurís (per la creació de CO <sub>3</sub> Ca). Es pot regenerar parcialment amb el repòs.
<b>Cal baritada</b>	80% hidròxid càlcic 20% hidròxid bari	$Ba(OH)_2 \cdot 8 H_2O + CO_2 \rightarrow BaCO_3 + 9 H_2O$ $9 H_2O + 9 CO_2 \rightarrow 9 H_2CO_3$ $9 H_2CO_3 + 9 Ca(OH)_2 \rightarrow 9 CaCO_3 + 18 H_2O$ $2 KOH + 9 H_2CO_3 \rightarrow K_2CO_3 + 2 H_2O$ $Ca(OH)_2 + K_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 + 2 KOH$	Absorbéis 27 L de CO <sub>2</sub> per cada 100 gr de cal. No es pot regenerar. Major formació de CO i component A.
<b>Amsorb</b>	70% hidròxid càlcic 0,7% clorhidro càlcic 0,7% sulfat càlcic 0,7% polivinilpirrolidina		Fa servir clorur càlcic com a humidificador

%	Ca(OH) <sub>2</sub>	KOH	NaOH	CaCl <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	PVP
Cal sodada	80	1	4		15	
Drägerorb® Free	74 – 82	0	< 2	3 - 5	14 – 18	
Amsorb	> 75	0	0	0,7	14,5	0,7
Sodasorb II	89	3	2,68	0	12 - 19	

## TIPOS DE CIRCUÏTS ANESTÈSICS

Els circuits anestèsics han estat classificats per diferents autors basant-se en criteris, anatòmics, funcionals i mixtes. A continuació farem servir una classificació funcional, que es basa en la existència o no de rehalació dels gasos espirats i la manera d'eliminar-ne el CO<sub>2</sub>.

Sense rehalació de gasos espirats	Sistemes amb baló normal i autoinflable	
	Sistemes amb baló autoinflable més vaporitzador	<i>Tri Service Anesthetic Aparatus de Penlon</i>
		<i>PAC (Range Portable Anaesthesia Sistem) de Ohmeda</i>
	Sistemes amb ventilador	
Sistemes amb rehalació de gasos espirats	Sense absorció de CO <sub>2</sub>	<i>Sistema A i derivats de Mapelson</i>
		<i>Sistema B de Mapelson</i>
		<i>Sistema C de Mapelson</i>
		<i>Sistema D de Mapelson – Sistema de Bain</i> <i>Sistema E de Mapelson, peça en “T” o tub d’Ayre</i>
		<i>Sistema F de Mapelson - Sistema de Jackson-Rees</i>
		<i>Sistemes combinats</i>
	Amb absorció de CO <sub>2</sub>	<i>Circuit circular</i>

### Sistemes sense rehalació de gasos espirats

Tenen com a element comú la presència d'una vàlvula de no reinhalació que dirigeix la barreja de gasos des de la font de subministrament de gasos frescos cap al pacient i posteriorment cap a l'ambient o el sistema d'eliminació impedit la seva reinhalació. Permeten realitzar una ventilació espontània i manual assistida i poden ser emprats per a reanimació i per anestèsia.

Es caracteritzen per tenir una compliança, resistència i constant de temps baixes. La composició de la barreja de gasos inspirada pel pacient és idèntica a la dels gasos frescos administrats. No requereixen gasos comprimits ni electricitat pel seu funcionament. El seu principal inconvenient és que un mal muntatge de la vàlvula pot ser causa de fuites anterògrades i retrògrades. Tanmateix, ofereixen un difícil control visual de l'efectivitat de la ventilació.

El més conegut és el sistema amb baló autoinflable (Ambú o Laerdal) àmpliament utilitzat a la reanimació i durant els transports curts. Permet ventilar només amb aire atmosfèric, però per augmentar el seu rendiment es sol associar a un element enriquidor per obtenir una FiO<sub>2</sub> propera a 1. Aquest es troba a l'entrada del gasos frescos i pot ser un tub coarrugat amb el subministrament de gasos frescos al seu extrem proximal i obert a l'extrem distal. Aquest sistema és voluminós, però alhora senzill de muntar. També pot ser una bossa flexible tancada (Figura 10). Aquest altre sistema és més complex, ja que, requereix dues vàlvules, una d'entrada i una altre per la sortida dels gasos sobrants i, a més a més, ofereix una major resistència a l'entrada dels gasos.

El sistema d'anestèsia amb ventilació automàtic està constituït per un ventilador que insufla una barreja de gasos a un tub coarrogat, que constitueix el segment inspiratori, i finalitza a una vàlvula de no reinhalació que per un extrem connecta al pacient i per l'altre a l'ambient o al sistema d'evacuació (Figura 11). Aquest sistema requereix un flux de gas fresc com a mínim igual a la ventilació minut del pacient.



Figura 10: Sistema Ambú amb dipòsit.

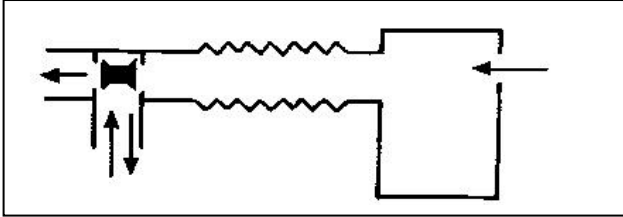


Figura 11: Sistema anestèsic

## Sistemes amb reinhalació de gasos espirats

### Sistemes sense absorció de $\text{CO}_2$ : Sistemes Mapleson

Són un conjunt de circuits amb una constitució anatòmica semblant. Els manquen vàlvules unidireccionals i vàlvules de no reinhalació. L'existència o no de reinhalació i la seva magnitud depèn de : l'estructura del circuit, del patró ventilatori del pacient ( ventilació minut, freqüència respiratòria, relació I:E), del flux de gasos frescos i del tipus de ventilació (espontània o controlada). Tenen una compliança, resistències i constant de temps baixes. La seva estructura es senzilla, lleugera, poc voluminosa i de fàcil manteniment. El seu principal inconvenient és l'alt consum de gasos frescos, ja que, el grau de reinhalació és inversament proporcional al flux de gasos frescos i directament proporcional a la ventilació minut del pacient.

Els component bàsics de la seva estructura són: un sistema de subministrament de gasos frescos (SGF), una vàlvula espiratòria (VE), un tub amb funció de reservori, una connexió al pacient i una bossa reservori (BR). Segons l'ordenació d'aquest elements es poden diferenciar tres grups funcionals (figura 12):

- *sistema A o circuit de Magil*: té la VE propera a la connexió al pacient i el SGF a l'extrem oposada prop de la BR.
- *Sistemes B i C* : la VE és a prop de la connexió al pacient així com el SGF. El tub i la BR constitueixen un extrem cec a on es barrejan els gasos de l'espai mort i alveolar juntament amb els gasos frescos.
- *Sistemes D (circuit de Bain), E (peça en T d'Ayre) i F (circuit de Jackson Rees)*: el SGF és proper a la connexió al pacient i la VE és a l'altre extrem del circuit.

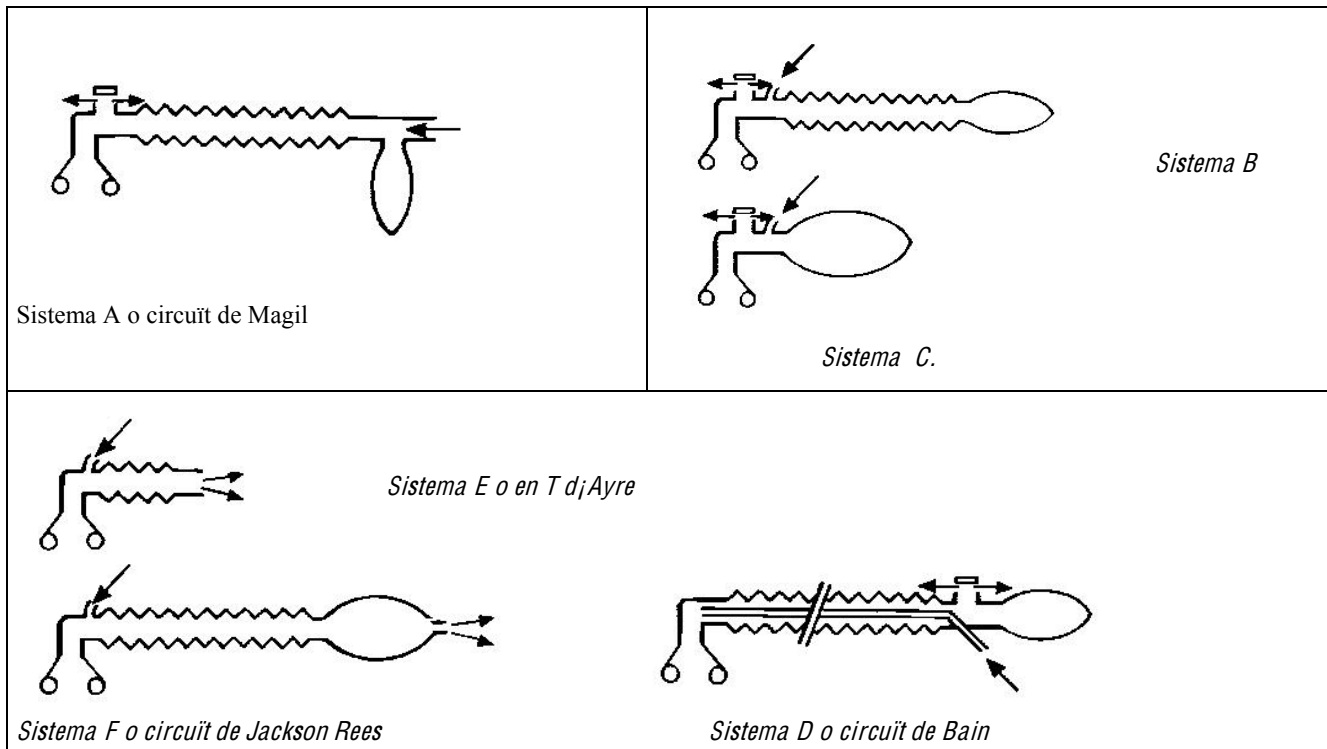


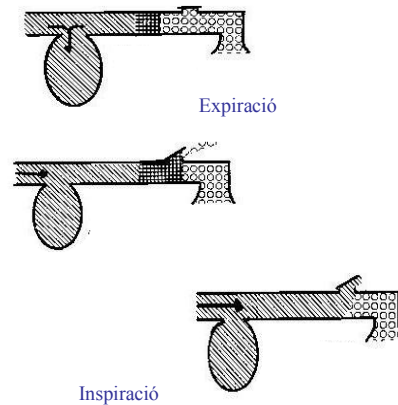
Figura 12: Circuits Mapleson

L'eficiència d'aquest circuits per a evitar la reinhalació de CO<sub>2</sub> depèn principalment del tipus de ventilació (espontània o controlada). Per a una ventilació espontània el sistema A es presenta com a més eficient, requerint un flux de gasos frescos equivalent al volum d'una ventilació minut. Però en canvi és el menys eficient per a funcionar en ventilació controlada, ja que, requereix fluxos de gasos frescos al voltant de 20 L/min. Els més eficients per a la ventilació controlada són els sistemes D, E i F que requereixen fluxos de 2,5 vegades la ventilació minut del pacient. Per tant, els podem ordenar d'acord a la seva eficàcia, de major a menor, de la següent manera:

- ventilació espontània: A>DEF>CB
- ventilació controlada: DEF>BC>A.

**Funcionament del Sistema A de Mapleson o circuit de Magil :**

Ventilació espontània: durant l'expiració els gasos continguts a l'espai mort i a l'espai alveolar són dirigits cap al tub coarrugat. Alhora, el gas fresc és conduït cap a la BR. Quan aquesta es plena es produeix un augment de pressió dins del circuit que dona lloc a l'obertura de la VE. El primer gas en sortir és el de l'espai alveolar (ric en CO<sub>2</sub>) i dependent del flux de gasos frescos, es depurarà en major o menor quantitat. Durant la inspiració es tanca la VE i el primer gas inhalat correspon al de l'espai mort comprès entre la VE i el pacient, seguit de l'existent al tub coarrugat, que segons el flux de gasos frescos serà més o menys ric en CO<sub>2</sub>.

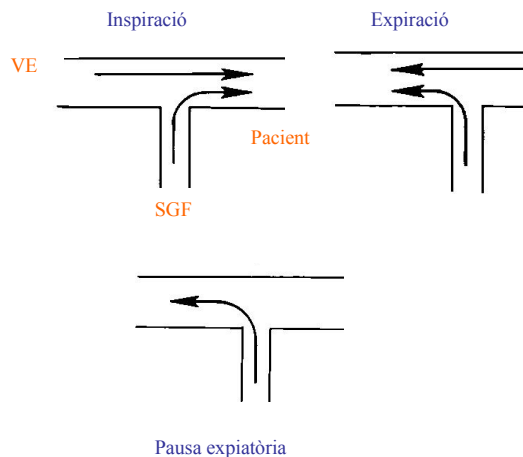


### *Funcionament dels sistemes D (Circuit de Bain), E (Peça en T) i F (Circuit de Jackson Rees) de Mapleson:*

El funcionament de tots tres es basa en l'existència d'una peça en "T". Aquesta no és res més que un connector amb tres llums: una de connexió al pacient, una d'accés a la VE i l'altre de connexió amb la BR.

Al circuit de Bain el tub de SGF és situat dintre del tub coarrugat. Segons el grau d'obertura de la VE es pot realitzar una ventilació espontània (totalment oberta), manual assistida (parcialment oberta) o controlada (totalment tancada). Permet acoplar un ventilador en lloc de la BR obtenint un sistema automàtic de ventilació automàtica. També es pot associar un mecanisme de generació de PEEP.

Ventilació controlada: durant l'expiració els gasos proveïents del pacient més els gasos frescos són dirigits cap al tub coarrugat. Dependent de la duració de la pausa espiratoria, l'SGF serà més o menys efectiu per depurar el gas de l'espai alveolar cap a la VE.



El sistema E de Mapleson, de funcionament similar al Circuit de Bain, es emprat en pacients amb intubació orotraqueal sota ventilació espontània. Per disminuir el grau de rehinalació de  $\text{CO}_2$  s'escorça la longitud del tub coarrugat que actua de reservori.

El sistema F de Mapleson afegeix una obertura a la BR que permet l'evacuació dels gasos espirats. Requereix un SGF de tres vegades la ventilació minut del pacient. La BR pot ser substituïda per un ventilador. Habitualment es emprat com circuit pediàtric.

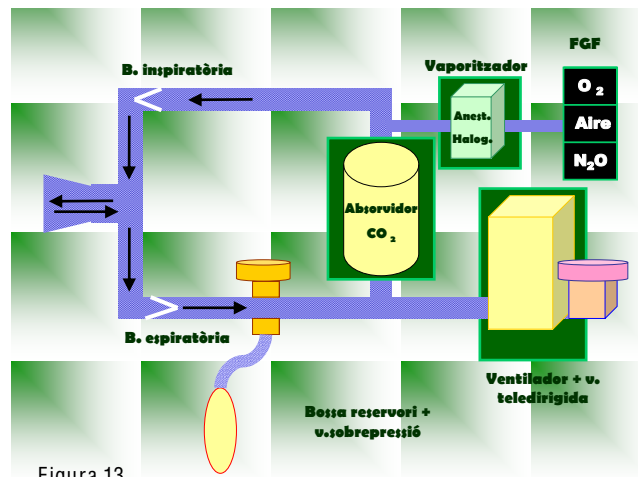
## Sistemes amb absorbidor de $\text{CO}_2$ : Circuit circular o circuit filtre

Com el seu nom indica és un circuit amb una estructura circular el que li permet un major aprofitament dels gasos mitjançant rehinalació, parcial o total. Les seves avantatges són: estalvi de gasos (oxigen, protòxic i gasos anestèsics), disminució del grau de contaminació ambiental i manteniment de l'escalfament i humitat dels gasos. L'inconvenient és que són circuits complexos, que requereixen un alt grau de monitorització (actualment ja inclosos dintre de l'estació de treball) i d'ensinistrament en el seu ús. Són circuits amb una gran compliança i una constant de temps alta.

Els seus components bàsics són: dues vàlvules unidireccionals (una inspiratòria i un altre espiratòria); una vàlvula de sobrepressió; una bossa reservori (o una connexió a un ventilador); un canister amb absorbidor de  $\text{CO}_2$ ; un SGF; tubs coarrugats i la connexió al pacient.

L'eficàcia del circuit, és a dir, la capacitat d'evitar la rehinalació de  $\text{CO}_2$ , depèn de la disposició dels seus components. La màxima eficàcia, absència de rehinalació de  $\text{CO}_2$  amb un baix flux de SGF, s'obté amb la següent disposició (*Figura 13*):

- les dues vàlvules unidireccionals que garanteixin un únic sentit de circulació dels gasos. Poden estar localitzades a prop del pacient o a prop de l'absorbidor de  $\text{CO}_2$ .
- SGF entre la vàlvula inspiratòria i l'absorbidor de  $\text{CO}_2$ .
- la bossa reservori entre la vàlvula espiratòria i l'absorbidor de  $\text{CO}_2$ .
- la vàlvula de sobrepressió entre l'absorbidor de  $\text{CO}_2$  i la vàlvula espiratòria.



El comportament del circuit ve marcat principalment pel flux del SGF (*Figura 14*):

- si el SGF és igual o superior a la ventilació minut del pacient es comporta com a un *circuit obert*. El gasos circulants són nous a cada cycle ventilatori. La composició dels gasos que arriba al pacient està determinada per la composició del SGF.
- Si el SGF és inferior a la ventilació minut del pacient es comporta com un *circuit tancat*. Quant el SGF equival al consum d'oxigen del pacient parlem de *fluxes mínims* (es produeix el màxim grau de rehalació dels gasos espirats) i quan és superior al consum d'oxigen, però està per sota de la ventilació minut del pacient, parlem de *baixos fluxes* (es produeix la rehalació parcial dels gasos espirats). Ambdós casos, la composició dels gasos que arriben al pacient no és necessàriament equivalent a la del SGF.

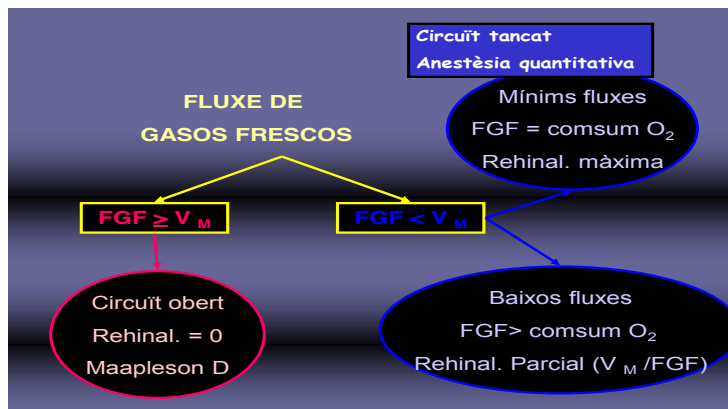


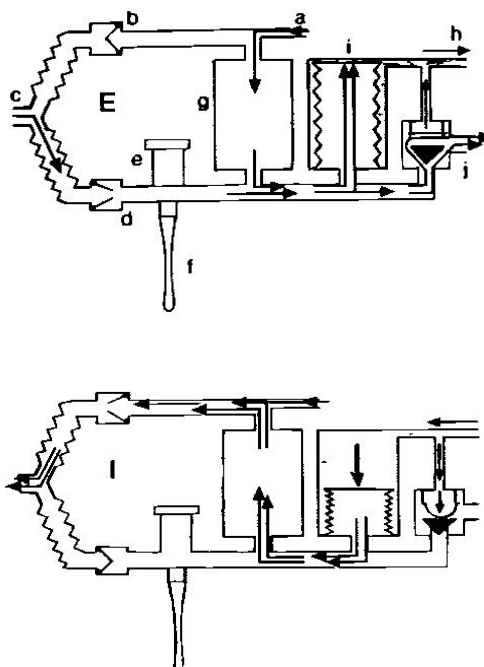
Figura 14

### Funcionament en circuit semitancat i tancat:

Durant la ventilació espontània els gasos són dirigits cap a la BR i la vàlvula de sobrepressió, total o parcialment oberta. Aquest elements quedant exclosos del circuit quan es fa una ventilació controlada, essent substituïts pel ventilador.

Durant l'inspiració la vàlvula inspiratòria roman tancada dirigint els gasos cap al canister mitjançant la branca espiratòria. En cas de ventilació espontània els gasos espirats, juntament amb gasos frescos, penetren a la bossa reservori que es disten i quan sobrepassa la pressió d'obertura la vàlvula s'obre. En cas de ventilació controlada, els gasos es dirigeixen cap al canister i el ventilador. La vàlvula de sobrepressió roman tancada i només s'obre al final de la insuflació del ventilador quan es sobrepassa la seva pressió d'obertura dins el circuit.

Durant la inspiració s'obre la vàlvula inspiratòria i el pacient rep els gasos procedents de absorbidor de CO<sub>2</sub>, de l'SGF i de la bossa reservori o del ventilador.

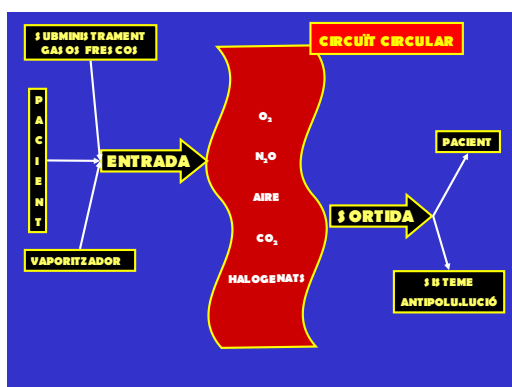


a: Suministrament de gasos frescos; b: vàlvula inspiratòria; c: connexió pacient; d: vàlvula espiratòria; e: vàlvula de sobrepressió; f: bossa reservori; g: absorbidor de CO<sub>2</sub>; h: entrada i sortida del gas motor de ventilador; i: cambra de compressió amb fuelle; j: vàlvula de sobrepressió teledirigida pel ventilador.

E: espiració.

I: inspiració.

### Cinètica dels gasos dintre d'un circuit tancat (*Baixos fluxes i Fluxes mínims*)



Dintre d'un circuit anestèsic conflueixen diversos gasos, uns aportats pel pacient (CO<sub>2</sub> i N<sub>2</sub>) i d'altres afegits per nosaltres durant l'acte anestèsic (O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O i anestèsics halogenats). Les seves concentracions, mesurades en forma de pressions parcials, sofreixen constants variacions, dintre d'un mateix cycle ventilatori i entre diferents cycles ventilatoris. Cal conèixer aquestes variacions per tal de treure el màxim rendiment a aquest circuit. L'aprofitament de la reinhalació dels gasos espirats té clares avantatges sobre el circuit obert, però requereix una monitorització acurada i un coneixement del comportament del gasos dintre del circuit per evitar greus accidents anestèsics.

Els principals factors de que depenen les concentracions de gasos dintre del circuit són (*Figura 15*): SGF, estat metabòlic del pacient, patró ventilatori, el període de l'acte anestèsic (inducció, manteniment o edució) i la duració del procediment. Les concentracions d'O<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub> segueixen un patró fixa d'absorció i eliminació pel



pacient durant tot l'acte anestèsic, sempre que no s'alteri el seu estat metabòlic o el patró ventilatori. En canvi la captació pel pacient dels gasos i vapors anestèsics es modifica depenent del període anestèsic. Podem diferenciar tres etapes, respecte als anestèsics halogenats: la inducció que consisteix en una saturació del circuit i pacient; el manteniment o fase d'equilibri, a on la seva concentració es manté constant a no ser que es modifiqui la seva concentració al SGF; i l'eliminació o edució, que consisteix en la sortida de l'organisme dels vapors cap al circuit. En canvi, la captació de N<sub>2</sub>O segueix una corba exponencial. Durant el primer minut es captat tot el N<sub>2</sub>O del circuit pel pacient, aquesta captació va disminuint fins que als 25 minuts és tan sols d'un 20% del subministrat pel circuit i arriba un moment en que és nul·la. També es requereix d'un període inicial de saturació del circuit i un final d'eliminació. Per tant els gasos dintre de circuit no es comporten de forma estàtica, si no que pateixen un constant intercanvi entre el pacient, el propi circuit i el sistema d'evacuació.

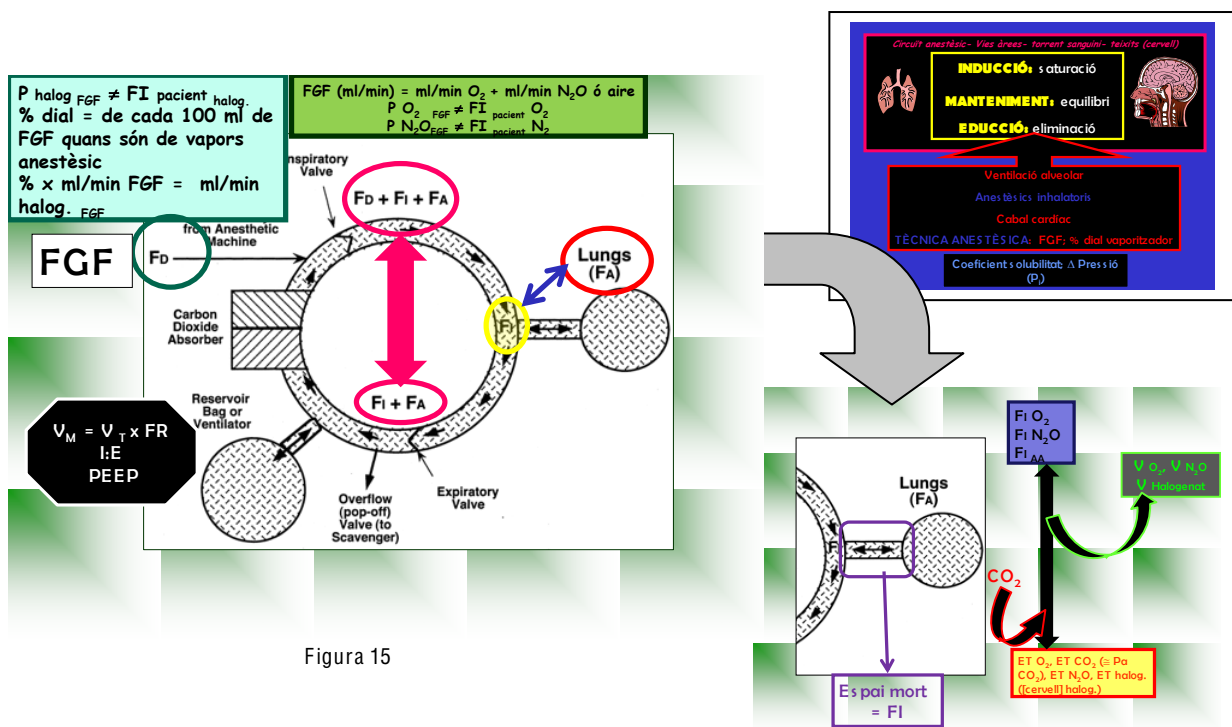


Figura 15

## VAPORITZADORS

La majoria dels anestèsics inhalatoris a pressió i temperatura ambient es troben en forma líquida i han de passar al seu estat gasós per poder ser absorbits a la membrana alveola-capilar. Aquest procés té lloc als vaporitzadors. El procés de vaporització és específic per a cada agent, ja que, depèn de la pressió de vapor i del punt d'ebullició, propietats físiques que els defineixen (Taula 3). La vaporització comporta un consum d'energia que es tradueix en una pèrdua de temperatura dins de la fase líquida. La quantitat de vapor anestèsic administrada pel vaporitzador s'expressa en forma de vol % (volum d'anestèsic per a cada 100ml de gas fresc). Aquest paràmetre és el que es regula mitjançant el dial, però és independent de la pressió parcial exercida pel vapor anestèsic a nivell del sistema respiratori del pacient i que serà responsable dels efectes clínics.

Anestèsic	MAC	Punt d'ebullició (°C a 760 mmHg)	Pressió de vapor (mmHg a 20°C)
Halotà	0,75	50,2	244
Enflurà	1,68	56,5	172
Isoflurà	1,15	48,5	240
Desflurà	6,4	22,8	671
Sevoflurà	2	58,6	160
Protòxid	104	- 88,56	39 000

Taula 3: Propietats dels anestèsics inhalatoris.

**Punt d'ebullició:** és la temperatura a la que es produeix el pas d'un element de la fase líquida a la gasosa (vaporització), la seva pressió de vapor iguala a la pressió ambient.

**Pressió de vapor:** dins un recipient tancat que conté un element en fase líquida i en fase gasosa (vapor), és la força exercida per la fase gasosa sobre les parets del recipient. Quan la fase gasosa conté la màxima quantitat de vapor que es possible, a una determinada temperatura, s'anomena **pressió de vapor saturada**. Són específiques per a cada anestèsic i per a cada temperatura.

Els vaporitzadors clàssicament s'han localitzat dintre de l'aparell d'anestèsia, però fora del circuit anestèsic a nivell del subministrament de gasos frescos. Actualment la tendència és a col·locar-los dintre del mateix circuit, a fi efecte d'augmentar la seva eficiència, al ser independent del FGF.

Existeixen diferents tipus de vaporitzadors depenent de la forma en que es produeix el procés de vaporització:

- Vaporitzadors d'arrossegament, *flow-over vaporizers* o de derivació variable: l'anestèsic en fase líquida es troba dins d'una cambra (cambra de vaporització CV) per la que es fa passar un flux variable d'un gas (gas vector GV) que arrossega les molècules de l'anestèsic un cop vaporitzades. Es diferencien dos subtipus segons si el GV es aspirat dins de la CV (*draw-over vaporizers* o *simple plenum vaporizers*) o si aquest és empejat dins la CV (*push-over vaporizers* o *improved plenum vaporizers*).
- Vaporitzadors per "burbugeo" o *bubble-through vaporizers*: el GV es alliberat en forma de bombolles dins de l'anestèsic líquid.
- Vaporitzadors-pulveritzadors: injecten l'anestèsic en forma de petites gotes directament al flux de gas fresc del circuit anestèsic.
- Vaporitzadors d'injecció d'anestèsic líquid: injecten l'anestèsic líquid directament al circuit anestèsic a on es realitzarà posteriorment la seva vaporització.
- Vaporitzadors d'injecció de vapor sota pressió.

## RENDIMENT O PRECISSIÓ DELS VAPORITZADORS (“Accuracy”)

És la relació entre la concentració d’anestèsic administrada pel vaporitzador i la concentració indicada al dial. Es acceptada com a vàlida una diferència no superior al  $20\% \pm 2$  entre totes dues concentracions. Aquesta relació és específica de cada aparell per a cada anestèsic, flux de GV, temperatura i temps de funcionament.

## ESQUEMA GENERAL DELS VAPORITZADORS:

Els següents components formen part de l’estructura de la majoria dels vaporitzadors (figura 16):

- GAS VECTOR: barreja de gasos que transporta l’anestèsic un cop ha passat a forma vaporitzada.
- DIAL: pot ser mecànic o electrònic. En ell indiquem la concentració d’anestèsic que volem . Aquesta s’expressa en % volum i correspon al % del SGF que estarà constituït per vapor (de cada 100ml del SGF quans són de vapor anestèsic).
- RESERVORI: lloc on s’emmagatzema el líquid anestèsic previ a la seva vaporització. Tenen un element indicador de nivell i sistemes d’ompliment específics per a cada anestèsic.
- CAMBRA DE VAPORITZACIÓ: lloc on el líquid anestèsic es converteix en vapor, es a dir, a on te lloc el procés de vaporització.
- VÁLVULES REGULADORES: controlen la pressió del gas vector o la quantitat de vapor anestèsic que abandona la cambra de vaporització.
- ELEMENT CALEFACTOR: font de calor que manté una temperatura adient a la cambra de vaporització perquè no es freni el procés de vaporització.
- ELEMENTS ELECTRÒNICS DE REGULARITZACIÓ.

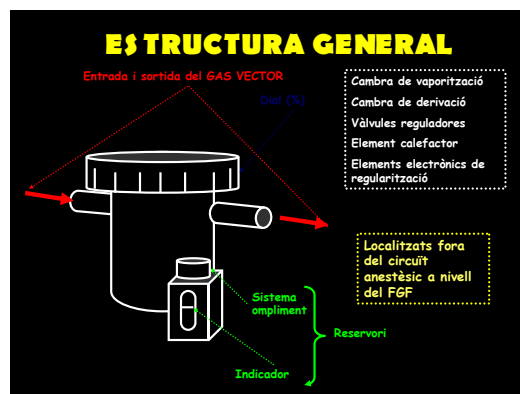


Figura 16

## Vaporitzadors d'arrossegament (Flow over vaporizers)

### Draw-over vaporizers

El pas del GV a través de la CV es realitza gràcies a l'esforç inspiratori del pacient o per l'efecte d'aspiració d'una bossa autoinflable (“fuelle”). Això dona lloc a un flux intermitent

d'anestèsic. Es fan servir quan no hi ha corrent elèctric ni gasos comprimits. Són de construcció simple, no estan calibrats, ofereixen baixes resistències al seu pas, però tenen l'inconvenient de que són poc precisos. Queden integrats dins del circuit anestèsic.

Pertanyen a aquest grup: EMO (*Epstein Macintosh – Oxford*), OMU (*Oxford miniature vaporizer*) i TEC del sistema PAC.

## Push-over vaporizers

A diferència dels anteriors són precisos, estan calibrats (vol %), compensen la variació tèrmica secundària a la vaporització, són específics per a cada anestèsic i la majoria estan situats abans del circuit anestèsic al SGF. Pertanyen a aquest grup els TEC (*Temperature Compensated Vaporizer* de Cyprane- Ohmeda) i el Vapor (Dräger).

Tots tenen un funcionament molt semblant (figura 17):

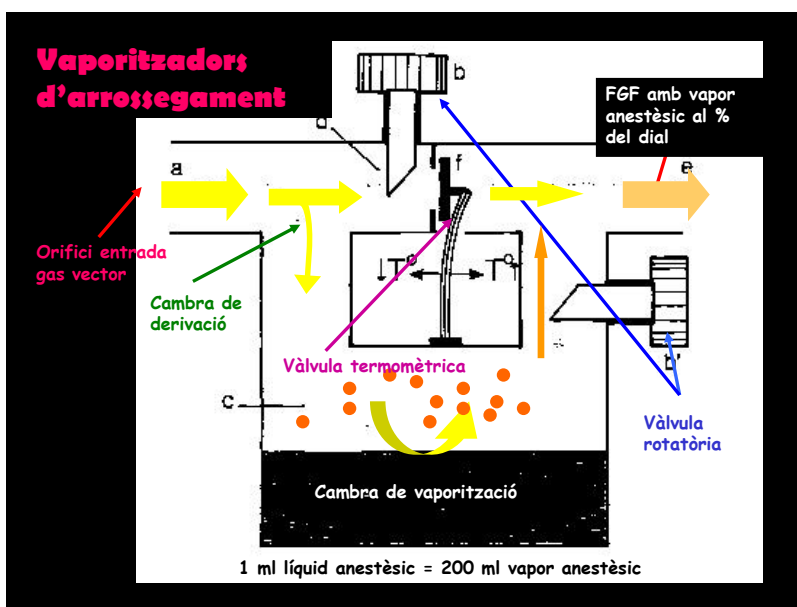


Figura 17

El GV penetra a l'entrada a la cambra de derivació (CD) a on una petita fracció (<10%) es dirigida cap a la CV i la resta es derivada cap a la sortida d'aquesta sense travessar-la. La part de GV que penetra a la CV és saturat de vapor anestèsic a una pressió pròpia a la seva pressió de vapor. A la sortida de la CV s'uneix a la resta de GV que el diluirà fins a la concentració marcada al dial del vaporitzador.

La derivació del GV es realitza mitjançant una vàlvula rotatòria, que modifica les resistències al seu pas, i que pot estar situada a l'entrada de la CD (vaporitzadors TEC) o al sortida de la CV (Vaporitzador Vapor). Aquest procés ha de ser independent del fluïd de gas vector.

El procés de vaporització dona lloc a un descens de la temperatura (per pèrdua de energia en forma de calor) dintre de la CV que condueix a una aturada progressiva del procés de vaporització, si no és compensada. És per això que existeixen vàlvules termomètriques localitzades a la CD que ajusten el fluxe de GV derivat cap a la CV. Quan detecten una davallada de la temperatura a la CV augmenten el fluxe de GV cap a aquesta permetin l'arrossegament d'un major nombre de molècules de vapor compensant la disminució del grau de vaporització.

A més a més, per disminuir la pèrdua de calor es fa servir una gran massa de metall envoltant la CV i les metxes es localitzen en contacte amb la paret de metall. Es fan servir metall d'alt calor específic i alta conductivitat.

Es requereix una gran superfície de contacte entre el GV i l'anestèsic a nivell de la CV. Això s'obté fent passar al GV seguint un recorregut en espiral. Aquest mecanisme produeix un increment significatiu de les resistències interna que fa que el GV hagi de ser empès. Així mateix, aquest tipus de vaporitzadors han d'estar integrats dintre del sistema de SGF a on existeix pressió suficientment elevada.

Partint d'aquesta estructura general, existeixen al mercat diferents models, però tots amb un funcionament similar. Els primers models, amb un mecanisme estrictament mecànic, es diferenciaven entre ells en petits canvis d'estructura interna dirigits a augmentar el seu rendiment. Per exemple la principal diferència entre els TEC i els VAPOR és la localització de la vàlvula rotatòria. Models posteriors (figura 18) afegeixen elements electrònics de control com sensors de fluxe, temperatura i pressió, així com, vàlvules regulades electrònicament des de CPU.

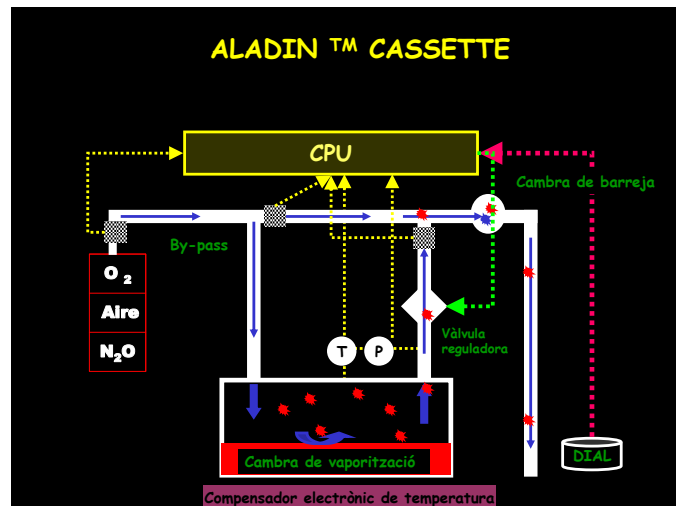


Figura 18

**Factors que influeixen sobre la precisió dels vaporitzadors de derivació variable:**

#### TEMPERATURA AMBIENT

La vàlvula termomètrica actua correctament a temperatures compreses entre els 15 i 36 °C.

#### PRESSIÓ AMBIENT

Els vaporitzadors estan calibrats amb pressions ambientes de 760 mm Hg. La pressió de vapor saturada no es modificarà amb les variacions de la pressió ambient, ja que, per a cada anestèsic aquesta només es modificarà amb la temperatura. El que si es modificarà és la concentració de l'anestèsic a la sortida de la CV, per que proporcionalment la seva relació envers a la quantitat del GV si que canvia. Tanmateix, la pressió parcial exercida pel vapor anestèsic a la barreja de gasos a la sortida del vaporitzador també variarà ( $P_{anest} = F_{lanest} \times P_{atm}$ ). És aquest darrer valor el que es relaciona amb la profunditat anestèsica. L'efecte sumatori d'aquest dos fenòmens fa que a la pràctica tingui escasses conseqüències clíniques les modificacions a la pressió ambient.

#### LÍQUID ANESTÈSIC

Cada vaporitzador està calibrat per a un anestèsic específic i, per tant, segons les seves propietats físiques (punt d'ebullició, pressió vapor,...). Així l'ompliment d'un vaporitzador amb un altre anestèsic diferent del seu específic modificarà la precisió d'aquest. Per evitar-lo s'han dissenyat mecanismes, específics per a cada anestèsic, de compatibilitat mecànica entre els orificis d'ompliment dels vaporitzadors i els envasos dosificadors.

Una excessiva inclinació del vaporitzador pot permetre l'entrada de líquid anestèsic dintre de la CD o al propi circuit anestèsic el que donarà lloc a un augment de la concentració d'anestèsic realment inspirada pel pacient.

## GAS VECTOR

Sentit de circulació: els vaporitzadors estan dissenyats per a un sentit determinat de circulació del GV. Si aquest s'inverteix la concentració d'anestèsic administrada seria major a l'indicada al dial.

Fluctuacions de pressió (Efecte "bamboleo"): són conseqüència de la ventilació intermitent a pressió positiva. La CV es comporta com a un condensador connectat en derivació al circuit anestèsic. Es produeixen dos fenòmens: un d'aspiració (de major magnitud) i un de pressurització. Aquest fenòmens són més importants quan hi ha :fluctuacions de pressió de gran amplitud (100 mm Hg); una CV amb gran capacitat (baix nivell de líquid anestèsic a la cubeta); baixos fluxos; i, baixes concentracions al dial del vaporitzador. L'augment de pressió es transmesa retrògradament cap a la sortida de vapor i la CV a on es acumulat produint-se una compressió del gas que progressa cap a la CD. Quan cau de forma sobtada la pressió dins del circuit anestèsic es produeix la sortida de vapor del vaporitzador tant de la CV com de la CD a on ha entrat de forma retrògrada per la vàlvula de derivació. Per evitar aquest fenomen: es redueix la capacitat de la CV; s'ha allargat el recorregut que ha de fer el GV per entrar a la CV mitjançant un trajecte en espiral ; es disminueix el fenomen de vaporització a prop de la vàlvula de derivació, es dir, eliminar les metxes a l'entrada de la CV; i, col·locant a la sortida del vaporitzador una vàlvula antiretorn per amortir les fluctuacions de pressió procedents del circuit anestèsic.

Composició: els vaporitzadors estan calibrats per a un GV compost únicament per oxígen. Quan se li afegeix aire o protòxid es modifica el seu rendiment. Donat que el protòxid és molt més soluble als anestèsics inhalatoris que l'oxígen , es requereix un temps per que aquests quedin totalment saturats de protòxid. Durant aquest període es produeix una disminució transitòria de la concentració d'anestèsic administrada pel vaporitzador en relació a l'indicada al dial. Generalment és inferior al 10%. Tanmateix, quan es deixa d'administrar protòxid es dona el procés contrari.

Fluix: no s'afecta el rendiment dels vaporitzadors per fluxos de GV entre 250 ml/min i 30 L/min. Quan es fan servir fluxos inferiors a 250 ml/min les concentracions d'anestèsic administrades són lleugerament inferiors a les indicades al dial. Això es degut a que no es crea pressió suficient dintre de la CV per arrossegar les molècules de vapor. Quan es fan servir fluxos alts les concentracions d'anestèsic administrades pel vaporitzador són menors a les indicades al dial, ja que, es canvien les resistències tant de la CV com de la CD.

## DESGAST

Degut a l'ús es produeix un desgast de les peces amb obstrucció dels conductes, envelliment de les metxes i acumulació, en el cas de l'halotà, de timol.

## Vaporitzadors-pulveritzadors

Com exemple d'aquest grup troben el vaporitzador de la Siemens dissenyat pel Servoventilator (Vaporizer 950, 951 i 952). L'anestèsic líquid és comprimit per la barreja de gasos frescos produint la seva pulverització mitjançant una "boquilla". Requereix la creació d'una pressió mínima de 3,5 a 5 bares (figura 19). El dial es connectat a una vàlvula que crea una resistència al pas del GV, això crea una pressió que es transmesa retrògradament cap a la cubeta a on es troba l'anestèsic produint la seva compressió i sortida a través d'una "boquilla" cap al circuit anestèsic.

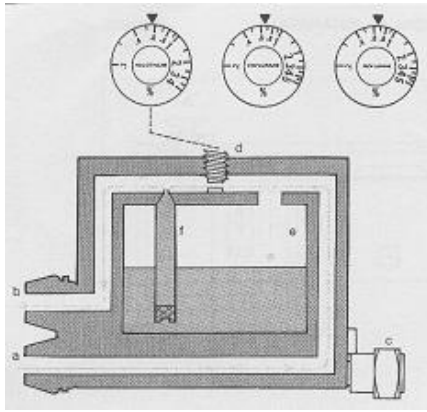


Figura 19

a: orifici d'entrada; b: orifici de sortida del gas carregat de vapor; c: botó posta en marxa; d: botó regulador de la concentració d'anestèsic; e: depòsit d'anestèsic; f: "boquilla"

Presenta un bon rendiment amb fluxos de GV superiors als 5 L/min. Aquest també està influït per la composició del GV (les modificacions a la seva viscositat) i per la temperatura.

## Vaporitzadors d'injecció de vapor sota pressió

En aquest tipus de vaporitzadors el líquid anestèsic es escalfat a la CV a una temperatura superior al seu punt d'ebullició. D'aquesta manera s'obté vapor al 100 vol% a una pressió propera a la pressió de vapor saturada.

### Vaporitzador ELSA (Engström)

Està format per tres cambres de vaporització (figura 20), una per cada un dels anestèsics. Un cop obtingut l'anestèsic al 100 vol % es elimina des de la CV cap al circuit anestèsic mitjançant una vàlvula electromagnètica. Cada cop que aquesta s'obra deixa anar 1 ml de vapor anestèsic cap al circuit. Segons la concentració marcada al dial i el volum de gas fresc, variarà la freqüència d'obertura de la vàlvula. Tot aquest procés està dirigit per un processador. Quan la concentració mesurada al circuit és un 20% superior a la demandada es deté transitòriament l'administració de vapor anestèsic, fins a assolir de nou la concentració desitjada.

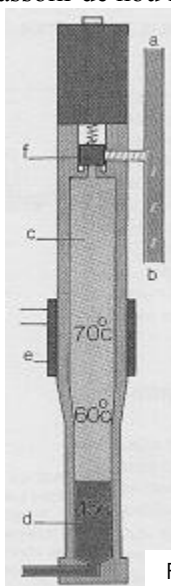


Figura 20

a: entrada del gas vector  
 b: sortida del GV amb vapor  
 c: cambra de vaporització que conté l'anestèsic a 100 vol %  
 d: líquid anestèsic  
 e: element calefactor  
 f: vàlvula magnètica

## Tec 6

Ha estat dissenyat per ser emprat amb desflurà exclusivament, ja que, aquest anestèsic no pot ser utilitzat als vaporitzadors convencionals donat el seu baix punt d'ebullició (és volàtil a temperatura ambient), la seva elevada pressió de vapor (propera a una atmosfera) i la seva relativa baixa potència (MAC del 6%).

Consta de dos circuits connectats en paral·lel (figura 21). El circuit del gas fresc, que a diferència d'altres vaporitzadors no travessa la CV, presenta una resistència fixa al seu pas creant una pressió dins el mateix. La seva magnitud dependrà del flux de gas fresc. Al circuit del vapor anestèsic existeix una resistència variable que es modifica mitjançant una vàlvula rotatòria que es dirigida electrònicament. El líquid anestèsic es converteix en vapor a nivell de la CV. La vaporització de grans quantitats d'anestèsic produeix un gran descens de la temperatura que no pot ser compensada mecànicament i la CV ha de ser escalfada externament per mantenir una temperatura constant de  $39 \pm 2$  °C. Aquesta temperatura el desflurà té una pressió de vapor de 1.300 mm Hg. Els dos circuits estan connectats mitjançant transductors de pressió que detecten les diferències de pressió entre tots dos. Quan existeixen diferències de pressió entres tots dos circuits són compensades mitjançant canvis a la temperatura, la pressió de vapor (actuant sobre la vàlvula rotatòria que es controlada electrònicament) i al flux de gas fresc que dilueix el vapor anestèsic. Quan les pressions es mantenen equilibrades, les concentracions d'anestèsic administrades pel vaporitzador depenen de la proporció de flux de gas fresc que travessa la resistència fixa i del flux de vapor anestèsic que travessa la resistència variable que dependrà exclusivament de la concentració sol·licitada al dial. La barreja del gas fresc amb el vapor anestèsic es realitza just abans d'abandonar el vaporitzador. El vaporitzador presenta un sistema pel seu ompliment que consta de dues vàlvules, una a l'ampolla d'anestèsic i l'altre al vaporitzador, que només deixen passar el líquid quan estan hermèticament connectades impedit així les fuites d'anestèsic cap a l'exterior dels recipients.

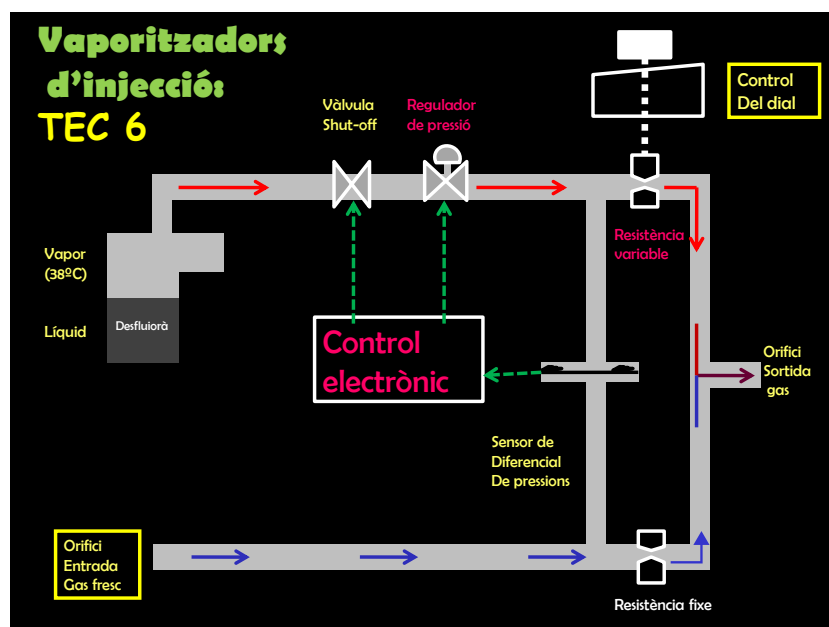


Figura 21

Aquest vaporitzador està calibrat per fluxos entre 0,2 i 10 L/min. El seu rendiment es manté acceptable per concentracions entre 3 i 12 % vol. El rendiment s'altera lleugerament quan el gas vector conté N<sub>2</sub>O i sobre tot si es fan servir baixos fluxos de gas fresc. Aquest fenomen està en relació amb la menor viscositat del N<sub>2</sub>O en relació amb el O<sub>2</sub>. En aquest cas les concentracions administrades d'anestèsic seran inferiors a les indicades al dial, ja que, la quantitat de vapor anestèsic serà la mateixa, però el flux de gas vector serà major.



## BIBLIOGRAFIA

- Enciclopedia médico quirúrgica. Aparatos de anestesia*: 36-100-B-20; 36-100-B-30; 36-100-B60  
Elaevier. París
- *Física para anestésistas*. Capítols 10 i 17
- Ronald D. Miller. *Anesthesia* Fifth edition. Vol 1. Capítol 7.  
Churchill Livingstone.2000.
- Jerry A. Dorsch, Susan E. Dorsch. *Understanding anesthesia equipment*. Fourth edition.  
Secció II.  
Lippincott Williams & Wilkins. 1999.
- *Amsorb. A new carbon dioxide absorbent for use in anesthetic breathing systems*.  
J. M. Murray, C. W. Renfrew, A. Bedi  
*Anesthesiology* 1999; 91: 1342-8
- *The elimination of sodium and potassium hydroxides from desiccated soda lime diminishes degradation of desflurane to carbon monoxide and sevoflurane to compound A but not compromise carbon dioxide absorption*.  
M. A. Neumann, M. J. Laster, R. B. Weiskopf et.al.  
*Anesth Analg* 1999; 89: 768-73
- *Advanced technologies and devices for inhalational anesthetic drug dosing*.  
J-U. Meyer, G. Kullik, N. Wruck, K. Kück and J. Manigel  
*Modern Anesthetics*  
Springer- Verlag Berlin Heidelberg. 2008